

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA MEJORAR
LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS PESADOS
DE CARGUÍO Y ACARREO EN UNA CANTERA DE
CALIZA – MARCAPOMACOCHA JUNÍN

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO

DIEGO HUAMAN VASQUEZ

Callao, 2018

PERÚ

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el auditorio Ausberto Rojas Saldaña de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, sito Av. Juan Pablo II N° 306, Bellavista - Callao, siendo las 6:30 del día miércoles 12 de diciembre de 2018, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador del I Ciclo de Tesis - Titulación por la modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis- de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao.

- Dr. Ing. Oscar Teodoro Tacza Casallo : Presidente
- Dr. Ing. Napoleón Jáuregui Nongrados : Secretario
- Dr. Ing. Pablo Mamani Calla : Vocal
- Mg. Ing. Yasser Hipólito Yarin Achachagua : Suplente

Designados por Resolución de Consejo de Facultad N° 155-2018-CF-FIME de fecha 24 de noviembre de 2018 y Resolución de Consejo de Facultad N° 162-2018-D-FIME a fin de proceder al acto de evaluación de la Tesis titulada: **"PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS PESADOS DE CARGUÍO Y ACARREO EN UNA CANTERA DE CALIZA - MARCAPOMACCOCHA JUNIN"**, presentada por el señor Bachiller **HUAMAN VASQUEZ DIEGO**.

Contando con la presencia del Supervisor General, Decano de la Facultad de Ciencias Administrativas Dr. Hernán Ávila Morales, Supervisor de la FIME, Dr. José Hugo Tezén Campos y el representante de la Comisión de Grados y Títulos Ing. Juan Adolfo Bravo Felix.

A continuación, se dio inicio a la sustentación de la Tesis de acuerdo a lo normado en los numerales del 10.1 al 10.4 del capítulo X de la Directiva para la Titulación Profesional por la modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis en la Universidad Nacional del Callao, aprobada por Resolución Rectoral N° 754-2013-R del 21 de agosto de 2013, modificada por la Resolución Rectoral N° 777-2013-R de fecha 29 de agosto de 2013 y la Resolución Rectoral N° 281-2014-R del 14 de abril de 2014 con la que se modifica el Art. 4.5 del capítulo IV de la organización del Ciclo de Tesis, así como lo normado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 245-2018-CU de fecha 30 de octubre de 2018.

Culminado el acto de sustentación, los señores miembros del Jurado Evaluador procedieron a formular las preguntas al indicado bachiller:


Luego de un cuarto de intermedio, para la deliberación en privado del Jurado respecto a la evaluación de la Tesis, se **ACORDÓ: CALIFICAR** la tesis sustentada por el señor bachiller **HUAMAN VASQUEZ DIEGO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico por la modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, según la puntuación cuantitativa y cualitativa que a continuación se indica:

CALIFICACIÓN CUANTITATIVA	CALIFICACIÓN CUALITATIVA
<u>16</u>	<u>Muy Buena</u>

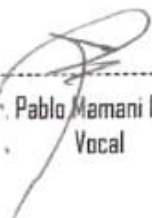
Finalmente, se procedió a leer en público el acta de sustentación.

Siendo las 6:56 del día miércoles doce de diciembre del dos mil dieciocho, el señor Presidente del Jurado Evaluador dio por concluido el acto de sustentación de Tesis.

En señal de conformidad con lo actuado, se levanta la presente acta.



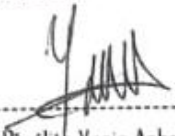
Dr. Oscar Teodoro Tacza Casallo
Presidente



Dr. Pablo Mamani Calla
Vocal



Dr. Napoleón Jáuregui Nongrados
Secretario



Mg. Yasser Hipólito Yarin Achachagua
Suplente

DEDICATORIA

A Jesús y Cesar mis padres que confiaron en mi desde pequeño, que me inculcaron valores, que me guiaron por el camino correcto, que me cuidaron desde siempre, ahora es mi turno.

A mis hermanas María y Catalina gracias por el cariño y apoyo.

¡Va por ustedes!

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por haberme guiado y permitido alcanzar este logro profesional.

A la universidad Nacional del Callao por ser el centro de enseñanza que me otorgó los conocimientos necesarios para formarme y desarrollarme en la vida profesional.

A mi asesor de tesis Mg. Arturo Gamarra Chinchay, por brindarme su orientación y apoyo en la elaboración de la tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1. Descripción de la realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema	13
1.2.1. Problema general.....	13
1.2.2. Problemas específicos.....	13
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.4. Limitación de la investigación	15
1.4.1. Limitación teórica	15
1.4.2. Limitación temporal	15
1.4.3. Limitación espacial.....	16
1.5. Justificación.....	16
1.5.1. Justificación tecnológica	16
1.5.2. Justificación económica	16
1.5.3. Justificación social	16
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes de la investigación	17
2.1.1. Antecedentes nacionales	17
2.1.2. Antecedentes internacionales	20
2.2. Marco teórico y conceptual	23
2.2.1. Marco teórico	23
2.2.2. Marco conceptual.....	31
2.3. Definición de términos básicos	33
CAPÍTULO III. VARIABLES E HIPÓTESIS	36
3.1. Hipótesis	36
3.1.1. Hipótesis general	36
3.1.2. Hipótesis específicas	36
3.2. Definición de variables	37

3.2.1. Variable independiente	37
3.2.2. Variable dependiente	37
3.3. Operacionalización de variables	38
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	39
4.1. Tipo y diseño de la investigación	39
4.1.1. Parámetros de diseño	39
4.1.2. Etapas del diseño.....	40
4.2. Población y muestra.....	41
4.2.1. Población	41
4.2.2. Muestra	41
4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de la información documental	42
4.3.1. Técnicas de recolección de la información documental	42
4.3.2. Instrumentos de recolección de la información documental.....	43
4.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información de campo	43
4.5. Análisis y procesamiento de datos	43
4.5.1. Estado actual del mantenimiento de los equipos pesados.....	43
4.5.2. Equipos pesados de la cantera de Caliza – Marcapomacocha Junín	46
4.5.3. Análisis de modos de Falla y disponibilidad del Tractor Oruga D8T	73
4.5.4. Análisis de modos de Fallas y disponibilidad del Cargador F. 659C.....	80
4.5.5. Análisis de modos de Falla y disponibilidad del Cargador F. 966H	87
4.5.6. Análisis de criticidad a los equipos pesados de carguío y acarreo	112
4.5.7. Hoja de decisión de los modos de falla de los equipos pesados.	117
CAPÍTULO V. RESULTADOS	139
5.1. Elaboración de los planes de mantenimiento preventivo	139
5.2. Tareas diarias para el Tractor Oruga Caterpillar D8T	139
5.3. Tareas de mantenimiento para el Tractor Oruga Caterpillar D8T	141
5.4. Tareas diarias para los Cargadores Frontales Sem 659C y Cat 966H	144
5.5. Tareas de mantenimiento para el Cargador Frontal Sem 659C.....	146
5.6. Tareas de mantenimiento para el Cargador Frontal Caterpillar 966H.....	150
5.7. Disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo	153
5.7.1. Análisis estadístico de los resultados	155
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	156
6.1. Contrastación de la hipótesis	156
6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares	157
6.3. Responsabilidad ética	157
CONCLUSIONES	158
RECOMENDACIONES	160
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161
ANEXOS	167

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 4.1: Falla funcional y modos de falla del Tractor oruga Cat. D8T	73
Tabla N° 4.2: Estadísticas de modos de falla del Tractor oruga Cat. D8T	74
Tabla N° 4.3: Estadísticas de modos de falla del sistema hidráulico de Tractor oruga Cat. D8T	75
Tabla N° 4.4: Estadísticas de modos de falla del tren de rodamientos de Tractor oruga Cat. D8T	76
Tabla N° 4.5: Estadísticas de modos de falla del motor de Tractor oruga Cat. D8T.....	77
Tabla N° 4.6: Estadísticas de modos de falla de otros sistemas de Tractor oruga Cat. D8T	78
Tabla N° 4.7: Falla funcional y modos de falla de Cargador Frontal Sem 659C	80
Tabla N° 4.8: Estadísticas de modos de falla del Cargador F. Sem 659C	81
Tabla N° 4.9: Estadísticas de modos de falla del sistema de transmisión de Cargador Frontal Sem 659C	82
Tabla N° 4.10: Estadísticas de modos de falla del sistema hidráulico de Cargador Frontal Sem 659C	83
Tabla N° 4.11: Estadísticas de modos de falla del sistema de frenos de Cargador Frontal Sem 659C	84
Tabla N° 4.12: Estadísticas de modos de falla de otros sistemas de Cargador Frontal Sem 659C	85
Tabla N° 4.13: Falla funcional y modos de falla del Cargador Frontal Cat. 966H	87
Tabla N° 4.14: Estadísticas de modos de falla de Cargador F. Cat. 966H	88
Tabla N° 4.15: Estadísticas de modos de falla del motor de Cargador Frontal Cat. 966H	89
Tabla N° 4.16: Estadísticas de modos de falla del sistema hidráulico de Cargador Frontal Cat. 966H.....	90
Tabla N° 4.17: Estadísticas de modos de falla del sistema de transmisión de Cargador Frontal Cat. 966H.....	91
Tabla N° 4.18: Estadísticas de modos de falla de otros sistemas de Cargador Frontal Cat. 966H.....	92
Tabla N° 4.19: Análisis de modos de falla de motor y sus efectos.....	94
Tabla N° 4.20: Análisis de modos de falla del sistema hidráulico y sus efectos	96
Tabla N° 4.21: Análisis de modos de falla del sistema transmisión y sus efectos	98
Tabla N° 4.22: Análisis de modos de falla del sistema de frenos y sus efectos.....	100
Tabla N° 4.23: Análisis de modos de falla del sistema de dirección y sus efectos	101

Tabla N° 4.24: Análisis de modos de falla del sistema de refrigeración y sus efectos ..	101
Tabla N° 4.25: Análisis de modos de falla del sistema eléctrico y sus efectos	103
Tabla N° 4.26: Análisis de modos de falla del sistema electrónico y sus efectos	105
Tabla N° 4.27: Análisis de modos de falla del sistema de combustible y sus efectos ...	105
Tabla N° 4.28: Análisis de modos de falla del mantenimiento preventivo y sus efectos.....	106
Tabla N° 4.29: Análisis de modos de falla de herramientas de desgaste/corte y sus efectos.....	106
Tabla N° 4.30: Análisis de modos de falla de chasis y sus efectos.....	108
Tabla N° 4.31: Análisis de modos de falla de neumáticos y sus efectos	108
Tabla N° 4.32: Análisis de modos de falla de implementos y sus efectos	109
Tabla N° 4.33: Análisis de modos de falla de operación y sus efectos	110
Tabla N° 4.34: Análisis de modos de falla en la cabina del operador y sus efectos	110
Tabla N° 4.35: Análisis de modos de falla del tren de rodamientos y sus efectos	111
Tabla N° 4.36: Análisis de modos de falla de accesorios y sus efectos.....	111
Tabla N° 4.37: Concepto de la Criticidad para la Maquinaria Pesada de una Cantera de Caliza – Marcapomacocha Junín.....	112
Tabla N° 4.38: Escala de referencia de Criticidad de modos de fallas.....	113
Tabla N° 4.39: Análisis de criticidad del Tractor oruga Cat. D8T	114
Tabla N° 4.40: Análisis de criticidad del Cargador frontal Sem 659C	115
Tabla N° 4.41: Análisis de criticidad del Cargador frontal Cat. 966H	116
Tabla N° 4.42: Hoja de decisión del RCM al motor	118
Tabla N° 4.43: Hoja de decisión del RCM al sistema hidráulico	121
Tabla N° 4.44: Hoja de decisión del RCM al sistema de transmisión	123
Tabla N° 4.45: Hoja de decisión del RCM al sistema de frenos	126
Tabla N° 4.46: Hoja de decisión del RCM al sistema de dirección	127
Tabla N° 4.47: Hoja de decisión del RCM al sistema de refrigeración.....	128
Tabla N° 4.48: Hoja de decisión del RCM al sistema eléctrico.....	129
Tabla N° 4.49: Hoja de decisión del RCM al sistema electrónico	131
Tabla N° 4.50: Hoja de decisión del RCM al sistema de combustible.....	131
Tabla N° 4.51: Hoja de decisión del RCM a las herramientas de desgaste/corte.....	133
Tabla N° 4.52: Hoja de decisión del RCM al chasis	134
Tabla N° 4.53: Hoja de decisión del RCM a los neumáticos	134
Tabla N° 4.54: Hoja de decisión del RCM a los implementos	135
Tabla N° 4.55: Hoja de decisión del RCM a la cabina del operador	136

Tabla N° 4.56: Hoja de decisión del RCM al tren de rodamientos	137
Tabla N° 4.57: Hoja de decisión del RCM a los accesorios	138
Tabla N° 5.1: Tareas diarias para el Tractor oruga Cat. D8T	139
Tabla N° 5.2: Tareas de 250 horas para el Tractor oruga Cat. D8T	141
Tabla N° 5.3: Tareas de 500 horas para el Tractor oruga Cat. D8T	142
Tabla N° 5.4: Tareas de 1000 horas para Tractor oruga Cat. D8T	142
Tabla N° 5.5: Tareas de 2000 horas para Tractor oruga Cat. D8T	143
Tabla N° 5.6: Tareas de 4000 horas para el Tractor oruga Cat. D8T	143
Tabla N° 5.7: Tareas de 6000 horas para Tractor oruga Cat. D8T	144
Tabla N° 5.8: Tareas de 8000 horas para Tractor oruga Cat. D8T	144
Tabla N° 5.9: Tareas diarias para Tractor oruga Cat. D8T.....	144
Tabla N° 5.10: Tareas de 250 horas para el Cargador f. Sem 659C	146
Tabla N° 5.11: Tareas de 500 horas para el Cargador f. Sem 659C	147
Tabla N° 5.12: Tareas de 1000 horas para el Cargador f. Sem 659C	147
Tabla N° 5.13: Tareas de 2000 horas para el Cargador f. Sem 659C	148
Tabla N° 5.14: Tareas de 4000 horas para el Cargador f. Sem 659C	148
Tabla N° 5.15: Tareas de 6000 horas para el Cargador f. Sem 659C	149
Tabla N° 5.16: Tareas de 8000 horas para el Cargador f. Sem 659C	149
Tabla N° 5.17: Tareas de 250 horas para el Cargador f. Cat. 966H	150
Tabla N° 5.18: Tareas de 500 horas para el Cargador f. Cat. 966H	151
Tabla N° 5.19: Tareas de 1000 horas para el Cargador f. Cat. 966H	151
Tabla N° 5.20: Tareas de 2000 horas para el Cargador f. Cat. 966H	152
Tabla N° 5.21: Tareas de 4000 horas para el Cargador f. Cat. 966H	152
Tabla N° 5.22: Tareas de 6000 horas para el Cargador f. Cat. 966H	153
Tabla N° 5.23: Tareas de 8000 horas para el Cargador f. Cat. 966H	153
Tabla N° 5.24: Disponibilidad después de la aplicación del plan de mantenimiento Tractor oruga Cat. D8T	154
Tabla N° 5.25: Disponibilidad después de la aplicación del plan de mantenimiento Cargador frontal Sem 659C	154
Tabla N° 5.26: Disponibilidad después de la aplicación del plan de mantenimiento Cargador frontal Cat. 966H	154
Tabla N° 5.27: Comparación de Disponibilidad – Tractor oruga Cat. D8T	155
Tabla N° 5.28: Comparación de Disponibilidad – Cargador f. Sem 659C.....	155
Tabla N° 5.29: Comparación de Disponibilidad – Cargador f. Cat. 966H.....	155
Tabla N° 6.1: Contrastación de los resultados con otros estudios	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Evolución del mantenimiento	23
Figura N° 2.2: Categorías de consecuencias de modos de fallas	26
Figura N° 2.3: Matriz de criticidad.....	26
Figura N° 2.4: Grupo de revisión de RCM	28
Figura N° 2.5: Modelo de aplicación del RCM.....	29
Figura N° 4.1: Organigrama del área de mantenimiento	44
Figura N° 4.2: Grupos constructivos Tractor oruga	46
Figura N° 4.3: Motor de combustión interna Cat. C15 Acert	48
Figura N° 4.4: Hoja topadora de Tractor oruga Cat. D8T	48
Figura N° 4.5: Tren de rodamientos de Tractor oruga Cat. D8T	49
Figura N° 4.6: Herramientas de corte de Tractor oruga Cat. D8T	49
Figura N° 4.7: Dimensiones de Tractor oruga Cat. D8T	52
Figura N° 4.8: Grupos constructivos Cargador frontal Sem 659C.....	54
Figura N° 4.9: Motor de combustión interna 3306B.....	55
Figura N° 4.10: Transmisión Sem 659C	56
Figura N° 4.11: Sistema de frenos de Cargador frontal Sem 659C	56
Figura N° 4.12: Bomba hidráulica de Cargador frontal Sem 659C.....	57
Figura N° 4.13: Ruedas del Cargador frontal Sem 659C	57
Figura N° 4.14: Radiador de Cargador frontal Sem 659C	58
Figura N° 4.15: Cucharon de Cargador frontal Sem 659C	58
Figura N° 4.16: Dimensiones de Cargador frontal Sem 659C.....	60
Figura N° 4.17: Grupos constructivos Cargador frontal Cat. 966H.....	61
Figura N° 4.18: Motor de combustión interna cat. C11 Acert	62
Figura N° 4.19: Transmisión Cat. 966H	63
Figura N° 4.20: Sistema de frenos de Cargador frontal Cat. 966H	64
Figura N° 4.21: Sistema hidráulico de Cargador frontal Cat. 966H.....	65
Figura N° 4.22: Radiador de Cargador frontal Cat. 966H.....	66
Figura N° 4.23: Ruedas del Cargador frontal Cat. 966H	66
Figura N° 4.24: Sistema de dirección del Cargador frontal Cat. 966H	67
Figura N° 4.25: Cucharon del Cargador frontal Cat. 966H.....	68
Figura N° 4.26: Herramientas de corte del Cargador frontal Cat. 966H.....	69
Figura N° 4.27: Bastidor del Cargador frontal Cat. 966H	69
Figura N° 4.28: Dimensiones de Cargador frontal Cat. 966H.....	72

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico N° 4.1: Horas en mantenimientos del año 2018	45
Gráfico N° 4.2: Gráfica de tracción en la barra de Tiro vs Velocidad	51
Gráfico N° 4.3: Diagrama de Pareto de fallas de Tractor oruga Cat. D8T	75
Gráfico N° 4.4: Diagrama de Pareto de modos de falla del sistema hidráulico de Tractor oruga Cat. D8T	76
Gráfico N° 4.5: Diagrama de Pareto de modos de falla del tren de rodamientos de Tractor oruga Cat. D8T	77
Gráfico N° 4.6: Diagrama de Pareto de modos de falla del motor de Tractor Cat. D8T ..	78
Gráfico N° 4.7: Diagrama de Pareto de modos de falla de otros sistemas de Tractor oruga Cat. D8T	79
Gráfico N° 4.8: Diagrama de Pareto de fallas de Cargador frontal Sem 659C	82
Gráfico N° 4.9: Diagrama de Pareto de modos del sistema de transmisión de Cargador frontal Sem 659C	83
Gráfico N° 4.10: Diagrama de Pareto de modos de falla del sistema hidráulico de Cargador frontal Sem 659C	84
Gráfico N° 4.11: Diagrama de Pareto de modos de falla del sistema de frenos de Cargador frontal Sem 659C	85
Gráfico N° 4.12: Diagrama de Pareto de modos de falla de otros sistemas de Cargador frontal Sem 659C	86
Gráfico N° 4.13: Diagrama de Pareto de fallas de Cargador frontal Cat. 966H	89
Gráfico N° 4.14: Diagrama de Pareto de modos de falla de motor de Cargador frontal Cat. 966H	90
Gráfico N° 4.15: Diagrama de Pareto de modos de falla del sistema hidráulico de Cargador frontal Cat. 966H	91
Gráfico N° 4.16: Diagrama de Pareto de modos de falla del sistema de transmisión de Cargador frontal Cat. 966H	92
Gráfico N° 4.17: Diagrama de Pareto de modos de falla de otros sistemas de Cargador frontal Cat. 966H	93
Gráfico N° 4.18: Diagrama de Criticidad de máquinas	113
Gráfico N° 4.19: Diagrama de Decisión del RCM	117

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza del distrito de Marcapomacocha, provincia de Yauli, departamento de Junín.

El presente trabajo es del tipo de investigación tecnológica y su diseño de investigación es del tipo no experimental, así mismo la muestra de la presente investigación está constituida por un Tractor oruga Cat. D8T, un Cargador frontal SEM 659C y un Cargador frontal Cat. 966H.

Para lograr el objetivo de esta investigación se analizó la situación actual de la gestión de mantenimiento, se recolectó información de datos técnicos, fallas e indicadores, así mismo se realizaron los análisis de AMEF y de Criticidad para posteriormente mediante la Hoja de decisión del RCM plantear las tareas de mantenimiento y sus frecuencias.

Como resultado se obtuvo un plan de mantenimiento preventivo para estos equipos pesados, el cual al aplicarse se pudo concluir que la disponibilidad del Tractor oruga Cat. mejoró en un 7.19%, la disponibilidad del Cargador frontal Sem mejoró en un 8.06% y la disponibilidad del Cargador frontal Cat. mejoró en un 7.12%.

Palabras Claves: Plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad, disponibilidad, tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparar.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to design a preventive maintenance plan based on the reliability-based maintenance methodology (RCM), to improve the availability of heavy loading and hauling equipment in a limestone quarry in the district of Marcapomacocha, province of Yauli, department of Junín.

The present work is of the type of technological research and its research design is of the non-experimental type, likewise the sample of the present investigation is constituted of a Bulldozer Cat. D8T, a Wheel loader SEM 659C and a Wheel loader Cat. 966H.

In order to achieve the objective of this research, the current situation of maintenance management was analyzed, information on technical data, faults and indicators was collected, as well as the analysis of AMEF and criticality for later on through the RCM decision sheet. raise maintenance tasks and their frequencies.

As a result, a preventive maintenance plan was obtained for these heavy equipment, which when applied, it could be concluded that the availability of the Bulldozer Cat. D8T improved by 7.19%, the availability of the Wheel Loader SEM 659C improved by 8.06% and the availability of the Wheel loader Cat. 966H improved by 7.12%.

Key words: Preventive maintenance plan focused on reliability, availability, average time between failures and average time to repair.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación es una propuesta sobre un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad, aplicable a los equipos pesados de carguío y acarreo que operan en una cantera de caliza ubicada en el distrito de Marcapomacocha, provincia de Yauli, departamento de Junín, el cual fue diseñado con la finalidad de mejorar la disponibilidad, reducir el número de paradas imprevistas, reducir los tiempos para reparar y mejorar la gestión de mantenimiento.

Los equipos pesados de carguío y acarreo son considerados críticos en el proceso de explotación a tajo abierto de esta cantera, por lo que la parada imprevista de alguno de estos genera grandes pérdidas económicas y retrasos en la producción, lo cual se ve reflejado en la insatisfacción de los clientes finales que no reciben sus productos en las fechas programadas, siendo esta una de las justificaciones que motivaron el desarrollo de este estudio.

En tal sentido la presente tesis se dividió en VI capítulos que a continuación se detallan:

Capítulo I, en este capítulo se presenta el planteamiento del problema el cual contiene la descripción problemática, la formulación del problema, los objetivos, la limitación y la justificación de la investigación.

Capítulo II, en este capítulo se presenta el marco teórico el cual contiene los antecedentes, el marco teórico, el marco conceptual y la definición de los términos básicos.

Capítulo III, en este capítulo se presenta las hipótesis y variables el cual contiene las hipótesis, la definición de variables y la operacionalización de las variables de la investigación.

Capítulo IV, en este capítulo se presenta la metodología de la investigación la cual contiene el tipo y diseño de la investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de información documental, las técnicas e instrumentos para la recolección de la información de campo y el análisis y procesamiento de los datos.

Capítulo V, en este capítulo se presenta los resultados.

Capítulo VI, en este capítulo se presenta la discusión de resultados la cual contiene la contrastación de la hipótesis, la contrastación de los resultados con estudios similares y la responsabilidad ética.

Finalmente, el trabajo termina mencionando las conclusiones obtenidas y las recomendaciones planteadas.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La minería no metálica comprende las actividades de explotación y transformación de minerales industriales que son utilizados como materia prima para la elaboración de productos para la construcción, pinturas, plásticos, vidrios, cerámicas, otros. Estos minerales son extraídos de yacimientos mineros llamados canteras.

Este proyecto de investigación tuvo como objeto de estudio los equipos pesados de carguío y acarreo de una cantera de caliza ubicada en el distrito de Marcapomacocha, provincia de Yauli, departamento de Junín, en la sierra central del Perú. La cual es propiedad de una empresa minera peruana.

Esta empresa minera cuenta con 18 canteras de diversos minerales por todo el Perú, de las cuales solo se extrae mineral caliza de la cantera del distrito de Marcapomacocha. Así mismo los equipos pesados que operan en esta cantera están constituidos por 2 cargadores frontales que realizan la actividad del carguío de mineral y por 1 tractor oruga que realiza la actividad de acarreo de mineral.

Los minerales extraídos de esta cantera de caliza, representan más del 30% de la producción de toda la empresa, lo cual origina la necesidad de tener una alta disponibilidad de sus equipos pesados de carguío y acarreo para evitar paradas no programadas en sus procesos.

En la actualidad los equipos pesados de esta cantera no cuentan con un plan de mantenimiento preventivo adecuado y solo se aplican tareas de mantenimiento básicas que recomienda el fabricante, lo cual origina una gran cantidad de mantenimientos correctivos, baja disponibilidad, retrasos en producción y altos costos de mantenimiento.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

Luego de haber descrito brevemente la situación actual con respecto a la gestión de mantenimiento de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín, procedemos a formular el problema.

¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad que permita mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín?

1.2.2. Problemas específicos

a) ¿Cómo establecer las funciones principales y secundarias de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de un esquema general de sus sistemas y componentes principales?

b) ¿Cómo determinar los indicadores de mantenimiento MTBF, MTTR y disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una

cantera de caliza mediante la elaboración de un esquema estadístico de modos de falla?

c) ¿Cómo identificar y jerarquizar las fallas y sus efectos en los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de los análisis de AMEF y de Criticidad?

d) ¿Cómo seleccionar las tareas de mantenimiento preventivo de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de la hoja de decisión del RCM?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad que permita mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín.

1.3.2. Objetivos específicos

a) Establecer las funciones principales y secundarias de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de un esquema general de sus sistemas y componentes principales.

b) Determinar los indicadores de mantenimiento MTBF, MTTR y disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de un esquema estadístico de modos de falla.

c) Identificar y jerarquizar las fallas y sus efectos en los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de los análisis de AMEF y de Criticidad.

d) Seleccionar las tareas de mantenimiento preventivo de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de la hoja de decisión del RCM.

1.4. Limitación de la investigación

1.4.1. Limitación teórica

Para el desarrollo de esta investigación se hizo uso de las siguientes teorías:

a) Teoría de mantenimiento centrado en confiabilidad.

b) Teoría de indicadores de gestión de mantenimiento

c) Teoría de análisis de modo y efecto de falla (AMEF)

d) Teoría de criticidad.

1.4.2. Limitación temporal

Con la finalidad de alcanzar el objetivo de esta investigación se analizó toda la data estadística referente al mantenimiento de los últimos 2 años (2016 - 2018), que es el periodo de tiempo en que se obtuvo data confiable de estos equipos de carguío y acarreo.

1.4.3. Limitación espacial

Esta investigación tiene como objeto de estudio los equipos pesados de carguío y acarreo que operan en una cantera de caliza ubicada en el distrito de Marcapomacocha, provincia de Yauli, departamento de Junín, en la sierra central del Perú.

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación tecnológica

El diseño de un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad generó una mayor disponibilidad, una mayor confiabilidad, una mejor gestión de mantenimiento y alargó la vida útil de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín.

1.5.2. Justificación económica

El diseño de un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad incrementó la productividad de la empresa y disminuyó los costos de los mantenimientos correctivos de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín.

1.5.3. Justificación social

El diseño de un plan de mantenimiento preventivo adecuado a estos equipos pesados disminuyó considerablemente el riesgo de accidentes de trabajo por averías y/o por mala operación de la maquinaria.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En materia de estudio se encontró antecedentes de la investigación que hacen referencia como:

2.1.1. Antecedentes nacionales

Un primer trabajo corresponde a Valentín Vicente, Víctor desarrollado en Huancayo – Perú 2014.

Tesis de Grado: “Mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras Cat. 336D L en el Proyecto Toromocho”.

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo aplicar la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras de marca Caterpillar, modelo 336D L que pertenecen a la empresa ICCGSA, que desarrollaba operaciones en el proyecto minero Toromocho.

Las excavadoras en mención son consideradas equipos muy críticos para estas operaciones mineras debido a que su operatividad es muy continua y otros equipos de la flota dependen de su correcto funcionamiento, siendo esta la justificación para la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad en ellas.

Se analizó toda la data histórica y se estableció que la disponibilidad mecánica de la flota era inicialmente de un 81% siendo este valor muy inferior al solicitado por la compañía minera a cargo del proyecto.

Por lo expuesto, se realizó un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para estos equipos usando la herramienta del cuadro de criticidad (AMFE) y posteriormente determinando las fallas correctivas y las tareas de mantenimiento AMFE para el estudio.

Finalmente se llegó a concluir que con la aplicación de este plan de mantenimiento se pudo obtener una disponibilidad mecánica de un 91% en las excavadoras 336D L que operan en el proyecto Toromocho, significando una mejora del 10%.

Un segundo trabajo corresponde a Tasilla Flores, Segundo desarrollado en Cajamarca – Perú 2016.

Tesis de Grado: “Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la maquinaria pesada de la empresa TECNOLDHER”

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo aplicar la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar la disponibilidad y reducir los costos en los mantenimientos correctivos de la maquinaria pesada de la empresa TecnoIdher.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron herramientas de la estadística descriptiva, así como auditorias de mantenimiento, procedimientos y formatos de control para los tractores y excavadoras

que conforman la muestra del estudio por ser los equipos más críticos de la empresa.

Finalmente se llegó a concluir que con la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad en estos equipos pesados se incrementará la disponibilidad en un 12% desde un 79% (estado inicial) hasta un 91%. Así mismo se pudo identificar al motor y a la bomba hidráulica como los componentes más críticos, los cuales fueron analizados a profundidad en la construcción de este plan de mantenimiento.

Un tercer trabajo corresponde a Castillo Tejeda, Alberto desarrollado en Huancayo – Perú 2017.

Tesis de Grado: “Mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica del Camión Volquete Volvo FMX-440 en el proyecto El Toro”

Este trabajo de investigación fue del tipo tecnológica de nivel experimental y tuvo como objetivo determinar la influencia del mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad la disponibilidad del camión volquete volvo FMX-440 para mejorar la disponibilidad mecánica en el proyecto El Toro.

Para el desarrollo del trabajo se utilizó la herramienta estadística SPSS.V20 y la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Finalmente se concluyó que la disponibilidad mecánica del camión volquete volvo FMX-440, después de haber aplicado el mantenimiento centrado en la confiabilidad, es del 93.31%, superando ampliamente el 85% solicitado por el contratista.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Un primer trabajo corresponde a Torres Icaza, Eduardo desarrollado en Guayaquil – Ecuador 2015.

Tesis de Grado: "Implementación de Metodología de Confiabilidad para un programa de Mantenimiento de una Flota de Camiones"

Este trabajo de investigación tuvo como objeto de estudio la flota de camiones de una empresa de productos alimenticios específicamente panaderías para el consumo masivo, la cual tiene la necesidad de tener una alta disponibilidad para satisfacer a todos sus clientes.

Para la aplicación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad se aplicó las técnicas del análisis de modos y efectos de fallas y evaluación de criticidad por medio de los cuales se identificaron las fallas que ocasionaban un mayor impacto operacional en los camiones. Posterior a estos análisis se determinaron y establecieron las tareas y rutinas de mantenimiento.

Finalmente se pudo concluir que con la aplicación de la metodología centrada en la confiabilidad se logró incrementar la disponibilidad en un 6% desde un 90% (estado inicial) hasta un 96%, reducir los gastos de

mantenimiento y mejorar la confiabilidad de estos equipos en su operación diaria.

Un segundo trabajo corresponde a Cárdenas Maza, Marco desarrollado en Cartagena – Colombia 2011.

Tesis de Grado: "Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM, para los equipos y vehículos de Dinacol S.A."

Dinacol S.A. es una empresa ubicada en la ciudad de Cartagena que se dedica a brindar servicios de ingeniería en los campos de la construcción, montajes, reparaciones, otros.

Cuando se realizó la investigación se pudo observar que la empresa no contaba con un programa de mantenimiento que otorgue confiabilidad de sus equipos, lo cual fue una de las justificaciones que motivo el desarrollo de este trabajo.

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo diseñar un plan de mantenimiento basado en RCM para optimizar la operatividad y eficiencia de los equipos y vehículos de la empresa Dinacol S.A.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó la herramienta conocida como análisis de modos de falla (AMEF) la cual permitió identificar fallas que perjudican la operatividad de los sistemas de los equipos en estudio. Luego se procedió a aplicar la metodología del RCM y por último se establecieron las tareas de mantenimiento adecuadas para controlar las fallas más críticas en estos equipos.

Finalmente se pudo concluir que con la implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM se logró garantizar la integridad, la disponibilidad, el alargamiento de la vida útil y la confiabilidad en la maquinaria y vehículos de la empresa Dinacol S.A.

Un tercer trabajo corresponde a Montes Villada, Juan desarrollado en Pereira – Colombia 2013.

Tesis de Grado: "Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de Integra S.A. usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)".

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo diseñar un plan de mantenimiento para la flota articulada de la empresa INTEGRA S.A. usando algunas herramientas del RCM.

En primera instancia se desarrolló un inventario de toda la flota articulada colocando en unos formatos nuevos los datos importantes de los equipos como código, placa, otros.

Luego se realizó el análisis de modos y efecto de fallas (AMEF) a cada componente de la flota y se respondieron una serie de preguntas que permitieron identificar las condiciones, requerimientos y actividades de mantenimiento necesarias. Luego se realizó un análisis de criticidad a los componentes y a los modos de fallas registrados.

Finalmente se establecieron los indicadores clave de gestión (KPI) con el fin de determinar las condiciones actuales de desempeño de la flota y se hizo un recorrido por el software de gestión de mantenimiento que se

usaba en el momento del desarrollo del presente trabajo en la empresa, para organizar y documentar los datos de mantenimiento.

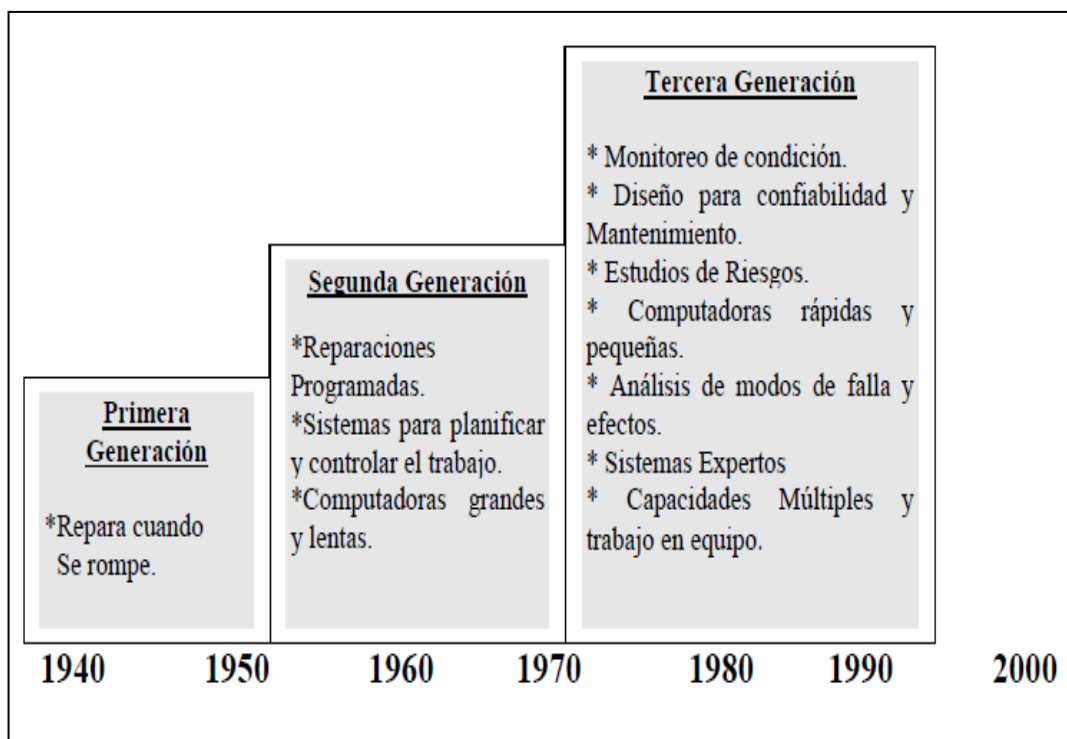
2.2. Marco teórico y conceptual

2.2.1. Marco teórico

- Mantenimiento

“Definimos habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicios durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento” (García, 2010, p. 1).

FIGURA N° 2.1
EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO



Fuente: Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM II, Jhon Moubray

- Mantenimiento preventivo

“Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno” (García, 2010, p. 17).

- Indicadores de gestión de mantenimiento

Los indicadores de mantenimiento permiten evaluar el desempeño de los equipos, sistemas e instalaciones a nivel operacional, así mismo nos permiten implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento (Amendola, 2003, p. 1).

Estos indicadores son:

- a) Tiempo medio entre fallos (MTBF)
- b) Tiempo medio para reparar (MTTR)
- c) Disponibilidad
- d) Confiabilidad

- Tiempo medio entre fallos (MTBF)

“Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema” (Amendola, 2003, p. 2).

- Tiempo medio para reparar (MTTR)

“Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El

Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento” (Amendola, 2003, p. 2).

- Disponibilidad

“La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado” (Flores, 2010, p. 13).

- Confiabilidad

“Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado” (Flores, 2010, p. 13).

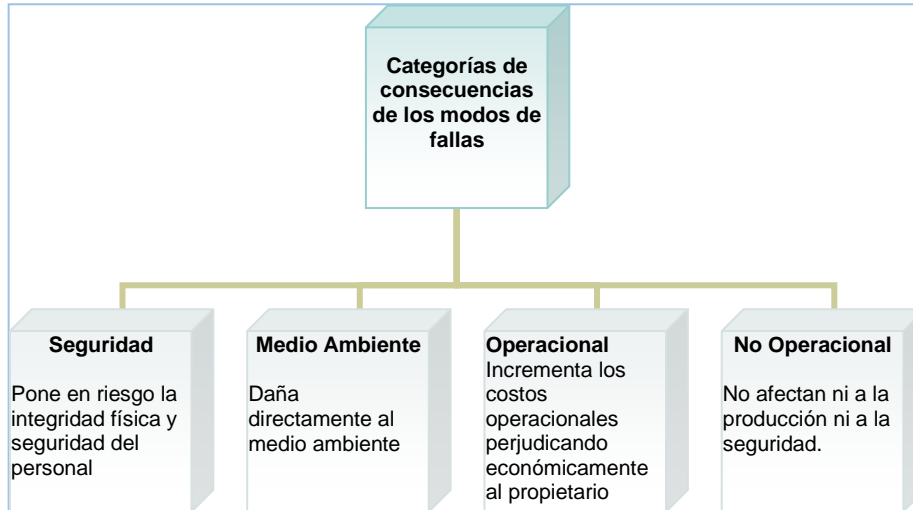
- Análisis de Modo y efecto de falla (AMEF)

Busca identificar los modos de falla que causan fallas funcionales en los activos y cerciorarse de los efectos que conllevan.

Es importante mencionar que 6 de las 7 preguntas básicas de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), son utilizadas para la elaboración de este análisis (Moubray, 2004, p. 53).

Así mismo, podemos categorizar las consecuencias que genera cada modo de falla de la siguiente manera: Afectan a la seguridad de las personas, afectan al medio ambiente, afectan económicamente a las empresas y finalmente no afectan ni a la seguridad ni a la producción.

FIGURA N° 2.2
CATEGORÍAS DE CONSECUENCIAS DE MODOS DE FALLAS



Fuente: Elaboración propia

- Análisis de criticidad

“El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte” (Huerta, 2005, p. 14).

FIGURA N° 2.3
MATRIZ DE CRITICIDAD

Categoría de Frecuencia	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	A	A	A
	3	B	M	M	A	A
	2	B	B	M	M	A
	1	B	B	B	M	A
Categoría de consecuencias	1	2	3	4	5	

B

 Criticidad Baja
Color Verde

M

 Criticidad Media
Color amarillo

A

 Criticidad Alta
Color Rojo

Fuente: Elaboración propia

- Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

Es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual (Moubray, 2004, p. 11).

- Las 7 preguntas básicas del RCM

Para desarrollar correctamente el Mantenimiento centrado en confiabilidad es necesario responder a las siguientes preguntas:

1.- ¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional? (Fibertel, 2007, párr. 4).

2.- ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)? (Fibertel, 2007, párr. 4).

3.- ¿Qué causa cada falla (modos de falla)? (Fibertel, 2007, párr. 4).

4.- ¿Cuáles son los efectos de la falla? (Fibertel, 2007, párr. 4).

5.- ¿Cuáles son las consecuencias de falla? (Fibertel, 2007, párr. 4).

6.- ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de tareas)? (Fibertel, 2007, párr. 4).

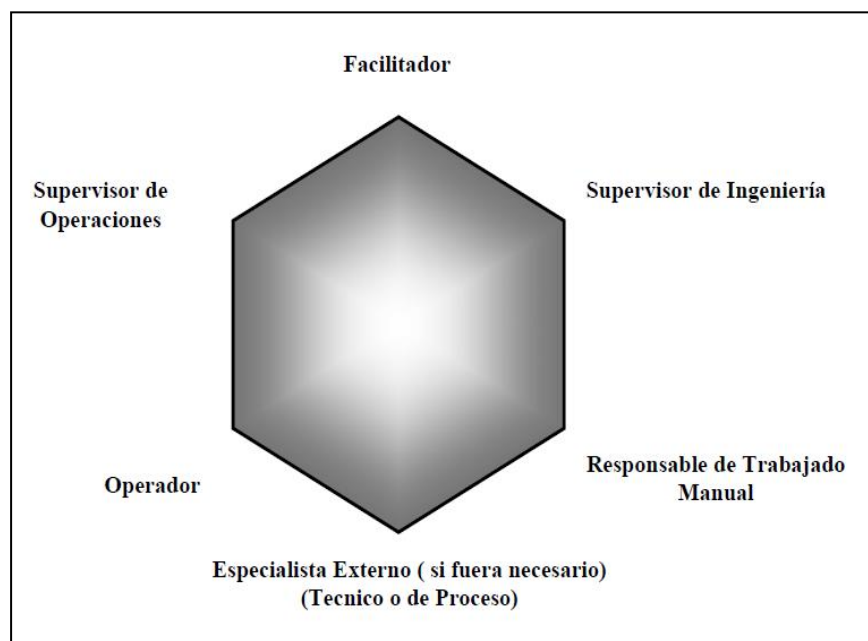
7.- ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible (acciones predeterminadas)? (Fibertel, 2007, párr. 4).

Para responder satisfactoriamente cada una de las 7 preguntas propuestas se debe recolectar la información necesaria y documentarse, a fin de que se encuentre esta información totalmente disponible para los usuarios y sean aceptables para los mismos (Norma SAE JA1011, 1999, p. 6).

- Aplicación del RCM

Para la aplicación del RCM es necesario como vimos anteriormente responder las 7 preguntas básicas. En la práctica es muy difícil que el personal de mantenimiento de por sí solo pueda contestar asertivamente todas las preguntas, ya que muchas están relacionadas a temas operativos, por lo que se deben de formar pequeños grupos que incluyan al menos una persona responsable del área de mantenimiento y una persona de la función operativa (Moubray, 2004, p. 19).

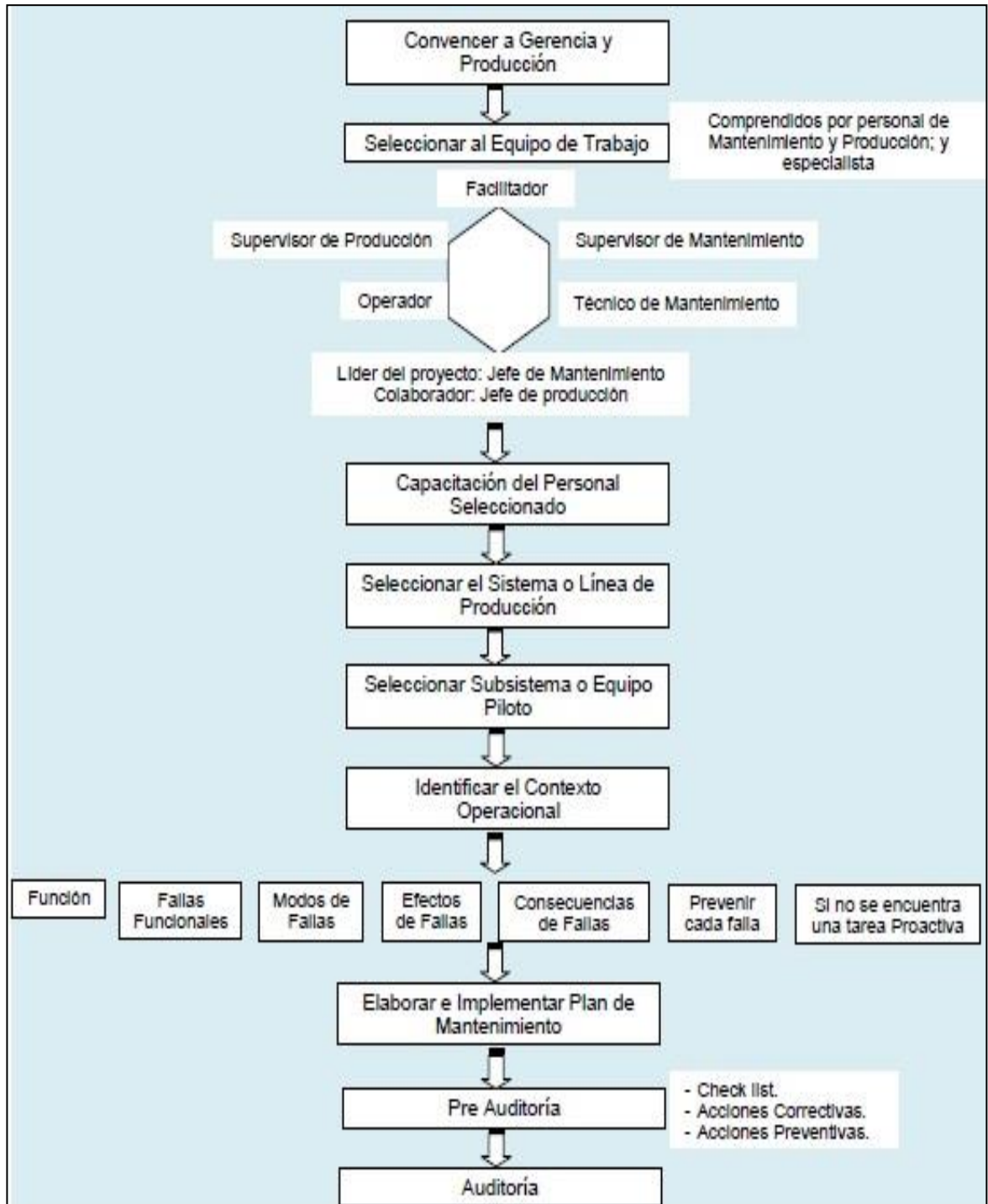
FIGURA N° 2.4
GRUPO DE REVISIÓN DE RCM



Fuente: Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM II, Jhon Moubray

Para las personas que liderarán la aplicación del proceso (“analistas” o “facilitadores”), se requiere un entrenamiento más extenso (Norma SAE JA1012, 1999, p. 59).

FIGURA N° 2.5
MODELO DE APLICACIÓN DEL RCM



Fuente: Mantenimiento centrado en la confiabilidad, José Campos

- Resultados y logros del análisis del RCM

Si se aplica adecuadamente la metodología descrita anteriormente será pertinente decir que se tendrán los siguientes resultados:

Rutinas de mantenimiento, procedimientos operativos seguros para los operadores y una lista de áreas donde se deben realizar cambios de diseño o de modo operativo (Moubray, 2004, p. 20).

Así mismo, con la aplicación adecuada de esta metodología obtendremos los siguientes logros:

Mayor seguridad e integridad medioambiental, desempeño operativo optimizado, mejor relación costo – efectividad, mayor vida útil en equipos de costos elevados, un banco de datos comprensible, mejoras en la motivación individual y mejora en el trabajo en equipo (Moubray, 2004, p. 22).

- Diagrama de decisión del RCM

El diagrama de decisión del RCM integra todos los procesos de decisión en un marco teórico estratégico simple, donde este marco se aplica a cada uno de los modos de falla de los activos en estudio. (Moubray, 2004, p. 183).

2.2.2. Marco conceptual

- Plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad

Se define como plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad al conjunto de actividades preventivas rutinarias basadas y/o elaboradas con la metodología de la confiabilidad que tiene como objetivo que los activos puedan desempeñar la función requerida durante un periodo de tiempo establecido y bajo condiciones de trabajo determinadas (García, 2010, p. 17).

- Equipos pesados

Los equipos pesados son vehículos destinados exclusivamente a desempeñar determinados trabajos en el rubro de minería, obras industriales y construcción, que debido a sus características físicas y técnicas no pueden transitar por vías de uso público.

Se puede clasificar en:

- a) Equipos de carguío
- b) Equipos de corte y nivelación
- c) Equipos de acarreo de material
- d) Equipos de perforación
- e) Equipos de compactación y concreto
- f) Equipos de izaje
- g) equipos complementarios
- h) Equipos subterráneos

- Carguío

El carguío es una de las etapas que constituye el proceso de explotación en una operación minera. Se refiere específicamente a la acción de cargar material mineralizado del yacimiento para su posterior traslado.

- Acarreo

El acarreo o transporte corresponde a una etapa del proceso de explotación en una operación minera. Este se refiere a la actividad de acarrear o transportar material mineralizado hacia diferentes destinos.

- Cargador frontal

Los cargadores frontales son máquinas autopropulsadas sobre ruedas, que generalmente son utilizados para cargar, excavar frontalmente, elevar, transportar y descargar minerales mineralizados en los rubros de construcción, industrias varias y minería.

- Tractor Oruga

Los tractores de oruga son vehículos pesados que se mueven sobre una oruga que utilizan este dispositivo para desplazarse por zonas de difícil acceso. La oruga tiene como finalidad distribuir en una mayor área el peso del tractor permitiendo que el equipo ejerza una menor fuerza por unidad de área sobre la tierra.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Consecuencias de los modos de falla

“Los efectos que puede provocar un modo de falla o una falla múltiple (evidencia de falla, impacto en la seguridad, en el ambiente, en la capacidad operacional, en los costos de reparación directos o indirectos)” (Norma SAE JA1011, 1999, p. 4).

2.3.2. Contexto operativo

“Las circunstancias bajo las cuales se espera que opere el activo físico o sistema” (Norma SAE JA1011, 1999, p. 4).

2.3.3. Efectos de fallas

“Lo que pasa cuando ocurre un modo de falla” (Norma SAE JA1011, 1999, p. 4).

2.3.4. Falla

“Se define falla como la incapacidad de un bien de cumplir con las funciones que el usuario espera realice” (Moubray, 2004, p. 45).

2.3.5. Falla evidente

“Un modo de falla cuyos efectos se tornan evidentes para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado” (Norma SAE JA1011, 1999, p. 4).

2.3.6. Falla funcional

Una falla funcional se define como la incapacidad de todo bien de cumplir una función a un nivel de desempeño aceptable por el usuario. Donde esta puede ser parcial o total (Moubray, 2004, p. 46).

2.3.7. Falla múltiple

“Un evento que ocurre si una función protegida falla mientras su dispositivo o sistema protector se encuentra en estado de falla” (Norma SAE JA1011, 1999, p. 4).

2.3.8. Falla oculta

“Un modo de falla cuyo efecto no es evidente para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado” (Norma SAE JA1011, 1999, p. 5).

2.3.9. Falla Potencial

“Una condición identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o está en proceso de ocurrir” (Norma SAE JA1011, 1999, p. 5).

2.3.10. Función

Se define como función a lo que cualquier bien debe de hacer en un contexto en específico y su enunciación debe consistir de un verbo, un objeto y del nivel de desempeño deseado (Moubray, 2004, p. 23).

2.3.11. Función primaria

“La función que constituye la razón principal por las que el activo físico o sistema es adquirido por su dueño o usuario” (Norma SAE JA1011, 1999, p. 5).

2.3.12. Función secundaria

“Las funciones que un activo físico o sistema tiene que cumplir a parte de su función primaria, tales como aquellas que se necesitan para cumplir

con los requerimientos regulatorios y aquellas a las cuales conciernen los problemas de protección, control, contención, confort, apariencia, eficiencia de energía e integridad estructural” (Norma SAE JA1011, 1999, p. 5).

2.3.13. Modo de falla

“Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que causa que un bien (sistema o proceso) puedan fallar” (Moubray, 2004, p. 53).

2.3.14. Restauración programada

“Una tarea programada que restaura la capacidad de un elemento en o antes de un intervalo especificado (límite de longevidad), sin tener en cuenta su condición en el momento, a un nivel que proporciona una probabilidad tolerable de supervivencia hasta el final de otro intervalo especificado” (Norma SAE JA1011, 1999, p. 5).

2.3.15. Tarea apropiada

“Una tarea que es técnicamente factible y al mismo tiempo vale la pena realizar (aplicable y efectiva)” (Norma SAE JA1011, 1999, p. 5).

2.3.16. Tarea basada en condición

“Una tarea programada usada para detectar un potencial de falla” (Norma SAE JA1011, 1999, p. 6).

CAPÍTULO III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Si se diseña un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad para los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín, se mejorará su disponibilidad.

3.1.2. Hipótesis específicas

H1: Si se elabora un esquema general de los sistemas y componentes principales de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza se establecerá sus funciones principales y secundarias.

H2: Si se elabora un esquema estadístico de modos de falla de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza se determinará los indicadores de mantenimiento MTBF, MTTR y disponibilidad.

H3: Si se elaboran los análisis de AMEF y de Criticidad se identificarán y jerarquizarán las fallas y sus efectos en los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza.

H4: Si se elabora la hoja de decisión del RCM se seleccionarán las tareas de mantenimiento preventivo de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza.

3.2. Definición de variables

3.2.1. Variable independiente

Variable independiente: Plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad.

Se define como plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad al conjunto de actividades preventivas rutinarias basadas y/o elaboradas con la metodología de la confiabilidad que tiene como objetivo que los activos puedan desempeñar la función requerida durante un periodo de tiempo establecido y bajo condiciones de trabajo determinadas.

3.2.2. Variable dependiente

Variable dependiente: Disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo.

Se define como disponibilidad de un equipo pesado a la medida que nos indica que porcentaje del tiempo total está disponible el activo para cumplir a cabalidad con la función para la cual fue destinado.

3.3. Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores
Plan de mantenimiento preventivo centrado en Confiabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> - Tareas de mantenimiento preventivo - Frecuencias de intervenciones de mantenimiento preventivo 	- Hoja de decisión del RCM
Disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo.	- Confiabilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo.	- MTBF
	- Mantenibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo.	- MTTR

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo y diseño de la investigación

Para Ciro (2010, p. 75), “existen dos tipos de investigación: la investigación básica y la investigación tecnológica”.

Para Ciro (2010, p. 76), La “investigación tecnológica tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que benefician a la sociedad”.

La presente tesis es del tipo de investigación tecnológica, porque se utilizará los conocimientos de la teoría del mantenimiento centrado en confiabilidad, a fin de aplicarlos en la gestión actual de mantenimiento de los equipos pesados de carguío y acarreo de una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín, para mejorar su disponibilidad.

Así mismo, el diseño de esta investigación es del tipo no experimental porque se realizó sin manipular deliberadamente las variables, es decir no se hizo variar en forma intencional las variables independientes para observar sus efectos sobre las variables dependientes (Hernández, 2014, p. 152).

4.1.1. Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño son los siguientes:

a) Hoja de decisión del RCM

Este parámetro fue establecido con la metodología del Diagrama de decisión del RCM (Ver Gráfico N° 4.19).

b) Tiempo medio entre fallos (MTBF)

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Numero de fallas}}$$

c) Tiempo medio para reparar (MTTR)

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Numero de fallas}}$$

4.1.2. Etapas del diseño

Las etapas del diseño de la investigación son las siguientes:

- a) Análisis y estudio de las condiciones actuales del área de mantenimiento de maquinaria pesada y de la gestión de mantenimiento.
- b) Recopilación de información técnica del objeto de estudio.
- c) Apertura de carpetas de hoja de vida e historial de mantenimientos y reparaciones.
- d) Elaboración de un esquema general de los sistemas y componentes principales de los equipos pesados de carguío y acarreo definiendo sus funciones principales y secundarias.
- e) Elaboración de un esquema estadístico de modos de falla para determinar los indicadores de mantenimiento MTBF, MTTR y disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo.
- f) Elaboración de los análisis de AMEF y de criticidad en los equipos pesados de carguío y acarreo.

g) Selección de las tareas de mantenimiento preventivo en función de los modos de falla críticos de los equipos pesados de carguío y acarreo.

h) Elaboración del programa de mantenimiento preventivo para los equipos pesados de carguío y acarreo.

4.2. Población y muestra

4.2.1. Población

Para Toledo (2016, p. 4), la “población de una investigación está compuesta por todos los elementos (personas, objetos, organismos, historias clínicas) que participan del fenómeno que fue definido y delimitado en el análisis del problema de investigación”.

En esta investigación la población está constituida por los equipos pesados de carguío y acarreo de una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín, los cuales son: Un Tractor oruga Caterpillar de modelo D8T, un cargador frontal SEM de modelo 659C y un cargador frontal Caterpillar de modelo 966H.

4.2.2. Muestra

Para Toledo (2016, p. 6), la “muestra puede ser definida como un subgrupo de la población o universo”.

Para Castro (2003), si la "población es menor a cincuenta (50) individuos, la población es igual a la muestra" (p. 69).

En esta investigación la muestra se encuentra constituida por el 100% de la población por ser un número finito y manejable. La cual es detallada a continuación: Un Tractor oruga Caterpillar de modelo D8T, un cargador

frontal SEM de modelo 659C y un cargador frontal Caterpillar de modelo 966H.

4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de la información documental

4.3.1. Técnicas de recolección de la información documental

El desarrollo de esta investigación ameritó la recolección de data e información referente a los equipos pesados de carguío y acarreo que operan en una cantera de caliza del distrito de Marcapomacocha, siendo las técnicas empleadas para dicha recolección de información las mencionadas a continuación:

a) Observación no experimental

Esta técnica fue utilizada para profundizar en el conocimiento del comportamiento en el desarrollo de determinados eventos sujetos a la investigación.

b) Análisis de modos y efectos de fallas

Este análisis permitió identificar las fallas en los equipos pesados de carguío y acarreo, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para de esta forma, evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención.

c) Análisis de criticidad

Este análisis fue utilizado por ser de vital importancia al momento de establecer jerarquías entre los equipos y sus elementos. Permitiendo tomar decisiones más acertadas y direccionar los recursos a los equipos

donde es necesario e importante mejorar la confiabilidad y administrar el riesgo.

d) Análisis documental

Se recolectó datos de las variables en estudio de fuentes secundarias como libros, manuales y revistas, con el fin de adoptar tendencias que permitieron el desarrollo en temas de gestión de mantenimiento de los equipos pesados de carguío y acarreo.

4.3.2. Instrumentos de recolección de la información documental

Para esta investigación se utilizó como instrumento para la recolección de datos a los horómetros, los cuales son dispositivos que registran el número de horas que tiene de funcionamiento un equipo o motor y que generalmente son utilizados para controlar las intervenciones de mantenimiento preventivo en los equipos móviles.

4.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información de campo

En el presente trabajo no se hizo necesario aplicar técnicas ni el uso de instrumentos para la recolección de información de campo, debido a que ya se contaba con toda la información documentada en los formatos del área de mantenimiento.

4.5. Análisis y procesamiento de datos

4.5.1. Estado actual del mantenimiento de los equipos pesados

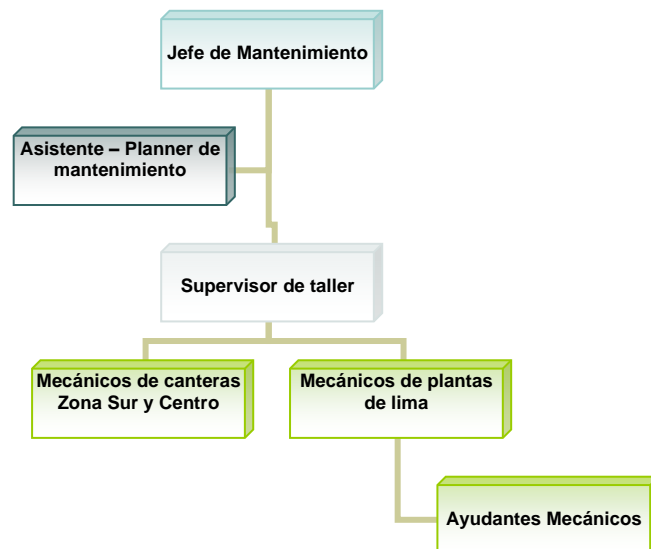
El mantenimiento de los equipos pesados que operan en la cantera de caliza del distrito de Marcapomacocha está a cargo del área de

mantenimiento de maquinaria pesada de la empresa minera dueña de dicha cantera. Es importante mencionar que esta área fue creada hace 4 años como un proyecto piloto, debido a la necesidad de la empresa de minimizar costos, aumentar su productividad y de brindarle mantenimiento a la nueva flota de maquinaria pesada adquirida.

Debido a la falta de un plan de mantenimiento preventivo adecuado en estos equipos pesados las paradas imprevistas de los procesos productivos son cada vez más frecuentes, poniendo en aprietos al personal del área de mantenimiento que al no contar con una buena estrategia preventiva está aplicando en su mayoría actividades correctivas para solucionar estos problemas.

A continuación, se detalla cómo está constituida el área de mantenimiento de maquinaria pesada.

FIGURA N° 4.1
ORGANIGRAMA DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO



Fuente: Elaboración propia

a) Situación de los mantenimientos preventivos.

En la actualidad el mantenimiento preventivo no está dando buenos resultados, los equipos cada vez están fallando más frecuentemente y los problemas reportados son de cierta forma repetitivos.

La falta de implementación de tareas preventivas centradas en confiabilidad está originando las paradas imprevistas de los equipos y procesos productivos de la empresa.

b) Situación de los mantenimientos correctivos.

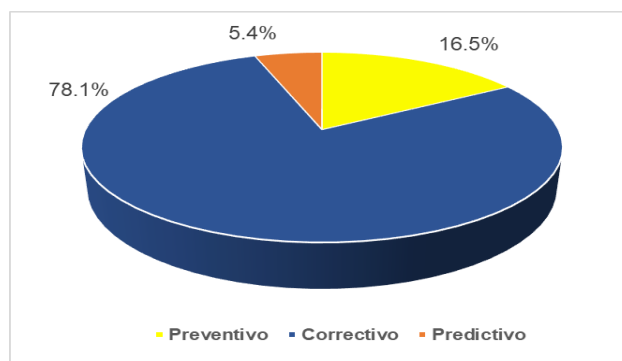
La cantidad de mantenimientos correctivos ejecutados cada vez van en aumento, esto es a raíz de no tener una buena planificación preventiva.

Los costos producidos por las averías se están incrementando cada vez más, la falta de tareas preventivas acertadas y buenas inspecciones están generando serios problemas a los equipos.

c) Situación del mantenimiento predictivo.

En la actualidad el mantenimiento predictivo representa un porcentaje mínimo del mantenimiento total de toda la flota de equipos pesados.

GRÁFICO N° 4.1
HORAS EN MANTENIMIENTOS DEL AÑO 2018



Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Equipos pesados de la cantera de Caliza – Marcapomacocha Junín

Los equipos pesados que operan en la cantera de caliza del distrito de Marcapomacocha están constituidos por 2 cargadores frontales y 1 tractor oruga, los cuales son descritos a mayor detalle a continuación:

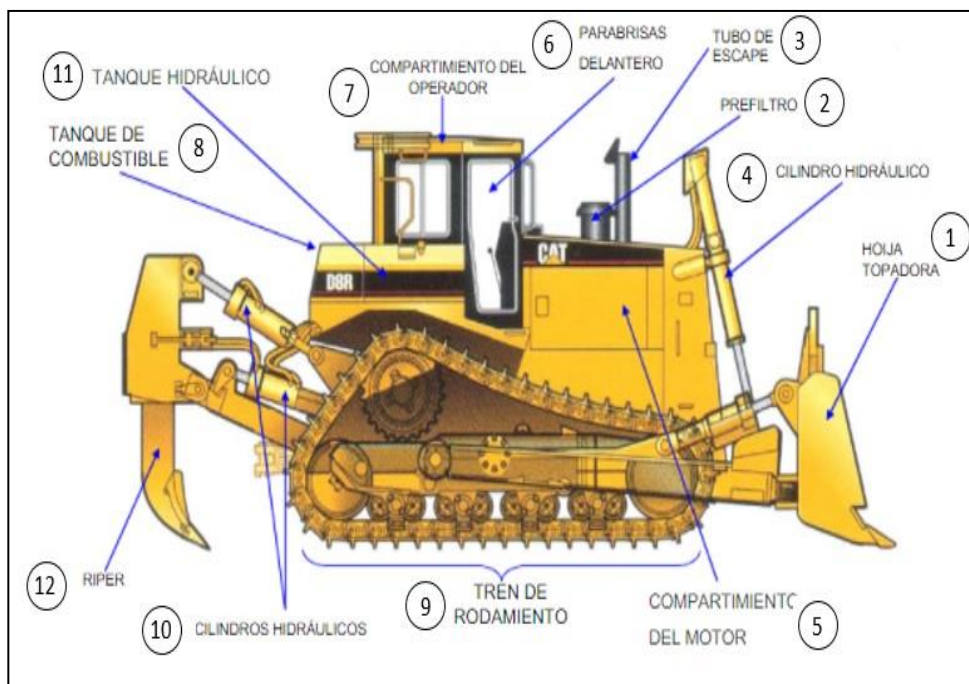
a) Tractor Oruga Caterpillar D8T.

➤ Descripción de uso

El tractor sobre orugas es un vehículo para la construcción y minería que se mueve sobre orugas en vez de ruedas, son usados para el acarreo y empuje del material, a la vez son usados para hacer caminos accesibles y seguros para el ingreso de los otros equipos pesados y livianos.

➤ Descripción de grupos constructivos

FIGURA N° 4.2
GRUPOS CONSTRUCTIVOS TRACTOR ORUGA



Fuente: Elaboración propia

Listado de partes - Tractor oruga Cat.	
N° de referencia	Descripción
1	Hoja topadora
2	Prefiltro
3	Tubo de escape
4	Cilindro Hidráulico
5	Compartimiento de motor
6	Parabrisas delantero
7	Compartimiento del operador
8	Tanque de combustible
9	Tren de rodamiento
10	Cilindro hidráulicos
11	Tanque hidráulico
12	Ripper

➤ Descripción de sistemas y partes

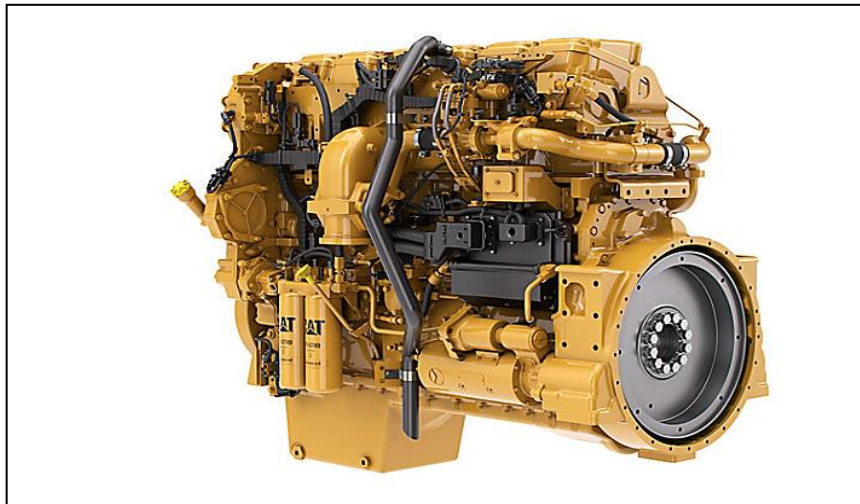
El D8T está construido sobre un resistente bastidor principal diseñado para absorber las altas cargas de impacto y las fuerzas de torsión. Un tren de rodaje totalmente suspendido proporciona más contacto con el suelo, especialmente en terrenos duros e irregulares. El diseño de rueda cabilla elevada ayuda a proteger los componentes principales contra fuertes impactos y proporciona un diseño modular que resulta conveniente para realizar las tareas de mantenimiento. El tirante estabilizador aproxima la hoja de empuje a la máquina para una mayor precisión, estabilidad lateral y fuerza de arranque constante.

- Motor

El tractor Caterpillar D8T es accionado por un motor Cat. C15 ACERT, el cual le otorga una gran potencia y fiabilidad al momento de realizar trabajos de altas exigencias, Además este motor genera un ahorro de

combustible y un uso eficiente del fluido de escape que proporciona un excelente nivel de eficiencia en el consumo de fluidos.

FIGURA N° 4.3
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CAT. C15 ACERT



Fuente: Ficha técnica de Tractor Oruga Cat. D8T

- Hoja topadora

La Hoja topadora es de acero de alta resistencia a la tracción con un sólido diseño de sección en caja para soportar las aplicaciones más difíciles.

FIGURA N° 4.4
HOJA TOPADORA DE TRACTOR ORUGA CAT. D8T



Fuente: Ficha técnica de Tractor Oruga Cat. D8T

- Tren de rodamientos

El tren de rodamientos de este equipo es perfecto para aplicaciones agresivas como limpiar terrenos, pendientes laterales o trabajos en terrenos rocosos o irregulares.

FIGURA N° 4.5
TREN DE RODAMIENTOS DE TRACTOR ORUGA CAT. D8T

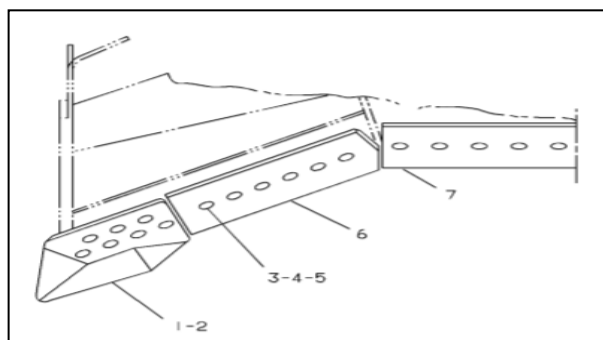


Fuente: Ficha técnica de Tractor Oruga Cat. D8T

- Herramientas de corte

Las cuchillas de ataque empernables endurecidas y las cantoneras añaden resistencia y durabilidad a la hoja topadora evitando su desgaste prematuro.

FIGURA N° 4.6
HERRAMIENTAS DE CORTE DE TRACTOR ORUGA CAT. D8T



Fuente: Manual de partes de Tractor Oruga Cat. D8T

➤ Datos técnicos

• Motor

Fabricante	Caterpillar
Modelo	C15 ACERT
Potencia total	259 kW
Potencia efectiva	231 kW
Calibre	137 mm
Carrera	172 mm
Cilindrada	15.2 l.

Nota: Las clasificaciones del motor se aplican a 1.850 rpm

• Tren de rodamientos

Área de contacto con el suelo	3.6 m ²
Tamaño de una zapata estándar	610 mm
Número de zapatas de un lado	44
Número de cojinetes a cada lado	8
Número de rodillos de apoyo a cada lado	1
Paso de cadena de la oruga	216 mm
Ancho de vía	2082

• Sistema Hidráulico

Tipo de bomba	De pistones, de caudal variable
Caudal de la bomba (dirección)	276 L/min
Caudal de la bomba (accesorio)	226 L/min
Caudal del extremo de la varilla del cilindro de inclinación	130 L/min
Caudal del extremo de la cabeza del cilindro de inclinación	170 L/min
Ajuste de la válvula de alivio de la hoja topadora	24.100 kPa
Ajuste de la válvula de alivio del cilindro de inclinación	24.100 kPa
Ajuste de la válvula de alivio del desgarrador (levantamiento)	24.100 kPa
Ajuste de la válvula de alivio del desgarrador (inclinación vertical)	24.100 kPa
Dirección	39.200 kPa

Nota:

- Caudal de la bomba de dirección medido a 2364 rev/min (velocidad de la bomba) y 30 000 kPa.

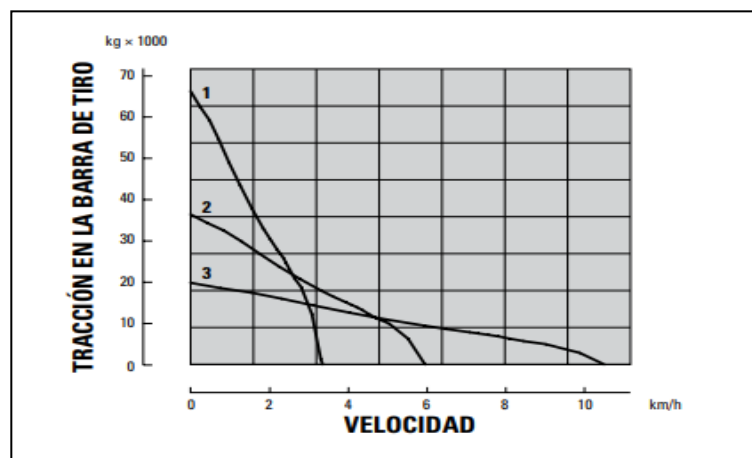
- Caudal de la bomba de implemento medida a 1900 rev/min y 6895 kPa.

Las válvulas piloto electrohidráulicas ayudan a manejar los mandos del ripper y la hoja de empuje. Un sistema hidráulico estándar incluye cuatro válvulas.

- Sistema Transmisión

Tipo de transmisión	Transmisión hidrostática
Número de marchas adelante	3
Número de marchas atrás	3
Velocidad máxima hacia adelante	10.6 km/h
Velocidad máxima marcha atrás	14.2 km/h
Tracción en la barra de tiro	
1era marcha adelante	661,1 kN
2da marcha adelante	363,1 kN
3era marcha adelante	197,5 kN

GRÁFICO N° 4.2
GRAFICA DE TRACCIÓN EN LA BARRA DE TIRO VS VELOCIDAD



Fuente: Ficha técnica de Tractor Oruga Cat. D8T

- Pesos

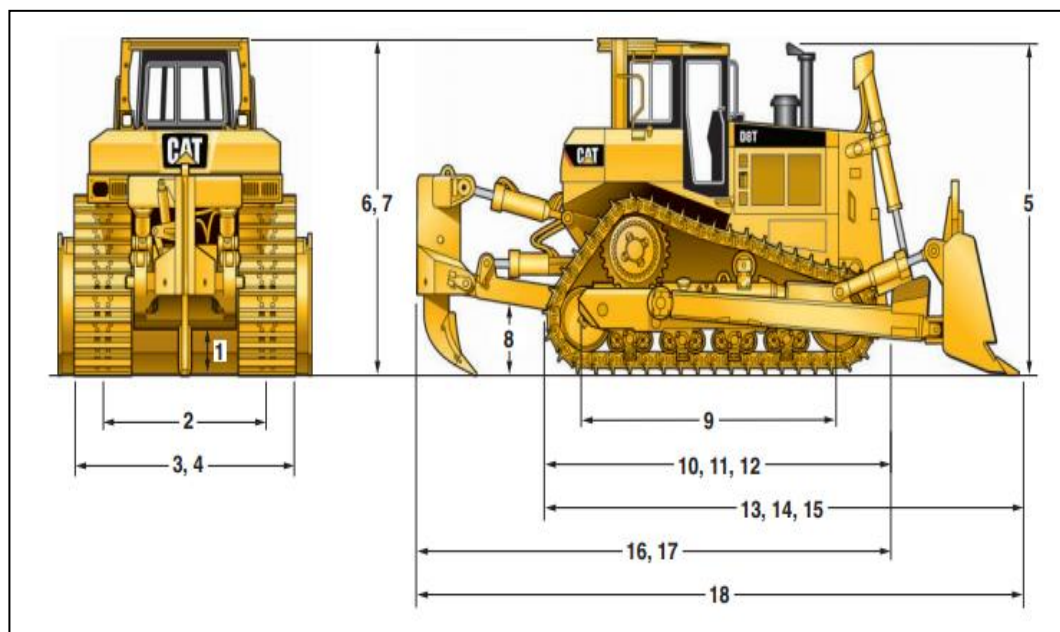
Peso en orden de trabajo	38.488 kg
Peso de envío	29.553 kg

- Explotación

Volumen de aceite del motor	38 l.
Volumen del fluido del sistema hidráulico	75 l.
Volumen del fluido de la unidad de potencia	155 l.
Volumen del fluido de la última marcha	12.5 l.
Tensión de funcionamiento	24 V
Amperaje del generador	100 Amper.
Peso útil	39795 kg
Volumen de combustible	643 l.
Volumen del fluido del sistema refrigerante	77 l.

- Dimensiones

FIGURA N° 4.7
DIMENSIONES DE TRACTOR ORUGA CAT. D8T



Fuente: Ficha técnica de Tractor Oruga Cat. D8T

Descripción	Dimensión	N° referencia
Espacio libre sobre el suelo	618 mm	1
Entrevía	2,08 m	2
Ancho sin muñones (zapata estándar)	2.642 mm	3
Ancho sobre los muñones	3.057 mm	4
Altura (hasta el tubo de escape vertical)	3.448 mm	5
Altura (cabina FOPS)	3.456 mm	6
Altura (ROPS / techo)	3.461 mm	7
Altura de la barra de tiro (centro de la horquilla)	708 mm	8
Longitud de la cadena sobre el terreno	3.207 mm	9
Longitud total del tractor básico	4.641 mm	10
Longitud del tractor básico con barra de tiro	4.998 mm	11
Longitud del tractor básico con cabrestante	5.275 mm	12
Longitud con hoja SU	6.091 mm	13
Longitud con hoja U	6.434 mm	14
Longitud con hoja A	6.278 mm	15
Longitud con desgarrador de un vástago	6.422 mm	16
Longitud con desgarrador de vástagos múltiples	6.344 mm	17
Longitud total (hoja SU/Desgarrador SS)	7.872 mm	18

Nota.

- La ROPS (estructura de protección contra vuelcos) ofrecida por Caterpillar para la máquina cumple con los criterios de la norma SAE J1040 MAY94, ISO 3471:1994.

- La FOPS (estructura de protección contra la caída de objetos) cumple con los criterios de la norma SAE J/ISO 3449 APR98 Nivel II e ISO 3449:1992 Nivel II.

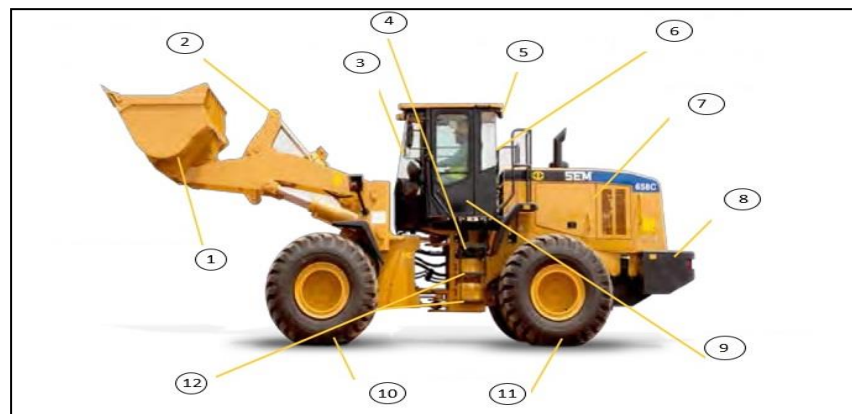
b) Cargador Frontal SEM 659C

➤ Descripción de uso

El cargador frontal SEM 659C es un equipo móvil sobre ruedas indispensable para realizar los trabajos de extracción de minerales en las canteras de la compañía, siendo participe en la selección de mineral, en la formación de rumas de mineral, en el carguío del desmorte, otros.

➤ Descripción de grupos constructivos

FIGURA N° 4.8
GRUPOS CONSTRUCTIVOS CARGADOR FRONTAL SEM 659C



Fuente: Elaboración propia

Listado de partes – Cargador Frontal SEM 659C	
Descripción	N° de referencia
Cucharón de 3m3 - 4.5 m3 de capacitación	1
Cilindro Hidráulico de inclinación	2
Parabrisas delantero	3
Centro de servicio del sistema de freno	4
Luces posteriores	5
Parabrisas posterior	6
Compuerta posterior	7
Contrapeso de gran volumen	8
Puerta de cabina de operador	9
Neumáticos delanteros	10
Neumáticos posteriores	11
Escalones de cabina de operador	12

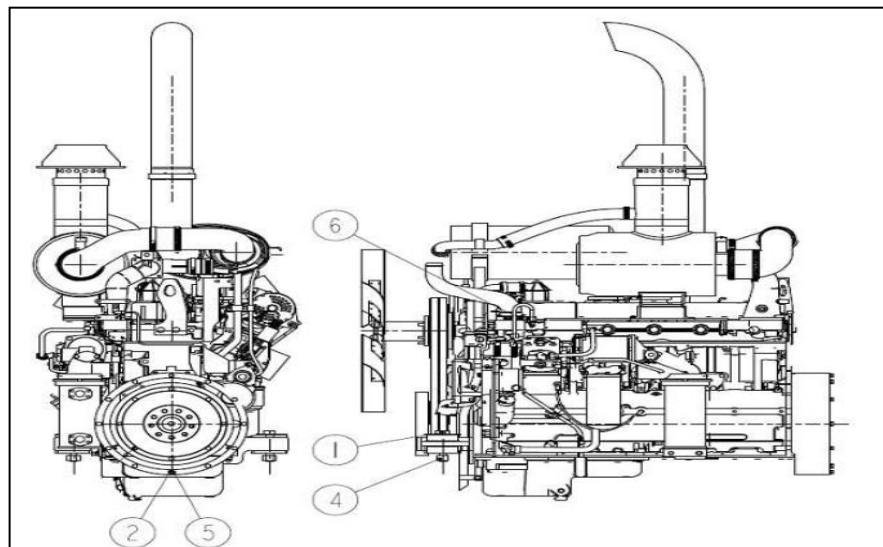
➤ Descripción de sistemas y partes

- Motor

El cargador frontal SEM 659C es accionado por un motor de combustión interna de tipo 3306B, el cual ofrece una gran eficiencia, confiabilidad, desempeño y calidad.

Este motor se basa en un sistema muy sencillo que trabaja en línea, enfriado por agua, siendo su combustión de 4 tiempos de inyección directa y turbo alimentado.

FIGURA N° 4.9
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 3306B



Fuente: Manual de partes de Cargador Frontal SEM 659C

- Transmisión

El cargador frontal SEM 659C posee una transmisión electrónica de marca SEM (Cat. Tech) con 4 marchas hacia adelante y 3 marchas hacia atrás. Su sistema de operación electrónico es muy sencillo, evitando con esto la fatiga del operador. Esta transmisión cuenta con sistema powersift

muy simple de operar. Está equipada con discos múltiples, accionada hidráulicamente. Convertidor de torque de etapa simple.

**FIGURA N° 4.10
TRANSMISIÓN SEM 659C**



Fuente: Ficha técnica de Cargador Frontal SEM 659C

- Sistema de frenos

El cargador frontal SEM 659C tiene un sistema de freno de disco en sus cuatro puntas de ejes asistidos hidráulicamente y accionados por aire para mayor precisión, con un pulmón por cada eje.

Este sistema se encuentra ubicado debajo de la plataforma izquierda de acceso a la máquina, centralizando de esta manera el sistema y facilitando el acceso al servicio de los mismos.

**FIGURA N° 4.11
SISTEMA DE FRENOS DE CARGADOR FRONTAL SEM 659C**

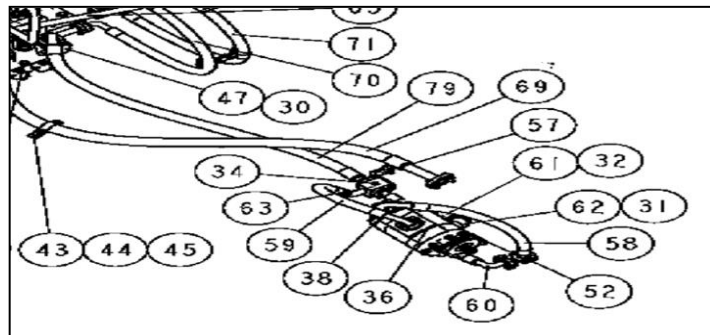


Fuente: Ficha técnica de Cargador Frontal SEM 659C

- Sistema hidráulico

El sistema hidráulico del cargador frontal SEM 659C posee una bomba de marca SEM de tres cuerpos de piñones. Estos sistemas hidráulicos están manejados mediante una válvula prioritaria de control piloto y de operación por Joystick. (Total presión hidráulica del sistema: 390 BAR / 39 MPA).

FIGURA N° 4.12
BOMBA HIDRÁULICA DE CARGADOR FRONTAL SEM 659C



Fuente: Manual de partes de Cargador Frontal SEM 659C

- Ruedas

El cargador frontal SEM 659C utiliza 04 ruedas neumáticas convencionales de 23.5 X 25 de medida.

FIGURA N° 4.13
RUEDAS DEL CARGADOR FRONTAL SEM 659C

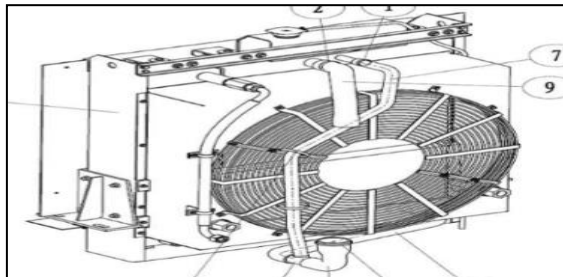


Fuente: Ficha técnica de Cargador Frontal SEM 659C

- Sistema de refrigeración

Este sistema fue diseñado para trabajar bajo condiciones severas, como son temperaturas extremadamente altas y ambientes sucios. La construcción del radiador es de aluminio-cobre soldado proporcionando una unión más fuerte para lograr una máxima durabilidad y resistencia a las fugas (Ángeles, 2015, p. 76).

FIGURA N° 4.14
RADIADOR DE CARGADOR FRONTAL SEM 659C

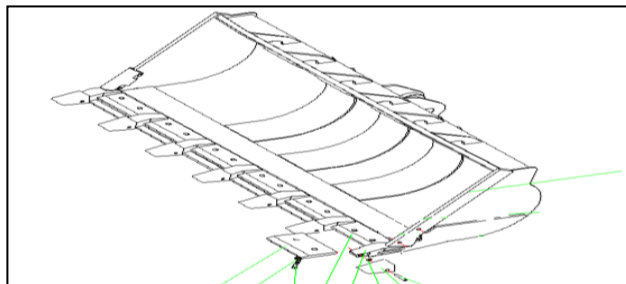


Fuente: Manual de partes de Cargador Frontal SEM 659C

- Cucharón para rocas

Este tipo de cucharón está diseñado para funcionar principalmente en las industrias mineras y de canteras, este cucharón está configurado con cuchillas empernables y uñas cambiables ofreciendo mayor fuerza de desprendimiento, mejor penetración y una excelente descarga.

FIGURA N° 4.15
CUCHARON DE CARGADOR FRONTAL SEM 659C



Fuente: Manual de partes de Cargador Frontal SEM 659C

➤ Datos técnicos

- Motor

Potencia bruta nominal	162 Kw
Tipo	3306B
Calibre	120.65 mm
Carrera	152.4 mm
Desplazamiento	10.4 5 L
Torque máximo	912 N/m

- Sistema de transmisión

Tipo	Contraeje Power Shift
Marcha adelante 1era	7.4 km/hr
Marcha adelante 2da	13.7 km/hr
Marcha adelante 3era	23.3 km/hr
Marcha adelante 4ta	36.5 km/hr
Marcha atrás 1era	7.4 km/hr
Marcha atrás 2da	13.7 km/hr
Marcha atrás 3era	23.3 km/hr

- Sistema hidráulico

Desplazamiento de la bomba: bomba de implemento	97 ml/rev
Presión del sistema	19 Mpa
Tiempos de ciclo hidráulico:	
Elevación	5.5 s
Inclinación	0.9 s
Más bajo (vacío, flotar hacia abajo)	3.8 s
Total	10.2 s

- Sistema de dirección

Ángulo de dirección izquierda / derecha	38°±1°
Radio de giro mínimo sobre el neumático trasero	5917 mm
Radio mínimo de giro sobre el cubo	6931 mm

- Sistema de frenos

Freno de servicio	Caliper, control aire – aceite
Freno de mano	Freno de zapata tipo tambor

- Neumático

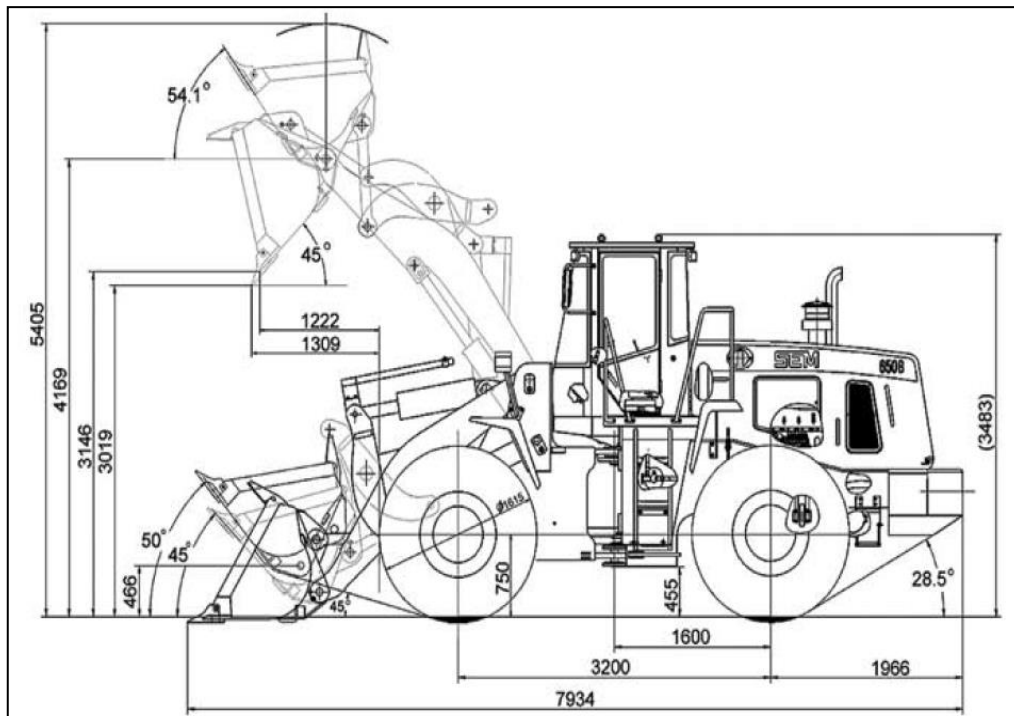
Medida	23.5 X 25
Tipo de textura	L3
Presión de aire (P1 y P2)	400 kPa
Presión de aire (P3 y P4)	350 kPa

- Especificaciones especiales

Especificaciones principales Capacidad de carga nominal	5000 kg
Peso operativo	17,000 kg
Capacidad del cucharón	2.7 - 4.5 m ³
Dimensiones generales L X W X H	8176X3068X3440 mm

- Dimensiones

FIGURA N° 4.16
DIMENSIONES DE CARGADOR FRONTAL SEM 659C



Fuente: Ficha técnica de Cargador Frontal SEM 659C

c) Cargador Frontal Caterpillar 966H

➤ Descripción de uso

El cargador frontal Cat. 966H es un equipo móvil sobre ruedas, que realiza las mismas funciones que su homologo descrito en el inciso anterior, a raíz de que este equipo es el de mayor capacidad de carga y potencia es utilizado esencialmente en el llenado de camiones con minerales.

➤ Descripción de grupos constructivos

FIGURA N° 4.17
GRUPOS CONSTRUCTIVOS CARGADOR FRONTAL CAT 966H



Fuente: Elaboración propia

Listado de partes – Cargador Frontal Cat. 966H	
Descripción	N° de referencia
Cucharón de carga	1
Cilindro de volteo	2
Cabina del operador	3
Ruedas delanteras	4
Escalera de cabina de operador	5
Ruedas posteriores	6
Tubo de escape	7
Radiador	8
Contrapeso posterior	9

➤ Descripción de sistemas y partes

- Motor

El cargador frontal Cat. 966H es accionado por un motor de combustión interna de modelo C11 ACERT, el cual es un motor regulado electrónicamente de 6 cilindros con una cilindrada de 11,1 litros. Se proporciona una inyección de combustible electrónica mediante el sistema de inyección accionado mecánicamente y controlado electrónicamente de Caterpillar (MEUI).

FIGURA N° 4.18
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CAT. C11 ACERT



Fuente: Ficha técnica de Cargador Frontal Cat. 966H

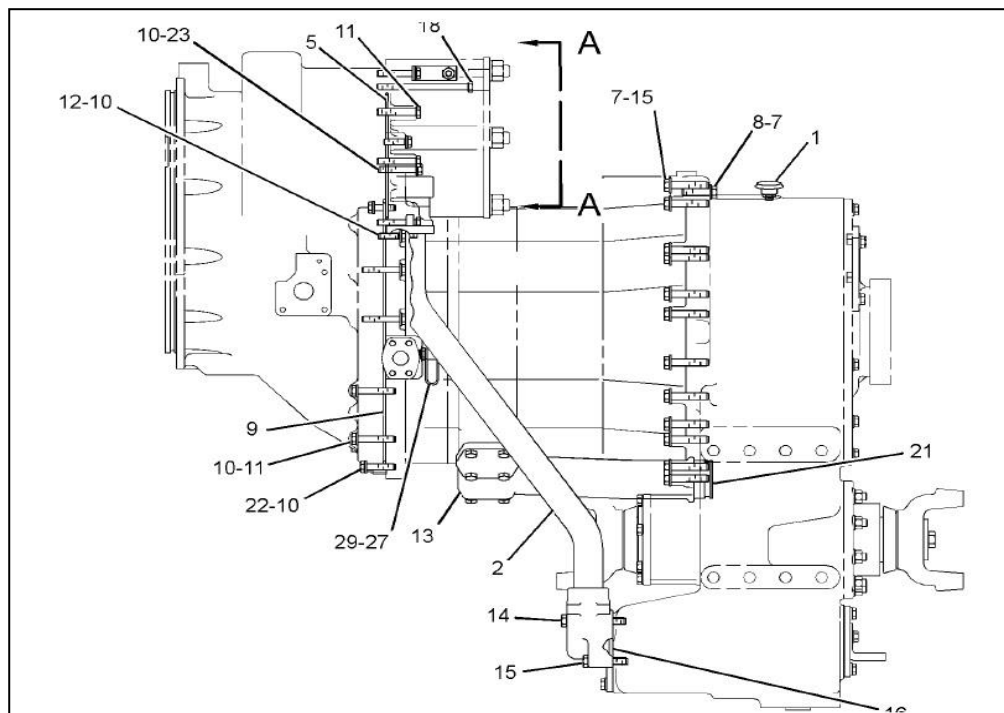
- Transmisión

“La servo transmisión planetaria electrónica con capacidad de cambios automáticos está diseñada y fabricada por Caterpillar. La velocidad altamente sensible de potencia máxima y los cambios de dirección proporcionan unos ciclos y una productividad excelentes” (Ángeles, 2015, p. 88).

- **Convertidor de Par con Estator de Giro Libre (FWSTC).**

El convertidor de par de estator de giro libre aumenta la eficiencia del tren de fuerza en las operaciones de carga y transporte, lo que contribuye a una mayor eficiencia del combustible de este equipo (Ángeles, 2015, p. 88).

**FIGURA N° 4.19
TRANSMISIÓN CAT 966H**

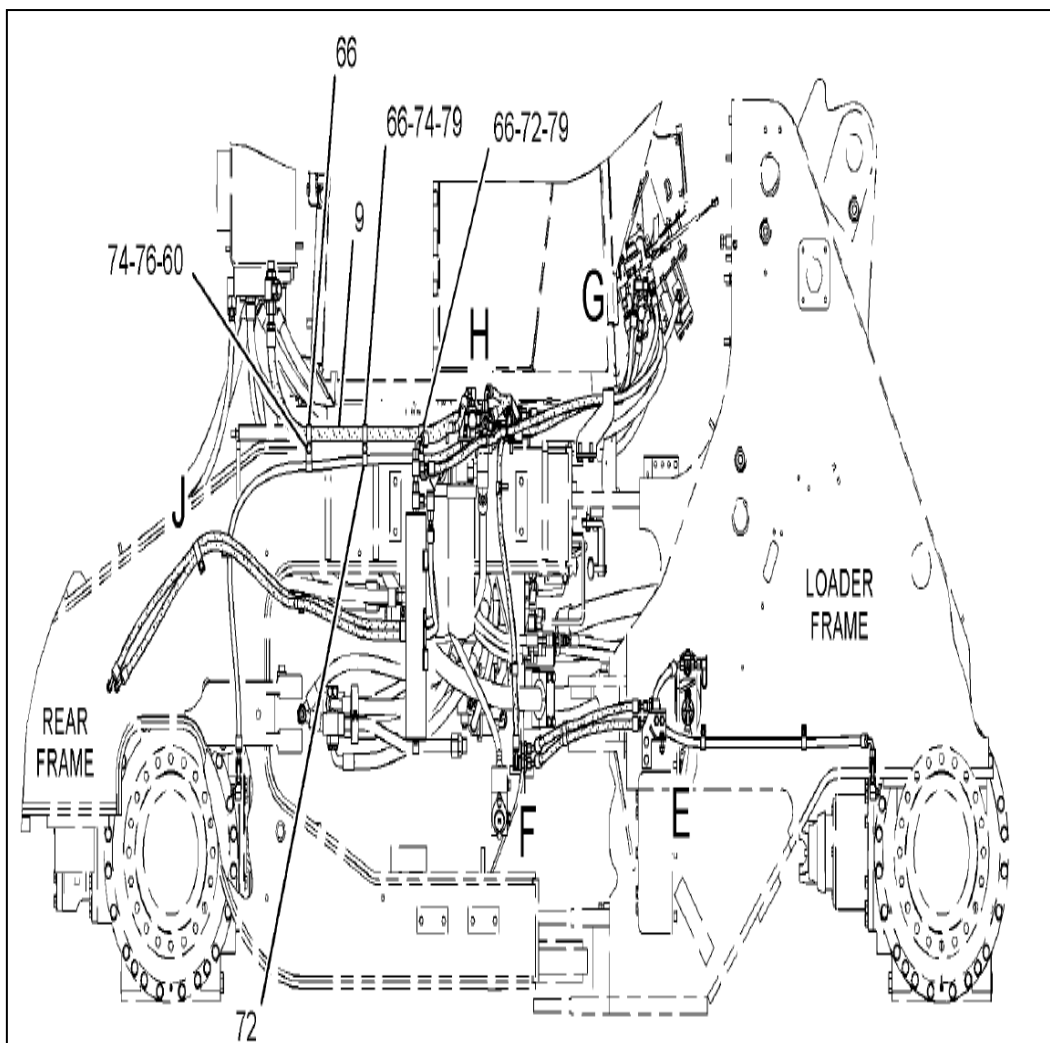


Fuente: Manual de partes de Cargador Frontal Cat. 966H

- Sistema de frenos Integrado

El Sistema de Frenado Integrado exclusivo de Caterpillar reduce las temperaturas del aceite de los ejes y aumenta la suavidad del neutralizador de la transmisión. El IBS tiene un impacto directo en la durabilidad de los ejes y frenos especialmente en aplicaciones en que haya recorrer largas distancias y efectuar frenados fuertes (Ángeles, 2015, p. 89).

FIGURA N° 4.20
SISTEMA DE FRENOS DE CARGADOR FRONTAL CAT 966H

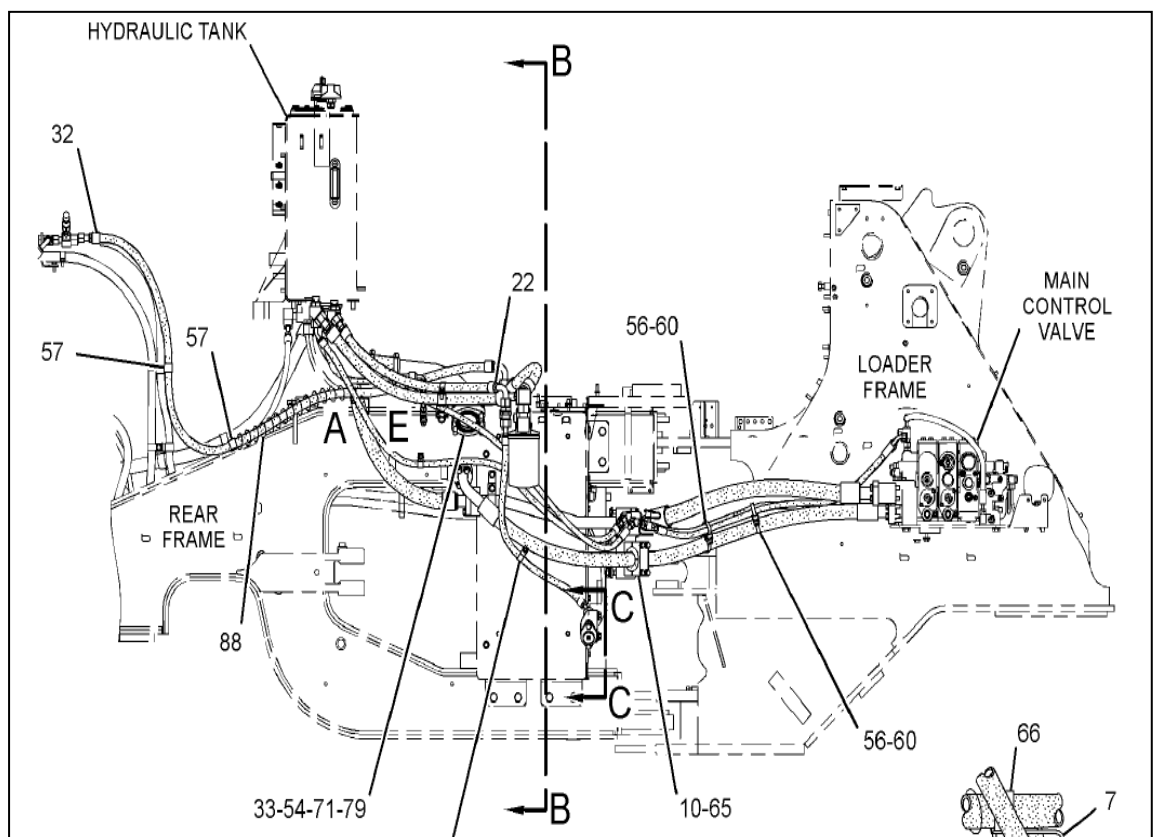


Fuente: Manual de partes de Cargador Frontal Cat. 966H

- Sistema hidráulico

El cargador frontal Cat. 966H tiene un sistema hidráulico de detección de carga que se ajusta automáticamente a las condiciones de operación para suministrar solamente el caudal hidráulico necesario por el accesorio a fin de mejorar la eficiencia del combustible (Ángeles, 2015, p. 90).

FIGURA N° 4.21
SISTEMA HIDRÁULICO DE CARGADOR FRONTAL CAT 966H



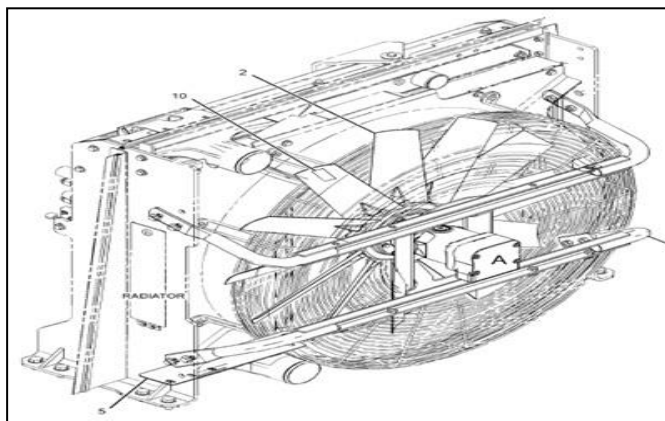
Fuente: Manual de partes de Cargador Frontal Cat. 966H

- Sistema de refrigeración

El sistema de enfriamiento del cargador frontal Cat. 966H está aislado del compartimento del motor por medio de un protector no metálico. El ventilador de velocidad variable accionado hidráulicamente extrae aire

limpio de la parte trasera de la máquina y lo expulsa por los lados y la parte superior del capó. Los resultados finales son una eficiencia de enfriamiento óptima, mayor eficiencia de combustible y menos obstrucciones del radiador (Ángeles, 2015, p. 91).

FIGURA N° 4.22
RADIADOR DE CARGADOR FRONTAL CAT 966H



Fuente: Manual de partes de Cargador Frontal Cat. 966H

- Ruedas

El cargador frontal Caterpillar 966H utiliza 04 ruedas neumáticas radiales de 26.5R X 25 de medida.

FIGURA N° 4.23
RUEDAS DEL CARGADOR FRONTAL CAT 966H



Fuente: Ficha técnica de Cargador Frontal Cat. 966H

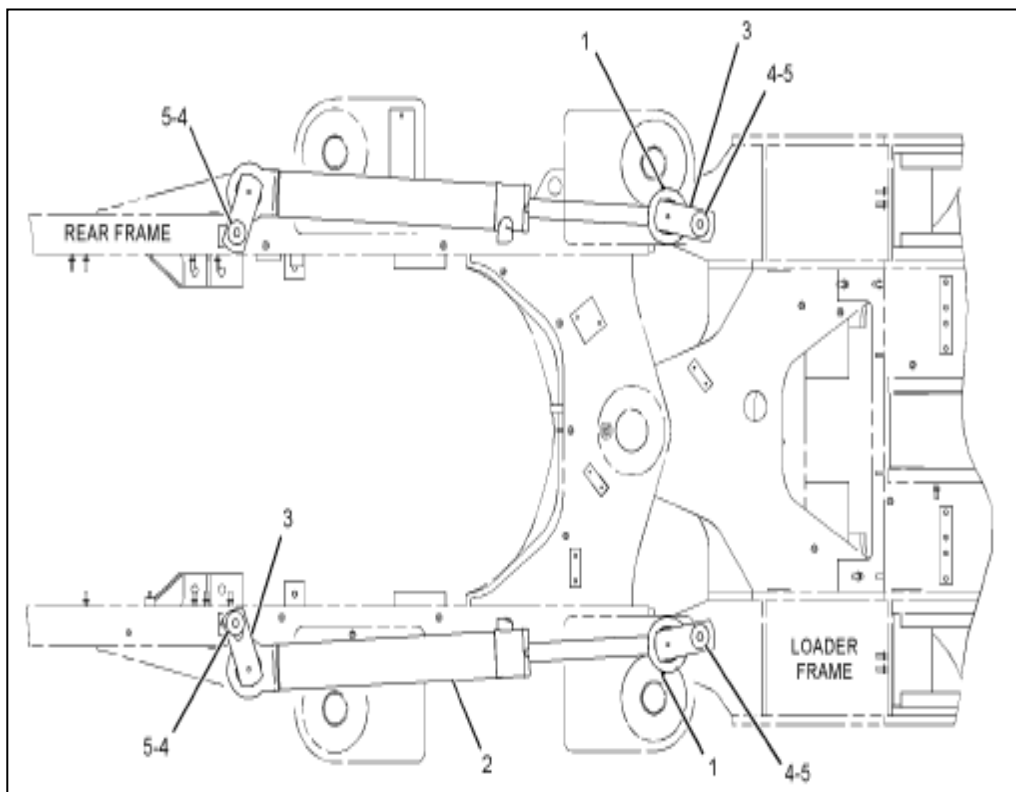
- Sistema de dirección

El cargador frontal Cat. 966H ofrece una opción de sistemas de dirección para dar flexibilidad a su aplicación.

- **Dirección convencional.** Esta configuración otorga un esquema de dirección accionada hidráulicamente con unidad de dosificación manual que requiere poco esfuerzo.

- **Dirección Command Control.** La dirección Command Control es un sistema de detección de carga que conecta el volante con las posiciones en ángulo del bastidor para proporcionar la cantidad correcta de control de la dirección.

FIGURA N° 4.24
SISTEMA DE DIRECCIÓN DEL CARGADOR FRONTAL CAT 966H

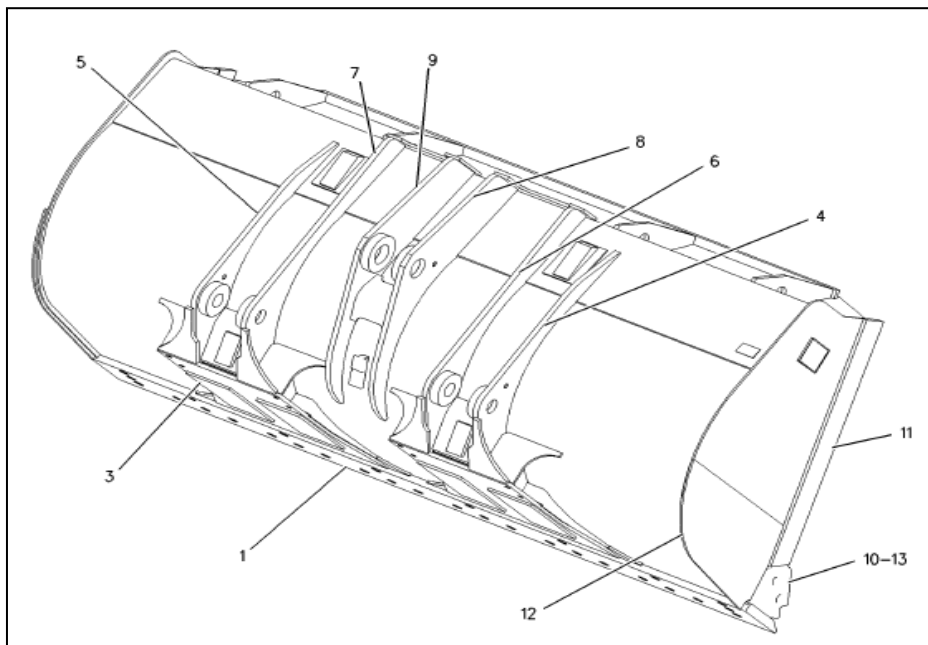


Fuente: Manual de partes de Cargador Frontal Cat. 966H

- Cucharon

Los cucharones para roca están diseñados para cargadores frontales que realicen trabajos agresivos en minería o canteras. Así mismo ofrecen menos tiempo de excavación, factores de llenado superiores y mayor retención de material para incrementar la productividad y reducir el consumo de combustible.

FIGURA N° 4.25
CUCHARON DEL CARGADOR FRONTAL CAT 966H



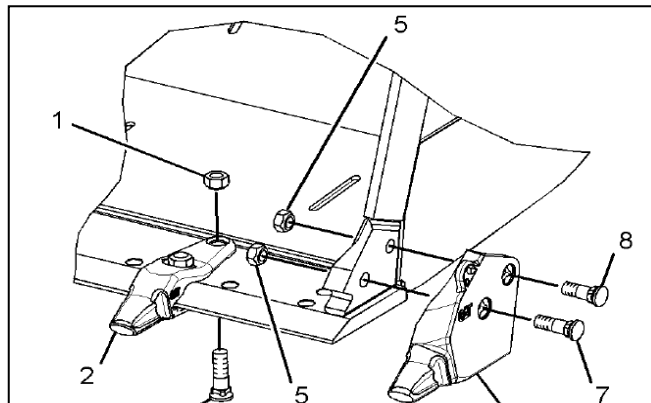
Fuente: Manual de partes de Cargador Frontal Cat. 966H

- Herramientas de corte

El cargador frontal Cat. 966H cuenta con herramientas de corte como lo son el adaptador de esquina hecho de fundición en el diseño de los cucharones que permite colocar un diente en la esquina del extremo para proteger contra el desgaste de la base del cucharón, también se dispone

de cuchillas empernables reversibles y de puntas de fácil instalación que proporcionan una retención del diente muy segura (Ángeles, 2015, p. 95).

FIGURA N° 4.26
HERRAMIENTAS DE CORTE DEL CARGADOR FRONTAL CAT 966H

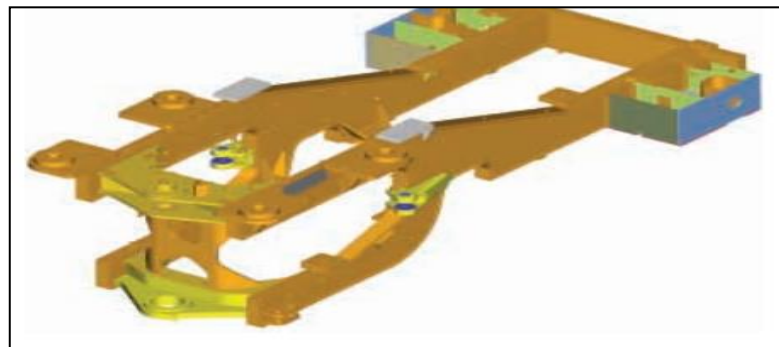


Fuente: Manual de partes de Cargador Frontal Cat. 966H

- Estructura bastidor

El bastidor del cargador frontal Cat. 966H dispone de un bastidor de motor duradero de sección en caja y una torre de cargador de cuatro placas rígidas soldadas con un robot. La soldadura con robot crea articulaciones del bastidor con soldaduras de penetración profunda en las placas y una fusión excelente (Ángeles, 2015, p. 96).

FIGURA N° 4.27
BASTIDOR DEL CARGADOR FRONTAL CAT 966H



Fuente: Ficha técnica de Cargador Frontal Cat. 966H

➤ Datos técnicos

- Motor

Aspiración	Turbo alimentación
Fabricante	Caterpillar
Modelo	C11 ACERT
Potencia efectiva	195 kW
Potencia total	213 kW
Potencia medida en	1800 RPM.
Cilindrada	11.1 l.
Momento de fuerza tomado en	1400 RPM.
Momento de fuerza máximo	1215 Nm
Número de cilindros	6
Margen del momento de fuerza	38%

- Sistema de transmisión

Tipo de transmisión	transmisión con cambio de fuerza de velocidades
Número de marchas adelante	4
Número de marchas atrás	4
Marcha adelante 1era	6,7 km/h
Marcha adelante 2da	12,6 km/h
Marcha adelante 3era	22,1 km/h
Marcha adelante 4ta	37.4 km/h
Marcha atrás 1era	7,4 km/h
Marcha atrás 2da	13,9 km/h
Marcha atrás 3era	24,3 km/h
Marcha atrás 4ta	37.4 km/h

- Cucharón

Capacidades del cucharón	3,40 a 4,60 m ³
Capacidad máxima del cucharón	5,06 m ³

- Sistema hidráulico

Tipo de bomba	bomba de pistón
Presión de la válvula de regulación	6900 kPa
Capacidad de la bomba	305 l/min
Tiempo de elevación	5.9 seg.
Tiempo de descarga	1.6 seg.
Tiempo de bajada	2.4 seg.

- Ejes

Delantero	Parte delantera fija
Trasero	Oscilante $\pm 13^\circ$
Subida y bajada máxima de una rueda	502 mm

- Explotación

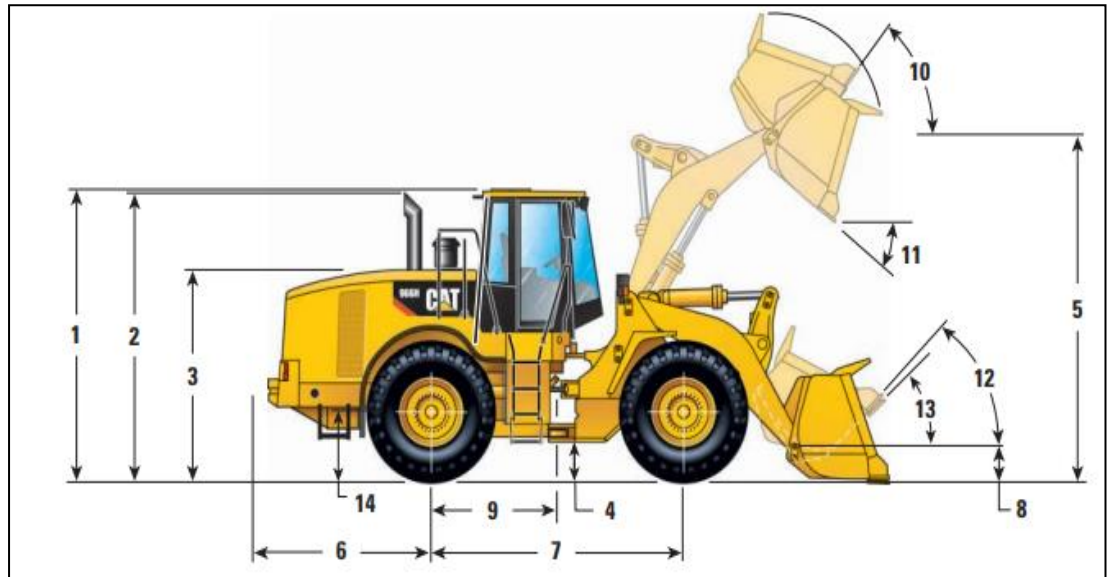
Peso útil	23698 kg
Volumen de combustible	380 l.
Volumen del fluido del sistema hidráulico	110 l.
Volumen de aceite del motor	35 l.
Volumen del fluido del sistema refrigerante	39 l.
Volumen del fluido del sistema de transmisión	44 l.
Volumen del fluido del eje delantero/diferencial	64 l.
Volumen del fluido del eje trasero/diferencial	64 l.
Peso límite de equilibrio estático	17394 kg
Radio de giro	7367 mm
Tensión de funcionamiento	24 V
Amperaje del generador	80 amperios
Balaceo del eje trasero	26 grados
Tamaño del neumático	26.5-25

- Frenos

Cumple con los estándares ISO 3450-2011

- Dimensiones

FIGURA N° 4.28
DIMENSIONES DE CARGADOR FRONTAL CAT 966H



Fuente: Ficha técnica de Cargador Frontal Cat. 966H

Descripción	Medida	N° referencia
Altura hasta la parte de arriba de la estructura ROPS	3.600 mm	1
Altura hasta la parte superior del tubo de escape	3.552 mm	2
Altura hasta la parte superior del capó	2.678 mm	3
Espacio libre sobre el suelo con neumáticos 26.5R25 L-4	496 mm	4
Altura del pasador del cucharón	4.224 mm	5
Desde la línea de centro del eje trasero hasta el contrapeso	2.461 mm	6
Distancia entre los ejes	3.450 mm	7
Altura del pasador del cucharón en transporte	507 mm	8
Desde la línea de centro del eje trasero hasta el enganche	1.725 mm	9
Inclinación hacia atrás a levantamiento máximo	60,8°	10
Ángulo de descarga a levantamiento máximo	45°	11
Inclinación del cucharón hacia atrás en transporte	47,4°	12
Inclinación del cucharón hacia atrás	41,8°	13
Distancia hasta la línea central del eje	815 mm	14

4.5.3. Análisis de modos de Falla y disponibilidad del Tractor Oruga D8T

**TABLA N° 4.1
FALLA FUNCIONAL Y MODOS DE FALLA DEL TRACTOR ORUGA
CAT D8T**

Código Func.	Función	Código FF	Falla Funcional	Código M.F.	Modo de Falla
1	1.- Acarreo de mineral extraído en las canteras formando rumas del mismo para facilitar las actividades de selección y de carguío de mineral.	10	1.- No se puede realizar el acarreo de mineral extraído en las canteras ni formar rumas del mismo lo cual retrasa las actividades de selección y de carguío de mineral.	101	Falla del Motor
				102	Falla del sistema hidráulico
				103	Falla del sistema de transmisión
				104	Falla del sistema de frenos
				105	Falla del sistema de dirección
				106	Falla del sistema de refrigeración
				107	Falla del sistema eléctrico
				108	Falla del sistema electrónico
				109	Falla del sistema de combustible
				117	Falla del tren de rodamientos
				110	Mantenimiento preventivo
				111	Falla de herramientas de desgaste/corte
				112	Falla del chasis (Estructura)
2	1.- Brindar ergonomía y seguridad al operador del equipo en todo trabajo a realizarse.	11	1.- No se puede operar el equipo por no ser una práctica ergonómica ni segura.	114	Falla en implementos
				115	Falla de operación
				116	Falla en la cabina del operador
				118	Falla en accesorios
				107	Falla del sistema eléctrico

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.2
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DEL TRACTOR ORUGA
CAT D8T

Código	Modos de Falla	Falla Totales	% Falla	Hora Hombre	% Hora Hombre
101	Falla del Motor	9	9.1%	49.1	4.5%
102	Falla del sistema hidráulico	22	22.2%	334.6	30.4%
103	Falla del sistema de transmisión	5	5.1%	39.7	3.6%
104	Falla del sistema de frenos	2	2.0%	17.0	1.5%
105	Falla del sistema de dirección	1	1.0%	5.0	0.5%
106	Falla del sistema de refrigeración	1	1.0%	5.0	0.5%
107	Falla del sistema eléctrico	3	3.0%	26.5	2.4%
108	Falla del sistema electrónico	2	2.0%	32.8	3.0%
109	Falla del sistema de combustible	2	2.0%	13.4	1.2%
117	Falla del tren de rodamientos	16	16.2%	275.3	25.0%
110	Mantenimiento preventivo	21	21.2%	134.0	12.2%
111	Falla de herramientas de desgaste/corte	3	3.0%	17.6	1.6%
112	Falla del chasis (Estructura)	2	2.0%	25.0	2.3%
114	Falla en implementos	4	4.0%	93.0	8.4%
118	Falla en accesorios	2	2.0%	15.0	1.4%
115	Falla de operación	1	1.0%	3.6	0.3%
116	Falla en la cabina del operador	3	3.0%	14.4	1.3%
Total:		99		1101.0	

Fuente: Elaboración propia

Entre el periodo del 1ero de Enero del 2016 al 31 de Mayo del 2018 este equipo operó 6,680.92 horas, registró 99 fallas y 1101 horas para reparar.

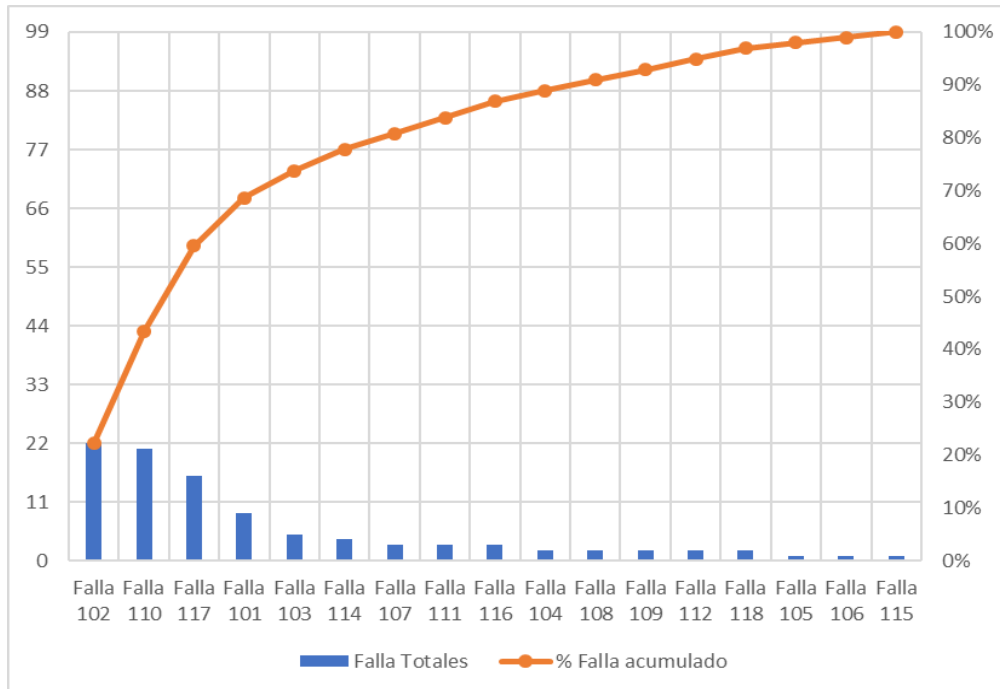
Con estos valores procedemos a calcular:

a) MTBF = 67.48 hr/falla

b) MTTR = 11.12 hr/falla

c) Disponibilidad = 85.85 % (Valor menor al 90% lo cual es exigido como mínimo por el titular minero para mantener el volumen de la producción esperada).

GRÁFICO N° 4.3
DIAGRAMA DE PARETO DE FALLAS DE TRACTOR ORUGA CAT D8T



Fuente: Elaboración propia

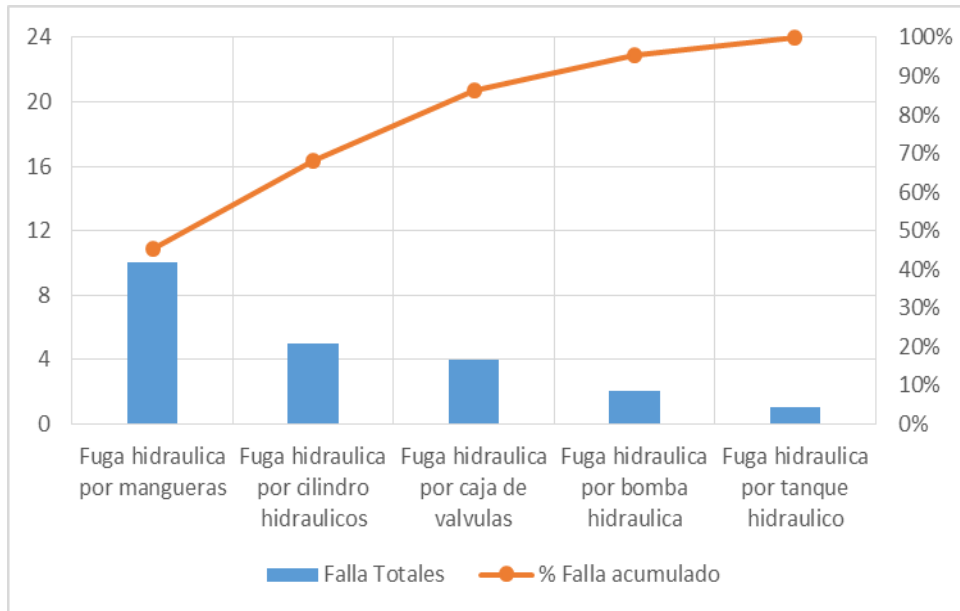
Debido a que en el sistema hidráulico del equipo existen varios y diferentes niveles de modos de falla, se hizo necesario realizar un análisis más profundo con la finalidad de obtener las causas de las fallas.

TABLA N° 4.3
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE TRACTOR ORUGA CAT D8T

Modo de Falla	Falla Totales	% Falla acumulado
Fuga hidráulica por mangueras	10	45%
Fuga hidráulica por cilindro hidráulicos	5	68%
Fuga hidráulica por bomba hidráulica	2	77%
Fuga hidráulica por caja de válvulas	4	95%
Fuga hidráulica por tanque hidráulico	1	100%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO N° 4.4
DIAGRAMA DE PARETO DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA
HIDRÁULICO DE TRACTOR ORUGA CAT D8T



Fuente: Elaboración propia

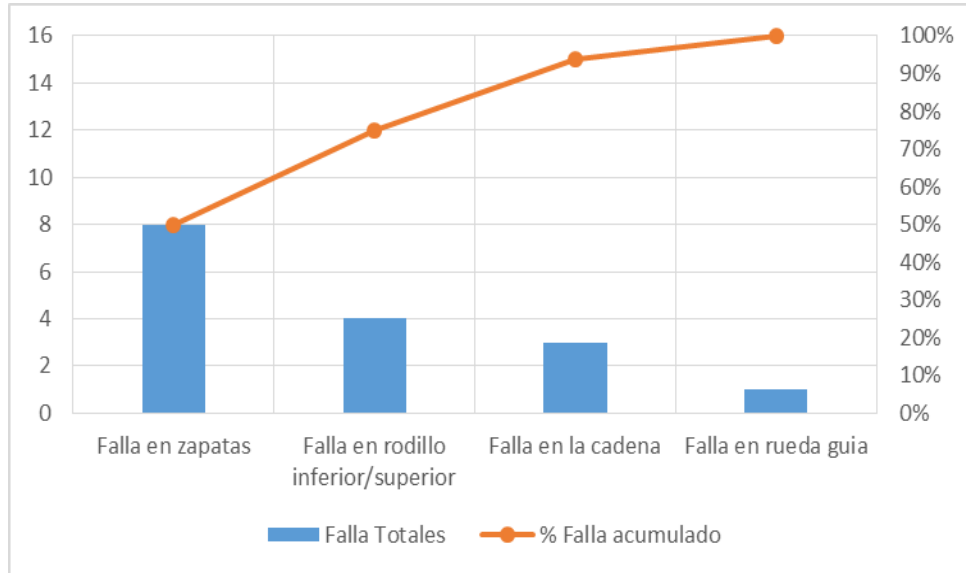
Así mismo, debido a que en el tren de rodamientos del equipo existen varios y diferentes niveles de modos de falla, se hizo necesario realizar un análisis más profundo.

TABLA N° 4.4
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DEL TREN DE RODAMIENTOS
DE TRACTOR ORUGA CAT D8T

Modo de Falla	Falla Totales	% Falla acumulado
Falla en zapatas	8	50%
Falla en rodillo inferior/superior	4	75%
Falla en la cadena	3	94%
Falla en rueda guía	1	100%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO N° 4.5
DIAGRAMA DE PARETO DE MODOS DE FALLA DEL TREN DE
RODAMIENTOS DE TRACTOR ORUGA CAT D8T



Fuente: Elaboración propia

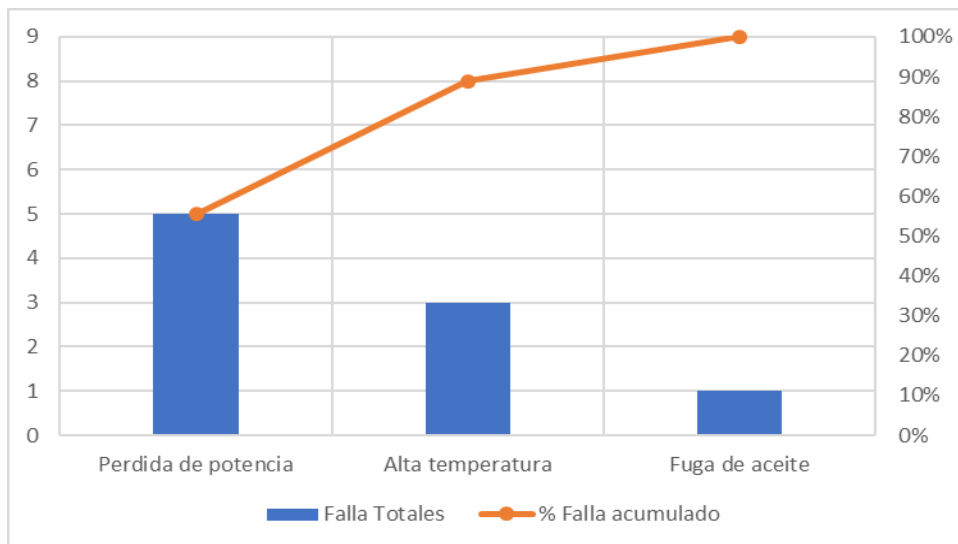
Así mismo, debido a que en el motor del equipo existen varios y diferentes niveles de modos de falla, se hizo necesario realizar un análisis más profundo.

TABLA N° 4.5
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DEL MOTOR DE TRACTOR
ORUGA CAT D8T

Modo de Falla	Falla Totales	% Falla acumulado
Perdida de potencia	5	56%
Alta temperatura	3	89%
Fuga de aceite	1	100%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO N° 4.6
DIAGRAMA DE PARETO DE MODOS DE FALLA DEL MOTOR DE
TRACTOR ORUGA CAT D8T



Fuente: Elaboración propia

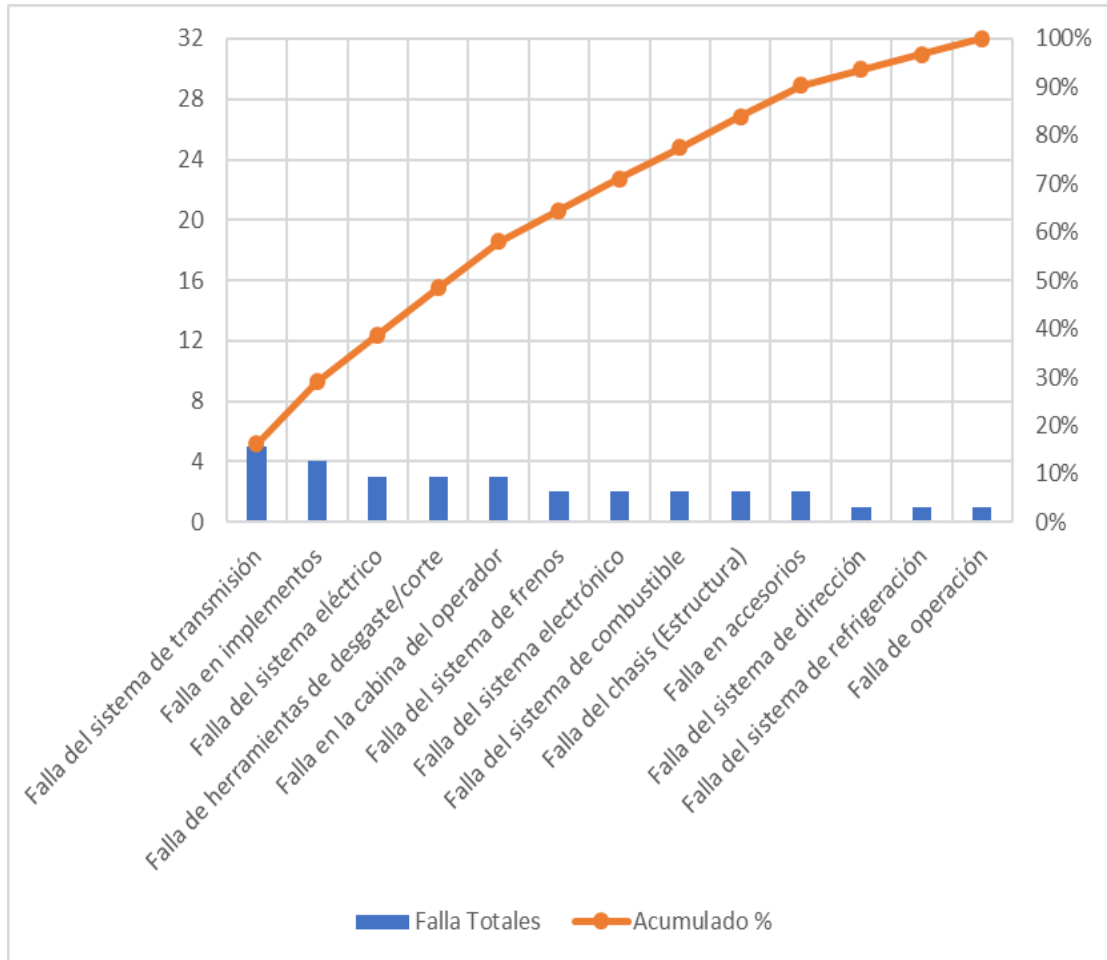
Debido a que los mantenimientos preventivos son paradas obligatorias de mantenimiento, se analizaron conjuntamente solo los otros 13 sistemas.

TABLA N° 4.6
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DE OTROS SISTEMAS DE
TRACTOR ORUGA CAT D8T

Modo de Falla	Falla Totales	Acumulado %
Falla del sistema de transmisión	5	16%
Falla en implementos	4	29%
Falla del sistema eléctrico	3	39%
Falla de herramientas de desgaste/corte	3	48%
Falla en la cabina del operador	3	58%
Falla del sistema de frenos	2	65%
Falla del sistema electrónico	2	71%
Falla del sistema de combustible	2	77%
Falla del chasis (Estructura)	2	84%
Falla en accesorios	2	90%
Falla del sistema de dirección	1	94%
Falla del sistema de refrigeración	1	97%
Falla de operación	1	100%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO N° 4.7
DIAGRAMA DE PARETO DE MODOS DE FALLA DE OTROS
SISTEMAS DE TRACTOR ORUGA CAT D8T



Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración y análisis de las funciones, fallas funcionales y modos de falla del Tractor Oruga Cat. D8T se definió inicialmente el grupo de trabajo del RCM, el cual estaba conformado por: El supervisor de operaciones Mina, el operador del equipo y el equipo de mantenimiento de maquinaria pesada.

4.5.4. Análisis de modos de Fallas y disponibilidad del Cargador F. 659C

TABLA N° 4.7
FALLA FUNCIONAL Y MODOS DE FALLA DE CARGADOR FRONTAL
SEM 659C

Código Func.	Función	Código FF	Falla Funcional	Código M.F.	Modo de Falla
1	1.- Seleccionar el mineral extraído en las canteras separándolo de otros minerales no adecuados para su posterior carguío en camiones.	12	1.- No se puede seleccionar el mineral extraído en las canteras ni separarlo de otros minerales no adecuados para su posterior carguío en camiones	101	Falla del motor
				102	Falla del sistema hidráulico
				103	Falla del sistema de transmisión
				104	Falla del sistema de frenos
				105	Falla del sistema de dirección
				106	Falla del sistema de refrigeración
				107	Falla del sistema eléctrico
				109	Falla del sistema de combustible
				110	Mantenimiento preventivo
				111	Falla de herramientas de desgaste/corte
				112	Falla del chasis (Estructura)
				113	Falla de neumáticos
				114	Falla de implementos
				115	Falla de operación
				2	1.- Brindar ergonomía y seguridad al operador del equipo en todo trabajo a realizarse.
118	Falla de accesorios				
107	Falla del sistema eléctrico				

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.8
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DEL CARGADOR F. SEM 659C

Código	Modos de Falla	Falla Totales	% Falla	Hora Hombre	% Hora Hombre
101	Falla del motor	4	3.8%	18.0	2.1%
102	Falla del sistema hidráulico	13	12.4%	151.7	17.5%
103	Falla del sistema de transmisión	20	19.0%	269.4	31.1%
104	Falla del sistema de frenos	10	9.5%	106.2	12.3%
105	Falla del sistema de dirección	4	3.8%	26.8	3.1%
106	Falla del sistema de refrigeración	2	1.9%	6.0	0.7%
107	Falla del sistema eléctrico	8	7.6%	21.4	2.5%
109	Falla del sistema de combustible	2	1.9%	11.1	1.3%
110	Mantenimiento preventivo	20	19.0%	129.0	14.9%
111	Falla de herramientas de desgaste/corte	5	4.8%	15.4	1.8%
112	Falla del chasis (Estructura)	2	1.9%	8.6	1.0%
113	Falla de neumáticos	7	6.7%	38.5	4.4%
114	Falla de implementos	2	1.9%	10.5	1.2%
118	Falla de accesorios	1	1.0%	11.5	1.3%
115	Falla de operación	2	1.9%	32.0	3.7%
116	Falla de cabina del operador	3	2.9%	10.1	1.2%
Total:		105		866.2	

Fuente: Elaboración propia

Entre el periodo del 1ero de Julio del 2016 al 31 de Mayo del 2018 este equipo operó 5,696 horas, registró 105 fallas y 866.2 horas para reparar.

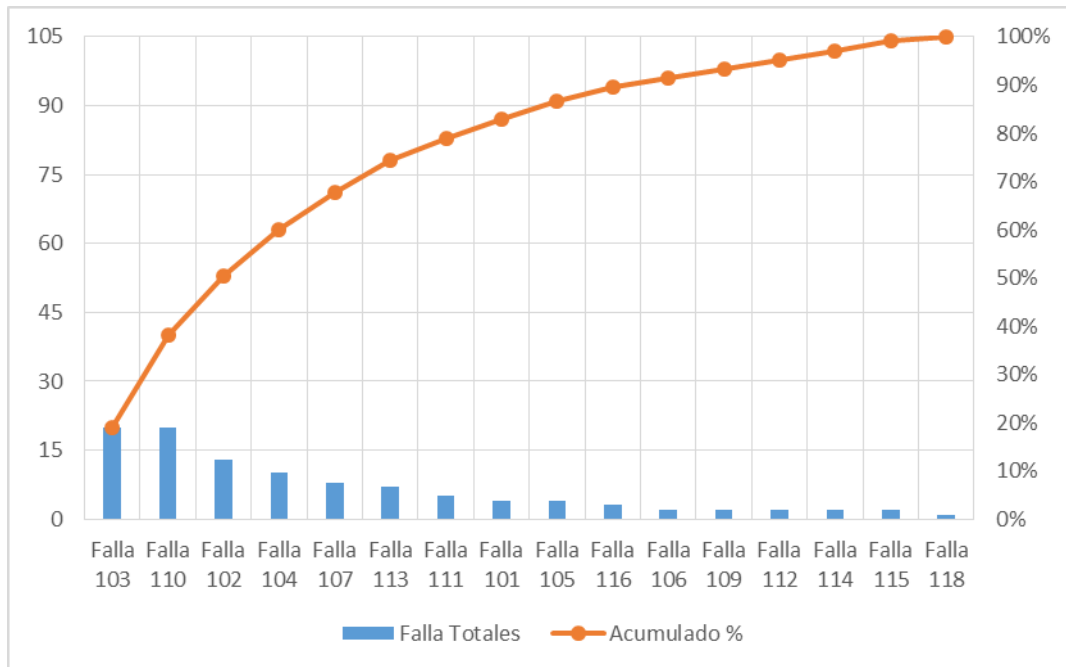
Con estos valores procedemos a calcular:

a) MTBF = 54.25 hr/falla

b) MTTR = 8.25 hr/falla

c) Disponibilidad = 86.80 % (Valor menor al 90% lo cual es exigido como mínimo por el titular minero para mantener el volumen de la producción esperada).

GRÁFICO N° 4.8
DIAGRAMA DE PARETO DE FALLAS DE CARGADOR FRONTAL
SEM 659C



Fuente: Elaboración propia

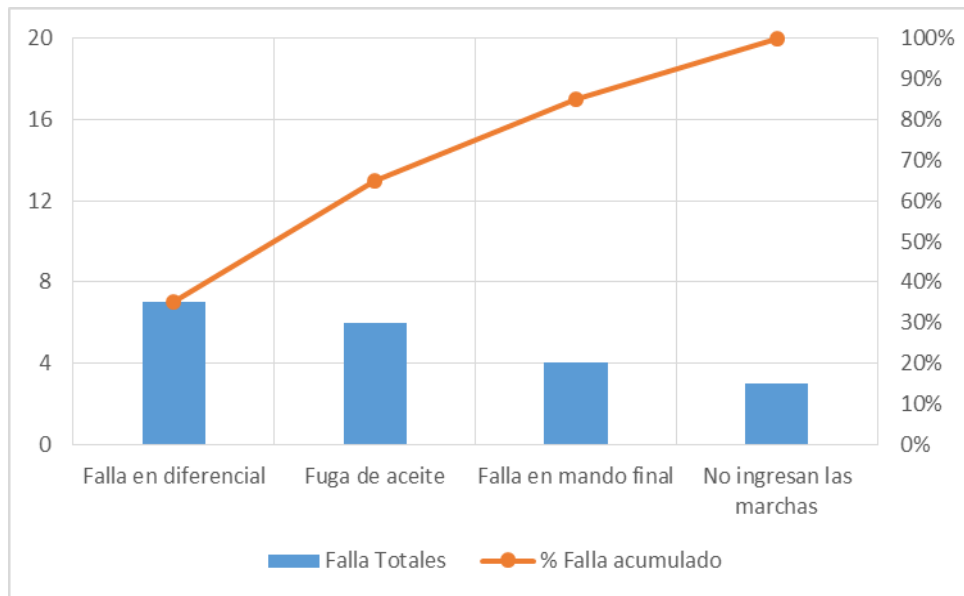
Debido a que en el sistema de transmisión del equipo existen varios y diferentes niveles de modos de falla, se hizo necesario realizar un análisis más profundo con la finalidad de obtener las causas de las fallas.

TABLA N° 4.9
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE
TRANSMISIÓN DE CARGADOR FRONTAL SEM 659C

Modo de Falla	Falla Totales	% Falla acumulado
Falla en diferencial	7	35%
Fuga de aceite	6	65%
Falla en mando final	4	85%
No ingresan las marchas	3	100%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO N° 4.9
DIAGRAMA DE PARETO DE MODOS DEL SISTEMA DE
TRANSMISIÓN DE CARGADOR FRONTAL SEM 659C



Fuente: Elaboración propia

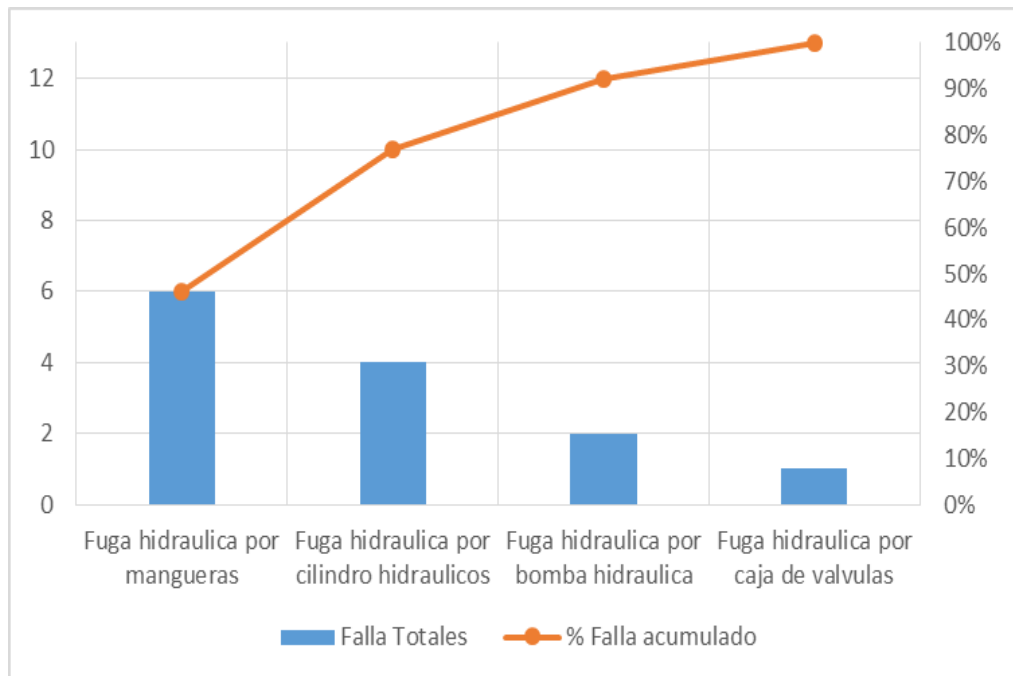
Así mismo, debido a que en el sistema hidráulico del equipo existen varios y diferentes niveles de modos de falla, se hizo necesario realizar un análisis más profundo.

TABLA N° 4.10
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA HIDRÁULICO
DE CARGADOR FRONTAL SEM 659C

Modo de Falla	Falla Totales	% Falla acumulado
Fuga hidráulica por mangueras	6	46%
Fuga hidráulica por cilindro hidráulicos	4	77%
Fuga hidráulica por bomba hidráulica	2	92%
Fuga hidráulica por caja de válvulas	1	100%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO N° 4.10
DIAGRAMA DE PARETO DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA
HIDRÁULICO DE CARGADOR FRONTAL SEM 659C



Fuente: Elaboración propia

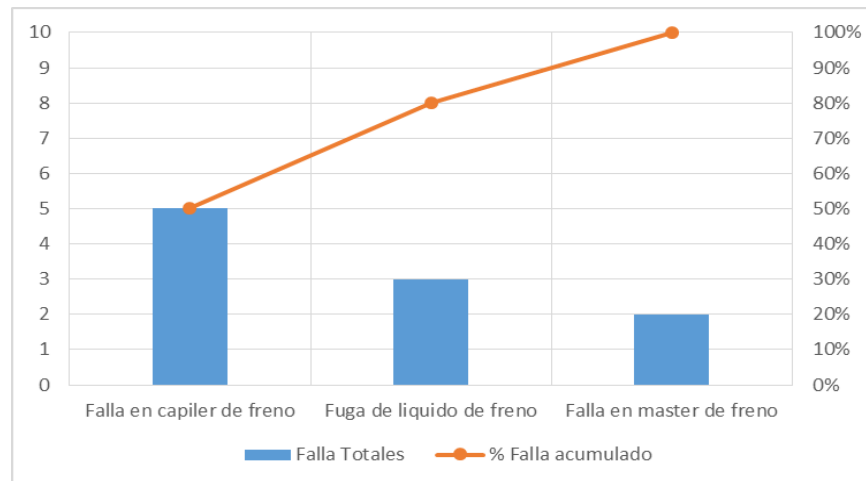
Así mismo, debido a que en el sistema de frenos del equipo existen varios y diferentes niveles de modos de falla, se hizo necesario realizar un análisis más profundo.

TABLA N° 4.11
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE FRENOS DE
CARGADOR FRONTAL SEM 659C

Modo de Falla	Falla Totales	% Falla acumulado
Falla en caliper de freno	5	50%
Fuga de líquido de freno	3	80%
Falla en master de freno	2	100%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO N° 4.11
DIAGRAMA DE PARETO DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE FRENOS DE CARGADOR FRONTAL SEM 659C



Fuente: Elaboración propia

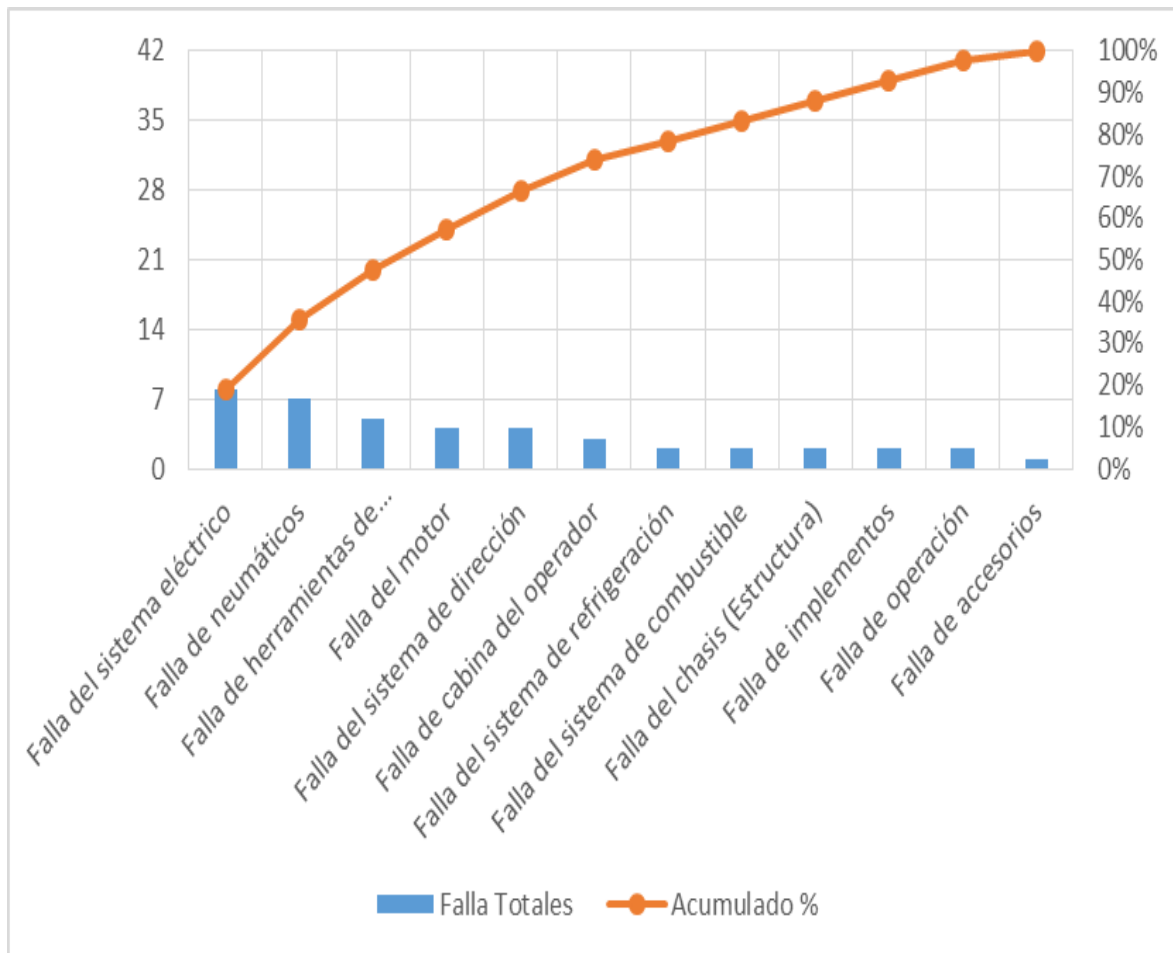
Debido a que los mantenimientos preventivos son paradas obligatorias de mantenimiento, se analizaron conjuntamente solo los otros 12 sistemas.

TABLA N° 4.12
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DE OTROS SISTEMAS DE CARGADOR FRONTAL SEM 659C

Modos de Falla	Falla Totales	Acumulado %
Falla del sistema eléctrico	8	19%
Falla de neumáticos	7	36%
Falla de herramientas de desgaste/corte	5	48%
Falla del motor	4	57%
Falla del sistema de dirección	4	67%
Falla de cabina del operador	3	74%
Falla del sistema de refrigeración	2	79%
Falla del sistema de combustible	2	83%
Falla del chasis (Estructura)	2	88%
Falla de implementos	2	93%
Falla de operación	2	98%
Falla de accesorios	1	100%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO N° 4.12
DIAGRAMA DE PARETO DE MODOS DE FALLA DE OTROS
SISTEMAS DE CARGADOR FRONTAL SEM 659C



Fuente: Elaboración propia

Así mismo, para la elaboración y análisis de las funciones, fallas funcionales y modos de falla del Cargador Frontal Sem 659C se definió inicialmente el grupo de trabajo del RCM, el cual estaba conformado por: El supervisor de operaciones Mina, el operador del equipo y el equipo de mantenimiento de maquinaria pesada.

4.5.5. Análisis de modos de Falla y disponibilidad del Cargador F. 966H

**TABLA N° 4.13
FALLA FUNCIONAL Y MODOS DE FALLA DEL CARGADOR
FRONTAL CAT 966H**

Código Func.	Función	Código FF	Falla Funcional	Código M.F.	Modo de Falla
1	1.- Carguío de mineral extraído en las canteras a los camiones para su posterior traslado a las plantas de beneficio en lima.	13	1.- No se puede realizar el carguío de mineral extraído en las canteras a los camiones ni su posterior traslado a las plantas de beneficio en lima.	101	Falla del motor
				102	Falla del sistema hidráulico
				103	Falla del sistema de transmisión
				104	Falla del sistema de frenos
				105	Falla del sistema de dirección
				106	Falla del sistema de refrigeración
				107	Falla del sistema eléctrico
				108	Falla del sistema electrónico
				109	Falla del sistema de combustible
				110	Mantenimiento preventivo
				111	Falla de herramientas de desgaste/corte
				112	Falla del chasis (Estructura)
				113	Falla de neumáticos
				114	Falla de implementos
				115	Falla de operación
2	1.- Brindar ergonomía y seguridad al operador del equipo en todo trabajo a realizarse.	11	1.- No se puede operar el equipo por no ser una práctica ergonómica ni segura.	116	Falla en la cabina del operador
				118	Falla de accesorios
				107	Falla del sistema eléctrico

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.14
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DE CARGADOR F. CAT. 966H

Código	Modos de Falla	Falla Totales	% Falla	Hora Hombre	% Hora Hombre
101	Falla del motor	20	20.40%	193.8	20.60%
102	Falla del sistema hidráulico	12	12.20%	123.1	13.10%
103	Falla del sistema de transmisión	7	7.10%	87.3	9.30%
104	Falla del sistema de frenos	4	4.10%	32.7	3.50%
105	Falla del sistema de dirección	2	2.00%	31.9	3.40%
106	Falla del sistema de refrigeración	3	3.10%	40.3	4.30%
107	Falla del sistema eléctrico	4	4.10%	26.9	2.90%
108	Falla del sistema electrónico	2	2.00%	19.5	2.10%
109	Falla del sistema de combustible	4	4.10%	61.2	6.50%
110	Mantenimiento preventivo	18	18.40%	117	12.40%
111	Falla de herramientas de desgaste/corte	3	3.10%	33.3	3.50%
112	Falla del chasis (Estructura)	2	2.00%	30.9	3.30%
113	Falla de neumáticos	6	6.10%	51.5	5.50%
114	Falla de implementos	4	4.10%	54.1	5.70%
118	Falla de accesorios	2	2.00%	15	1.60%
115	Falla de operación	4	4.10%	15.9	1.70%
116	Falla de Cabina del operador	1	1.00%	8.6	0.90%
Total:		98		943.06	

Fuente: Elaboración propia

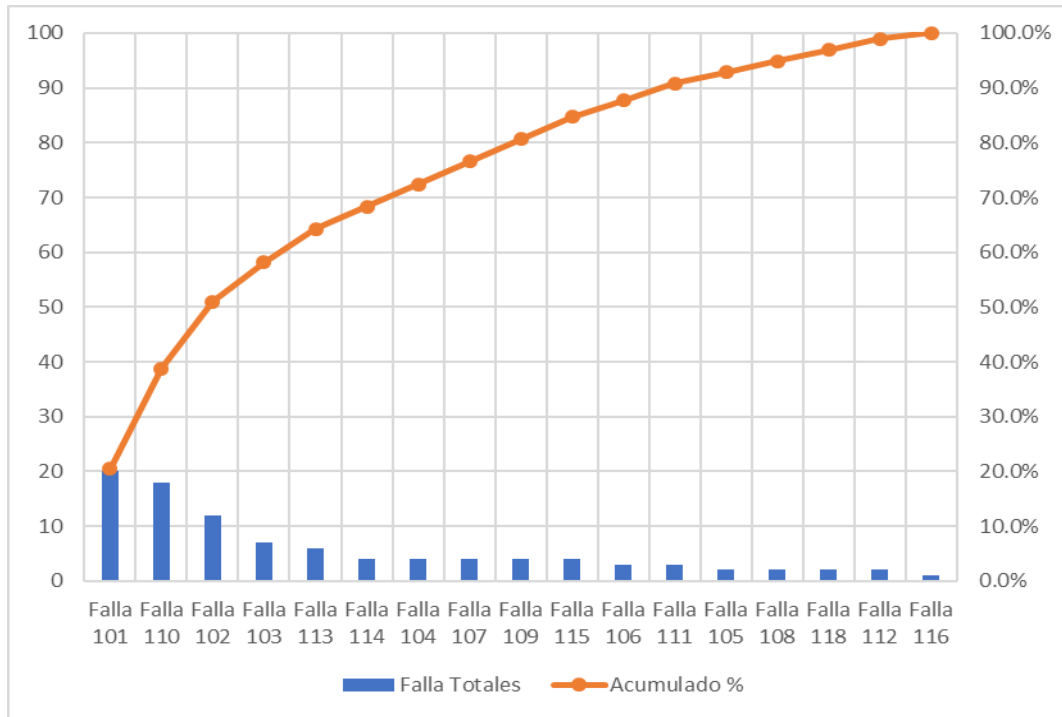
Entre el periodo del 1ero de Junio del 2016 al 31 de Mayo del 2018 este equipo operó 6,088.9 horas, registró 98 fallas y 943.06 horas para reparar. Con estos valores procedemos a calcular:

a) MTBF = 62.13 hr/falla

b) MTTR = 9.62 hr/falla

c) Disponibilidad = 86.59 % (Valor menor al 90% lo cual es exigido como mínimo por el titular minero para mantener el volumen de la producción esperada).

GRÁFICO N° 4.13
DIAGRAMA DE PARETO DE FALLAS DE CARGADOR FRONTAL
CAT 966H



Fuente: Elaboración propia

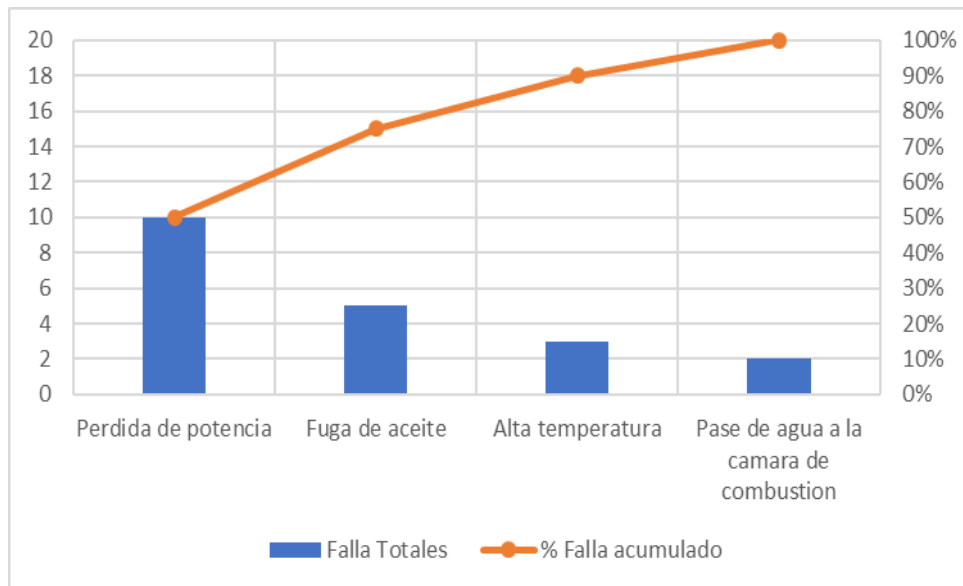
Debido a que en el motor del equipo existen varios y diferentes niveles de modos de falla, se hizo necesario realizar un análisis más profundo con la finalidad de obtener las causas de las fallas.

TABLA N° 4.15
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DEL MOTOR DE CARGADOR
FRONTAL CAT 966H

Modo de Falla	Falla Totales	% Falla acumulado
Perdida de potencia	10	50%
Fuga de aceite	5	75%
Alta temperatura	3	90%
Pase de agua a la cámara de combustión	2	100%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO N° 4.14
DIAGRAMA DE PARETO DE MODOS DE FALLA DE MOTOR DE
CARGADOR FRONTAL CAT 966H



Fuente: Elaboración propia

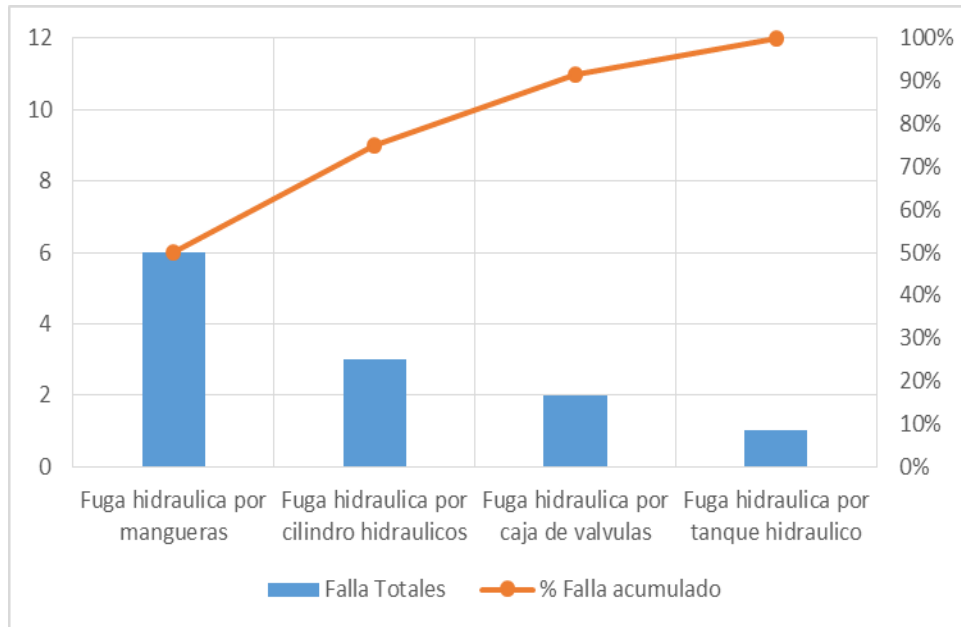
Así mismo, debido a que en el sistema hidráulico del equipo existen varios y diferentes niveles de modos de falla, se hizo necesario realizar un análisis más profundo.

TABLA N° 4.16
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA HIDRÁULICO
DE CARGADOR FRONTAL CAT 966H

Modo de Falla	Falla Totales	% Falla acumulado
Fuga hidráulica por mangueras	6	50%
Fuga hidráulica por cilindro hidráulicos	3	75%
Fuga hidráulica por caja de válvulas	2	92%
Fuga hidráulica por tanque hidráulico	1	100%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO N° 4.15
DIAGRAMA DE PARETO DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA
HIDRÁULICO DE CARGADOR FRONTAL CAT 966H



Fuente: Elaboración propia

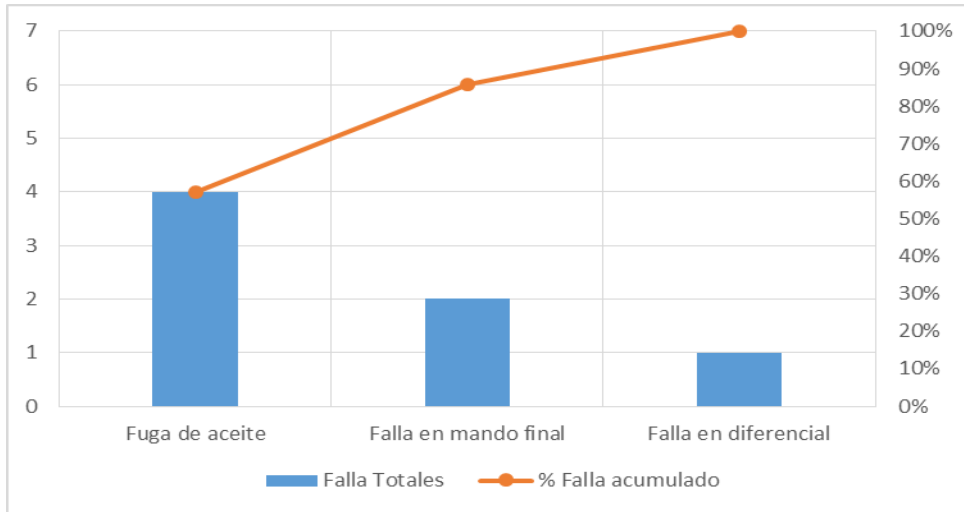
Así mismo, debido a que en el sistema de transmisión del equipo existen varios y diferentes niveles de modos de falla, se hizo necesario realizar un análisis más profundo.

TABLA N° 4.17
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE
TRANSMISIÓN DE CARGADOR FRONTAL CAT 966H

Modo de Falla	Falla Totales	% Falla acumulado
Fuga de aceite	4	57%
Falla en mando final	2	86%
Falla en diferencial	1	100%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO N° 4.16
DIAGRAMA DE PARETO DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE CARGADOR FRONTAL CAT 966H



Fuente: Elaboración propia

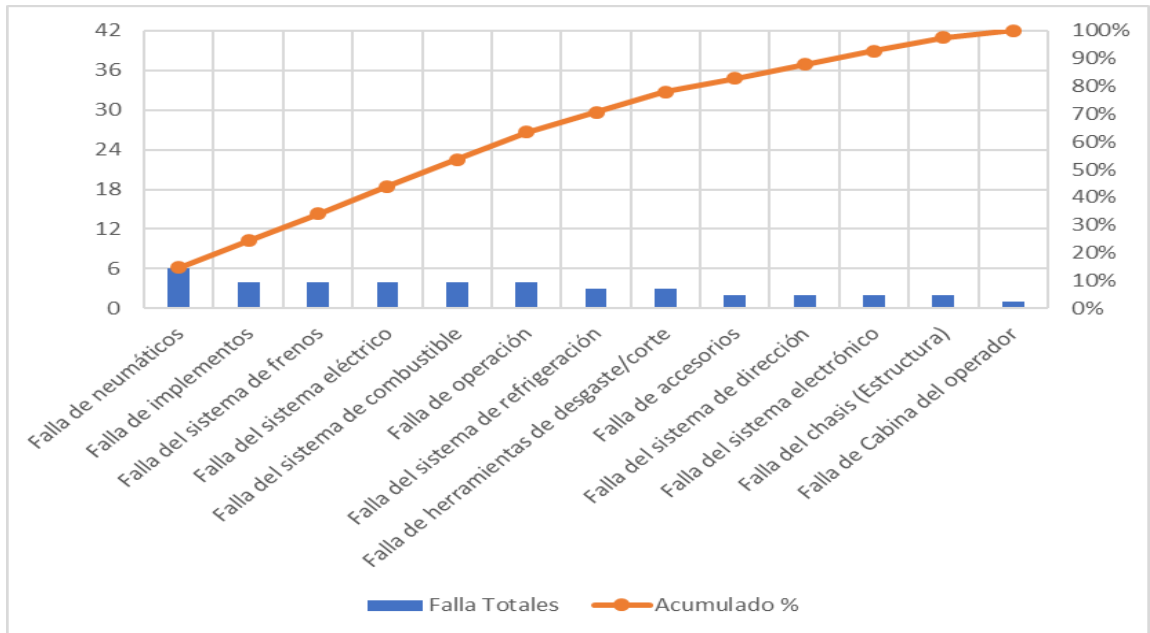
Debido a que los mantenimientos preventivos son paradas obligatorias de mantenimiento, se analizaron conjuntamente solo los otros 13 sistemas.

TABLA N° 4.18
ESTADÍSTICAS DE MODOS DE FALLA DE OTROS SISTEMAS DE CARGADOR FRONTAL CAT 966H

Modos de Falla	Falla Totales	Acumulado %
Falla de neumáticos	6	15%
Falla de implementos	4	24%
Falla del sistema de frenos	4	34%
Falla del sistema eléctrico	4	44%
Falla del sistema de combustible	4	54%
Falla de operación	4	63%
Falla del sistema de refrigeración	3	71%
Falla de herramientas de desgaste/corte	3	78%
Falla de accesorios	2	83%
Falla del sistema de dirección	2	88%
Falla del sistema electrónico	2	93%
Falla del chasis (Estructura)	2	98%
Falla de Cabina del operador	1	100%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO N° 4.17
DIAGRAMA DE PARETO DE MODOS DE FALLA DE OTROS
SISTEMAS DE CARGADOR FRONTAL CAT 966H



Fuente: Elaboración propia

Así mismo, para la elaboración y análisis de las funciones, fallas funcionales y modos de falla del Cargador Frontal Cat. 966H se definió inicialmente el grupo de trabajo del RCM, el cual estaba conformado por: El supervisor de operaciones Mina, el operador del equipo y el equipo de mantenimiento de maquinaria pesada.

Después de haber realizado los análisis correspondientes a los modos de falla de estos equipos pesados de carguío y acarreo, se observó que eran muy generales para aplicar la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad, razón por la cual se realizó un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) a un segundo nivel, que permitió identificar con mayor precisión las causas de fallas y posteriormente determinar las tareas de mantenimiento a aplicar.

TABLA N° 4.19
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DE MOTOR Y SUS EFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
101	Falla del Motor	101-1	Perdida de potencia por filtros de aire obstruidos	El equipo pierde fuerza mecánica para realizar el carguío y/o acarreo de mineral debido a que se reduce la velocidad de giro del motor (rpm). El operador debe de parar el equipo.
		101-2	Perdida de potencia por falla en el turbocompresor	
		101-3	Perdida de potencia por filtros de combustible obstruidos	
		101-4	Perdida de potencia por mala proporción de la mezcla de aire - combustible	
		101-5	Perdida de potencia por falla mecánica en inyectores	
		101-6	Perdida de potencia por fuga de gases de compresión hacia el Carter	
		101-7	Perdida de potencia por falla en las válvulas de admisión	
		101-8	Perdida de potencia por falla en las válvulas de escape	
		101-9	Perdida de potencia por falla en el eje de levas	
		101-10	Perdida de potencia por mala lubricación de las partes internas del motor	
		101-11	Fuga de aceite de motor por reten delantero de cigüeñal	El motor pierde presión de aceite llegando a un nivel menor del permitido, lo cual origina una señal de alarma en el tablero de instrumentación. El operador debe de parar el equipo.
		101-12	Fuga de aceite de motor por reten posterior de cigüeñal	
		101-13	Fuga de aceite de motor por tapón del cárter	
		101-14	Fuga de aceite de motor por filtros de aceite de motor	
		101-15	Fuga de aceite de motor por enfriador de aceite de motor	

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
101	Falla del Motor	101-16	Alta temperatura por bajas rpm de giro del ventilador del motor.	El motor eleva su temperatura llegando a un nivel mayor del permitido, lo cual origina una señal de alarma en el tablero de instrumentación.
		101-17	Alta temperatura porque la compresión del motor se va hacia el sistema de refrigeración	
		101-18	Alta temperatura por falla en el sistema de refrigeración	
		101-19	Alta temperatura porque el tubo de escape se encuentra obstruido	El operador debe de parar el equipo.
		101-20	Baja presión de aceite de motor por desgaste interno de bomba de aceite	El motor pierde presión de aceite, lo cual origina una señal de alarma en el tablero de instrumentación. El operador debe de parar el equipo.
		101-21	Baja presión de aceite de motor por degradación de aceite (Horas de trabajo)	
		101-22	Baja presión de aceite por bajo nivel de aceite de motor	
		101-23	Baja presión de aceite por obstrucción de conductos de lubricación del motor	
		101-24	Pase de agua a la cámara de combustión por falla en el enfriador de aceite de motor	El motor pierde lubricación de sus componentes internos lo cual origina un desgaste prematuro del mismo. El operador nota presencia de una emulsión en la tapa de inspección de nivel de aceite de motor y debe parar el equipo.
		101-25	Pase de agua a la cámara de combustión por falla en la culata	
		101-26	Pase de agua a la cámara de combustión por falla en la empaquetadura de la culata	
		101-27	Pase de agua a la cámara de combustión por falla en las guías de válvula	
		101-28	Pase de agua a la cámara de combustión por falla en los resortes de válvula	
101-29	Pase de agua a la cámara de combustión por mala calidad del combustible			

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.20
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA HIDRÁULICO Y SUS
EFFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
102	Falla del sistema hidráulico	102-1	Fuga hidráulica por mangueras por encontrarse resacas	Baja la presión hidráulica de todo el sistema afectando el funcionamiento de los implementos. El operador debe de parar el equipo.
		102-2	Fuga hidráulica por mangueras por encontrarse quemadas	
		102-3	Fuga hidráulica por mangueras por encontrarse desgastadas debido al rozamiento	
		102-4	Fuga hidráulica por mangueras por encontrarse mal prensadas.	
		102-5	Fuga hidráulica por cilindro hidráulico de elevación/inclinación - sellos desgastados	El aceite hidráulico que fuga por los cilindros hidráulicos contamina el medio ambiente y el mineral a explotar. El operador debe parar el equipo.
		102-6	Fuga hidráulica por cilindro hidráulico de elevación/inclinación - vástagos picados	
		102-7	Fuga hidráulica por cilindro hidráulico de elevación/inclinación - cañería de entrada/salida picada	
		102-8	Fuga hidráulica por cilindro hidráulico de ripper - sellos desgastados	
		102-9	Fuga hidráulica por cilindro hidráulico de ripper - vástagos picados	
		102-10	Fuga hidráulica por cilindro hidráulico de ripper - cañería de entrada/salida picada	

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
102	Falla del sistema hidráulico	102-11	Fuga hidráulica por caja de válvulas - sellos desgastados	La caja de válvulas no retiene presión hidráulica ocasionando que los implementos bajen lentamente solos. El operador debe parar el equipo.
		102-12	Fuga hidráulica por caja de válvulas - spool desgastados (Falta de cromo)	
		102-13	Fuga hidráulica por caja de válvulas - cuerpos rajados	
		102-14	Fuga hidráulica por caja de válvulas - niples desgastados	
		102-15	Alta temperatura del sistema por restricciones en el paso del aceite hidráulico	La temperatura del aceite hidráulico se eleva, lo cual es reportado por una alerta en el tablero de instrumentación. El operador para el equipo.
		102-16	Alta temperatura del sistema por estar obstruido el enfriador de aceite hidráulico	
		102-17	Alta temperatura del sistema por encontrarse el aceite hidráulico degradado por horas de servicio	
		102-18	Fuga hidráulica por bomba hidráulica - sellos desgastados	La presión de todo el sistema hidráulico baja afectando el funcionamiento de los implementos y del sistema de dirección. El operador debe parar el equipo.
		102-19	Fuga hidráulica por bomba hidráulica - niples desgastados	
		102-20	Fuga hidráulica por bomba hidráulica - carcasa de bomba rajada	
		102-21	Fuga hidráulica por tanque hidráulico - rajadura del tanque	El aceite hidráulico que fuga contamina el medio ambiente. El operador debe parar el equipo.
		102-22	Fuga hidráulica por tanque hidráulico - tapa del tanque dañada	
		102-23	Fuga hidráulica por tanque hidráulico - oxidación de tanque	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.21
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA TRANSMISIÓN Y
SUS EFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
103	Falla del sistema de transmisión	103-1	Fuga de aceite de transmisión por mangueras reseca	El bajo nivel de aceite de transmisión origina que el equipo se neutralice. El operador ya no puede operar el equipo por eso debe de pararlo.
		103-2	Fuga de aceite de transmisión por mangueras quemadas	
		103-3	Fuga de aceite de transmisión por mangueras desgastadas por rozamiento	
		103-4	Fuga de aceite de transmisión por mal prensado de mangueras	
		103-5	Fuga de aceite de transmisión por falla en cañerías de aceite	
		103-6	Falla en diferencial por rotura de dientes de piñones satélites	El equipo pierde fuerza mecánica y se dificulta su maniobrabilidad en la operación. El operador percibe sonidos en forma de golpes fuertes (Rotura de componentes internos del diferencial) y debe de para el equipo.
		103-7	Falla en diferencial por rotura de dientes de piñones planetarios	
		103-8	Falla en diferencial por rotura de dientes de piñón corona	
		103-9	Falla en diferencial por rotura de dientes del piñón de ataque	
		103-10	Falla en diferencial por desgaste de laines reguladoras de cobre	
		103-11	Falla en diferencial por desgaste en cruceta central (Spider)	
		103-12	Falla en diferencial por desgaste del castillo (Housing)	
		103-13	Falla en diferencial por desgaste de los rodamientos de regulación	
		103-14	Falla en diferencial por mala calibración (pisada) entre el piñón corona y el piñón de ataque	
		103-15	Falla en diferencial por aceite de transmisión degradado	
		103-16	Falla en diferencial por avería en el eje cardan	
		103-17	Falla en diferencial por avería en los ejes paliers	

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
103	Falla del sistema de transmisión	103-18	Falla en mando final por desgaste de los accesorios de la tapa	El equipo pierde potencia para realizar el carguío y/o acarreo de mineral debido a que se reduce el torque en las ruedas y/o oruga. El operador debe de parar el equipo.
		103-19	Falla en mando final por rotura de dientes de piñones de tapa	
		103-20	Falla en mando final por rotura de dientes de piñón corona	
		103-21	Falla en mando final por aceite de transmisión degradado	
		103-22	Alta temperatura del sistema por restricciones en el paso del aceite de transmisión	La temperatura del aceite de transmisión se eleva, lo cual es reportado por una alerta en el tablero de instrumentación. El operador para el equipo.
		103-23	Alta temperatura del sistema por estar obstruido el enfriador de aceite de transmisión	
		103-24	Alta temperatura del sistema por encontrarse el aceite de transmisión degradado por horas de servicio	
		103-25	No ingresan las marchas por falla en las electroválvulas	El equipo no cambia de velocidades según se requiere en la operación. El operador debe de parar el equipo.
		103-26	No ingresan las marchas por falla en la caja de transmisión	
		103-27	No ingresan las marchas por falla en los controles de marcha	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.22
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE FRENOS Y SUS EFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
104	Falla del sistema de frenos	104-1	Falla en caliper de freno por desgaste de accesorios	El equipo deja de frenar en todos sus puntos motrices donde fallan los calipers. El operador deberá llevar el equipo al taller para su reparación.
		104-2	Falla en caliper de freno por desgaste de pistones de freno	
		104-3	Falla en caliper de freno por desgaste de pastillas de freno	
		104-4	Falla en caliper de freno por mala instalación de las pastillas de freno	
		104-5	Fuga de líquido de freno por desgaste de accesorios de caliper	El sistema de frenos pierde presión y el equipo frena con retardo. El operador debe de parar el equipo.
		104-6	Fuga de líquido de freno por avería en las cañerías de frenos	
		104-7	Fuga de líquido de freno por avería en master de freno	
		104-8	Falla al frenar el equipo por falta de regulación de pedal de freno	El equipo demora en frenar. El operador debe parar el equipo.
		104-9	Falla al frenar el equipo por degradación de líquido de freno	
		104-10	Falla en master de freno por avería en compresor de aire	Fallan los frenos delanteros y/o posteriores desequilibrando al equipo con carga en pendientes. El operador deberá llevar el equipo al taller para su reparación.
		104-11	Falla en master de freno por avería en las cañerías del compresor de aire	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.23
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN Y
SUS EFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
105	Falla del sistema de dirección	105-1	Falla en el sistema de dirección por avería en palancas de controles	El equipo no obedece a las maniobras realizadas en la operación. El operador debe de parar el equipo.
		105-2	Falla en el sistema de dirección por avería en volante (timón)	
		105-3	Falla en el sistema de dirección por perdida de presión hidráulica en cilindros de dirección	
		105-4	Falla en el sistema de dirección por perdida de presión en bomba hidráulica	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.24
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
Y SUS EFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
106	Falla del sistema de refrigeración	106-1	Falla en radiador por picadura en tinas	Se eleva la temperatura del motor llegando a un nivel mayor del permitido, lo cual origina una señal de alarma en el tablero de instrumentación. El operador debe de parar el equipo.
		106-2	Falla en radiador por estar obstruido internamente	
		106-3	Falla en radiador por estar obstruido externamente	
		106-4	Falla en radiador por desgaste en laminas	

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
106	Falla del sistema de refrigeración	106-5	Falla de bomba de agua por sellos desgastados	El líquido refrigerante deja de circular por todo el sistema causando que el motor eleve su temperatura, lo cual origina una señal de alarma en el tablero de instrumentación. El operador debe de parar el equipo.
		106-6	Falla de bomba de agua por avería en los rodamientos internos	
		106-7	Falla de bomba de agua en el impelente	
		106-8	Fuga de refrigerante por manguera superior de radiador	Baja el nivel del líquido refrigerante causando que el motor eleve su temperatura, lo cual origina una señal de alarma en el tablero de instrumentación. El operador debe de parar el equipo.
		106-9	Fuga de refrigerante por manguera inferior de radiador	
		106-10	Fuga de refrigerante por picadura en enfriador de aceite de motor	
		106-11	Fuga de refrigerante por picadura en enfriador de aceite de transmisión	
		106-12	Falla en termostato por quedarse abierto y no controlar la temperatura del refrigerante	La temperatura del motor no es controlada dentro de sus parámetros de funcionamiento lo cual ocasiona que este recaliente o se desgaste internamente por falta de lubricación. El operador debe de parar el equipo.
		106-13	Falla en termostato por quedarse cerrado y no controlar la temperatura del refrigerante	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.25
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y SUS
EFFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
107	Falla del sistema eléctrico	107-1	Falla en arrancador por desgaste de los dientes del piñón bendix	El motor no da el primer giro y/o demora en hacerlo. Puede operarse el equipo mientras no se apague y programar su reparación o cambio.
		107-2	Falla en arrancador por desgaste de los rodamientos internos	
		107-3	Falla en arrancador por avería en el solenoide	
		107-4	Falla en arrancador por un cortocircuito en los cables que llegan de la batería	
		107-5	Falla en alternador por desgaste/mala tensión de ajuste de faja de motriz	La batería no recibe carga ocasionando que se muestre una señal en el tablero de instrumentación. El operador debe llevar el equipo al taller para su reparación o cambio.
		107-6	Falla en alternador por desalineamiento de la polea de la faja motriz	
		107-7	Falla en alternador por desgaste de escobillas de anillos rozantes	
		107-8	Falla en alternador por avería en el regulador de voltaje	
		107-9	Falla en alternador por perforación de diodos en el puente rectificador	
		107-10	Falla en alternador por malas conexiones eléctricas	

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
107	Falla del sistema eléctrico	107-11	Falla en batería por conexiones a tierra sueltas o dañadas	Cuando la batería falla ya no almacena energía eléctrica lo cual ocasiona que el equipo no encienda. Siempre y cuando el operador no apague el equipo puede seguir operando y programar su reparación en el taller.
		107-12	Falla en batería por conexiones del alternador sueltas o dañadas	
		107-13	Falla en batería por terminales sulfatados/derretidos	
		107-14	Falla en batería por avería en el alternador	
		107-15	Falla en luces por focos quemados	Siempre y cuando el equipo no opere en las noches puede seguir trabajando. La corrección de esta falla se puede realizar en el mantenimiento preventivo más cercano.
		107-16	Falla en luces por conexiones eléctricas sueltas o dañadas	
		107-17	Falla en luces por avería en la batería	
		107-18	Falla en luces por avería en la caja de fusibles	
		107-19	Falla en luces de freno por avería en switch	
		107-20	Falla en claxon por conexiones eléctricas sueltas o dañadas	Si fallan el claxon y/o alarma de retroceso por seguridad el equipo debe de ser parado y llevado al taller por el operador.
		107-21	Falla en claxon por ingreso de agua hacia la parte interna del claxon	
		107-22	Falla en alarma de retroceso por conexiones eléctricas sueltas o dañadas	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.26
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA ELECTRÓNICO Y
SUS EFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
108	Falla del sistema electrónico	108-1	Falla en el módulo de control electrónico (ECM)	El equipo no recepciona ni recibe información de sus parámetros de funcionamiento. El operador debe de llevarlo al taller.
		108-2	Falla en sensores de freno/ temperatura / velocidad	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.27
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE Y
SUS EFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
109	Falla del sistema de combustible	109-1	Falla en filtro de combustible por combustible sucio (obstrucción)	El equipo pierde potencia y fuerza mecánica para realizar el carguío y/o acarreo de mineral debido a que se reduce la velocidad de giro del motor (rpm). El operador debe de parar el equipo.
		109-2	Falla en filtro de combustible por no mantener un nivel mínimo adecuado de combustible	
		109-3	Falla en bomba de inyección por desgaste de eslabonamiento de gobernador	
		109-4	Falla en bomba de inyección por obstrucción de filtro de combustible	
		109-5	Falla en bomba de inyección por avería en cremallera	
		109-6	Falla en bomba de inyección por rotura de árbol de levas de bomba	
		109-7	Falla en bomba de inyección por avería del solenoide de corte de combustible	
		109-8	Falla en inyectores por presencia de agua en el combustible	
		109-9	Falla en inyectores por no atomizar combustible	
		109-10	Fuga de combustible por desgaste de empaquetaduras de bomba de inyección	
		109-11	Fuga de combustible por picadura de cañerías de alta presión de combustible	
		109-12	Fuga de combustible por avería en inyectores	

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 4.28
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DEL MANTENIMIENTO
PREVENTIVO Y SUS EFECTOS**

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
110	Mantenimiento preventivo	110-1	Mantenimiento preventivo (PM1 / PM2 / PM3 / PM4)	El equipo debe de parar para su intervención preventiva por cada 250 horas de funcionamiento.

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 4.29
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DE HERRAMIENTAS DE
DESGASTE/CORTE Y SUS EFECTOS**

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
111	Falla de herramientas de desgaste/corte	111-1	Falla en cuchillas por desgaste ocasionado por rozamientos del mineral/terreno	La falla en las cuchillas ocasiona un desgaste en la parte central del cucharón o de la hoja topadora. El equipo puede seguir operando y programarse su reparación en el próximo mantenimiento preventivo.
		111-2	Falla en cuchillas por rotura de pernos de sujeción	
		111-3	Falla en cantoneras por desgaste ocasionado por rozamientos del mineral/terreno	La falla en las cantoneras ocasiona un desgaste en las partes laterales del cucharón o de la hoja topadora. El equipo puede seguir operando y programarse su reparación en el próximo mantenimiento preventivo.
		111-4	Falla en cantoneras por rotura de pernos de sujeción	

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
111	Falla de herramientas de desgaste/corte	111-5	Falla en uñas/adapters por desgaste ocasionado por rozamientos del mineral/terreno	La falla en las uñas/adapters ocasiona un desgaste en la parte inferior del cucharón. El equipo puede seguir operando y programarse su reparación en el próximo mantenimiento preventivo.
		111-6	Falla en uñas/adapters por rotura/desgaste de pin de uñas	
		111-7	Falla en uñas/adapters por desgaste del seguro de uñas	
		111-8	Falla en uña de ripper por desgaste ocasionado por rozamientos del mineral/terreno	La falla en la uña del ripper ocasiona que el equipo no pueda realizar fraccionamiento de rocas superficiales facilitando su trabajo de acarreo. El equipo puede seguir operando y programarse su reparación en el próximo mantenimiento preventivo.
		111-9	Falla en uña de ripper por rotura/desgaste de pin de ripper	
		111-10	Falla en uña de ripper por desgaste del seguro de ripper	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.30
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DE CHASIS Y SUS EFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
112	Falla del chasis (Estructura)	112-1	Falla en chasis por golpe de rocas desprendidas de la voladura	Siempre y cuando el daño a la estructura sea leve, el equipo puede seguir operando y programarse su reparación en el próximo mantenimiento preventivo.
		112-2	Falla en chasis por choques por mala operación	
		112-3	Falla en chasis por condiciones del terreno	
		112-4	Falla en chasis por volcadura del equipo	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.31
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DE NEUMÁTICOS Y SUS EFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
113	Falla de neumáticos	113-1	Falla en neumáticos por falta de presión de aire	El operador al detectar una falla en los neumáticos debe de parar el equipo. Seguir operándolo sería una práctica no segura para el operador y la máquina.
		113-2	Falla en neumáticos por sobrepresión de aire	
		113-3	Falla en neumáticos por avería en tapón de válvula de llenado de aire	
		113-4	Falla en neumáticos por sobrecarga (Exceso de carga)	
		113-5	Falla en neumáticos por rajadura en el aro	
		113-6	Falla en neumáticos por avería en la pestaña del aro	
		113-7	Falla en neumáticos por avería en el seguro del aro	
		113-8	Falla en neumáticos por bajo nivel de cocada	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.32
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DE IMPLEMENTOS Y SUS
EFFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
114	Falla en implementos	114-1	Falla en cucharón por rajadura en la parte superior	La rajadura en el cucharón debilita su estructura pero el equipo puede seguir operando y programarse su reparación en su próximo mantenimiento preventivo.
		114-2	Falla en cucharón por rajadura en la parte inferior	
		114-3	Falla en cucharón por avería en el sistema hidráulico	Si el cucharón no puede ser accionado por una falla hidráulica y/o eléctrica no podría desarrollar la función de carguío de mineral. El operador debe de parar el equipo y llevarlo al taller.
		114-4	Falla en cucharón por avería en el sistema eléctrico (Palanca de accionamiento)	
		114-5	Falla en hoja topadora por rajadura en la parte superior	La rajadura en el cucharón debilita su estructura pero el equipo puede seguir operando y programarse su reparación en su próximo mantenimiento preventivo.
		114-6	Falla en hoja topadora por rajadura en la parte inferior	
		114-7	Falla en hoja topadora por avería en el sistema hidráulico	Si el cucharón no puede ser accionado por una falla hidráulica y/o eléctrica no podría desarrollar la función de carguío de mineral. El operador debe de parar el equipo y llevarlo al taller.
		114-8	Falla en hoja topadora por avería en el sistema eléctrico (Palanca de accionamiento)	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.33
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DE OPERACIÓN Y SUS EFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
115	Falla de operación	115-1	Falla de operación por exceso de carga	Daños a componentes internos y estructura del equipo. Donde este debe de ser intervenido por el personal del taller de mantenimiento para su reparación.
		115-2	Falla de operación por operar sobre terrenos extremadamente accidentados	
		115-3	Falla de operación por no parar el equipo cuando hallan señales de alerta en el tablero	
		115-4	Falla de operación por operar el equipo con deficiencia de alguna palanca de control	
		115-5	Falla de operación por operar el equipo sin los niveles adecuados de aceite	
		115-6	Falla de operación por operar el equipo sin los niveles adecuados de refrigerante	
		115-7	Falla de operación por operar el equipo sin los niveles adecuados de combustible	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.34
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA EN LA CABINA DEL OPERADOR Y SUS EFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
116	Falla en la cabina del operador	116-1	Falla en asiento de operador	Una falla dentro de la cabina del operador causa que el operador no pueda operar por seguridad el equipo o se sienta incomodo al hacerlo.
		116-2	Falla en puertas de cabina de operador por no cerrar correctamente	
		116-3	Falla en lunas de cabinas de cabina de operador por presencia de rajaduras/roturas	
		116-4	Falla en limpiaparabrisas delantero/posterior por avería en el sistema eléctrico	
		116-5	Falla en tablero de instrumentación por avería en el sistema eléctrico	
		116-6	Falla en controles/palancas por averías eléctricas/electrónicas	
		116-7	Falla en cinturón de seguridad por avería de las hebillas o correas	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.35
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA DEL TREN DE RODAMIENTOS Y
SUS EFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
117	Falla del tren de rodamientos	117-1	Falla en cadena por desgaste/rotura en eslabones	Una falla en la cadena causa que el tractor pierda su deslizamiento con la oruga. El operador debe de parar el equipo.
		117-2	Falla en cadena por desgaste/rotura en pasadores	
		117-3	Falla en cadena por desgaste en bujes	
		117-4	Falla en rodillo inferior/superior por desgaste exterior	Una falla en los rodillos causa que el peso del tractor no sea bien distribuido dañando la cadena. El operador debe de parar el equipo.
		117-5	Falla en rodillo inferior/superior por avería en rodamiento interno	
		117-6	Falla en rodillo inferior/superior por fuga de aceite	
		117-7	Falla en zapatas por desgaste ocasionado en el contacto con el terreno abrasivo	
		117-8	Falla en zapatas por rotura de pernos de sujeción	
		117-9	Falla en rueda guía por desgaste ocasionado en el contacto con la cadena	La falla de estos componentes causa que los esfuerzos mecánicos del tractor se incrementen dañando otros componentes. El equipo debe de parar.

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.36
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA EN ACCESORIOS Y SUS EFECTOS

Código M.F.	Modo de Falla Nivel I.	Código M.F.II	Modo de Falla Nivel II	Efectos
118	Falla en accesorios	118-1	Falla en espejo lateral por desprendimiento de rocas de la voladura	Una falla en los accesorios causa que el equipo no pueda ser operado por no ser una práctica segura. El equipo debe de parar.
		118-2	Falla en escaleras por golpe o choque del equipo	
		118-3	Falla en guardafangos por golpes	

Fuente: Elaboración propia

4.5.6. Análisis de criticidad a los equipos pesados de carguío y acarreo

Luego de haber evaluado los modos de falla y sus efectos en los equipos pesados de carguío y acarreo, se desarrolló el análisis de criticidad calificando las variables en función a los estándares que se manejan en una cantera de Caliza – Marcapomacocha Junín.

TABLA N° 4.37
CONCEPTO DE LA CRITICIDAD PARA LA MAQUINARIA PESADA DE
UNA CANTERA DE CALIZA – MARCAPOMACOCHA JUNÍN

Ítem	Variables		Concepto	Ponderación	
1	Producción		Para	2	
			Reduce	1	
			No para	0	
2	Valor Técnico - Económico		Alto	2	
			Medio	1	
			Bajo	0	
3	Daños consecuenciales	A	A la maquina en si	Si	1
			No	0	
		B	Al proceso	Si	2
				No	0
		C	Al personal operador	Riesgo	4
				Sin riesgo	0
		D	Al medio ambiente	Si	3
				No	0
4	Dependencia logística		Extranjero	1	
			Local	0	
5	Dependencia mano de obra		Terceros	1	
			Propia	0	
6	Probabilidad de la falla (Confiabilidad)		Alta	1	
			Baja	0	
7	Facilidad de reparación (Mantenibilidad)		Alta	1	
			Baja	0	
8	Flexibilidad en el sistema		Simple	2	
			By-pass	1	
			Dual	0	

Fuente: Elaboración propia

A su vez se definió las escalas de referencia para poder clasificar las ponderaciones de cada modo de falla.

TABLA N° 4.38
ESCALA DE REFERENCIA DE CRITICIDAD DE MODOS DE FALLAS

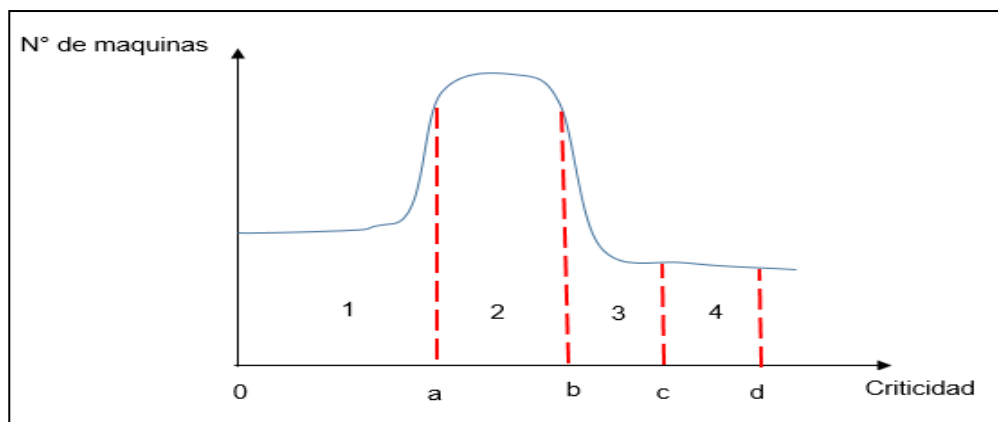
N°	Rango de ponderación (P)	Clasificación	Color
1	$15 < P \leq 20$	Crítico	Rojo
2	$10 < P \leq 15$	Importante	Verde
3	$5 < P \leq 10$	Conveniente	Anaranjado
4	$0 \leq P \leq 5$	Opcional	Amarillo

Fuente: Elaboración propia

El desarrollo del análisis de criticidad de los equipos pesados de carguío y acarreo se realizó en conjunto, involucrando a las áreas de seguridad, medio ambiente, producción y mantenimiento de maquinaria pesada.

El éxito de este análisis se basa en asignarle la ponderación adecuada a cada variable y así lograr un ponderado total en cada de modo de falla.

GRÁFICO N° 4.18
DIAGRAMA DE CRITICIDAD DE MAQUINAS



Fuente: Elaboración propia

a) Análisis de criticidad del Tractor oruga Caterpillar D8T

TABLA N° 4.39
ANÁLISIS DE CRITICIDAD DEL TRACTOR ORUGA CAT D8T

Ítem	Cod. M.F.	Modo de Falla	Valor Ponderado											P	Clasificación
			1	2	3				4	5	6	7	8		
					A	B	C	D							
1	101	Falla del Motor	2	1	1	2	4	3	1	0	1	0	2	17	Crítico
2	102	Falla del sistema hidráulico	2	1	1	2	4	3	0	0	0	1	2	16	Crítico
3	103	Falla del sistema de transmisión	2	1	1	2	0	3	0	0	1	0	2	12	Importante
4	104	Falla del sistema de frenos	2	1	1	2	4	0	0	0	1	0	2	13	Importante
5	105	Falla del sistema de dirección	2	1	1	2	4	0	0	0	1	0	2	13	Importante
6	106	Falla del sistema de refrigeración	1	1	1	2	0	0	0	0	1	0	2	8	Conveniente
7	107	Falla del sistema eléctrico	1	1	0	2	0	0	0	0	1	0	2	7	Conveniente
8	108	Falla del sistema electrónico	1	1	0	2	0	0	1	0	1	1	2	9	Conveniente
9	109	Falla del sistema de combustible	1	1	1	2	0	3	1	0	1	0	2	12	Importante
10	110	Mantenimiento preventivo	2	1	1	2	0	0	0	0	1	0	2	9	Conveniente
11	111	Falla de herramientas de desgaste/corte	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	3	Opcional
12	112	Falla del chasis (Estructura)	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	Opcional
13	114	Falla en implementos	2	1	0	2	0	3	0	0	1	0	2	11	Importante
14	115	Falla de operación	2	1	1	2	4	0	0	0	1	0	1	12	Importante
15	117	Falla del tren de rodamientos	2	2	1	2	0	0	1	0	0	1	2	11	Importante
16	116	Falla en la cabina del operador	2	0	1	2	4	0	0	0	1	0	1	11	Importante
17	118	Falla en accesorios	0	0	0	0	4	0	0	0	1	0	1	6	Conveniente

Fuente: Elaboración propia

b) Análisis de criticidad del Cargador frontal SEM 659C

**TABLA N° 4.40
ANÁLISIS DE CRITICIDAD DEL CARGADOR FRONTAL SEM 659C**

Ítem	Cod. M.F.	Modo de Falla	Valor Ponderado											P	Clasificación
			1	2	3				4	5	6	7	8		
					A	B	C	D							
1	101	Falla del motor	2	1	1	2	4	3	1	0	1	0	2	17	Crítico
2	102	Falla del sistema hidráulico	1	1	1	2	4	3	0	0	1	0	2	15	Importante
3	103	Falla del sistema de transmisión	2	2	1	2	4	3	1	0	0	1	2	18	Crítico
4	104	Falla del sistema de frenos	2	0	1	2	4	0	0	0	1	0	2	12	Importante
5	105	Falla del sistema de dirección	2	1	1	2	4	0	0	0	1	0	2	13	Importante
6	106	Falla del sistema de refrigeración	1	0	1	2	0	0	0	0	1	0	2	7	Conveniente
7	107	Falla del sistema eléctrico	1	1	0	2	0	0	1	0	1	0	2	8	Conveniente
8	109	Falla del sistema de combustible	1	1	1	2	0	3	0	1	1	0	2	12	Importante
9	110	Mantenimiento preventivo	2	1	1	2	0	0	0	0	1	0	2	9	Conveniente
10	111	Falla de herramientas de desgaste/corte	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	3	Opcional
11	112	Falla del chasis (Estructura)	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	Opcional
12	113	Falla de neumáticos	2	2	1	2	4	0	0	0	1	0	0	12	Importante
13	114	Falla de implementos	2	1	1	2	0	3	0	0	1	0	2	12	Importante
14	115	Falla de operación	2	2	1	2	4	0	0	0	1	0	1	13	Importante
15	116	Falla en la cabina del operador	2	0	1	2	4	0	0	0	1	0	1	11	Importante
16	118	Falla de accesorios	0	0	0	0	4	0	0	0	1	0	1	6	Conveniente

Fuente: Elaboración propia

c) Análisis de criticidad del Cargador frontal Caterpillar 966H

**TABLA N° 4.41
ANÁLISIS DE CRITICIDAD DEL CARGADOR FRONTAL CAT 966H**

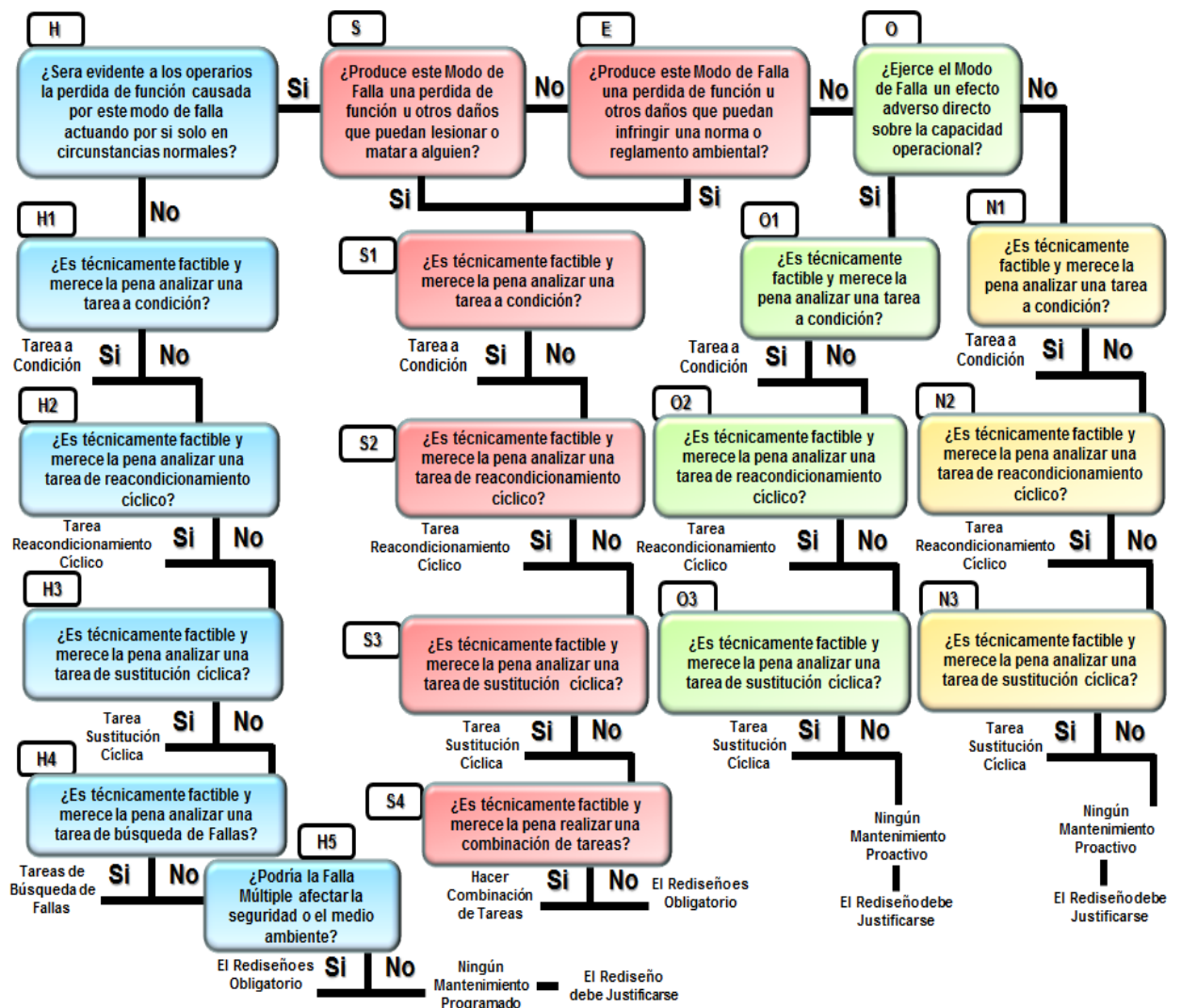
Ítem	Cod. M.F.	Modo de Falla	Valor Ponderado											P	Clasificación
			1	2	3				4	5	6	7	8		
					A	B	C	D							
1	101	Falla del motor	2	2	1	2	4	3	1	0	0	1	2	18	Crítico
2	102	Falla del sistema hidráulico	1	2	1	2	4	3	1	0	0	1	2	17	Crítico
3	103	Falla del sistema de transmisión	2	2	1	2	4	3	1	0	1	0	2	18	Crítico
4	104	Falla del sistema de frenos	2	1	1	2	4	0	0	0	1	0	2	13	Importante
5	105	Falla del sistema de dirección	2	1	1	2	4	0	0	0	1	0	2	13	Importante
6	106	Falla del sistema de refrigeración	1	1	1	2	0	0	0	0	1	0	2	8	Conveniente
7	107	Falla del sistema eléctrico	1	1	0	2	0	0	0	0	1	0	2	7	Conveniente
8	108	Falla del sistema electrónico	1	1	0	2	0	0	1	0	1	1	2	9	Conveniente
9	109	Falla del sistema de combustible	1	1	1	2	0	3	0	1	1	0	2	12	Importante
10	110	Mantenimiento preventivo	2	1	1	2	0	0	0	0	1	0	2	9	Conveniente
11	111	Falla de herramientas de desgaste/corte	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	3	Opcional
12	112	Falla del chasis (Estructura)	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	Opcional
13	113	Falla de neumáticos	2	2	1	2	4	0	0	0	1	0	0	12	Importante
14	114	Falla de implementos	2	1	1	2	0	3	0	0	1	0	2	12	Importante
15	115	Falla de operación	2	2	1	2	4	0	0	0	1	0	1	13	Importante
16	116	Falla en la cabina del operador	2	0	1	2	4	0	0	0	1	0	1	11	Importante
17	118	Falla de accesorios	0	0	0	0	4	0	0	0	1	0	1	6	Conveniente

Fuente: Elaboración propia

4.5.7. Hoja de decisión de los modos de falla de los equipos pesados.

Para la creación de las hojas de decisión de los modos de falla de los equipos pesados de carguío y acarreo que operan en esta cantera de Caliza, se utilizó la metodología mostrada en el diagrama de decisión del RCM.

GRÁFICO N° 4.19
DIAGRAMA DE DECISIÓN DEL RCM



”Los diagramas de decisión son populares ya que son más rápidos y más económicos que la aproximación rigurosa. Sin embargo; cualquier enfoque de diagrama de decisión debe direccionar totalmente las consecuencias en la seguridad y en el ambiente de cada modo de falla. También se debe tener presente que el uso de diagramas de decisiones introduce un elemento de sub-optimización al proceso de selección de la política de manejo de fallas, desde el punto de vista del costo” (Norma SAE JA1012, 1999, p. 48).

**TABLA N° 4.42
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM AL MOTOR**

Sistema: Motor													N° de Hoja: 1		De: 3
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3	O1	O2	O3				
MF I	MF II	H	S	E	O	N1	N2	N3							
101	101-1	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar filtro de aire primario del motor	500	Mecánico
													Preventiva	Cambiar filtro de aire secundario del motor	1000
	101-2	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar turbocompresor	2000	Mecánico
	101-3	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar filtros de combustible	250	Mecánico
	101-4	S	N	N	S	S						A condición	Revisar/Limpiar el filtro primario de aire de motor	250	Mecánico
	101-5	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar fugas y limpiar inyectores	500	Mecánico
	101-6	S	N	N	S	S						A condición	Medir y evaluar compresión de motor	4000	Mecánico
	101-7	S	N	N	S	S						A condición	Calibrar válvulas de admision y ajustar culata.	2000	Mecánico
	101-8	S	N	N	S	S						A condición	Calibrar válvulas de escape.	2000	Mecánico

Sistema: Motor												N° de Hoja: 2		De: 3	
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3	O1	O2	O3				
MF I	MF II	H	S	E	O	N1	N2	N3							
101	101-9	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite de motor	250	Mecánico
	101-10	S	N	N	N	N	N	S				Preventiva	Cambiar filtro de aceite de motor	250	Mecánico
	101-11	S	N	N	N	N	N	S				Preventiva	Cambio de reten delantero de cigüeñal	4000	Mecánico
	101-12	S	N	N	N	N	N	S				Preventiva	Cambio de reten posterior de cigüeñal	4000	Mecánico
	101-13	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar hilo de rosca de tapón de cárter	250	Mecánico
	101-14	S	N	N	S	S						A condición	Verificar el correcto ajuste del filtro de aceite de motor al momento de su instalación	250	Mecánico
	101-15	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar empaquetaduras o picaduras en cuerpo de enfriador de aceite de motor	250	Mecánico
	101-16	S	N	N	S	S						A condición	Medir presión hidráulica de bomba de ventilador	1000	Mecánico
	101-17	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite de motor y evaluar el resultado del análisis del conteo de partículas	250	Mecánico
	101-18	S	N	N	S	S						A condición	Revisar el consumo de líquido refrigerante	250	Mecánico
101-19	S	N	N	S	S						A condición	Limpiar y realizar mantenimiento de silenciador	4000	Mecánico	

Sistema: Motor													N° de Hoja: 3		De: 3
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3	O1	O2	O3				
MF I	MF II	H	S	E	O	N1	N2	N3							
101	101-20	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite de motor y evaluar el resultado del análisis del conteo de partículas metálicas	250	Mecánico
	101-21	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar aceite de motor	250	Mecánico
	101-22	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar nivel de aceite de motor y rellenar de ser necesario	Diario	Operador
	101-23	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite de motor y evaluar el resultado del análisis del conteo de partículas metálicas	250	Mecánico
	101-24	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar y realizar mantenimiento a enfriador de aceite de motor	2000	Mecánico
	101-25	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar y reajustar culata del motor	2000	Mecánico
	101-26	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de líquido refrigerante	500	Mecánico
	101-27	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite de motor	250	Mecánico
	101-28	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite de motor	250	Mecánico
101-29	N					N	N	S				Preventiva	Cambiar filtro separador de agua	250	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 4.43
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM AL SISTEMA HIDRÁULICO**

Sistema: Sistema Hidráulico											N° de Hoja: 1			De: 2	
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3	O1	O2	O3				
MF I	MF II	H	S	E	O	N1	N2	N3							
102	102-1	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar visualmente las mangueras del sistema hidráulico	250	Mecánico
	102-2	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar visualmente las mangueras del sistema hidráulico	250	Mecánico
	102-3	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar visualmente las mangueras del sistema hidráulico	250	Mecánico
	102-4	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar visualmente las mangueras del sistema hidráulico	250	Mecánico
	102-5	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar visualmente los sellos de los cilindros hidráulicos de elevación/inclinación	250	Mecánico
	102-6	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar visualmente los vástagos de los cilindros hidráulicos de elevación/inclinación	250	Mecánico
	102-7	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar visualmente las cañerías de entrada y de salida de los cilindros hidráulicos de elevación/inclinación	250	Mecánico
	102-8	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar visualmente los sellos del cilindro hidráulico de ripper	500	Mecánico

Sistema: Sistema Hidráulico											N° de Hoja: 2			De: 2	
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3							
MF I	MF II	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
	102-9	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar visualmente el vástago del cilindro hidráulico de ripper	500	Mecánico
	102-10	S	N	N	N	S						A condición	Inspeccionar visualmente las cañerías de entrada/salida del cilindro hidráulico de ripper	250	Mecánico
	102-11	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambio de sellos de caja de válvulas	8000	Mecánico
	102-12	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite hidráulico y evaluar el resultado del análisis del conteo de partículas metálicas	2000	Mecánico
	102-13	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite hidráulico y evaluar el resultado del análisis	2000	Mecánico
	102-14	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar fugas de aceite por niples de caja de válvulas	250	Mecánico
102	102-15	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar filtros de aceite hidráulico	500	Mecánico
	102-16	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de líquido refrigerante	500	Mecánico
	102-17	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar aceite hidráulico	2000	Mecánico
	102-18	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar sellos y accesorios de bomba hidráulica	8000	Mecánico
	102-19	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar fugas de aceite por niples de bomba hidráulica	250	Mecánico
	102-20	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite hidráulico y evaluar el resultado del análisis del conteo de partículas metálicas	2000	Mecánico
	102-21	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar fugas de aceite por tanque hidráulico	250	Mecánico
	102-22	S	N	N	N	S						A condición	Inspeccionar fugas de aceite por tapa de tanque hidráulico	250	Mecánico
	102-23	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar fugas de aceite por tanque hidráulico	250	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.44
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM AL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Sistema: Sistema de Transmisión												N° de Hoja: 1		De: 3	
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3	O1	O2	O3				
MF I	MF II	H	S	E	O	N1	N2	N3							
103	103-1	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar visualmente las mangueras del sistema transmisión	250	Mecánico
	103-2	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar visualmente las mangueras del sistema transmisión	250	Mecánico
	103-3	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar visualmente las mangueras del sistema transmisión	250	Mecánico
	103-4	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar visualmente el estado del prensado de las mangueras del sistema transmisión	250	Mecánico
	103-5	S	N	S		S						A condición	Inspeccionar visualmente las cañerías de aceite del sistema transmisión	250	Mecánico
	103-6	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite de diferencial y evaluar el resultado del análisis de partículas metálicas	2000	Mecánico
	103-7	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite de diferencial y evaluar el resultado del análisis de partículas metálicas	2000	Mecánico
	103-8	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite de diferencial y evaluar el resultado del análisis de partículas metálicas	2000	Mecánico

Sistema: Sistema de Transmisión											N° de Hoja: 2		De: 3					
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por			
MF I	MF II	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3					H4	H5	S4
103	103-9	S	N	N	S	S									A condición	Tomar muestra de aceite de diferencial y evaluar el resultado del análisis de partículas metálicas	2000	Mecánico
	103-10	N					N	N	S						Preventiva	Cambiar lainar reguladoras de cobre de diferencial por horas de servicio	4000	Mecánico
	103-11	S	N	N	S	S									A condición	Tomar muestra de aceite de diferencial y evaluar el resultado del análisis de partículas metálicas	2000	Mecánico
	103-12	N					N	N	S						Preventiva	Evaluar desgaste de castillo (Housing) de diferencial	4000	Mecánico
	103-13	S	N	N	S	N	N	S							Preventiva	Cambiar los rodamientos de regulación del diferencial por horas de servicio	4000	Mecánico
	103-14	N	N	N	S	N	N	S							Preventiva	Regular juego axial entre el piñón de ataque y el piñón corona	4000	Mecánico
	103-15	S	N	N	S	N	N	S							Preventiva	Cambiar aceite de diferencial	2000	Mecánico
	103-16	S	N	N	S	S									A condición	Inspeccionar visualmente y lubricar el eje cardan	250	Mecánico
	103-17	N					S								A condición	Inspeccionar visualmente el desgaste de los dientes del eje palier derecho/izquierdo	6000	Mecánico
103-18	S	N	N	N	N	N	S							Preventiva	Cambiar kit de accesorios de tapa de mando final	6000	Mecánico	

Sistema: Sistema de Transmisión											N° de Hoja: 3		De: 3		
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
MF I	MF II	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
	103-19	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite de mando final y evaluar el resultado del análisis de partículas metálicas	2000	Mecánico
	103-20	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite de mando final y evaluar el resultado del análisis de partículas metálicas	2000	Mecánico
	103-21	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar aceite de mando final	2000	Mecánico
	103-22	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar filtros de aceite de transmisión	500	Mecánico
	103-23	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de líquido refrigerante	500	Mecánico
	103-24	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar aceite de transmisión	1000	Mecánico
	103-25	S	N	N	S	N	N	S				Preventivo	Cambiar electroválvulas de marchas	8000	Electricista
	103-26	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de aceite de transmisión y evaluar el resultado del análisis	1000	Mecánico
	103-27	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar y probar controles de marcha	250	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 4.45
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM AL SISTEMA DE FRENOS**

Sistema: Sistema de Transmisión											N° de Hoja: 1		De: 1			
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default				Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4				
MF I	MF II	H	S	E	O	N1	N2	N3								
104	104-1	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar kit de accesorios de caliper de freno	2000	Mecánico	
	104-2	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar pistones deteriorados de caliper de freno	2000	Mecánico	
	104-3	S	S			S						A condición	Inspeccionar visualmente el desgaste de las pastillas y del disco de freno	250	Mecánico	
	104-4	S	S			S						A condición	Inspeccionar visualmente la posición correcta de las pastillas de freno	250	Mecánico	
	104-5	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar calipers de frenos	250	Mecánico	
	104-6	S	S			S						A condición	Inspeccionar cañerías del sistema de frenos	250	Mecánico	
	104-7	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar nivel de líquido de freno y rellenar de ser necesario	Diario	Operador	
	104-8	S	S			S						A condición	Revisar y regular pedal de freno	250	Mecánico	
	104-9	S	S			N	N	S				Preventiva	Cambiar liquido de freno	2000	Mecánico	
	104-10	S	S			S						A condición	Inspeccionar y probar el correcto funcionamiento del compresor de aire	250	Mecánico	
	104-11	S	S			S						A condición	Inspeccionar cañerías del compresor de aire	250	Mecánico	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.46
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM AL SISTEMA DE DIRECCIÓN

Sistema: Sistema de Dirección											N° de Hoja: 1		De: 1		
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3	O1	O2	O3				
MF I	MF II	H	S	E	O	N1	N2	N3							
105	105-1	S	S			S						A condición	Inspeccionar y probar el correcto funcionamiento de las palancas de controles	250	Mecánico
	105-2	S	S			S						A condición	Inspeccionar y probar el correcto funcionamiento del volante	250	Mecánico
	105-3	S	S			S						A condición	Inspeccionar visualmente los sellos de los cilindros hidráulicos de dirección	250	Mecánico
	105-4	S	S			S						A condición	Medir presiones de entrada y salida de bomba hidráulica	1000	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.47
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM AL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Sistema: Sistema de Refrigeración												N° de Hoja: 1		De: 1	
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3							
MF I	MF II	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
		N1	N2	N3											
106	106-1	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente al radiador del motor	250	Mecánico
	106-2	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Limpiar internamente (Sondear) el radiador del motor	2000	Mecánico
	106-3	S	N	N	S	S						A condición	Limpiar y lavar externamente el radiador del motor	250	Mecánico
	106-4	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente al radiador del motor	250	Mecánico
	106-5	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar kit de sellos de bomba de agua	1000	Mecánico
	106-6	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar rodamientos de bomba de agua	1000	Mecánico
	106-7	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar líquido refrigerante	2000	Mecánico
	106-8	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente la manguera superior del radiador del motor	250	Mecánico
	106-9	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente la manguera inferior del radiador del motor	250	Mecánico
	106-10	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Realizar mantenimiento a enfriador de aceite de motor	2000	Mecánico
	106-11	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Realizar mantenimiento a enfriador de aceite de transmisión	2000	Mecánico
	106-12	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente el termostato del motor	250	Mecánico
	106-13	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente el termostato del motor	250	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.48
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM AL SISTEMA ELÉCTRICO

Sistema: Sistema Eléctrico											N° de Hoja: 1		De: 2		
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3	O1	O2	O3				
MF I	MF II	H	S	E	O	N1	N2	N3							
107	107-1	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Realizar mantenimiento de arrancador	4000	Electricista
	107-2	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Realizar mantenimiento de arrancador	4000	Electricista
	107-3	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Realizar mantenimiento de arrancador	4000	Electricista
	107-4	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar cables de batería al arrancador	250	Electricista
	107-5	N				S						A condición	Regular ajuste de la faja del alternador	250	Mecánico
	107-6	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar el alineamiento de la polea motriz	250	Mecánico
	107-7	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Realizar mantenimiento del alternador	4000	Electricista
	107-8	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Realizar mantenimiento del alternador	4000	Electricista
	107-9	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Realizar mantenimiento del alternador	4000	Electricista
	107-10	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente las conexiones eléctricas	250	Electricista

Sistema: Sistema Eléctrico												N° de Hoja: 2		De: 2	
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3							
MF I	MF II	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
		N1	N2	N3											
107	107-11	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente las conexiones eléctricas de las baterías	250	Electricista
	107-12	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente las conexiones eléctricas de las baterías	250	Electricista
	107-13	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar terminales de baterías	250	Electricista
	107-14	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Realizar mantenimiento del alternador	4000	Electricista
	107-15	S	N	N	S	S						A condición	Probar el correcto funcionamiento del sistema de luces	Diario	Operador
	107-16	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente las conexiones eléctricas	250	Electricista
	107-17	S	N	N	N	S						A condición	Cambiar baterías	2000	Electricista
	107-18	S	N	N	N	S						A condición	Inspeccionar visualmente la caja de fusibles	250	Electricista
	107-19	S	N	N	N	S						A condición	Inspeccionar switch de freno	250	Electricista
	107-20	S	N	N	S	S						A condición	Probar el correcto funcionamiento del claxon	Diario	Operador
	107-21	S	N	N	S	S						A condición	Probar el correcto funcionamiento del claxon	Diario	Operador
	107-22	S	N	N	S	S						A condición	Probar el correcto funcionamiento de la alarma de retroceso	Diario	Operador

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.49
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM AL SISTEMA ELECTRÓNICO

Sistema: Sistema Electrónico											N° de Hoja: 1			De: 1	
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3							
MF I	MF II	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
		N1	N2	N3											
108	108-1	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente y probar funcionamiento del Módulo de control electrónico (ECM)	250	Electricista
	108-2	S	N	N	S	S						A condición	Escanear equipo y eliminar códigos de fallas	1000	Electricista

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.50
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM AL SISTEMA DE COMBUSTIBLE

Sistema: Sistema de Combustible											N° de Hoja: 1			De: 2	
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3							
MF I	MF II	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
		N1	N2	N3											
109	109-1	S	N	N	S	S						A condición	Tomar muestra de combustible	250	Mecánico
	109-2	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar sensor de nivel de combustible	250	Mecánico
	109-3	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Realizar mantenimiento a bomba de inyección	8000	Mecánico
	109-4	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Cambiar filtros de combustible	250	Mecánico
	109-5	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Realizar mantenimiento a bomba de inyección	8000	Mecánico

Sistema: Sistema de Combustible											N° de Hoja: 2		De: 2		
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3	H4	H5	S4				
MF I	MF II	H	S	E	O	N1	N2	N3							
109	109-6	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Realizar mantenimiento a bomba de inyección	8000	Mecánico
	109-7	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar solenoide de corte de combustible	250	Mecánico
	109-8	N				N	N	S				Preventiva	Cambiar filtro separador de agua	250	Mecánico
	109-9	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Realizar mantenimiento a inyectores	8000	Mecánico
	109-10	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Realizar mantenimiento a bomba de inyección	8000	Mecánico
	109-11	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente cañerías de combustible	250	Mecánico
	109-12	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente inyectores	250	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 4.51
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM A LAS HERRAMIENTAS DE
DESGASTE/CORTE**

Sistema: Herramientas de desgaste/corte											N° de Hoja: 1		De: 1		
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3	H4	H5	S4				
						O1	O2	O3							
MF I	MF II	H	S	E	O	N1	N2	N3							
111	111-1	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente cuchillas y pernos de sujeción	250	Mecánico
	111-2	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente cuchillas y pernos de sujeción	250	Mecánico
	111-3	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente cantoneras y pernos de sujeción	250	Mecánico
	111-4	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente cantoneras y pernos de sujeción	250	Mecánico
	111-5	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente uñas/adapters, pines y seguros	250	Mecánico
	111-6	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente uñas/adapters, pines y seguros	250	Mecánico
	111-7	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente uñas/adapters, pines y seguros	250	Mecánico
	111-8	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente uñas del ripper, pines y seguros	250	Mecánico
	111-9	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente uñas del ripper, pines y seguros	250	Mecánico
	111-10	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente uñas del ripper, pines y seguros	250	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 4.52
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM AL CHASIS**

Sistema: Chasis											N° de Hoja: 1	De: 1			
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3							
MF I	MF II	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
		N1	N2	N3											
112	112-1	S	N	N	N	S						A condición	Inspeccionar visualmente el chasis del equipo	Diario	Operador
	112-2	S	N	N	N	S						A condición	Inspeccionar visualmente el chasis del equipo	Diario	Operador
	112-3	S	N	N	N	S						A condición	Inspeccionar visualmente el chasis del equipo	Diario	Operador
	112-4	S	N	N	N	S						A condición	Inspeccionar visualmente el chasis del equipo	Diario	Operador

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 4.53
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM A LOS NEUMÁTICOS**

Sistema: Neumáticos											N° de Hoja: 1	De: 1			
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3							
MF I	MF II	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
		N1	N2	N3											
113	113-1	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar presión de aire de los 04 neumáticos	Diario	Operador
	113-2	S	S			S						A condición	Inspeccionar presión de aire de los 04 neumáticos	Diario	Operador
	113-3	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar tapón de válvula de aire de los 04 neumáticos	Diario	Operador
	113-4	S	S			S						A condición	Inspeccionar los aros de los 04 neumáticos	Diario	Operador
	113-5	S	S			S						A condición	Inspeccionar los aros de los 04 neumáticos	Diario	Operador
	113-6	S	S			S						A condición	Inspeccionar los aros de los 04 neumáticos	Diario	Operador
	113-7	S	S			S						A condición	Inspeccionar los aros de los 04 neumáticos	Diario	Operador
	113-8	S	S			S						A condición	Medir la cocada de los 04 neumáticos	250	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 4.54
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM A LOS IMPLEMENTOS**

Sistema: Implementos												N° de Hoja: 1		De: 1	
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3	H4	H5	S4				
						O1	O2	O3	N1	N2	N3				
114	114-1	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente la parte inferior del cucharón	250	Mecánico
	114-2	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente la parte superior del cucharón	250	Mecánico
	114-3	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente el accionamiento de los cilindros hidráulicos de inclinación/elevación	250	Mecánico
	114-4	S	N	N	S	N	N	S				Preventivo	Realizar mantenimiento eléctrico a las palancas de accionamiento	4000	Electricista
	114-5	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente la parte superior de la hoja topadora	250	Mecánico
	114-6	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente la parte inferior de la hoja topadora	250	Mecánico
	114-7	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente el accionamiento de los cilindros hidráulicos de inclinación/elevación	250	Mecánico
	114-8	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar visualmente el accionamiento de los cilindros hidráulicos de inclinación/elevación	250	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.55
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM A LA CABINA DEL OPERADOR

Sistema: Cabina del operador											N° de Hoja: 1		De: 1		
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3	O1	O2	O3				
MF I	MF II	H	S	E	O	N1	N2	N3							
116	116-1	S	S			S						A condición	Inspeccionar el estado del asiento del operador	Diario	Operador
	116-2	S	S			S						A condición	Inspeccionar chapas y bisagras de puertas de cabina del operador	Diario	Operador
	116-3	S	S			S						A condición	Inspeccionar lunas de cabina del operador	Diario	Operador
	116-4	S	S			S						A condición	Inspeccionar limpiaparabrisas delantero/posterior de cabina del operador	Diario	Operador
	116-5	S	N	N	S	S						A condición	Evaluar el correcto funcionamiento del tablero de instrumentación	250	Electricista
	116-6	S	N	N	S	S						A condición	Evaluar el correcto funcionamiento de los controles/palancas de accionamiento	250	Mecánico
	116-7	S	S			S						A condición	Inspeccionar las hebillas y correas del cinturón de seguridad	Diario	Operador

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.56
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM AL TREN DE RODAMIENTOS

Sistema: Tren de rodamientos												N° de Hoja: 1		De: 1	
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3							
MF I	MF II	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
117	117-1	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar eslabones de cadena de tren de rodamientos	500	Mecánico
	117-2	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar pasadores de cadena de tren de rodamientos	500	Mecánico
	117-3	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar bujes de cadena de tren de rodamientos	500	Mecánico
	117-4	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar rodillos inferiores/superiores de tren de rodamientos	500	Mecánico
	117-5	N				N	N	S				Preventiva	Reparar rodillos inferiores/superiores de tren de rodamientos	4000	Mecánico
	117-6	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar rodillos inferiores/superiores de tren de rodamientos	250	Mecánico
	117-7	S	N	N	S	N	N	S				Preventiva	Recalzar zapatas de tren de rodamientos	2000	Mecánico
	117-8	S	N	N	S	S						A condición	Inspeccionar y/o cambiar pernos de zapatas	250	Mecánico
	117-9	N				N	N	S				Preventiva	Reparar ruedas guía de tren de rodamientos	4000	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4.57
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM A LOS ACCESORIOS

Sistema: Accesorios											N° de Hoja: 1		De: 1		
Referencia de la información		Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción de Default			Tipo de decisión	Tarea propuesta	Frecuencia (Horas)	Puede ser realizado por
						S1	S2	S3							
MF I	MF II	H	S	E	O	N1	N2	N3							
118	118-1	S	N	N	N	S						A condición	Inspeccionar espejos laterales	Diario	Operador
	118-2	S	N	N	N	S						A condición	Inspeccionar escaleras	Diario	Operador
	118-3	S	N	N	N	S						A condición	Inspeccionar guardafangos	Diario	Operador

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V. RESULTADOS

5.1. Elaboración de los planes de mantenimiento preventivo

Se elaboraron los planes de mantenimiento preventivo en función de toda la metodología aplicada en el RCM, considerando los análisis de modos y efecto de falla, los diagramas de Pareto, el análisis de criticidad y el diagrama de decisión del RCM. Así mismo, se complementó con la información brindada por el fabricante y la experiencia del personal del área.

5.2. Tareas diarias para el Tractor Oruga Caterpillar D8T

**TABLA N° 5.1
TAREAS DIARIAS PARA EL TRACTOR ORUGA CAT D8T**

Descripción	Actividad	Frecuencia	Responsable
Estado de luces, claxon, alarma y tablero de instrumentación	Probar el correcto funcionamiento de las luces frontales	Diario	Operador
	Probar el correcto funcionamiento de la alarma de retroceso		
	Probar el correcto funcionamiento de las luces direccionales delanteras y traseras		
	Probar el correcto funcionamiento del claxon		
	Inspeccionar visualmente si encienden todas las luces de advertencia del tablero de instrumentación		
Estado mecánico	Inspeccionar el templado de la cadena del tren de rodamientos	Diario	Operador
	Inspeccionar visualmente las fugas de aceite en los cilindros de inclinación de hoja topadora		
	Inspeccionar visualmente las fugas de aceite en general		

Descripción	Actividad	Frecuencia	Responsable
Estado mecánico	Inspeccionar visualmente la hoja topadora y los elementos de desgaste/ corte	Diario	Operador
	Medir el nivel de aceite en el cárter del motor (de ser necesario agregar)		
	Medir el nivel de aceite en el sistema de transmisión (de ser necesario agregar)		
	Medir el nivel de aceite en el sistema hidráulico (de ser necesario agregar)		
	Medir el nivel de combustible en el equipo (de ser necesario agregar)		
	Revisar el nivel del líquido refrigerante en el radiador (de ser necesario agregar)		
	Abrir la válvula de drenaje permitiendo que drene el agua y los sedimentos del tanque de combustible		
	Probar el correcto funcionamiento del freno de servicio		
	Probar el correcto funcionamiento del freno de parqueo		
Estado de cabina del operador	Inspeccionar visualmente la cabina del operador detectando golpes u otros	Diario	Operador
	Inspeccionar visualmente el espejo retrovisor		
	Inspeccionar visualmente las ventanas y parabrisas		
	Inspeccionar el extintor y el precinto de seguridad		
	Inspeccionar el cinturón de seguridad		

Fuente: Elaboración propia

5.3. Tareas de mantenimiento para el Tractor Oruga Caterpillar D8T

**TABLA N° 5.2
TAREAS DE 250 HORAS PARA EL TRACTOR ORUGA CAT D8T**

Actividades de mantenimiento de 250 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Responsable
Motor	Cambiar aceite de motor	00:20	Mecánico
	Tomar muestra de aceite de motor	00:10	Mecánico
	Cambiar filtro de aceite de motor / limpiar respiradero	00:20	Mecánico
	Cambiar filtro separador de agua	00:15	Mecánico
	Inspeccionar ajuste de fajas / tensores	00:25	Mecánico
Sistema de combustible	Cambiar filtro de combustible / limpiar malla	00:20	Mecánico
	Tomar muestra de combustible	00:10	Mecánico
Sistema hidráulico	Inspeccionar visualmente las mangueras y cañerías hidráulicas, el tanque hidráulico, los cilindros hidráulicos y el cilindro hidráulico del ripper	01:00	Mecánico
Sistema de transmisión	Inspeccionar visualmente las mangueras y cañerías del sistema transmisión	00:25	Mecánico
	Lubricar pin central y extremos de barra ecualizadora	00:15	Mecánico
Sistema de refrigeración	Inspeccionar visualmente y limpiar externamente al radiador, manguera superior e inferior del radiador, tapa y termostato	00:20	Mecánico
Tren de rodamientos	Reajustar pernos de carriles y sprokets	00:25	Mecánico
	Verificar cadena: tensión/ajuste de pernos	00:25	Mecánico
Herramientas de desgaste/corte	Inspeccionar visualmente cuchillas, cantoneras, strips, pernos de sujeción, uñas del ripper y seguros de uñas	00:30	Mecánico
Implementos	Inspeccionar visualmente la parte inferior y superior de la hoja topadora	00:15	Mecánico
Sistema de dirección	Inspeccionar y probar el correcto funcionamiento de las palancas de controles	00:20	Mecánico
Sistema eléctrico	Inspeccionar visualmente las conexiones eléctricas, terminales y baterías	00:20	Electricista
Sistema electrónico	Inspeccionar visualmente y probar funcionamiento del Módulo de control electrónico (ECM)	00:30	Electricista
Chasis	Inspeccionar visualmente el chasis del equipo (estructura ROPS)	00:15	Mecánico
Cabina del operador	Evaluar el correcto funcionamiento del tablero de instrumentación	00:15	Electricista

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.3
TAREAS DE 500 HORAS PARA EL TRACTOR ORUGA CAT D8T**

Actividades de mantenimiento de 500 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Responsable
Motor	Cambio de filtro de aire primario	00:15	Mecánico
	Limpiar respiradero del cárter del motor	00:10	Mecánico
Sistema hidráulico	Cambiar filtros de aceite hidráulico / limpiar respiradero	00:15	Mecánico
Sistema de transmisión	Cambiar filtro de transmisión / limpiar respiradero	00:15	Mecánico
Tren de rodamientos	Inspeccionar tren de rodamientos (eslabones, cadena, bujes, zapatas, pernos y rodillos inferiores/superiores)	01:00	Mecánico
Sistema de combustible	Inspeccionar fugas y limpiar inyectores	00:30	Mecánico
Sistema de frenos	Evaluar embragues de dirección y frenos / parqueo	00:25	Mecánico
Sistema de refrigeración	Tomar muestra de líquido refrigerante	00:10	Mecánico
Chasis	Lavado general del equipo	00:45	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.4
TAREAS DE 1000 HORAS PARA EL TRACTOR ORUGA CAT D8T**

Actividades de mantenimiento de 1000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Frecuencia
Motor	Cambiar filtro de aire secundario	00:10	Mecánico
Sistema de transmisión	Cambiar aceite de transmisión	00:30	Mecánico
	Tomar muestra de aceite de transmisión	00:10	Mecánico
Sistema electrónico	Escanear equipo y eliminar códigos de fallas	00:30	Electricista

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.5
TAREAS DE 2000 HORAS PARA EL TRACTOR ORUGA CAT D8T**

Actividades de mantenimiento de 2000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Frecuencia
Motor	Calibrar válvulas de admisión y de escape y reajustar culata	01:00	Mecánico
	Inspeccionar turbocompresor	00:10	Mecánico
Sistema hidráulico	Cambiar aceite hidráulico	00:30	Mecánico
	Tomar muestra de aceite hidráulico	00:10	Mecánico
Sistema de transmisión	Cambiar aceite de mandos finales	00:45	Mecánico
	Tomar muestra de aceite de mandos finales	00:15	Mecánico
Sistema de refrigeración	Cambiar líquido refrigerante	00:20	Mecánico
	Limpiar internamente (Sondear) el radiador del motor	02:00	Mecánico
	Inspeccionar y realizar mantenimiento a enfriador de aceite de motor	01:30	Mecánico
	Inspeccionar y realizar mantenimiento a enfriador de aceite de transmisión	01:30	Mecánico
Tren de rodamientos	Recalzar zapatas de tren de rodamientos	08:00	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.6
TAREAS DE 4000 HORAS PARA EL TRACTOR ORUGA CAT D8T**

Actividades de mantenimiento de 4000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Frecuencia
Motor	Medir y evaluar compresión de motor	02:00	Mecánico
	Cambio de reten delantero y posterior de cigüeñal	02:00	Mecánico
	Limpiar y realizar mantenimiento de silenciador	01:00	Mecánico
Sistema eléctrico	Realizar mantenimiento de arrancador	02:00	Electricista
	Realizar mantenimiento de alternador	02:00	Electricista
Tren de rodamientos	Reparar rodillos inferiores/superiores de tren de rodamientos	08:00	Mecánico
	Reparar ruedas guía de tren de rodamientos	08:00	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.7
TAREAS DE 6000 HORAS PARA EL TRACTOR ORUGA CAT D8T**

Actividades de mantenimiento de 6000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Frecuencia
Sistema de transmisión	Cambiar kit de accesorios de tapa de mando final	02:00	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.8
TAREAS DE 8000 HORAS PARA EL TRACTOR ORUGA CAT D8T**

Actividades de mantenimiento de 8000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Frecuencia
Sistema hidráulico	Cambiar sellos y accesorios de bomba hidráulica	02:00	Mecánico
	Cambiar sellos de caja de válvulas	02:00	Mecánico
Sistema de combustible	Realizar mantenimiento a bomba de inyección	03:00	Mecánico
	Realizar mantenimiento a inyectores	02:00	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

5.4. Tareas diarias para los Cargadores Frontales Sem 659C y Cat. 966H

**TABLA N° 5.9
TAREAS DIARIAS PARA EL TRACTOR ORUGA CAT D8T**

Descripción	Actividad	Frecuencia	Responsable
Estado de luces, claxon, alarma y tablero de instrumentación	Probar el correcto funcionamiento de las luces frontales	Diario	Operador
	Probar el correcto funcionamiento de la alarma de retroceso		
	Probar el correcto funcionamiento de las luces direccionales delanteras y traseras		
	Probar el correcto funcionamiento de las luces freno		
	Probar el correcto funcionamiento del claxon		
	Inspeccionar visualmente si encienden todas las luces de advertencia del tablero de instrumentación		

Descripción	Actividad	Frecuencia	Responsable
Estado mecánico	Medir el nivel de aceite en el cárter del motor (de ser necesario agregar)	Diario	Operador
	Medir el nivel de aceite en el sistema de transmisión (de ser necesario agregar)		
	Medir el nivel de aceite en el sistema hidráulico (de ser necesario agregar)		
	Medir el nivel de líquido de freno de servicio (de ser necesario agregar)		
	Medir el nivel de combustible en el equipo (de ser necesario agregar)		
	Revisar el nivel del líquido refrigerante en el radiador (de ser necesario agregar)		
	Abrir la válvula de drenaje permitiendo que drene el agua y los sedimentos del tanque de combustible		
	Inspeccionar visualmente los espejos laterales		
	Probar el correcto funcionamiento del freno de servicio		
	Probar el correcto funcionamiento del freno de parqueo		
	Inspeccionar llantas delanteras y traseras		
	Inspeccionar si el aro de la llanta presenta recalentamiento		
	Inspeccionar las tuercas de las ruedas		
	Inspeccionar visualmente las fugas de aceite en general		
	Inspeccionar visualmente el cucharón y los elementos de desgaste/ corte		
Lubricar pines del cucharón			
Estado de cabina del operador	Inspeccionar visualmente los espejos laterales	Diario	Operador
	Inspeccionar visualmente las ventanas y parabrisas		
	Inspeccionar si el indicador de pistón del filtro de aire se encuentra en la zona roja		
	Inspeccionar el extintor y el precinto de seguridad		
	Inspeccionar el cinturón de seguridad		

Fuente: Elaboración propia

5.5. Tareas de mantenimiento para el Cargador Frontal Sem 659C

**TABLA N° 5.10
TAREAS DE 250 HORAS PARA EL CARGADOR F. SEM 659C**

Actividades de mantenimiento de 250 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Responsable
Motor	Cambiar aceite de motor	00:20	Mecánico
	Tomar muestra de aceite de motor	00:10	Mecánico
	Cambiar filtro de aceite de motor / limpiar respiradero	00:15	Mecánico
	Cambiar filtro separador de agua	00:15	Mecánico
	Inspeccionar ajuste de fajas / tensores	00:25	Mecánico
	Lubricar eje de ventilador de radiador	00:15	Mecánico
Sistema de transmisión	Ajustar crucetas y pines centrales	00:20	Mecánico
	Inspeccionar visualmente las mangueras y cañerías del sistema transmisión	00:25	Mecánico
Sistema de combustible	Cambiar filtro de combustible / limpiar malla	00:20	Mecánico
	Tomar muestra de combustible	00:10	Mecánico
	Inspeccionar solenoide de corte de combustible	00:10	Electricista
Sistema hidráulico	Inspeccionar visualmente las mangueras y cañerías hidráulicas, el tanque hidráulico, los cilindros hidráulicos de elevación, inclinación y dirección	01:00	Mecánico
Sistema de refrigeración	Inspeccionar visualmente y limpiar externamente al radiador, manguera superior e inferior del radiador, tapa y termostato	00:20	Mecánico
Sistema eléctrico	Inspeccionar visualmente las conexiones eléctricas, terminales y baterías	00:20	Electricista
Sistema de dirección	Inspeccionar y probar el correcto funcionamiento del volante (juego de columna de dirección)	00:15	Mecánico
Sistema de frenos	Inspeccionar visualmente el desgaste de las pastillas y del disco de freno	00:20	Mecánico
	Revisar y probar freno de servicio y de parqueo	00:15	Mecánico
Neumáticos	Medir la cocada de los 04 neumáticos	00:10	Mecánico
Herramientas de desgaste/corte	Inspeccionar visualmente cantoneras, pernos de sujeción, uñas / adapters, pines y seguros	00:25	Mecánico
Implementos	Inspeccionar visualmente la parte inferior y superior del cucharón	00:15	Mecánico
Cabina del operador	Evaluar el correcto funcionamiento del tablero de instrumentación	00:15	Electricista
Chasis	Inspeccionar visualmente el chasis del equipo (estructura ROPS)	00:15	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.11
TAREAS DE 500 HORAS PARA EL CARGADOR F. SEM 659C**

Actividades de mantenimiento de 500 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Responsable
Motor	Cambiar filtro de aire	00:20	Mecánico
Sistema hidráulico	Cambiar filtro respiradero de tanque hidráulico	00:15	Mecánico
Sistema de combustible	Inspeccionar fugas y limpiar inyectores	00:30	Mecánico
Sistema de refrigeración	Tomar muestra de líquido refrigerante	00:10	Mecánico
Chasis	Lavado general del equipo	00:45	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.12
TAREAS DE 1000 HORAS PARA EL CARGADOR F. SEM 659C**

Actividades de mantenimiento de 1000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Responsable
Sistema de transmisión	Cambiar filtro de transmisión	00:10	Mecánico
	Cambiar aceite de transmisión	00:30	Mecánico
	Tomar muestra de aceite de transmisión	00:10	Mecánico
	Cambiar aceite de diferencial	00:45	Mecánico
	Tomar muestra de aceite de diferencial	00:15	Mecánico
	Cambiar aceite de mandos finales	00:45	Mecánico
	Tomar muestra de aceite de mandos finales	00:15	Mecánico
	Inspeccionar desgaste del soporte del eje posterior	00:15	Mecánico
Sistema hidráulico	Cambiar filtro de retorno de aceite hidráulico	00:20	Mecánico
	Cambiar filtro de válvula PPC	00:15	Mecánico
Sistema de refrigeración	Evaluar y/o reparar bomba de agua	02:30	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.13
TAREAS DE 2000 HORAS PARA EL CARGADOR F. SEM 659C**

Actividades de mantenimiento de 2000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Responsable
Motor	Calibrar válvulas de admisión y de escape y reajustar culata	01:00	Mecánico
	Inspeccionar turbocompresor	00:20	Mecánico
Sistema hidráulico	Cambiar aceite hidráulico	00:30	Mecánico
	Tomar muestra de aceite hidráulico	00:10	Mecánico
	Cambiar colador del tanque hidráulico	00:10	Mecánico
Sistema de combustible	Cambiar filtro respiradero de tanque de combustible	00:10	Mecánico
Sistema de frenos	Evaluar y reparar calipers de freno	04:00	Mecánico
	Cambiar liquido de freno	00:20	Mecánico
Sistema de refrigeración	Cambiar liquido refrigerante	00:20	Mecánico
	Limpiar internamente (Sondear) el radiador del motor	02:00	Mecánico
	Inspeccionar y realizar mantenimiento a enfriador de aceite de transmisión	01:30	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.14
TAREAS DE 4000 HORAS PARA EL CARGADOR F. SEM 659C**

Actividades de mantenimiento de 4000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Responsable
Motor	Medir y evaluar compresión de motor	02:00	Mecánico
	Cambio de reten delantero y posterior de cigüeñal	02:00	Mecánico
	Limpiar y realizar mantenimiento de silenciador	01:00	Mecánico
Sistema de transmisión	Evaluar y reparar diferencial posterior y delantero	08:00	Mecánico
Sistema eléctrico	Realizar mantenimiento de alternador	02:00	Electricista
	Realizar mantenimiento de arrancador	02:00	Electricista

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.15
TAREAS DE 6000 HORAS PARA EL CARGADOR F. SEM 659C**

Actividades de mantenimiento de 6000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Responsable
Sistema de frenos	Inspeccionar visualmente el desgaste de los dientes del eje palier derecho/izquierdo	02:30	Mecánico
Sistema de transmisión	Cambiar kit de accesorios de tapa de mando final	02:00	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.16
TAREAS DE 8000 HORAS PARA EL CARGADOR F. SEM 659C**

Actividades de mantenimiento de 8000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Responsable
Sistema hidráulico	Cambiar sellos y accesorios de bomba hidráulica	02:00	Mecánico
	Cambiar sellos de caja de válvulas	02:00	Mecánico
Sistema de transmisión	Cambiar electroválvulas de marchas	03:00	Electricista
Sistema de combustible	Realizar mantenimiento a bomba de inyección	03:00	Mecánico
	Realizar mantenimiento a inyectores	02:00	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

5.6. Tareas de mantenimiento para el Cargador Frontal Caterpillar 966H

TABLA N° 5.17
TAREAS DE 250 HORAS PARA EL CARGADOR F. CAT 966H

Actividades de mantenimiento de 250 Horas			
Sistema	Tarea	Duración (Hrs)	Responsable
Motor	Cambiar aceite de motor	00:20	Mecánico
	Tomar muestra de aceite de motor	00:10	Mecánico
	Cambiar filtro de aceite de motor	00:15	Mecánico
	Cambiar filtro separador de agua	00:10	Mecánico
	Inspeccionar líneas de encendido	00:10	Electricista
	Inspeccionar ajuste de fajas / tensores	00:25	Mecánico
Sistema de combustible	Cambiar filtro de combustible / limpiar malla	00:20	Mecánico
	Tomar muestra de combustible	00:10	Mecánico
Sistema eléctrico	Inspeccionar visualmente las conexiones eléctricas, terminales y baterías	00:20	Electricista
Sistema de refrigeración	Inspeccionar visualmente y limpiar externamente al radiador, manguera superior e inferior del radiador, tapa y termostato	00:20	Mecánico
Herramientas de desgaste/corte	Inspeccionar visualmente cantoneras, pernos de sujeción, uñas / adapters, pines y seguros	00:25	Mecánico
Implementos	Inspeccionar visualmente la parte inferior y superior del cucharón	00:15	Mecánico
Sistema de transmisión	Ajustar crucetas y pines centrales	00:20	Mecánico
	Inspeccionar visualmente las mangueras y cañerías del sistema transmisión	00:25	Mecánico
Sistema de frenos	Revisar y probar freno de servicio y de parqueo	00:15	Mecánico
Sistema hidráulico	Inspeccionar visualmente las mangueras y cañerías hidráulicas, el tanque hidráulico, los cilindros hidráulicos de elevación, inclinación y dirección	01:00	Mecánico
Cabina del operador	Evaluar el correcto funcionamiento del tablero de instrumentación	00:15	Electricista
Chasis	Inspeccionar visualmente el chasis del equipo (estructura ROPS)	00:15	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.18
TAREAS DE 500 HORAS PARA EL CARGADOR F. CAT 966H**

Actividades de mantenimiento de 500 Horas			
Sistema	Tarea	Duración	Frecuencia
Motor	Cambiar filtro de aire primario	00:15	Mecánico
Sistema de transmisión	Cambiar filtro de transmisión	00:10	Mecánico
Sistema hidráulico	Cambiar filtros hidráulicos	00:15	Mecánico
	Limpiar tapa de tanque hidráulico	00:15	Mecánico
Sistema de refrigeración	Tomar muestra de líquido refrigerante	00:10	Mecánico
Neumáticos	Medir la cocada de los 04 neumáticos	00:10	Mecánico
Chasis	Lavado general del equipo	00:45	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.19
TAREAS DE 1000 HORAS PARA EL CARGADOR F. CAT 966H**

Actividades de mantenimiento de 1000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración	Frecuencia
Motor	Cambiar filtro de aire secundario	00:10	Mecánico
	Verificar válvula de sistema de aire	00:10	Mecánico
Sistema de combustible	Inspeccionar bomba de inyección e inyectores	00:40	Mecánico
Sistema de transmisión	Cambiar aceite de transmisión	00:30	Mecánico
	Tomar muestra de aceite de transmisión	00:10	Mecánico
Sistema eléctrico	Inspeccionar sistema de carga alternador y batería	00:20	Electricista
Sistema electrónico	Escanear equipo y eliminar códigos de fallas	00:30	Electricista
Accesorios	Inspeccionar el correcto funcionamiento del elevador de capot	00:10	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.20
TAREAS DE 2000 HORAS PARA EL CARGADOR F. CAT 966H**

Actividades de mantenimiento de 2000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración	Frecuencia
Motor	Calibrar válvulas de admisión y de escape y reajustar culata	01:00	Mecánico
	Inspeccionar turbocompresor	00:20	Mecánico
	Limpia y realizar mantenimiento de silenciador	01:00	Mecánico
Sistema de transmisión	Cambiar aceite de diferencial	00:45	Mecánico
	Tomar muestra de aceite de diferencial	00:15	Mecánico
	Cambiar aceite de mandos finales	00:45	Mecánico
	Tomar muestra de aceite de mandos finales	00:15	Mecánico
Sistema hidráulico	Cambiar aceite hidráulico	00:30	Mecánico
	Tomar muestra de aceite hidráulico	00:10	Mecánico
Sistema de frenos	Cambiar líquido de freno	00:20	Mecánico
Sistema de refrigeración	Cambiar líquido refrigerante	00:20	Mecánico
	Limpia internamente (Sondear) el radiador del motor	02:00	Mecánico
	Inspeccionar y realizar mantenimiento a enfriador de aceite de motor	01:30	Mecánico
	Inspeccionar y realizar mantenimiento a enfriador de aceite de transmisión	01:30	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.21
TAREAS DE 4000 HORAS PARA EL CARGADOR F. CAT 966H**

Actividades de mantenimiento de 4000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración	Frecuencia
Motor	Medir y evaluar compresión de motor	02:00	Mecánico
	Limpia y realizar mantenimiento de silenciador	01:00	Mecánico
Sistema eléctrico	Realizar mantenimiento de alternador	02:00	Electricista
	Realizar mantenimiento de arrancador	02:00	Electricista

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.22
TAREAS DE 6000 HORAS PARA EL CARGADOR F. CAT 966H**

Actividades de mantenimiento de 6000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración	Frecuencia
Sistema de frenos	Inspeccionar visualmente el desgaste de los dientes del eje palier derecho/izquierdo	02:30	Mecánico
Sistema de transmisión	Cambiar kit de accesorios de tapa de mando final	02:00	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.23
TAREAS DE 8000 HORAS PARA EL CARGADOR F. CAT 966H**

Actividades de mantenimiento de 8000 Horas			
Sistema	Tarea	Duración	Frecuencia
Sistema hidráulico	Cambiar sellos y accesorios de bomba hidráulica	02:00	Mecánico
	Cambiar sellos de caja de válvulas	02:00	Mecánico
Sistema de combustible	Realizar mantenimiento a bomba de inyección	03:00	Mecánico
	Realizar mantenimiento a inyectores	02:00	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

5.7. Disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo

Después de haberse diseñado el plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad para los equipos pesados que operan en una cantera de Caliza – Marcapomacocha Junín, la empresa minera peruana dueña de dicha cantera optó por aplicarlo en sus equipos, obteniéndose los siguientes resultados en los últimos 4 meses:

TABLA N° 5.24
DISPONIBILIDAD DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DEL PLAN DE
MANTENIMIENTO – TRACTOR ORUGA CAT D8T

Tractor Oruga Cat. D8T			
Fecha	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Jul-18	97.89	8.04	92.41%
Ago-18	113.71	9.78	92.08%
Set-18	129.75	8.35	93.95%
Oct-18	136.98	9.17	93.73%
Disponibilidad promedio:			93.04%

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.25
DISPONIBILIDAD DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DEL PLAN DE
MANTENIMIENTO – CARGADOR FRONTAL SEM 659C

Cargador Frontal SEM 659C			
Fecha	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Jul-18	96.76	6.23	93.95%
Ago-18	112.98	5.95	95.00%
Set-18	126.77	7.02	94.75%
Oct-18	136.9	6.07	95.75%
Disponibilidad promedio:			94.86%

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.26
DISPONIBILIDAD DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DEL PLAN DE
MANTENIMIENTO – CARGADOR FRONTAL CAT 966H

Cargador Frontal CAT 966H			
Fecha	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Jul-18	99.12	7.43	93.03%
Ago-18	117.48	9.29	92.67%
Set-18	132.25	8.11	94.22%
Oct-18	147.41	7.86	94.94%
Disponibilidad promedio:			93.71%

Fuente: Elaboración propia

5.7.1. Análisis estadístico de los resultados

Se procedió a comparar los valores obtenidos de disponibilidad en los meses de julio, agosto, setiembre y octubre con el valor de disponibilidad calculado antes de la aplicación del plan de mantenimiento.

**TABLA N° 5.27
COMPARACIÓN DE DISPONIBILIDAD – TRACTOR ORUGA CAT D8T**

Disponibilidad Antes del RCM	Después del RCM		Δ Disponibilidad
	Fecha	Disponibilidad	
85.85%	Jul-18	92.41%	6.56%
	Ago-18	92.08%	6.23%
	Set-18	93.95%	8.10%
	Oct-18	93.73%	7.87%
Valores Promedios:		93.04%	7.19%

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.28
COMPARACIÓN DE DISPONIBILIDAD – CARGADOR F. SEM 659C**

Disponibilidad Antes del RCM	Después del RCM		Δ Disponibilidad
	Fecha	Disponibilidad	
86.80%	Jul-18	93.95%	7.15%
	Ago-18	95.00%	8.20%
	Set-18	94.75%	7.95%
	Oct-18	95.75%	8.95%
Valores Promedios:		94.86%	8.06%

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 5.29
COMPARACIÓN DE DISPONIBILIDAD – CARGADOR F. CAT 966H**

Disponibilidad Antes del RCM	Después del RCM		Δ Disponibilidad
	Fecha	Disponibilidad	
86.59%	Jul-18	93.03%	6.43%
	Ago-18	92.67%	6.08%
	Set-18	94.22%	7.63%
	Oct-18	94.94%	8.35%
Valores Promedios:		93.71%	7.12%

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contratación de la hipótesis

- Se comprobó que, para mejorar la disponibilidad de equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín, es necesario diseñar un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad.
- Se comprobó que, para establecer las funciones principales y secundarias de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza, es necesario elaborar un esquema general de sus sistemas y componentes principales.
- Se comprobó que, para determinar los indicadores de mantenimiento MTBF, MTTR y disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza, es necesario elaborar un esquema estadístico de sus modos de falla.
- Se comprobó que, para identificar y jerarquizar las fallas y sus efectos en los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza, es necesario elaborar los análisis de AMEF y de Criticidad.
- Se comprobó que, para seleccionar las tareas de mantenimiento preventivo de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza, es necesario elaborar la hoja de decisión del RCM.

6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares

Se puede contrastar los resultados de la presente tesis con los resultados obtenido en los trabajos de tesis desarrollados en los antecedentes.

TABLA N° 6.1
CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS CON OTROS ESTUDIOS

Referencia	Equipos	Disponibilidad Antes del RCM	Disponibilidad Despues del RCM	Resultado (Δ Disponibilidad)
Antecedente nacional N°1	Excavadoras Cat 336D L	81.00%	91.00%	10.00%
Antecedente nacional N°2	Maquinaria pesada de la empresa TECNOLDHER	79.00%	91.00%	12.00%
Antecedente nacional N°3	Camión Volquete Volvo FMX-440	85.00%	93.31%	8.31%
Antecedente internacional N°1	Flota de Camiones de una empresa de productos alimenticios	90.00%	96.00%	6.00%
Presente Tesis	Tractor Oruga Cat. D8T	85.85%	93.04%	7.19%
	Cargador Frontal SEM 659C	86.80%	94.86%	8.06%
	Cargador Frontal CAT 966H	86.59%	93.71%	7.12%

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 5.30 podemos afirmar que después de implementar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para algún tipo de maquinaria pesada la disponibilidad mejora considerablemente.

6.3. Responsabilidad ética

En el desarrollo de la presente tesis se respetó la producción de los diversos autores consultados en materia de investigación, realizando las citas y referencias bibliográficas correspondientes bajo las exigencias de la norma ISO 690. Así mismo se trabajó con responsabilidad moral y social. Por lo expuesto se atribuye que la presente tesis es auténtica del propio autor.

CONCLUSIONES

1. Se concluyó que, la propuesta del diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín, tuvo una influencia positiva en la gestión y administración del mantenimiento, permitiendo que luego de su implementación la disponibilidad del Tractor oruga Cat. D8T mejore en un 7.19%, la disponibilidad del Cargador frontal Sem 659C mejore en un 8.06% y la disponibilidad del Cargador frontal Cat. 966H mejore en un 7.12%.
2. Se concluyó que, mediante la elaboración de un esquema general de los sistemas y componentes principales de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza, se pudo establecer que la función principal del Tractor oruga Cat. D8T es acarrear el mineral extraído en las canteras, así mismo que la función principal del Cargador frontal Sem 659C es seleccionar el mineral extraído en las canteras separándolo de otros minerales no adecuados, finalmente que la función principal del Cargador frontal Cat. 966H es carguío de mineral extraído en las canteras a los camiones para su posterior traslado a la planta de beneficio en lima.
3. También se estableció que para los tres equipos mencionados la función secundaria es brindar ergonomía y seguridad al operador del equipo en todo trabajo a realizarse.

4. Se concluyó que, mediante la elaboración de un esquema estadístico de modos de falla de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza, se pudo determinar los indicadores de mantenimiento del Tractor oruga Cat. D8T obteniendo como resultados un MTBF de 67.48 hr/falla, un MTTR de 11.12 hr/falla y una disponibilidad de 85.85%, así mismo para el Cargador frontal Sem 659C se obtuvo un MTBF de 54.25 hr/falla, un MTTR de 8.25 hr/falla y una disponibilidad de 86.80%, finalmente para el Cargador frontal Cat. 966H se obtuvo un MTBF de 62.13 hr/falla, un MTTR de 9.62 hr/falla y una disponibilidad de 86.59%.
5. Se concluyó que, mediante la elaboración de los análisis de AMEF y de Criticidad a los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza, se pudo identificar los modos de falla y los efectos que conllevan. Así mismo se pudo determinar que el sistema más crítico en los tres equipos es el motor, seguido del sistema de transmisión en el Cargador frontal Sem 659C y del sistema hidráulico en el Tractor oruga Cat. D8T.
6. Se concluyó que, mediante la elaboración de la hoja de decisión del RCM, se pudieron establecer las tareas de mantenimiento que cuentan con frecuencias de ejecución diarias, cada 250 horas, cada 500 horas, cada 1000 horas, cada 2000 horas, cada 4000 horas, cada 6000 horas y cada 8000 horas trabajadas del equipo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda aplicar la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad a los equipos críticos de otras canteras de explotación de minerales de la empresa y no limitarlo solo a esta unidad de negocio.
2. Se recomienda seguir con el proceso de implementación del plan de mantenimiento preventivo hasta llegar a desarrollarlo en un 100%, realizando un monitoreo constante de los indicadores de gestión de mantenimiento ya que por los antecedentes es comprobado que la disponibilidad de estos equipos puede seguir mejorando con el tiempo.
3. Se recomienda capacitar al personal de área de mantenimiento de maquinaria pesada, para optimizar los tiempos por tarea de mantenimiento y así generar más beneficios económicos a la empresa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AILLÓN Maroto, Edison. Elaboración e implementación de un plan de mantenimiento para la maquinaria pesada y vehículos livianos del GADM de Pelileo. Proyecto técnico (Ingeniero mecánico). Ambato: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, 2016. 233 pp.
- AMENDOLA, Luis. Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento [en línea]. 2003. Disponible en: http://www.mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento_archivos/indicadores%20confiabilidad%20amendola.pdf
- ÁNGELES Castro, Rolando. Plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad de un cargador frontal 950H de 3.5m³ de capacidad de cucharón. Tesis (Ingeniero mecánico). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2015. 200 pp.
- CÁRDENAS Maza, Marco. Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM, para los equipos y vehículos de Dinacol S.A. Tesis (Ingeniero mecánico). Cartagena: Universidad Tecnológica de Bolívar, Facultad de Ingeniería, 2011. 55 pp.
- CASTRO, Fernando. El proyecto de investigación y su esquema de elaboración. 2.^a ed. Caracas: Uyapar, 2003. 144 pp.
ISBN: 9806629000

- D' ALESSIO, Fernando. Administración y dirección de la producción. 2.^a ed. México: Pearson Educación de México, 2004. 593 pp.
ISBN: 9702605431
- DE LA SOTA Álvarez, Alvaro. Implementación de gestión de mantenimiento para equipos de movimiento de tierra en mina a cielo abierto de la empresa Arasi SAC. Informe de competencia profesional (Ingeniero mecánico). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2013. 104 pp.
- ESPINOZA, Ciro. Metodología de investigación tecnológica. Huancayo: Imagen gráfica S.A.C, 2010. 189 pp.
ISBN: 9786120002223
- FERNÁNDEZ Baca, Fernando. Mantenimiento de los equipos de movimiento de tierras en el servicio de conservación vial de la carretera Cañete-Huancayo. Informe de suficiencia (Ingeniero mecánico electricista). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2008. 145 pp.
- FIBERTEL, Juan. RCM – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad [en línea]. 2007. Disponible en: <https://www.gestiopolis.com/rcm-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad/>
- FICHA técnica de Cargador frontal Cat. 966H. Estados Unidos: Caterpillar, 2014. 27 pp.

- FICHA técnica de Cargador frontal Sem 659C. Ecuador: Yencisa, 2009. 16 pp.
- FICHA técnica de Tractor oruga Cat. D8T. Estados Unidos: Caterpillar, 2007. 23 pp.
- FLORES Medina, Carlos. Mantenimiento preventivo para vehículos de carga y maquinaria pesada en operación de movimiento de tierras. Tesis (Ingeniero mecánico). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2010. 189 pp.
- GARCÍA, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento [en línea]. España: Diaz de Santos, S.A., 2010 [fecha de consulta: 31 de agosto de 2018].
 Disponible en: https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=lang_es&id=PUovBdL-i-oMC&oi=fnd&pg=PR13&dq=gestion+de+mantenimiento&ots=UeCfXkqF2x&sig=qTRs1dvaaMy7PEiJIPe9Mo6Cv4k#v=onepage&q&f=false
 ISBN: 9788479785772
- HERNÁNDEZ, Roberto. Metodología de la investigación. 6.^a ed. México: McGraw-Hill / Interamericana editores S.A., 2014. 600 pp.
 ISBN: 9781456223960
- HUAIRE, Edson. Manual de metodología de la investigación. Lima: Fondo editorial Usil, 2017. 151 pp.
- HUERTA, Rosendo. El análisis de criticidad, una Metodología para mejorar la confiabilidad operacional [en línea]. 2005. Disponible en:

http://www.mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento_archivos/de%20confiabilidad/ANALISIS%20DE%20CRITICIDAD.pdf

- LÁREZ, Alexis. Ingeniería de Mantenimiento: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) [en línea]. 2017. Disponible en: http://www.enovalevante.es/mantenimiento-montajes/2017/02/26/ingenieria_mantenimiento_mantenimiento_centrado_confiabilidad_rcm_parte
- LEAL, Sandra y ZAMBRANO, Sony. Índices e Indicadores de Gestión de Mantenimiento en las Pymes del Estado Táchira [en línea]. 2006. Disponible en: https://www.uruman.org/sites/default/files/articulos/indices_indicadores_gestion_mantenimiento_pymes_estado_tachira_0.pdf
- MANUAL de partes Sem 658C, 659C Wheel Loader. China: Sem Technical Center, 2011. 156 pp.
- MANUAL de partes D8T Track – Type Tractor. Estados Unidos: Caterpillar, 2013. 1247 pp.
- MANUAL de partes 966H Wheel Loader. Estados Unidos: Caterpillar, 2013. 1279 pp.
- MOUBRAY, Jon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. 2.ª ed. Reino Unido: Edwards Brothers, 2004. 433 pp.
ISBN: 0953960323

- PARDO Chávez, Wilfredo. Implementación de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para reducir costos de mantenimiento para el tren de asfalto de constructora Chamonte S.A.C. Tesis (Ingeniero mecánico). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería, 2017. 187 pp.
- SUBCOMITÉ mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC). Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad. SAE JA1011, of 99. Estados Unidos, 1999. 12 pp.
- SUBCOMITÉ mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC). Una guía para la norma de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC). SAE JA1012, of 99. Estados Unidos, 1999. 62 pp.
- TASILLA Flores, Segundo. Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la maquinaria pesada de la empresa TecnoDher. Tesis (Ingeniero mecánico electricista). Cajamarca: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2016. 156 pp.
- TOLEDO, Neftali. Población y Muestra [en línea]. 2016. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/63099/secme-26877.pdf?sequence=1>
- TORRES Icaza, Eduardo. Implementación de Metodología de Confiabilidad para un programa de Mantenimiento de una Flota de Camiones. Tesis (Ingeniero mecánico). Guayaquil: Escuela

Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, 2015. 33 pp.

- VALENTÍN Vicente, Víctor. Mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras Cat 336D L en el Proyecto Toromocho. Tesis (Ingeniero mecánico). Huancayo: Universidad Nacional del centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2014. 128 pp.

ANEXOS

Título: PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS PESADOS DE CARGUÍO Y ACARREO EN UNA CANTERA DE CALIZA - MARCAPOMACOCOA JUNÍN.

Autor: Diego Huaman Vasquez

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Metodología	Población
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad que permita mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Diseñar un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad que permita mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Si se diseña un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad para los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín, se mejorará su disponibilidad.</p>	<p>Tipo de la investigación</p> <p>La presente tesis es del tipo de investigación tecnológica, porqué se utilizará los conocimientos de la teoría del mantenimiento centrado en confiabilidad, a fin de aplicarlos en la gestión actual de mantenimiento de los equipos pesados de carguío y acarreo de una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín, para mejorar su disponibilidad</p>	<p>Población</p> <p>En esta investigación la población está constituida por los equipos pesados de carguío y acarreo de una cantera de caliza - Marcapomacocha Junín, los cuales son: Un Tractor oruga Caterpillar de modelo D8T, un cargador frontal SEM de modelo 659C y un cargador frontal Caterpillar de modelo 966H.</p>
<p>Problemas específicos</p> <p>a) ¿Cómo establecer las funciones principales y secundarias de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de un esquema general de sus sistemas y componentes principales?</p> <p>b) ¿Cómo determinar los indicadores de mantenimiento MTBF, MTTR y disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de un esquema estadístico de modos de falla?</p> <p>c) ¿Cómo identificar y jerarquizar las fallas y sus efectos en los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de los análisis de AMEF y de Criticidad?</p> <p>d) ¿Cómo seleccionar las tareas de mantenimiento preventivo de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de la hoja de decisión del RCM?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>a) Establecer las funciones principales y secundarias de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de un esquema general de sus sistemas y componentes principales.</p> <p>b) Determinar los indicadores de mantenimiento MTBF, MTTR y disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de un esquema estadístico de modos de falla.</p> <p>c) Identificar y jerarquizar las fallas y sus efectos en los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de los análisis de AMEF y de Criticidad.</p> <p>d) Seleccionar las tareas de mantenimiento preventivo de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza mediante la elaboración de la hoja de decisión del RCM.</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>H1: Si se elabora un esquema general de los sistemas y componentes principales de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza se establecerá sus funciones principales y secundarias.</p> <p>H2: Si se elabora un esquema estadístico de modos de falla de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza se determinará los indicadores de mantenimiento MTBF, MTTR y disponibilidad.</p> <p>H3: Si se elaboran los análisis de AMEF y de Criticidad se identificarán y jerarquizarán las fallas y sus efectos en los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza.</p> <p>H4: Si se elabora la hoja de decisión del RCM se seleccionarán las tareas de mantenimiento preventivo de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza.</p>	<p>Diseño de la investigación</p> <p>El diseño de esta investigación es del tipo no experimental porqué se realizó sin manipular deliberadamente las variables, es decir no se hizo variar en forma intencional las variables independientes para observar sus efectos sobre las variables dependientes</p>	<p>Muestra</p> <p>En esta investigación la muestra se encuentra constituida por el 100% de la población por ser un número finito y manejable. La cual es detallada a continuación: Un Tractor oruga Caterpillar de modelo D8T, un cargador frontal SEM de modelo 659C y un cargador frontal Caterpillar de modelo 966H.</p>

ANEXO N°2: Instrumentos validados

a) Los horómetros: Son dispositivos que registran el número de horas que tiene de funcionamiento un equipo o motor.

Generalmente se encuentran en los tableros o displays de un equipo móvil, donde es muy fácil su lectura y registro de valor.

El registro adecuado de la lectura de los horómetros en la gestión de mantenimiento es fundamental y básica para su mejora continua.

Estos instrumentos no son calibrados ni manipulados por los usuarios finales de los equipos móviles, puesto que ya vienen calibrados desde fábrica por el fabricante (Casa matriz) y su vida útil es la misma que la del equipo.

ANEXO N°2: DISPOSITIVO HOROMETRO DE TRACTOR ORUGA CAT. D8T



- ANEXO 3: Base de datos

a) Ubicación y flota de equipos pesados.

La flota de los equipos pesados de la compañía se encuentra ubicados estratégicamente según se precisa a continuación:

ANEXO N°3: TABLA DE UBICACIÓN DE FLOTA DE EQUIPOS PESADOS

Ítem	Ubicación	Equipo	Cód.	Marca	Modelo
1	Marcona, Nazca, Ica.	Cargador Frontal	C-05	Caterpillar	950H
2		Cargador Frontal	C-09	Sem	659C
3	Changuillo, Nazca, Ica.	Tractor Oruga	T-02	Caterpillar	D7RII
4		Cargador Frontal	C-06	Caterpillar	950H
5	Curicaca, Jauja, Junín.	Tractor Oruga	T-04	Caterpillar	D6T
6	Quilcas, Huancayo, Junín.	Tractor Oruga	T-01	Caterpillar	D7RII
7	La unión, Tarma, Junín.	Cargador Frontal	C-03	Caterpillar	966H
8	Cajacay, Bolognesi, Áncash.	Tractor Oruga	T-05	Caterpillar	D6T
9	Chongos alto, Huancayo, Junín.	Cargador Frontal	C-07	Caterpillar	950H
10	Quilca, Camana, Arequipa.	Tractor Oruga	T-06	Caterpillar	D6T
11	Ninacaca, Pasco, Pasco.	Cargador Frontal	C-08	Sem	659C
12	Marcapomacocha, Yauli, Junín.	Tractor Oruga	T-03	Caterpillar	D8T
13		Cargador Frontal	C-04	Caterpillar	966H
14		Cargador Frontal	C-10	Sem	659C
15	Los Olivos, Lima, Lima.	Cargador Frontal	301	Caterpillar	930
16		Cargador Frontal	302	Caterpillar	930
17		Cargador Frontal	304	Caterpillar	930
18		Cargador Frontal	308	Caterpillar	930T
19		Cargador Frontal	309	Caterpillar	950F
20		Cargador Frontal	C-01	Sem	659C
21		Cargador Frontal	C-11	Sem	638
22		Cargador Frontal	C-12	Sem	659C
23		Montacargas	201	Hytsu	FG30T
24		Montacargas	207	Hytsu	FG30T
25		Montacargas	208	Hytsu	FG25T
26		Montacargas	209	Hytsu	FG30T
27		Montacargas	210	Hytsu	FG30T
28		Montacargas	211	Hytsu	FG30T
29		Montacargas	213	Toyota	5FD
30		Montacargas	215	Caterpillar	P5000
31		Montacargas	216	Caterpillar	P5000
32		Montacargas	217	Caterpillar	P5000
33	Montacargas	218	Caterpillar	P5000	
34	Ventanilla, Callao, Lima.	Cargador Frontal	303	Caterpillar	930
35		Montacargas	206	Toyota	5FD
36	Los Olivos, Lima, Lima.	Montacargas	204	Toyota	5FD
37	Breña, Lima, Lima.	Montacargas	202	Toyota	5FD
38	Puente Piedra, Lima, Lima.	Montacargas	203	Toyota	5FD

- OTROS ANEXOS:

ANEXO N°4: TRACTOR ORUGA CAT D8T CÓDIGO INTERNO T-03



ANEXO N°5: CARGADOR F. SEM 659C CÓDIGO INTERNO C-10



ANEXO N°6: CARGADOR F. CAT 966H CÓDIGO INTERNO C-04



ANEXO N°7: CAMBIO DE FILTROS EN CARGADOR F. CAT 966H



**ANEXO N°8: EXPOSICIÓN DE LONA DE LLANTA DE CARGADOR
FRONTAL SEM 659C**



**ANEXO N°9: CAMBIO DE ZAPATAS DE TRACTOR ORUGA CAT D8T
POR DESGASTE**



**ANEXO N°10: RAJADURAS EN ESTRUCTURA DE CARGADOR
FRONTAL CAT 966H**



**ANEXO N°11: DIAGNOSTICO ELECTRÓNICO CON EL USO DEL ET
CATERPILLAR**



**ANEXO N°12: RAJADURAS EN LA PARTE INFERIOR DEL
CUCHARON DEL CARGADOR F. CAT 966H**



**ANEXO N°13: CAMBIO DE RODILLOS DE TREN DE RODAMIENTOS
DE TRACTOR ORUGA CAT D8T POR DESGASTE**



**ANEXO N°14: CAMBIO DE UÑAS DEL CUCHARON DEL CARGADOR
FRONTAL CAT 966H**



ANEXO N°15: MANGUERA CORTADA DEL CARGADOR F. SEM 659C



ANEXO N°16: FORMATO DE ORDEN DE TRABAJO

I. REPORTE DE FALLA DE LA MÁQUINA / EQUIPO (Llenado por quien reporta la avería en la fecha y hora de detección de la falla)									
Hora	Día	Mes	Año	Ubicación (Cantera / Planta):	Departamento	Registro Nro.	N° 000001		
Máquina o Equipo:					Código:	Horómetro: _____ horas			
Descripción del problema: _____									
Cargo, nombres y apellidos del reportante: _____									
II. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS TAREAS EJECUTADAS (Llenado por el Técnico TMP en la fecha y hora de inicio de tareas)									
Hora	Día	Mes	Año	<i>En el sistema de:</i>			Causa de la falla:		
Estado de máquina:		Tipo de falla:		1. Motor <input type="checkbox"/>	6. Frenos <input type="checkbox"/>	11. Tren de rodaje <input type="checkbox"/>	1. Deterioro o fatiga <input type="checkbox"/>		
1. Inoperativo <input type="checkbox"/>	1. Mecánica <input type="checkbox"/>	2. Combustible <input type="checkbox"/>	7. Dirección <input type="checkbox"/>	12. Tren de carga <input type="checkbox"/>	8. Neumático <input type="checkbox"/>	13. Llantas <input type="checkbox"/>	2. Mala operación <input type="checkbox"/>		
2. Operativo <input type="checkbox"/>	2. Hidráulica <input type="checkbox"/>	3. Refrigeración <input type="checkbox"/>	8. Neumático <input type="checkbox"/>	9. Mandos finales <input type="checkbox"/>	14. GETS <input type="checkbox"/>	15. Aire Acondic. <input type="checkbox"/>	3. Diseño <input type="checkbox"/>		
3. Con limitac. <input type="checkbox"/>	3. Eléctrica <input type="checkbox"/>	4. Transmisión <input type="checkbox"/>	9. Mandos finales <input type="checkbox"/>	10. Eléctrico <input type="checkbox"/>					
Diagnóstico	Avería: _____								
	Causa: _____								
Procedimiento de las tareas ejecutadas durante la reparación y/o mantenimiento							Tiempo (h)		
1) _____									
2) _____									
3) _____									
4) _____									
5) _____									
6) _____									
7) _____							Total horas		
III. MATERIALES Y REPUESTOS UTILIZADOS				Nro del Registro de Solicitud de Repuestos y Servicios:					
N°	Nro de Parte	Descripción del mat./repue.	Cant.	Und.	N°	Nro de Parte	Descripción del mat./repue.	Cant.	Und.
1					7				
2					8				
3					9				
4					10				
5					11				
6					12				
IV. OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES FINALES									

V. CONFORMIDAD DE LOS TRABAJOS EJECUTADOS Y OPERATIVIDAD DEL EQUIPO:									
Los firmantes dejamos constancia que los trabajos ejecutados de mantenimiento y/o reparación y las pruebas realizadas por el personal de TMP obtuvieron resultados favorables de operatividad, por lo que damos nuestra conformidad.									
Lugar y fecha de entrega de la máquina o equipo:		Ubicación (Cantera / Planta):		Departamento		Hora		Día	
Personal que recibe la máquina o equipo					Personal que entrega la máquina o equipo				
Firma:		V°B°:		Firma:		V°B°:			
Nombre y Ap. del Operador:		Nombre y Ap. del Jefe del Op.		Nombre y Ap. del Tco. TMP		Nombre y Ap. del Sup TMP			
Nota: En caso de ausencia de uno de ellos consignar el motivo									

**ANEXO N°17: COSTO DE SUMINISTROS POR TIPO DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO - TRACTOR ORUGA CAT D8T**

Costo de suministros por tipo de mantenimiento preventivo - Tractor Oruga Cat. D8T						
Tipo de Mantenimiento	N° Parte	Descripción	Und	Cantidad	Costo (\$)	
					Unitario	Total
250 Horas	3261644	Filtro separador de agua Donalson	Pza	1	27	122.07
	1R0762	Filtro de combustible Donalson	Pza	1	13.56	
	1R0716	Filtro de aceite de motor Donalson	Pza	1	8.81	
	15W-40	Aceite de motor Mobil	Gln	10	7.27	
500 Horas	6l2505	Filtro de aire primario Donalson	Pza	1	35.23	329.73
	3261644	Filtro separador de agua Donalson	Pza	1	27	
	1R0762	Filtro de combustible Donalson	Pza	1	13.56	
	1R0716	Filtro de aceite de motor Donalson	Pza	1	8.81	
	3283655	Filtro de aceite de transmisión Donalson	Pza	2	50.59	
	1261818	Filtro de aceite hidráulico Donalson	Pza	1	58	
	1R0777	Filtro de aceite hidráulico Donalson	Pza	1	13.25	
15W-40	Aceite de motor Mobil	Gln	10	7.27		
1000 Horas	6l2505	Filtro de aire primario Donalson	Pza	1	35.23	692.49
	6l2506	Filtro de aire secundario Donalson	Pza	1	29.43	
	3261644	Filtro separador de agua Donalson	Pza	1	27	
	1R0762	Filtro de combustible Donalson	Pza	1	13.56	
	1R0716	Filtro de aceite de motor Donalson	Pza	1	8.81	
	3283655	Filtro de aceite de transmisión Donalson	Pza	2	50.59	
	1261818	Filtro de aceite hidráulico Donalson	Pza	1	58	
	1R0777	Filtro de aceite hidráulico Donalson	Pza	1	13.25	
	15W-40	Aceite de motor Mobil	Gln	10	7.27	
	HD-30	Aceite de transmisión Mobil	Gln	41	8.13	
2000 Horas	6l2505	Filtro de aire primario Donalson	UND	1	35.23	1050.81
	6l2506	Filtro de aire secundario Donalson	UND	1	29.43	
	3261644	Filtro separador de agua Donalson	UND	1	27	
	1R0762	Filtro de combustible Donalson	UND	1	13.56	
	1R0716	Filtro de aceite de motor Donalson	UND	1	8.81	
	3283655	Filtro de aceite de transmisión Donalson	UND	2	50.59	
	1261818	Filtro de aceite hidráulico Donalson	UND	1	58	
	1R0777	Filtro de aceite hidráulico Donalson	UND	1	13.25	
	15W-40	Aceite de motor Mobil	Gln	10	7.27	
	HD-30	Aceite de transmisión Mobil	Gln	41	8.13	
	HD-10	Aceite hidráulico Mobil	Gln	19.8	7.82	
	HD-50	Aceite de mandos finales Mobil	Gln	6.6	8.36	
	-	Líquido refrigerante Texaco	Gln	8	15.45	
	-	Líquido de frenos Frenosa	Gln	1	24.71	

**ANEXO N°18: COSTO DE MANO DE OBRA POR TIPO DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO - TRACTOR ORUGA CAT D8T**

Costo de Mano de Obra por tipo de mantenimiento preventivo - Tractor Oruga Cat. D8T					
Tipo de Mantenimiento	Personal responsable	Cantidad	Costo Hora Hombre (\$)	Horas Hombre	Costo Total (\$)
250 Horas	Supervisor de área	1	9.99	0.50	50.23
	Mecánico	1	7.33	4.07	
	Electricista	1	5.96	1.08	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	2.10	
500 Horas	Supervisor de área	1	9.99	1.00	76.59
	Mecánico	1	7.33	5.82	
	Electricista	1	5.96	1.08	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	4.10	
1000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	1.50	88.11
	Mecánico	1	7.33	5.82	
	Electricista	1	5.96	1.58	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	4.93	
2000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	3.00	203.19
	Mecánico	1	7.33	15.98	
	Electricista	1	5.96	1.58	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	10.93	
4000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	5.00	327.84
	Mecánico	1	7.33	24.28	
	Electricista	1	5.96	2.25	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	20.26	
6000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	5.50	341.38
	Mecánico	1	7.33	24.28	
	Electricista	1	5.96	2.25	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	22.26	
8000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	8.00	420.08
	Mecánico	1	7.33	29.28	
	Electricista	1	5.96	2.25	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	26.26	

**ANEXO N°19: COSTO DE SUMINISTROS POR TIPO DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO – CARGADOR FRONTAL SEM 659C**

Costo de suministros por tipo de mantenimiento preventivo - Cargador Frontal SEM 659C						
Tipo de Mantenimiento	N° Parte	Descripción	Und	Cantidad	Costo (\$)	
					Unitario	Total
250 Horas	W014201350	Filtro separador de agua Donalson	Pza	1	22.50	96.42
	W014200511	Filtro de combustible Donalson	Pza	1	3.28	
	W014200411	Filtro de aceite de motor Donalson	Pza	1	5.21	
	15W-40	Aceite de motor Mobil	Gln	9	7.27	
500 Horas	W014200770	Filtro de aire Donalson	Pza	1	70.40	197.62
	W014201350	Filtro separador de agua Donalson	Pza	1	22.50	
	W014200511	Filtro de combustible Donalson	Pza	1	3.28	
	W014200411	Filtro de aceite de motor Donalson	Pza	1	5.21	
	W380000010A	Filtro respiradero de tanque hidráulico Donalson	Pza	1	30.80	
	15W-40	Aceite de motor Mobil	Gln	9	7.27	
1000 Horas	W014200770	Filtro de aire Donalson	Pza	1	70.40	630.68
	W014201350	Filtro separador de agua Donalson	Pza	1	22.50	
	W014200511	Filtro de combustible Donalson	Pza	1	3.28	
	W014200411	Filtro de aceite de motor Donalson	Pza	1	5.21	
	W380000010A	Filtro respiradero de tanque hidráulico Donalson	Pza	1	30.80	
	W42000008	Filtro de aceite de transmisión Donalson	Pza	1	23.61	
	W110005640	Filtro de retorno de aceite hidráulico Donalson	Pza	1	88.00	
	W110015510	Filtro de válvula PPC Sem	Pza	1	26.40	
	15W-40	Aceite de motor Mobil	Gln	9	7.27	
	HD-30	Aceite de transmisión Mobil	Gln	10	8.13	
	80W-90	Aceite de mandos finales Mobil	Gln	10	8.55	
	80W-90	Aceite de diferencial Mobil	Gln	15	8.55	
2000 Horas	W014200770	Filtro de aire Donalson	Pza	1	70.40	1179.90
	W014201350	Filtro separador de agua Donalson	Pza	1	22.50	
	W014200511	Filtro de combustible Donalson	Pza	1	3.28	
	W014200411	Filtro de aceite de motor Donalson	Pza	1	5.21	
	W380000010A	Filtro respiradero de tanque hidráulico Donalson	Pza	1	30.80	
	W42000008	Filtro de aceite de transmisión Donalson	Pza	1	23.61	
	W110005640	Filtro de retorno de aceite hidráulico Donalson	Pza	1	88.00	
	W110015510	Filtro de válvula PPC Sem	Pza	1	26.40	
	W380000000A	Colador del tanque hidráulico Sem	Pza	1	62.80	
	W110001460	Filtro respiradero de tanque de combustible Donalson	Pza	1	40.00	
	15W-40	Aceite de motor Mobil	Gln	9	7.27	
	HD-30	Aceite de transmisión Mobil	Gln	10	8.13	
	80W-90	Aceite de mandos finales Mobil	Gln	10	8.55	
	80W-90	Aceite de diferencial Mobil	Gln	15	8.55	
	HD-10	Aceite hidráulico Mobil	Gln	48	7.82	
	-	Líquido refrigerante Texaco	Gln	3	15.45	
-	Líquido de frenos Frenosa	Gln	1	24.71		

**ANEXO N°20: COSTO DE MANO DE OBRA POR TIPO DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO – CARGADOR FRONTAL SEM 659C**

Costo de Mano de Obra por tipo de mantenimiento preventivo - Cargador Frontal SEM 659C					
Tipo de Mantenimiento	Personal responsable	Cantidad	Costo Hora Hombre (\$)	Horas Hombre	Costo Total (\$)
250 Horas	Supervisor de área	1	9.99	0.50	44.55
	Mecánico	1	7.33	3.33	
	Electricista	1	5.96	0.75	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	2.50	
500 Horas	Supervisor de área	1	9.99	1.00	61.14
	Mecánico	1	7.33	4.33	
	Electricista	1	5.96	0.75	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	3.50	
1000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	1.50	104.72
	Mecánico	1	7.33	8.33	
	Electricista	1	5.96	0.75	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	5.67	
2000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	3.00	162.01
	Mecánico	1	7.33	11.77	
	Electricista	1	5.96	0.75	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	9.67	
4000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	5.00	282.76
	Mecánico	1	7.33	18.77	
	Electricista	1	5.96	4.75	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	15.67	
6000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	5.50	314.62
	Mecánico	1	7.33	21.27	
	Electricista	1	5.96	4.75	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	17.67	
8000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	8.00	411.20
	Mecánico	1	7.33	26.27	
	Electricista	1	5.96	7.75	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	21.67	

**ANEXO N°21: COSTO DE SUMINISTROS POR TIPO DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO – CARGADOR FRONTAL CAT 966H**

Costo de suministros por tipo de mantenimiento preventivo - Cargador Frontal Cat. 966H						
Tipo de Mantenimiento	N° Parte	Descripción	Und	Cantidad	Costo (\$)	
					Unitario	Total
250 Horas	3261644	Filtro separador de agua Donalson	Pza	1	27	121.008
	1R0762	Filtro de combustible Donalson	Pza	1	13.56	
	1R1808	Filtro de aceite de motor Donalson	Pza	1	13.2	
	15W-40	Aceite de motor Mobil	Gln	9.25	7.27	
500 Horas	2453818	Filtro de aire primario Donalson	Pza	1	79.78	330.708
	3261644	Filtro separador de agua Donalson	Pza	1	27	
	1R0762	Filtro de combustible Donalson	Pza	1	13.56	
	1R1808	Filtro de aceite de motor Donalson	Pza	1	13.2	
	3283655	Filtro de aceite de transmisión Donalson	Pza	1	50.59	
	1440832	Filtro de aceite hidráulico Donalson	Pza	1	33.05	
	2254118	Filtro de aceite hidráulico Donalson	Pza	1	46.28	
	15W-40	Aceite de motor Mobil	Gln	9.25	7.27	
1000 Horas	2453818	Filtro de aire primario Donalson	Pza	1	79.78	492.678
	2453819	Filtro de aire secundario D	Pza	1	67.5	
	3261644	Filtro separador de agua Donalson	Pza	1	27	
	1R0762	Filtro de combustible Donalson	Pza	1	13.56	
	1R1808	Filtro de aceite de motor Donalson	Pza	1	13.2	
	3283655	Filtro de aceite de transmisión Donalson	Pza	1	50.59	
	1440832	Filtro de aceite hidráulico Donalson	Pza	1	33.05	
	2254118	Filtro de aceite hidráulico Donalson	Pza	1	46.28	
	15W-40	Aceite de motor Mobil	Gln	9.25	7.27	
	HD-30	Aceite de transmisión Mobil	Gln	11.62	8.13	
2000 Horas	2453818	Filtro de aire primario Donalson	UND	1	79.78	1103.99
	2453819	Filtro de aire secundario Donalson	UND	1	67.5	
	3261644	Filtro separador de agua Donalson	UND	1	27	
	1R0762	Filtro de combustible Donalson	UND	1	13.56	
	1R1808	Filtro de aceite de motor Donalson	UND	1	13.2	
	3283655	Filtro de aceite de transmisión Donalson	UND	1	50.59	
	1440832	Filtro de aceite hidráulico Donalson	UND	1	33.05	
	2254118	Filtro de aceite hidráulico Donalson	UND	1	46.28	
	15W-40	Aceite de motor Mobil	Gln	9.25	7.27	
	HD-30	Aceite de transmisión Mobil	Gln	11.62	8.13	
	HD-10	Aceite hidráulico Mobil	Gln	29	7.82	
	HD-50	Aceite de mandos finales Mobil	Gln	12	8.36	
	HD-50	Aceite de diferencial Mobil	Gln	21.8	8.36	
	-	Líquido refrigerante Texaco	Gln	5	15.45	
	-	Líquido de frenos Frenosa	Gln	1	24.71	

**ANEXO N°22: COSTO DE MANO DE OBRA POR TIPO DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO – CARGADOR FRONTAL CAT 966H**

Costo de Mano de Obra por tipo de mantenimiento preventivo - Cargador Frontal Cat. 966H					
Tipo de Mantenimiento	Personal responsable	Cantidad	Costo Hora Hombre (\$)	Horas Hombre	Costo Total (\$)
250 Horas	Supervisor de área	1	9.99	0.50	46.08
	Mecánico	1	7.33	3.83	
	Electricista	1	5.96	0.75	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	2.00	
500 Horas	Supervisor de área	1	9.99	1.00	61.14
	Mecánico	1	7.33	4.33	
	Electricista	1	5.96	0.75	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	3.50	
1000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	1.50	81.96
	Mecánico	1	7.33	5.33	
	Electricista	1	5.96	1.58	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	4.33	
2000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	3.00	162.92
	Mecánico	1	7.33	12.00	
	Electricista	1	5.96	1.58	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	8.33	
4000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	5.00	224.14
	Mecánico	1	7.33	13.50	
	Electricista	1	5.96	5.58	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	9.83	
6000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	5.50	254.47
	Mecánico	1	7.33	15.50	
	Electricista	1	5.96	5.58	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	12.33	
8000 Horas	Supervisor de área	1	9.99	8.00	336.84
	Mecánico	1	7.33	21.70	
	Electricista	1	5.96	5.58	
	Ayudante Mecánico	1	4.27	15.13	

ANEXO N°23: MAPA DE LA PROVINCIA DE YAULI



ANEXO N°24: CANTERA DE CALIZA DEL DISTRITO DE MARCAPOMACOCHA – YAULI - JUNÍN

