

Estructuración de un Plan de Mantenimiento basado en la Metodología RCM para los Equipos
con Criticidad Más Alta de la Empresa de Transportes CSM S.A.S.

Luz Amparo Muñoz Orozco

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Francisco J. Saldivia

MS. Mantenimiento Industrial

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A Dios, porque sin el nada de esto hubiese sido posible, por darme la sabiduría necesaria para enfrentar cada dificultad que se presentó en medio del camino, por su sincero amor e infinita misericordia.

A mi madre, mi principal motor, por haberme dado las herramientas, el apoyo desde el cielo, por enseñarme que era fuerte y que podría salir adelante sin importar los obstáculos que se presentaran.

A mis hermanos, que creyeron en mí desde el minuto cero, pausando sus sueños para verme alcanzar los míos. Sin ustedes este sueño no se hubiese hecho realidad.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos.....	16
1.1 Objetivo General.....	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. Marco Referencial.....	17
2.1 Marco Teórico.....	17
2.1.1 Inicio del Mantenimiento.....	17
2.1.2 Análisis de Criticidad.....	18
2.1.3 Análisis de Modos y Efecto de Falla (AMEF).....	21
2.2 Descripción del RCM	23
2.2.1 Aplicación del RCM	24
2.3 Conceptos Básicos del RCM	25
2.3.1 Contexto Operacional	25
2.3.2 Funciones	25
2.3.3 Fallas Funcionales.....	25
2.3.4 Modos de Falla.....	26
2.3.4 Efectos de Falla.....	26
2.3.5 Consecuencias de Falla	27
2.4 Selección de las Políticas de Manejo de Fallas.....	27
2.5 Políticas de Manejo de Fallas – Tareas Programadas	28
2.6 Diagrama de Decisión.....	29

PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA TCSM	4
3. Generalidades de la Empresa	30
3.1 Reseña Histórica	30
3.2 Misión	31
3.3 Visión	31
3.4 Política Integral	32
3.5 Procedimiento Operacional de la Empresa	33
3.5.1 Establecer Plan de Movilización	33
3.5.2 Operación	35
4. Método	39
4.1 Equipos de Transportes CSM	39
4.2 Contexto Operativo	41
4.3 Análisis de Criticidad para los Equipos de Transportes CSM	41
4.3.1 Análisis de Criticidad de los Equipos Seleccionados	46
4.3.1.2.1 Sistema de Potencia.	61
5. Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF) para los Equipos de Alta Criticidad de la Empresa de Transportes CSM	65
6. Proceso de Decisión RCM	69
6.1 Hoja de Decisión	69
6.2 Consecuencia de las Fallas	70
7. Módulo de Sistema de Información	73
7.1 Plan General de Mantenimiento	73
7.2 Programa de Mantenimientos de Máquinas o Vehículos	75
7.3 Inventario de Equipos, Máquinas y Vehículos	76

7.2 Registro de Mantenimiento Correctivo.....	78
7.3 Registro de Gastos de Mantenimiento	79
7.4 Análisis de Indicadores	79
8. Resultados.....	80
8.1 Resultados del AMEF para la Grúa	80
8.2 Resultados AMEF para Cama Alta Extensible.....	90
8.3 Hoja RCM para la Grúa	102
8.4 Hoja RCM para cama alta extensible.....	113
9. Conclusiones.....	125
Referencias Bibliograficas	126
Apéndices.....	129

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Flota de Transportes CSM	40
Tabla 2. Tabla de Ponderados de Factores.....	42
Tabla 3. Asignación de valores	44
Tabla 4. Cálculo del CTR	45
Tabla 5. Equipos con criticidad alta.....	46
Tabla 6. Encuesta para el análisis de criticidad de los equipos de Transportes CSM	47
Tabla 7. Asignación de valores de la grúa	48
Tabla 8. Asignación de valores cama alta extensible	48
Tabla 9. Asignación de valores de la grúa	56
Tabla 10. Cálculo del CTR	57
Tabla 11. Asignación de valores cama alta.....	62
Tabla 12. Cálculo del CTR	63
Tabla 13. Equipos y sistema críticos.....	64
Tabla 14. AMEF hoja de información RCM	65
Tabla 15. Severidad	66
Tabla 16. Ocurrencia.....	66
Tabla 17. Detectabilidad	67
Tabla 18. Rango de NPR	67
Tabla 19. AMEF hoja de información N°1 sistema hidráulico	80
Tabla 20. AMEF hoja de información N°2 sistema de elevación	84
Tabla 21 AMEF hoja de información N°3 sistema estabilizador	87

Tabla 22 AMEF hoja de información N°4 sistema de potencia	90
Tabla 23 AMEF hoja de información N°5 sistema de refrigeración	95
Tabla 24. AMEF hoja de información N°6 sistema de transmisión	99
Tabla 25. Hoja de decisión RCM N°1 sistema hidráulico / grúa sobrecamión	102
Tabla 26. Hoja de decisión RCM N°2 sistema de elevación / grúa sobre camión	105
Tabla 27 Hoja de decisión RCM N°3 sistema estabilizador / grúa sobre camión	109
Tabla 28 Hoja de decisión RCM N°4 motor / cama alta extensible	113
Tabla 29. Hoja de decisión RCM N°5 sistema de refrigeración/ cama alta extensible	118
Tabla 30. Hoja de decisión RCM N°6 sistema de transmisión / cama alta extensible	122
Tabla 31. Asignación de valores de la grúa	130

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Evolución del mantenimiento.....	18
Figura 2. Matriz de criticidad.....	21
Figura 3. Severidad.....	22
Figura 4. Ocurrencia.....	22
Figura 5. Detectabilidad.....	23
Figura 6. Proceso RCM.....	24
Figura 7. Falla funcional.....	25
Figura 8. Ejemplo de modo de falla.....	26
Figura 9. Diagrama de decisión.....	29
Figura 10. Logo de TCSM.....	30
Figura 11. Torre de perforación.....	35
Figura 12. Izaje de torre Rig 301.....	36
Figura 13. Equipo Manlift.....	36
Figura 14. Cargador.....	37
Figura 15. Vehículo.....	37
Figura 16. Plan de izaje.....	38
Figura 17. Reunión preoperacional.....	38
Figura 18. Historial de fallas.....	43
Figura 19. Matriz de criticidad.....	45
Figura 20. Grúa sobre camión.....	49
Figura 21. Grúa y sus partes.....	50

Figura 22. Especificaciones del motor.....	51
Figura 23. Motor	51
Figura 24. Conjunto estabilizador.....	53
Figura 25. Características del motor de la superestructura	53
Figura 26. Mecanismo telescópico	54
Figura 27. Características del mecanismo de elevación	54
Figura 28. Característica de la pluma telescópica.....	55
Figura 29. Mecanismo de ajuste de pluma.....	55
Figura 30. Matriz de criticidad para la grúa.....	58
Figura 31. Tractocamión.....	59
Figura 32. Tráiler	60
Figura 33. Sistemas de la cama alta extensible.....	60
Figura 34. Matriz de criticidad del vehículo.....	64
Figura 35. AMEF hoja de información N°1	68
Figura 36. Hoja de decisión RCM	69
Figura 37. Consecuencias de falla	70
Figura 38. Criterio de viabilidad técnica.....	71
Figura 39. Hoja de decisión RCM N°1	72
Figura 40. Plan general de mantenimiento	73
Figura 41. Programas	74
Figura 42. Indicador de cumplimiento.....	74
Figura 43. Programa de mantenimiento de máquinas.....	75
Figura 44. Seguimiento por horas.....	75

Figura 45. Historial de recorrido..... 76

Figura 46. Inventario..... 77

Figura 47. Hoja de vida..... 77

Figura 48. Registro de mantenimiento correctivo..... 78

Figura 49. Orden de trabajo 78

Figura 50. Registro de gastos..... 79

Figura 51. Análisis de indicadores..... 79

Figura 64. Historial de Fallas 129

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Historial de Fallas	129
Apéndice B. Resultados obtenidos para los equipos.	130

Resumen

Título: Estructuración de un Plan de Mantenimiento basado en la Metodología RCM para los Equipos con Criticidad Más Alta de la Empresa de Transportes CSM S.A.S.*

Autora: Luz Amparo Muñoz Orozco**

Palabras Clave: RCM, movilizaciones, AMEF, mantenimiento preventivo, criticidad, equipos de izaje.

Descripción: En este proyecto se presenta la estructuración de un plan de mantenimiento basado en RCM para los equipos con criticidad más alta de la empresa de transportes CSM ubicada en San Martín – Cesar, la cual está compuesta por equipos de izaje, vehículos y plataformas de elevación de personas. Con este proyecto se busca aumentar la confiabilidad y disponibilidad de dichos equipos. Por medio de una práctica empresarial se desarrolló este proyecto. Durante ese tiempo se recopiló la información necesaria para realizar la estructuración del plan de mantenimiento. Se conformó un grupo con el personal de la empresa involucrado en el área de operación y mantenimiento. Se conocieron todos los equipos que se usan en la operación para luego hacer el análisis de criticidad y así definir los equipos con alta criticidad; posteriormente, se realizó la identificación de las causas de falla utilizando el análisis de modo y efecto de falla (AMEF); luego, se desarrolla la hoja de decisión RCM, en la cual se establecen las tareas de mantenimiento con su periodicidad y personal encargado de su ejecución; por último, después de obtener todas las tareas se desarrolla una herramienta en Excel en la cual se consignó esta información y se estableció el cronograma de mantenimiento.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Francisco J. Saldivia. MS. Mantenimiento Industrial.

Abstract

Title: Structuring of a Maintenance Plan based on the RCM Methodology for the Equipment with the Highest Criticality at the Transport Company CSM S.A.S. *

Author: Luz Amparo Muñoz Orozco **

Key Words: RCM, mobilizations, FMEA, preventive maintenance, criticality, lifting equipment.

Description: This project presents the structuring of a maintenance plan based on RCM for the equipment with the highest criticality at the transport company CSM located in San Martín – Cesar, which is made up of lifting equipment, vehicles and lifting platforms for people. This project seeks to increase the reliability and availability of said equipment. Also, it was developed through a business practice. During this time, the necessary information was collected to carry out the structuring of the maintenance plan. A group was formed with the company personnel involved in the operation and maintenance areas. All the equipment used in the operation was inspected to later be able to perform the criticality analysis and thus define the equipment with high criticality. Subsequently, the identification of failure causes was carried out using the failure mode and effect analysis (FMEA). Then, the RCM decision sheet was developed, in which the maintenance tasks are established with both their periodicity and personnel in charge of their execution. Finally, after obtaining all the tasks, an Excel tool was developed in which this information was recorded and the maintenance schedule was established.

* Degree Work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Advisor: Francisco J. Saldivia. MS. Industrial maintenance.

Introducción

En la actualidad, Transportes CSM S.A.S. es una empresa líder en brindar soluciones especializadas en el transporte de carga terrestre automotor, de carga seca, movilizaciones de equipos petroleros, así como al alquiler, suministro de maquinaria y equipos de izaje. Está comprometida con sus clientes y demás partes interesadas en la satisfacción de sus necesidades y expectativas bajo la prestación de servicios oportunos, que cumplen con estándares de calidad, seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente establecidos a nivel nacional e internacional para proveedores de servicios de la industria petrolera.

Realizando un seguimiento a las hojas de vida de los distintos equipos de la empresa se pudo evidenciar que se hacen más mantenimientos correctivos en lugar de preventivos. Lo anterior, trae como consecuencia incumplimientos y demoras en la prestación del servicio a clientes, debido a las paradas inesperadas de operación por inconvenientes de fallas operativas en los mismos.

Este proyecto nace de la preocupación por el rendimiento de los equipos que operan en las actividades de la empresa debido al alto impacto que viene presentando las fallas de los mismos, que impiden el cumplimiento de los tiempos asignados para la operación.

Por esta razón, se llega a la conclusión de que es de vital relevancia la implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM que identifique las fallas producidas por los equipos, junto con la asignación de tareas y rutinas de mantenimiento, para así prevenir y reducir la cantidad de tiempos muertos de funcionamiento, al igual que garantizar la disponibilidad de los equipos en las condiciones óptimas para la operación, disminuyendo los costos por mantenimiento.

El proyecto es un trabajo realizado por medio de una práctica empresarial que tuvo como duración cuatro meses, en los cuales se recopiló toda la información necesaria para su desarrollo. Esta práctica se realizó en las instalaciones principales de la empresa ubicadas en San Martín – Cesar. Durante este tiempo se hizo la recolección de información con el apoyo del personal asignado de mantenimiento, por medio de las fichas técnicas, manuales de fabricantes y hojas de vida.

Para el desarrollo, se aplicará un análisis de criticidad a los equipos de la empresa de transportes CSM para identificar cuáles de ellos se encuentran en una alta criticidad; estos serán el objeto de estudio. En el diseño del plan de mantenimiento, se aplicará la metodología RCM que permite conocer el equipo para anticipar y analizar sus fallas, y así estructurar el plan que contribuya a alcanzar el objetivo de esta investigación.

De esta manera, la empresa se verá beneficiada con la estructuración del plan en cuestión, el cual permitirá anticipar las fallas, reducir los porcentajes de parada inesperadas dentro de las actividades, mejorando la confiabilidad de los equipos y aumentando su disponibilidad.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Estructurar un plan de mantenimiento basado en la metodología de RCM para los equipos con criticidad más alta de la empresa TRANSPORTES CSM S.A.S con el fin de mejorar la disponibilidad operacional de dichos equipos.

1.2 Objetivos Específicos

Evaluar la criticidad de los diferentes equipos para determinar cuáles de ellos generan un mayor impacto operacional, los cuales serán el objeto de estudio.

Identificar causas de fallas de los equipos con criticidad más alta de la empresa de TRANSPORTES CSM S.A.S.

Establecer un plan de mantenimiento con actividades preventivas según la metodología de RCM para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos con criticidad más alta de la empresa de TRANSPORTES CSM S.A.S.

Generar el plan de mantenimiento basado en RCM a través de la ejecución de un módulo de un sistema de información para obtener la programación de las actividades como parte de la gestión.

2. Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Inicio del Mantenimiento

El mundo vive en un constante cambio esto ha ocasionado que la forma de pensar, actuar y crear también se mejore. Hoy día, somos más conscientes sobre la importancia de la seguridad y el cuidado del medio ambiente, y el mantenimiento no ha sido la excepción pues también ha tenido que evolucionar y mejorar las técnicas para realizar registro, control de los bienes físicos, así como el rendimiento y controlar los costos, pero sin dejar atrás la calidad del producto.

Toda esta evolución ha tenido una serie de etapas cronológicas en tres generaciones:

2.1.1.1 La Primera Generación. En este periodo, la industria no era altamente mecanizada. Por tal motivo, las fallas en equipos no eran una prioridad, pues estos eran simples y bien diseñados, lo cual los hacía confiables y fáciles de reparar. Debido a esto, las tareas de mantenimiento se centraban en limpieza, control y lubricación de rutina (Moubray, 2004).

2.1.1.2 La Segunda Generación. Debido a la alta presión durante la Segunda Guerra Mundial, el mundo se vio obligado a la mecanización. Las máquinas se multiplicaron y su complejidad aumentó; la industria empezó a depender de ellas.

Entró el concepto de mantenimiento preventivo, llegó la idea de que las fallas técnicas podían y debían ser prevenidas. A su vez, esto aumentó el costo de mantenimiento, lo que ocasionó que surgiera la planificación de mantenimiento y programas de control (Moubray, 2004).

2.1.1.3 La Tercera Generación.

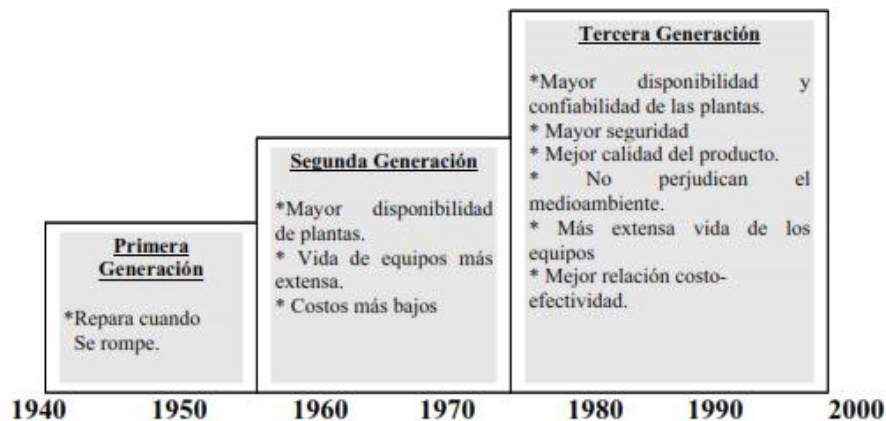
Nuevas expectativas. El tiempo inactivo afecta la capacidad productiva de los bienes físicos, reduce su rendimiento, eleva los costos operativos y afecta el servicio al cliente. Debido al

crecimiento de la mecanización y automatización, se requiere que las organizaciones garanticen el funcionamiento, la disponibilidad, seguridad en la sociedad y el medio ambiente o en su defecto deben dejar de operar.

Nuevas investigaciones. Se está modificando los principios entre la relación de antigüedad y fallas. Las investigaciones en esta generación revelan que no son uno o dos, sino seis modos de fallas (Moubray, 2004).

Figura 1

Evolución del mantenimiento



Nota. La siguiente imagen representa el cambio del mantenimiento a través de los años. Adaptado de Moubray (2004), p. 7.

2.1.2 Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad nos permitirá jerarquizar los activos de la empresa. Este proceso determina la importancia y las consecuencias de los eventos.

El modelo de Criticidad Total por Riesgo (CTR) es un modelo práctico y sencillo, que se basa en un proceso de análisis semicuantitativo, apoyado en el concepto del riesgo, definido como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de un fallo por su severidad. Este método ha sido

ampliamente desarrollado por consultoras y empresas internacionales, al igual que adaptado a un número importante de industrias (Parra y Crespo, 2012).

2.1.2.1 Modelo de Criticidad Semicuantitativo.

CTR: criticidad total por riesgo $CTR = FF * C$

FF: frecuencia de fallas (número de fallas en un tiempo determinado).

C: consecuencia de los fallos a la seguridad, ambiente, calidad, producción, etc.

$C = (IO \times FO) + CM + SHA$

Donde:

IO: factor de impacto en la producción.

FO: factor de flexibilidad operacional.

CM: factor de costos de mantenimiento.

SHA: factor de impacto en seguridad higiene y ambiental.

2.1.2.1.1 Factor de Frecuencia de Fallos (FF) – Escala (1-4).

1: Excelente - 2 eventos al año.

2: Bueno - Entre 3 y 4 eventos en el año.

3: Promedio - 5 eventos al año.

4: Frecuente - Más de 5 eventos por año.

2.1.2.1.2 Factores de Consecuencias de Fallas (C).

Impacto Seguridad y Medio Ambiente (SHA).

8: Alto riesgo de vida del personal, daños graves a la salud del personal o incidente ambiental mayor, derrames y fugas que exceden los límites permitidos.

6: Riesgo medio de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal o incidente ambiental mayor catastrófico.

3: Riesgo de vida del personal o daños menores a la salud del personal o incidente ambiental menor, derrames fáciles de contener y fugas repetitivas.

1: No existe ningún riesgo de salud ni de daños ambientales.

Impacto en Producción (IO).

10: Pérdidas de producción superiores al 75% (no hay unidades de reserva)

7: Pérdidas de tiempo en operación > 5 horas

5: Pérdidas de tiempo en operación > 2 horas menor < 5 horas

3: Pérdida de tiempo en operación entre > 1 hora < 2 horas

1: Pérdida de tiempo en operación = 1 hora

Impacto en Costos de Mantenimiento (CM).

2: Costos de reparación, materiales y mano de obra superiores a 5.000.000 de pesos colombianos.

1: Costos de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 5.000.000 de pesos colombianos.

Impacto por Flexibilidad Operacional (FO).

4: No se cuenta con equipos de reserva.

2: Se cuenta con un equipo de reserva que logra cubrir de forma parcial el impacto a la operación.

1: Se cuenta con dos o más equipos de reserva.

Los resultados que se obtienen de los factores anteriores se presentan en una matriz de criticidad (4x5) donde el eje vertical está formado por cuatro niveles de frecuencia de fallos, mientras el eje horizontal está formado por cinco niveles de consecuencia de fallo.

La matriz se divide en cuatro zonas que representan los cuatro niveles de criticidad:

Zonas de Criticidad.

B = Baja criticidad

M = Media criticidad

A = Alta criticidad

Figura 2

Matriz de criticidad

FRECUENCIA	4	M	M	A	A	A
	3	M	M	M	A	A
	2	B	B	M	A	A
	1	B	B	B	M	A
		1	2	3	4	5
		CONSECUENCIA				

Nota. Matriz propuesta por el modelo de criticidad total por riesgo.

2.1.3 Análisis de Modos y Efecto de Falla (AMEF)

La AMEF es un método que permite identificar fallas, estimar sus efectos, causas y elementos de detección para poder prevenir su correnca. La herramienta en cuestión es muy útil para almacenar una gran cantidad de datos sobre nuestros procesos y productos; por lo tanto, es una valiosa fuente de información (Socconini, 2019).

El AMEF se enfoca en los puntos críticos para abordarlos, eliminarlos o crear un sistema preventivo, también para prevenir su aparición o disminuir su impacto. Si se emplea de manera sistemática se tendrá como resultado un riguroso procedimiento de detección de defectos potenciales (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST], 2004).

2.1.3.1 Numero Prioritario de Riesgo. Este número nos permite jerarquizar los modos de falla. Se busca identificar cuál de ellos genera un impacto mayor en los parámetros normales de operación.

$$NPR = S * O * D$$

Severidad (S). Determina la importancia o severidad del efecto del modo de fallo potencial para el sistema.

Figura 3

Severidad

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observará un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

Nota. Presenta el criterio para asignar el valor al modo de fallo. Adaptado de INSST (2004).

Ocurrencia (O). Es la probabilidad de que una causa potencial de fallo se produzca y de lugar al modo de fallo.

Figura 4

Ocurrencia

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

Nota. Adaptado de INSST (2004).

Detectabilidad (D). Nos indica la probabilidad de que la causa o modo de fallo sea detectado con antelación suficiente para evitar daños.

Figura 5

Detectabilidad

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

Nota. Adaptado de INSST (2004).

2.2 Descripción del RCM

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) permite elaborar planes de mantenimiento que incluyan todo tipo de estrategias como mantenimientos preventivos, predictivos y búsqueda de fallas. Esta metodología es utilizada para determinar qué actividades realizar para asegurar la operatividad de los equipos dentro de rangos o estándares establecidos.

El RCM proporciona un programa de mantenimiento efectivo destinado a mantener la confiabilidad, para que el equipo se mantenga; asegura que este continúe operando de forma eficiente, dentro de los límites establecidos y la capacidad de diseño.

El RCM generalmente es utilizado para la identificación de tareas de mantenimiento, aunque algunas veces se usa como marco de referencia para estudiar el riesgo en equipos o para identificar áreas que permitan mejorar el mantenimiento de equipos (Campos-López et al., 2019). El objetivo de aplicar RCM busca aumentar la disponibilidad y reducir los costos, para que los equipos trabajen dentro de los rangos establecidos por el fabricante (Layme, 2014).

2.2.1 Aplicación del RCM

Para que una metodología pueda definirse como RCM debe cumplir y responder satisfactoriamente las siguientes preguntas según la Norma SAE JA1011 (SAE, 1999):

1. ¿Cuáles son las funciones de operación en cada sistema, en su contexto operacional?

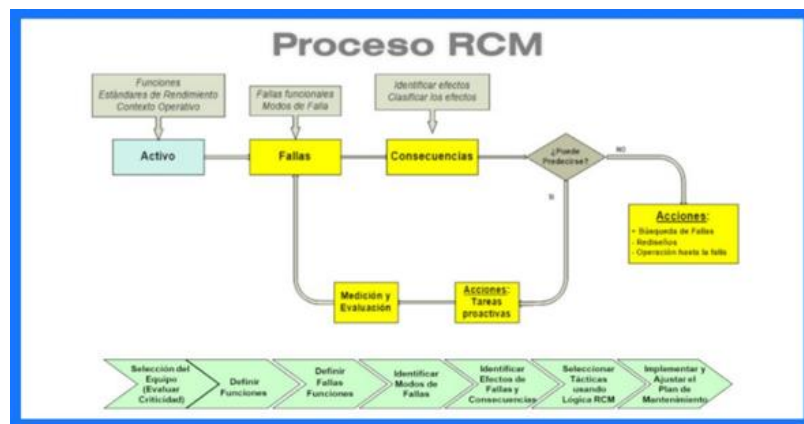
(Funciones)

2. ¿Cómo falla cada equipo? (Fallas funcionales)
3. ¿Cuál es la causa de la falla funcional? (Modo de falla)
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla? (Efecto de falla)
5. ¿Qué consecuencias produce cada falla? (Consecuencias de falla)
6. ¿Cómo se debe hacer para prevenir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no es posible prevenir una falla funcional?

Se debe responder todas y cada una de las anteriores preguntas del proceso RCM. Para eso es necesario tener toda la información del activo a estudiar y así tomar decisiones basadas en esta información; por lo que, para realizar el RCM, se requiere recopilar y analizar la información previa.

Figura 6

Proceso RCM



Nota. Diagrama explicativo del proceso RCM. Adaptado de Mendizábal (s.f.).

2.3 Conceptos Básicos del RCM

2.3.1 Contexto Operacional

Inicialmente, lo que debe hacerse es tener claro el contexto en el que funciona el equipo. Se debe indicar el régimen de operación, disponibilidad de repuesto como de mano de obra, así como las consecuencias que trae la indisponibilidad de este.

2.3.2 Funciones

Se define las funciones que se desea que el equipo cumpla. Todas las funciones deseadas deben ser listadas y se debe tener en cuenta las normas de rendimiento asociadas.

Las funciones se pueden dividir en:

Funciones Primarias. Son aquellas funciones que van relacionadas con la eficiencia y productividad del activo.

Funciones Secundarias. Son las funciones que se esperan que activo cumpla normalmente.

2.3.3 Fallas Funcionales

Es cuando el activo es incapaz de completar la función por la que fue adquirido a un rendimiento aceptable por parte de la empresa. Son todos aquellos estados indeseables. Según Moubray (2004), una falla funcional se define como la incompetencia de un activo para realizar sus funciones a un rango admisible por el usuario.

Figura 7

Falla funcional



Nota. Adaptado de Moubray (2004), p. 47.

2.3.4 Modos de Falla

Son todas aquellas causas que ocasionan que el equipo pueda llegar a un estado de falla, al identificar los modos de falla es fundamental listar la “causa raíz” de la falla. La mejor forma de exponer la relación y la diferencia entre estados de fallas y evento que los causan, es enumerar primero las fallas funcionales y después registrar los modos de falla que pueden ocasionar la falla funcional (Moubray, 2004). La Figura 8 muestra la función, descripción de falla funcional y los modos de falla posibles en un sistema de enfriamiento de agua.

Figura 8

Ejemplo de modo de falla

SISTEMA		SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA	
SUBSISTEMA			
FUNCION	Falla Funcional	MODOS DE FALLA	
I Transferir Agua del Tanque X Al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto.	A Incapaz de transferir Agua B Transfiere menos de 800 litro Por minuto.	1 Rodamiento falla 2 El propulsor se suelta 3 Propulsor atascado por un objeto extraño 4 Campana de enganche falla por fatiga. 5 Se quema el motor 6 Válvula de entrada tapada 7 Propulsor desgastado 8 Línea de succión Parcialmente bloqueada.	

Nota. Ejemplo de modo de falla de un sistema de refrigeración. Adaptado de Moubray (2004), p. 54.

2.3.4 Efectos de Falla

Los efectos de fallas describen lo que pasa cuando ocurre cada modo de falla (que sucede cuando la falla acontece). Algo muy importante que se debe tener claro es que un *efecto de falla* es distinto a una *consecuencia de falla*, debido a que la primera responde a qué sucede y la segunda a cómo afecta.

2.3.5 Consecuencias de Falla

Dentro del estudio de RCM, encontramos distintas consecuencias con un impacto diferente. Es por eso por lo que se deben categorizar:

Consecuencias Ambientales o de Seguridad. Son aquellos modos de fallo que provocan consecuencias relacionadas que afectan de manera directa a un ser humano o violan algún tipo de norma ambiental, sea municipal, empresarial, nacional, etc.

Consecuencias No Operacionales. Son aquellas que no afectan la efectividad en la producción del activo. Requieren reparación o reemplazo, lo que conlleva a aumentar los gastos de mantenimiento.

Consecuencias Operacionales. Es una categoría que afecta la capacidad operacional, lo que ocasiona incremento en costos y reduce el beneficio económico de la empresa.

Consecuencia de Fallas Ocultas. Según Moubray (2004), una función oculta es aquella falla que el operario no reconoce bajo condiciones normales si esta aparece por sí misma. No ocasionan ningún impacto directo en condiciones normales, solo se hará evidente cuando ocurre otro fallo.

2.4 Selección de las Políticas de Manejo de Fallas

Después de haber realizado la identificación de funciones, contexto operacional, modos de fallo y efectos, el paso a seguir es seleccionar la política de manejo de fallas. Para esto, nos dirigimos a la Norma SAE JA1011 (1999), la cual enuncia lo siguiente:

- Algunos modos de fallas aumentan su probabilidad condicional con el tiempo y es por eso que en el proceso de elección de manejo de fallas deben considerarse.
- La probabilidad condicional de otros no menguará ni cambiará con el tiempo.

- Las tareas programadas deben ser viables, lo que quiere decir que sean aplicables y funcionales, que traten la causa de fallo de manera efectiva.
- La elección de las políticas de manejo de fallas debe realizarse como si actualmente no se realizara ninguna tarea específica para adelantar, prever o descubrir la falla.

2.5 Políticas de Manejo de Fallas – Tareas Programadas

Todas las tareas programadas deben cumplir los siguientes criterios (SAE, 1999):

- Si el modo de falla es obvio e implica afectar el medio ambiente o la seguridad, se debe plantear una tarea que disminuya la posibilidad de modo de falla a un rango admisible para el usuario.
- Cuando un modo de fallo trae como consecuencia la producción de un modo de fallo múltiple relacionado, ocasionado por una falla oculta, que afecta la seguridad y medio ambiente, se debe determinar una tarea que reduzca la posibilidad de ocurrencia a un nivel que disminuya la probabilidad de ocurrencia de fallo múltiple, a un rango admisible para el usuario.
- Para aquellos modos de fallo que no ocasionan afectaciones en el medio ambiente y la seguridad, se debe verificar los costos de las tareas a plantear. Estos tienen que estar por debajo de los costos directos o indirectos del modo de fallo, calculados para periodos comparables de tiempos; solo así la tarea puede ser aplicada.
- Un modo de fallo oculto que genera un fallo múltiple asociado, que no genera afectaciones para la seguridad y el medio ambiente. Los costos directos e indirectos de las tareas tienen que estar por debajo de los costos directo e indirectos de una falla múltiple más los costos de reparación del fallo oculto, calculados en un intervalo de tiempo confrontables.

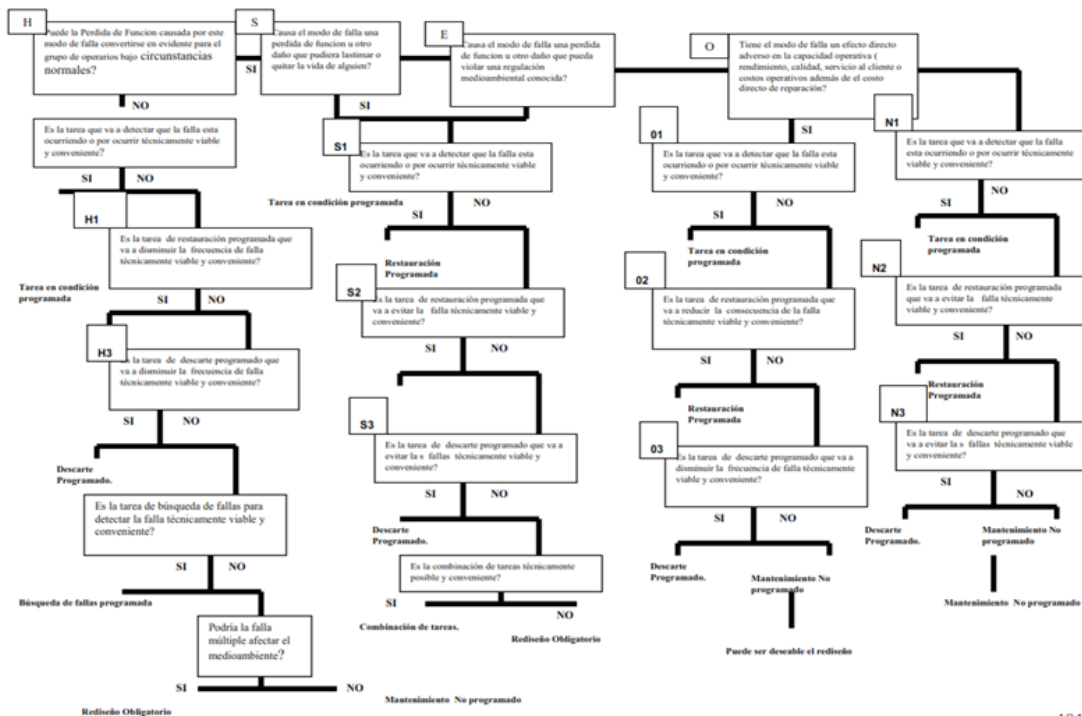
2.6 Diagrama de Decisión

El diagrama de decisión permite agrupar todos los procesos de decisión en un cuadro importante, empleada en cada uno de los modos de falla. Este diagrama se compone de cuatro partes en las cuales se analiza la consecuencia del modo de falla:

- H: Consecuencias del fallo oculto.
- S: Consecuencia para la seguridad.
- E: Consecuencias en el medio ambiente.
- O: Consecuencias operacionales.

Figura 9

Diagrama de decisión



Nota. Diagrama de decisión. Adaptado de Moubray (2004), p. 184.

3. Generalidades de la Empresa

3.1 Reseña Histórica

Figura 10

Logo de TCSM



Nota. Logo de la empresa Transportes CSM – Adaptado del Brochure de la empresa (comunicación personal, 2019).

En el año 2017, se reactivan las exploraciones de yacimientos petroleros en Colombia, especialmente en el Departamento del Cesar. Para iniciar las exploraciones llegan empresas de perforación al Municipio de San Martín, requiriendo mano de obra, alquiler de equipos para izaje y vehículos para transporte de carga y movimiento de equipos petroleros. Es así como se da la necesidad de crear empresas que puedan prestar este tipo de servicios con calidad y seguridad en nuestro Municipio y sus alrededores.

Existiendo esta necesidad y teniendo la experiencia requerida, cuatro empresas aliadas del Municipio, dedicadas a la actividad del transporte, deciden realizar una alianza estratégica, donde nace Consorcio San Martín. De esta manera, se realiza el primer proyecto de movilización de un equipo de perforación Rig-109 de la operadora Tuscan South América Ltd. en ese año, el cual fue totalmente exitoso.

En el año 2018, las cuatro empresas aliadas realizaron varios proyectos mediante la figura de consorcio; fue así como surgió la idea de fortalecer aún más la visión de la organización y deciden crear una empresa que cuente con toda la capacidad y experiencia para futuros proyectos. A partir de ahí es que, a finales del año 2018, nace Consorcio San Martín S.A.S., continuando la misma línea de apoyo estratégico de las 4 empresas aliadas locales, demostrando liderazgo, compromiso y cumplimiento con las operadoras y trabajando de la mano con las comunidades de las zonas de influencia.

A mediados del año 2019, por estrategia comercial, se genera el cambio de razón social a TRANSPORTES CSM S.A.S., siguiendo la trayectoria en mejora de su crecimiento y fortalecimiento como empresa a nivel regional y nacional, líder en soluciones especializadas en el transporte de carga terrestre automotor de carga seca, movilizaciones, alquiler y suministro de maquinaria y equipos para izaje.

3.2 Misión

TRANSPORTES CSM S.A.S. Empresa dedicada al servicio de transporte terrestre de carga seca; así como al alquiler y suministro de maquinaria y equipos de izaje, está comprometida con sus clientes y demás partes interesadas en la satisfacción de sus necesidades y expectativas bajo la prestación de servicios oportunos, que cumplen con estándares de calidad, seguridad y salud en el trabajo y medio ambiente establecidos a nivel nacional e internacional para proveedores de servicios de la industria petrolera.

3.3 Visión

Para el año 2025, TRANSPORTES CSM S.A.S. se consolidará como la compañía líder de la región en brindar soluciones especializadas en el transporte terrestre de carga seca y el

suministro de maquinaria y equipos de izaje, manteniendo para sus servicios equipos adecuados a las operaciones y personal calificado, y así dar respuesta oportuna a las necesidades del mercado.

3.4 Política Integral

TRANSPORTES CSM S.A.S es una empresa dedicada al servicio público de transporte terrestre automotor de carga, al alquiler y suministro de maquinaria, así como equipos para el Izaje de cargas, y considera que la excelencia del recurso humano, la seguridad durante el desarrollo de sus actividades, la calidad del servicio, una relación mutuamente beneficiosa con las partes interesadas y la eficacia de sus procesos, son objetivos permanentes y prioritarios para lograr la plena satisfacción de nuestros clientes y la rentabilidad del negocio.

Para esto, nuestra Organización asume la responsabilidad de diseñar, desarrollar, implementar y mantener un Sistema de Gestión, el cual integra componentes de Calidad, Medio Ambiente, Seguridad y Salud en el Trabajo, siguiendo los requisitos definidos en la Normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018, asegurando todos los recursos técnicos, físicos, financieros y humanos necesarios para su ejecución por lo cual se compromete a:

Proporcionar condiciones de trabajo seguras y saludables, con el fin de prevenir lesiones y deterioro de la salud relacionados con las actividades de la empresa, así como la protección del medio ambiente, prevención de la contaminación y uso adecuado de recursos naturales.

Cumplir los requisitos legales vigentes aplicables en materia de Calidad, Seguridad, Salud en el Trabajo y Medio Ambiente, de igual manera dar cumplimiento a los demás compromisos contraídos por la Organización asociados a la ejecución de los proyectos.

Garantizar la participación y consulta de los trabajadores de la empresa por medio de sus representantes, dando funcionamiento a los comités establecidos dentro de la organización.

Identificar los peligros y evaluar los riesgos existentes en la empresa, definiendo controles para la eliminación y reducción de estos, respectivamente.

Dar respuesta satisfactoria a los requerimientos que, en términos de Calidad, Medio Ambiente y Seguridad y Salud en el Trabajo, requiera el Cliente.

Dirigir las acciones hacia la mejora continua del Sistema Integrado de Gestión de la empresa, en cada uno de sus procesos y desarrollo de actividades.

Por lo anterior, TRANSPORTES CSM S.A.S. se compromete al cumplimiento de los requisitos y mejoramiento continuo de la eficacia del Sistema Integrado de Gestión en Calidad, Seguridad y Salud en el trabajo y Ambiente.

3.5 Procedimiento Operacional de la Empresa

3.5.1 Establecer Plan de Movilización

Es un documento donde se establece ciertos aspectos y documentos:

- Responsabilidades de cada una de las personas involucradas en la movilización.
- Ruta de movilización.
- Rutas alternas de contingencia.
- Planes de emergencias y contingencia ante un eventual accidente o desastre.
- Indicación del orden y número de cargas a movilizar.
- Especificaciones de peso y dimensiones de cada una de las cargas.
- Especificaciones de legislación aplicable a cada carga según el marco legal antes mencionado.
- Cronograma de movilización.

3.5.1.1 Ruta de Movilización. Es el recorrido que deben seguir todos los vehículos involucrados en la movilización de la carga. Ningún vehículo podrá utilizar vías distintas a la ruta

indicada, al menos que existan inconvenientes de fuerza mayor, tales como: accidentes, bloqueo de vías, etc. Se debe indicar las rutas alternas ante estos inconvenientes.

3.5.1.2 Inspeccionar y Revisar las Vías indicadas en la Ruta de Movilización. Se deben conocer los puntos críticos de la ruta para tomar todas las medidas preventivas y prevenir demoras o inconvenientes de última hora. Estos puntos críticos son:

- El estado de la carretera.
- Curvas peligrosas.
- Dimensiones y capacidades de los puentes.
- Líneas o redes eléctricas en la vía.
- Pasos urbanos.
- Pasos vías prohibidas.
- Zonas rojas o de influencias subversiva.
- Carreteras de alto tráfico.
- Carreteras de alto índice de accidentalidad.
- Escuelas o centros de educación.

3.5.1.3 Inspeccionar el Estado General de la Localización. La inspección de las locaciones es la revisión general del sitio donde se va a ubicar la carga movilizada. Se debe tener en cuenta:

- El tamaño de la locación.
- La nivelación y firmeza del terreno.
- Líneas o redes eléctricas.
- Disposición de la carga.

3.5.1.4 Inspeccionar el Estado General de los Vehículos y Equipos de Transporte. Esta inspección debe realizarse previa a la actividad del vehículo o equipos, mediante los formatos de inspección según corresponda; y tomar las acciones correctivas de las anomalías o falla reportadas.

3.5.1.5 Inspeccionar las Herramientas de Carga y Amarre de los Vehículos. Inicialmente, se debe realizar una revisión visual de todas las herramientas por el parte del personal que realiza la operación. Luego se realizará una inspección de mantenimiento más detallada.

3.5.2 Operación

La operación principal de la empresa es el desarme, arme y movilización de taladros de perforación; es decir, que se divide en 3 fases. La empresa suministra los equipos y el personal capacitado para la realización de esta actividad, se requiere:

Figura 11

Torre de perforación



Nota. Taladro de perforación Rig 301 de Pioneer ubicación acordeonero pad San Martín – Cesar.

3.5.2.1 Grúas de distinto Tonelaje. Estos equipos de izaje son los encargados de levantar cargas y reubicarlas. Son de suma importancia durante la operación ya que son las que marcan el avance en el desarme y arme del taladro.

Figura 12

Izaje de torre Rig 301



Nota. Bajada de torre durante la movilización de taladro Rig 301 de Pioneer – operación crítica con tres grúas realizando trabajos en conjunto.

3.5.2.2 Manlift. Es una plataforma elevadora de personas para trabajo en alturas. Estos equipos nos permiten amarrar cargas a izar, trasladar el personal y las herramientas a utilizar.

Figura 13

Equipo Manlift



Nota. Manlift en operación de subida de personal para realizar trabajos en altura.

3.5.2.3 Cargador. Este equipo de izaje es más versátil que una grúa ya que este no debe anclarse para levantar cargas, pero tiene una limitación puesto que no está hecho para cargas demasiado pesadas.

Figura 14

Cargador



Nota. Cargador de 8 toneladas en operación de cargue una cama alta durante una movilización.

3.5.2.4 Vehículos. Son los encargados de transportar las componentes del taladro, los que realizan el movimiento de las partes del equipo de una locación a otra.

Figura 15

Vehículo



Nota. Vehículo cama alta transportando cargas durante el desenlace de las operaciones.

3.5.2.5 Supervisores de Izaje. El personal encargado de la revisión y el buen aseguramiento de las cargas a izar verifica que el plan de izaje sea acorde con la carga y la maniobra a realizar.

Figura 16
Plan de izaje

Nota. Ejemplo de un plan de izaje para una grúa de 90 toneladas.

3.5.2.6 Supervisor HSE. Vigila los procesos de la operación y la ejecución de los trabajos de alto riesgo que puedan causar consecuencias negativas en las personas, se encarga de las paradas de seguridad.

Figura 17
Reunión preoperacional



Nota. Reunión preoperacional de seguridad para izajes críticos por parte del personal de gestión de integral.

Para la empresa, es de vital importancia cumplir con los cronogramas pactados con el cliente. Por tal motivo es que se establecen los tiempos para el desarme, la movilización y el arme del equipo. Es ahí cuando los activos de la empresa, es decir, los equipos y vehículos, desempeñan un papel muy importante; las fallas o varadas inesperadas ocasionan retrasos en la operación que conllevan a multas y tiempos perdidos.

4. Método

Esta investigación aborda aspectos cuantitativos y cualitativos.

Cuantitativos. Cuando se calcula la tasa de fallos en un periodo determinado.

Cualitativos. Se realiza el estudio de criticidad y se empieza a evaluar dichos equipos, se entrevista al personal y se recoge información de las hojas de vida de los activos.

El objetivo general de este proyecto de grado es Estructurar un plan de mantenimiento basado en la metodología de RCM para los equipos con criticidad más alta de la empresa TRANSPORTES CSM S.A.S. con el fin de mejorar la disponibilidad operacional de dichos equipos.

Para alcanzar este objetivo se empezará evaluando los equipos por medio de un análisis de criticidad semicuantitativo.

4.1 Equipos de Transportes CSM

Actualmente, la empresa TRANSPORTES CSM cuenta con una flota de 30 equipos, entre maquinaria y vehículos, los cuales son utilizados para la ejecución de la operación.

Tabla 1*Flota de Transportes CSM*

Ítem	H-vida	Código	Nombre	Placa	Descripción
1	17	MQ-GRUA-001	Grúa sobre camión	GKV - 637	Grúa de 130 toneladas
2	18	MQ-GRUA-002	Grúa sobre camión	FSQ -921	Grúa de 100 toneladas
3	19	MQ-GRUA-003	Grúa sobre camión	FST -044	Grúa de 100 toneladas
4	20	MQ-GRUA-004	Grúa sobre camión	WGX -389	Grúa de 100 toneladas
5	21	MQ-GRUA-005	Grúa sobre camión	T2978	Grúa de 90 toneladas
6	22	MQ-GRUA-006	Grúa sobre ruedas	RT890E	Grúa de 90 toneladas
7	23	MQ-GRUA-007	Grúa sobre ruedas	RT 875	Grúa de 75 toneladas
8	24	MQ-GRUA-008	Grúa sobre camión	GFP -539	Grúa de 75 toneladas
9	25	MQ-CARGADOR-001	Cargador 938K	N/A	Cargador de 8 toneladas
10	26	MQ-CARGADOR-002	Cargador W190C	N/A	Cargador de 7 toneladas
11	27	MQ-CARGADOR-003	Cargador Komatsu 400	N/A	Cargador de 7 toneladas
12	28	MQ-MANLIFT-001	Manlift 400 s	N/A	Manlift de 14 metros, JLG
13	29	MQ-MANLIFT-002	Manlift 600 s	N/A	Manlift de 18 metros, JLG
14	30	MQ-MANLIFT-003	Manlift 400 s	N/A	Manlift de 14 metros, JLG
15	1	VH-CAMAA-0001	Cama alta	SZK-715	Vehículo cama alta
16	2	VH-CAMAA-0002	Cama alta	SSZ-162	Vehículo cama alta
17	3	VH-CAMAA-0003	Cama alta	SXS-180	Vehículo cama alta
18	4	VH-CAMAA-0004	Cama alta	SXV -221	Vehículo cama alta
19	5	VH-CAMAA-0005	Cama alta	SXV - 660	Vehículo cama alta
20	6	VH-CAMAA-0006	Cama alta	TTR-990	Vehículo cama alta
21	7	VH-CAMAA-0007	Cama alta	TEO -361	Vehículo cama alta
22	8	VH-CAMAA-0008	Cama alta	TDZ - 463	Vehículo cama alta
23	9	VH-CAMAA-0009	Cama alta	WTN - 995	Vehículo cama alta extensible
24	10	VH-CAMAB-0001	Cama baja	SXV-878	Vehículo cama baja 3 Ejes
25	11	VH-CAMAB-0002	Cama baja	TAV-496	Vehículo cama baja 3 Ejes
26	12	VH-CAMAB-0003	Cama baja	SXF-039	Vehículo cama baja 3 Ejes
27	13	VH-CAMAB-0004	Cama baja	SMP-605	Vehículo cama baja 3 Ejes
28	14	VH-CAMAB-0005	Cama baja	SXV - 336	Vehículo cama baja 4 Ejes
29	15	VH-CAMAB-0006	Cama baja	SWN-341	Vehículo cama baja 4 Ejes
30	16	VH-CAMAB-0007	Cama baja	SSQ-133	Vehículo cama baja 4 Ejes

Nota. Esta tabla muestra la flota que maneja actualmente Transportes CSM, código, nombre y el número perteneciente a la hoja de vida del equipo.

4.2 Contexto Operativo

Transportes CSM es una empresa que se dedica al arme, desarme y movilización de taladros de perforación en el valle del Magdalena medio y otros. Esta operación se divide en sus tres fases, las cuales deben cumplir con un tiempo asignado para cada una y son desarrolladas en conjunto. Cada equipo de la empresa cumple con una función durante el desenlace de la operación.

Desarme del Taladro. Durante esta fase se empieza desarticular las partes del taladro, desconectar el cableado, sistema eléctrico, sistema de succión y drenaje de lodos. Los equipos requeridos son una grúa 130, 100, 90 toneladas y un Manlift. Conforme se van desarrollando se va iniciando la fase de movilización de las cargas.

Movilización del Taladro. Esta etapa se va desarrollando conforme a la velocidad del desarme. Durante esta, los vehículos pesados son los que cumplen un papel principal pues se encargan de dirigir las cargas a la siguiente locación.

Arme del Taladro. Para el desarrollo de esta fase se necesita que, durante el desarme y la movilización, sean estratégicos con el envío de las cargas; es decir, que conforme van llegando a la locación se van descargado y armando. Esto permite ahorrar tiempos en el arme y para ello es necesario una grúa de 130,100, 90 toneladas, un Manlift y un cargador.

4.3 Análisis de Criticidad para los Equipos de Transportes CSM

Se realiza un análisis de criticidad para conocer los equipos a los que se les aplicará la metodología RCM. Nos enfocaremos en los equipos que producen un mayor impacto dentro del rendimiento de la empresa (con criticidad más alta). Se define mediante un modelo de criticidad semicuantitativo. Se realiza el cálculo del (CTR) modelo de Criticidad Total por Riesgo. Después de obtener los resultados, se elabora la matriz y se procede a la aplicación de esta, para conocer así los equipos con criticidad más alta.

Se utilizará la siguiente Tabla 2 de ponderados para el cálculo de los factores. Debido a la poca información que se tiene de mantenimiento de los años anteriores, no se llevaba registro alguno. Estos factores se evaluarán con el mecánico, operadores, jefe de mantenimiento el supervisor de operaciones y el coordinador de operaciones.

Tabla 2*Tabla de Ponderados de Factores*

Frecuencia de fallas (FF)	Excelente: de 2 evento al año	1
	Bueno: entre 3 y 4 eventos al año	2
	Promedio: 5 eventos al año	3
	Frecuente: mayor a 5 eventos al año	4
Impacto operacional (IO)	Tiempo perdido en operación < 1 hora	1
	Tiempo perdido en operación = 1h	3
	Tiempo perdido en operación >1h, pero ≤ 2h	5
	Tiempo perdido en operación >2 pero < 5 horas	7
	Tiempo perdido en operación > 5h	10
Flexibilidad operacional (FO)	No se tiene un equipo de reserva	4
	Se cuenta con un equipo de reserva	2
	Se cuenta con dos o más equipos de reserva	1
Costo de mantenimiento (CM)	Costo de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 5'000.000 de pesos colombianos	1
	Costo de reparación, materiales y mano de obra superior a 5'000.000 de pesos colombianos.	2
	No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud ni daños ambientales.	1
Impacto en Seguridad, Higiene y Medio Ambiente (SHA)	Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (controlable), derrames fáciles de contener fugas repetitivas.	3
	Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud y/o incidente ambiental de difícil restauración	6
	Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente (catastrófico) que exceden los límites permitidos.	8

Nota. En la tabla anterior encontramos el ponderado de los distintos factores a evaluar durante el análisis de criticidad. Tabla de métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos (p6). Adaptada de Parra y Crespo (2012).

A continuación, se muestra una toma parcial del historial de fallo de los equipos durante el año 2021 para conocer un poco de los activos.

Cabe aclarar que, debido a la poca información que hay sobre el historial de mantenimiento de estos, se recibió el apoyo de los empleados en el área de mantenimiento de la empresa para llevar a cabo el análisis.

Figura 18

Historial de fallas

  PLAN GENERAL DE MANTENIMIENTO										
ITEM	FECHA DE REPORTE	FECHA DE DAÑO / FALLA	NOMBRE DE QUIEN REPORTO	CARGO DE QUIEN REPORTO	CATEGORIA	PLACA / SERIAL	NOMBRE / REFERENCIA	CUENTA CON MANUAL	GARANZIA	PROBLEMA/CAPRESENTADA
						Número				
1	20/1/2021	20/1/2021	ALCIDES CORDOBA	CONDUCTOR	Vehículos	WTN - 995	CAMA ALTA EXTENSIBLE	No	No	BATERIA AGOTADA
2	14/2/2021	14/2/2021	ELISEO CRUZ	OPERADOR	Máquinas	RT 875	GRUA DE 75 TON	No	No	FUGA
3	16/2/2021	16/2/2021	RAFAEL PACHECO	OPERADOR	Máquinas	938K	CARGADOR 8 TON	SI	No	FALLA EN VALVULA EGR
4	4/3/2021	4/3/2021	DEIBY POLANCO	OPERADOR	Máquinas	GKV - 637	GRUA 130 TON	SI	No	FALLA EN EL SISTEMA DE TELESKOPIAJE
5	25/3/2021	25/3/2021	DARWIN GALLEGO	CONDUCTOR	Vehículos	SXV - 336	CAMA BAJA 4 E	No	No	NO ENCIENDE EL CARRO
6	31/03/2021	31/03/2021	BRAYAN SERNA	CONDUCTOR	Vehículos	SZK - 715	CAMA ALTA	No	No	CORTO ELECTRICO
7	08/04/2021	08/04/2021	CRISTIAN POSADA	CONDUCTOR	Vehículos	SXV - 878	CAMA BAJA 3 E	No	No	FALLA RADIADOR

Nota. En esta tabla se muestra solo una toma parcial del formato de historial de fallo de los equipos, en el apéndice A se encuentra completo. Plan general de mantenimiento de la empresa Transportes CSM (comunicación personal, 2021).

Se realiza la asignación de valores para cada equipo según el ponderado obtenido con base en la Tabla 2. A cada equipo se le asignan los valores y se calcula el CTR. Estos factores se evalúan con el personal de la empresa, operadores, supervisor de logística y operaciones, coordinador gestión integral, jefe de mantenimiento y supervisores de izaje, quienes conocen a fondo la operación.

Tabla 3*Asignación de valores*

Tabla de asignación de valores						
No	Descripción del equipo	FF	IO	FO	CM	SHA
1	Grúa de 130 toneladas	2	5	4	2	6
2	Grúa de 100 toneladas	2	3	1	2	6
3	Grúa de 90 toneladas	3	3	2	2	6
4	Grúa de 75 toneladas	1	1	2	2	6
5	Cargador de 7 toneladas	1	3	2	2	3
6	Cargador de 8 toneladas	2	3	4	2	3
7	Manlift de 14 metros	2	3	2	1	3
8	Manlift de 18 metros	1	3	4	1	3
9	Vehículo cama alta	1	1	1	1	3
10	Vehículo cama alta extensible	4	5	4	1	3
11	Vehículo cama baja 3 ejes	1	1	1	1	3
12	Vehículo cama baja 4 ejes	1	1	1	1	3

Nota. Esta tabla muestra los valores asignados a los equipos según los ponderados establecidos anteriormente y fue desarrollada en conjunto con el equipo de Transportes CSM.

Cálculo del CTR para los distintos equipos:

$$\text{CTR} = \text{FF} \times C$$

$$C = (\text{IO} \times \text{FO}) + \text{CM} + \text{SHA}$$

A continuación, se realiza una tabla donde se ubican el resultado obtenido para cada equipo.

Tabla 4

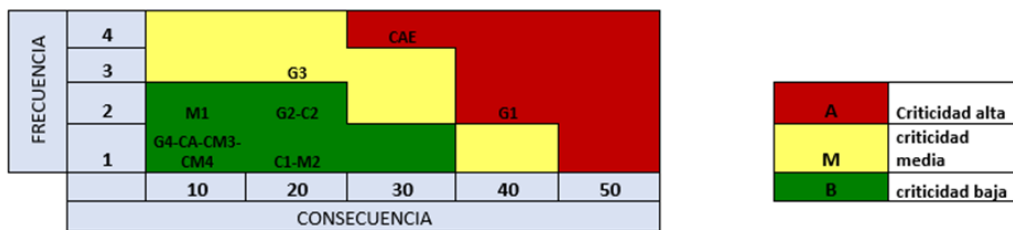
Cálculo del CTR

Equipo	cód.	FF	C	CTR
Grúa de 130 ton	G1	2	32	72
Grúa de 100 ton	G2	2	11	22
Grúa de 90 ton	G3	3	14	42
Grúa de 75 ton	G4	1	10	10
Cargador de 7 ton	C1	1	14	14
Cargador de 8 ton	C2	2	17	34
Manlift 14 metros	M1	2	10	20
Manlift 18 metros	M2	1	16	16
Vehículo cama alta	CA	1	5	5
Cama alta extensible	CAE	4	24	48
Cama baja 3E	CM3	1	5	5
Cama baja 4E	CM4	1	5	5

Nota. La tabla muestra el cálculo de criticidad total por riesgo para cada equipo del TCSM.

Figura 19

Matriz de criticidad



Nota. Matriz de criticidad para conocer en qué nivel de criticidad se encuentran los equipos. Adaptado de Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos (p7) por Parra y Crespo (2012).

Utilizando la matriz de criticidad se evidencia que se tiene 16.6% (2 equipos) en un nivel de alta criticidad, un 8.3% (1 equipo) en criticidad media y un 75% (9 equipos) en criticidad baja.

En conclusión, los equipos que serán el objeto de estudio de esta investigación serán:

Tabla 5

Equipos con criticidad alta

Equipo	Criticidad
Grúa de 130 toneladas (G1)	Criticidad alta
Cama alta extensible (CAE)	Criticidad alta

Nota. Los equipos mencionados en esta tabla son lo que serán el objeto de estudio de esta investigación.

4.3.1 Análisis de Criticidad de los Equipos Seleccionados

Para este análisis, se usará la misma metodología utilizada en el Capítulo 4.3 de esta investigación. Para ello, se utilizó el personal de la empresa de Transportes CSM, operadores de grúa, conductores, supervisores de mantenimiento, el jefe de mantenimiento y el coordinador gestión integral.

Mediante una encuesta realizada a cada uno, se les entregó una ficha donde ellos establecerían el valor que le corresponde a cada componente del equipo basado en su experiencia dentro de las operaciones.

Tabla 6

Encuesta para el análisis de criticidad de los equipos de Transportes CSM

Nombre:	Cargo:	
1. A continuación, se evaluará los distintos sistemas y componentes de una grúa-camión y un vehículo con cama alta extensible. Según su experiencia en campo, asigneles un valor basado en la tabla de ponderados.		
	Excelente: de 2 evento al año	
	1	
Frecuencia de fallas (FF)	Bueno: entre 3 y 4 eventos al año	2
	promedio: 5 eventos al año	3
	frecuente: mayor a 5 eventos al año	4
Impacto operacional (IO)	tiempo perdido en operación < 1 hora	1
	tiempo perdido en operación = 1h	3
	tiempo perdido en operación >1h, pero ≤ 2h	5
	tiempo perdido en operación >2 pero < 5 horas	7
	tiempo perdido en operación > 5h	10
Flexibilidad operacional (FO)	No se tiene un equipo de reserva	4
	Se cuenta con un equipo de reserva	2
	Se cuenta con dos o más equipos de reserva	1
Costo de mantenimiento (CM)	costo de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 5'000.000 de pesos colombianos	1
	costo de reparación, materiales y mano de obra superior a 5'000.000 de pesos colombianos	2
Impacto en Seguridad, Higiene y Medio Ambiente (SHA)	No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud ni daños ambientales	1
	Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (controlable), derrames fáciles de contener fugas repetitivas.	3
	Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud y/o incidente ambiental de difícil restauración	6
	Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente (catastrófico) que exceden los límites permitidos	8

Tabla 7*Asignación de valores de la grúa*

Tabla de asignación de valores de la grúa							
No	Componente	Cód.	FF	IO	FO	CM	SHA
1	Motor	M					
2	Caja de cambios	CC					
3	Caja de transfer	CT					
4	Suspensión de ejes	SE					
5	Transmisión de fuerza	TF					
6	Ruedas y neumáticos	RN					
7	Sistema de frenos	SF					
8	Dirección	DI					
9	Sistema eléctrico I	SEI					
6	Bastidor	BA					
11	Sistema de estabilización	SES					
12	Motor de la superestructura	MS					
13	Sistema hidráulico	SH					
14	Sistema de elevación de carga	SEC					
15	Mecanismo giratorio	MG					
16	Bastidor de la superestructura	BS					
17	Dispositivo de seguridad	DS					
18	Sistema eléctrico II	SEII					
19	Limitador electrónico del momento de carga	LEC					

Tabla 8*Asignación de valores cama alta extensible*

Asignación de valores cama alta extensible							
N°	Componente	Cód.	FF	IO	FO	CM	SHA
1	Motor						
2	Sistema de transmisión						
3	Sistema de frenos						
4	Sistema de refrigeración						
5	Chasis o cabina						
6	Sistema eléctrico						
7	Sistema de dirección						
8	Sistema de suspensión						

Con ayuda de los formatos anteriores se recopiló la información para después ser analizada para obtener el resultado de los sistemas que más fallan o presentan averías basado en la experiencia del personal de la empresa dentro de las operaciones.

4.3.1.1 Contexto Operativo de la Grúa de 130 Toneladas. La grúa desempeña un papel muy importante dentro de las operaciones de la empresa de Transportes CSM, es de vital relevancia mantenerla en óptimas condiciones. Además, dentro del inventario de CSM, solo existe una grúa con esta capacidad (130 toneladas); componente que debe estar en las mejores condiciones operativas.

Este equipo se encarga de los izajes críticos, los cuales son aquellos que superan el 70% de la capacidad de la grúa. Dentro del desarrollo de la operación, su función principal es el cargue y desmontaje de las componentes del taladro. Además de eso, es solicitada por el proveedor debido a que, gracias a su capacidad, permite al operador anclarse desde un punto estratégico y realizar varios izajes desde esa ubicación, lo cual ahorra tiempo, pues la grúa no debe desanclarse o reposicionarse para continuar con su trabajo.

Figura 20

Grúa sobre camión



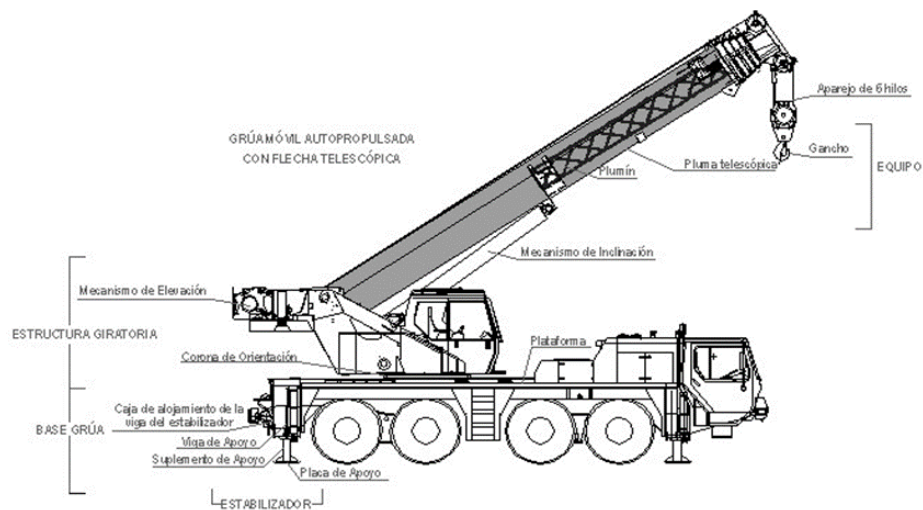
Nota. Grúa de 130 toneladas marca link belt modelo 2007 de la flota de TCSM.

Una grúa sobre camión está compuesta por un vehículo, un camión y una carrocería que es una grúa aérea; es decir, que se subdivide camión o chasis y la súper estructura (grúa). Este tipo de grúa móvil funciona de una forma discontinua, al estar formada de partes diferenciadas que se coordinan para efectuar distintas acciones como lo es transportar cargas de un sitio a otro o elevarlas y cuenta con una característica muy funcional al momento de ahorrarnos tiempo en operación; esta puede desplazarse de un lugar a otro, sin contar con un medio de transporte.

La grúa está enfocada en elevar y distribuir cargas en el espacio suspendidas en un gancho. Inicialmente debe bloquearse la dirección del camión, luego se inicia con el anclaje de la grúa con ayuda del sistema de estabilización, después la grúa ha de estar debidamente anclada y se procede a manipular el boom para realizar la debida configuración según la carga a izar y el espacio donde se encuentra.

Figura 21

Grúa y sus partes



Nota. Grúa telescópica sobre camión y sus partes detalladas. Adaptado de Klimin (2010).

4.3.1.1.1 Camión o Chasis.

Motor. Mercedes Benz – motor diésel de ocho cilindros tipo OM502 LA, refrigerado por agua, ventilador con propulsión hidrostática, regulación termostática y sistema de escape de acero fino (Tadano Faun, 2002).

Figura 22

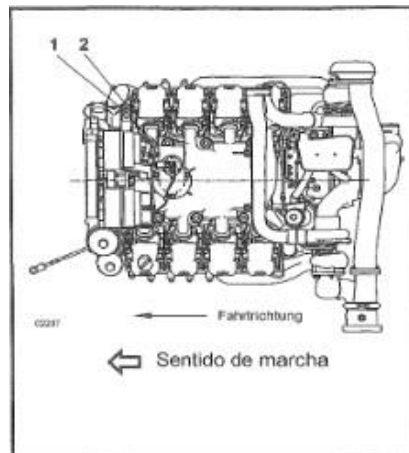
Especificaciones del motor

Potencia	KW (PS) a min ⁻¹	380 (517) 1.800
Par de giro máx.	Nm a min ⁻¹	2.400 1.200
Engrase		Engrase por circulación a presión
Modo de trabajo		Inyección directa a cuatro tiempos
Cilindrada	litros	15,928

Nota. Especificaciones del motor. Adaptado del Manual de usos, cuidados y mantenimiento ATF 110G-5 (Tadano Faun, 2002, p. 44).

Figura 23

Motor



Nota. Imagen del motor. Adaptado del Manual de usos, cuidados y mantenimiento ATF 110G-5 (Tadano Faun, 2002, p. 147).

Caja de Cambios. ZF-AS-Tronic 16AS 2602 caja de cambios mecánicos con intander integrado, embrague seco regulado de forma electrónico-neumática y con cambio completamente automatizado. Dispone de 16 marchas adelante y 2 marchas atrás.

Caja de Transfer. Tiene dos etapas VG3750, con marcha para traslado por carretera y todo terreno, posición neutral para remolcaje.

Suspensión de Ejes. Suspensión hidroneumática con regulación de nivel, posibilidad de bloqueo electrohidráulico de los cilindros de suspensión. Los ejes están guiados por bielas longitudinales y transversales.

Transmisión de Fuerza. A través de árboles articulados que no precisan mantenimiento con bridas engrandas en cruz.

Ruedas y Neumáticos. Rueda disco con chapa de acero 11,00-25 y neumáticos con 16.00 R25 perfil de carretera y todo terreno.

Sistema de Frenos. Sistema bicircuito con aire comprimido con secador de aire e intander integrado en la caja de cambios.

Dirección. Dirección hidráulica de dos circuitos del tipo ZF, mecánica con asistencia hidráulica, los ejes 1 y 2 son dirigibles permanentemente con unión mecánica al engranaje de dirección. En el modo de servicio en carretera, los ejes 4 y 5 se dirigen electrónicamente en función de la velocidad según las oblicuidades correspondientes de los ejes 1 y 2.

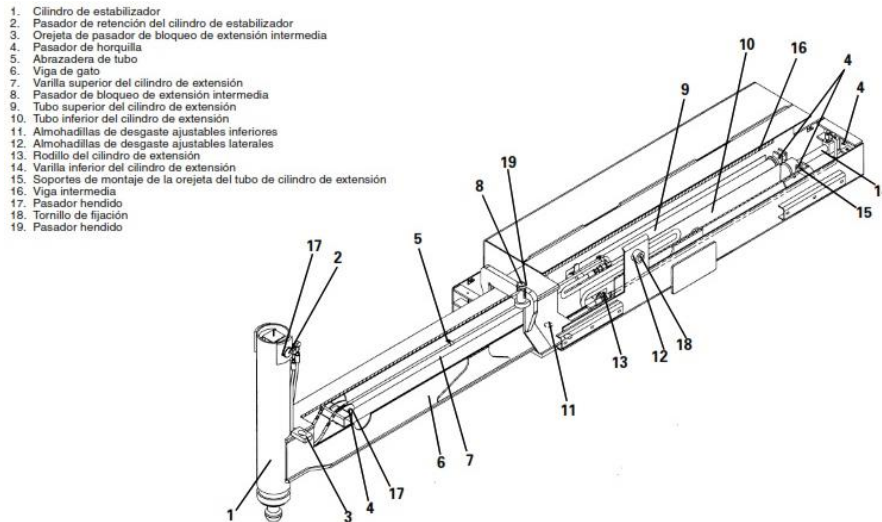
Sistema Eléctrico. Equipos de 24 voltios de corriente continuo con dínamo de corriente trifásico de 100 amperios, 2 baterías de 12 voltios con 170 Ah cada una.

Bastidor. El bastidor del vehículo – grúa de 5 ejes es una construcción soldada a prueba de torsión y rígida a la flexión.

Sistema de Estabilización. 4 apoyos de doble telescopio, accionados hidráulicamente con válvulas de retención desbloqueables en los cilindros de apoyo, posibilidad de manejo desde ambos lados del chasis, así como de la cabina de la superestructura (Tadano Faun, 2002).

Figura 24

Conjunto estabilizador



Nota. Conjunto estabilizador con almohadillas de desgaste ajustable y sus partes. Adaptado del Manual de Servicio TMS900E (Grove, 2006, p. 457).

4.3.1.1.2 Superestructura.

Motor. Mercedes Benz 4 cilindros OM904 LA, refrigerado por agua. El número de revoluciones del motor es ajustable sin escalonamiento mediante un pedal y sistema de escape en acero fino.

Figura 25

Características del motor de la superestructura

Potencia	kw (CV) a min⁻¹	130 (177) 2.200
Par de giro máx.	Nm a min⁻¹	660 1.200
Engrase		Engrase por circulación a presión
Modo de trabajo		Inyección directa a cuatro tiempos
Cilindrada	litros	4,25

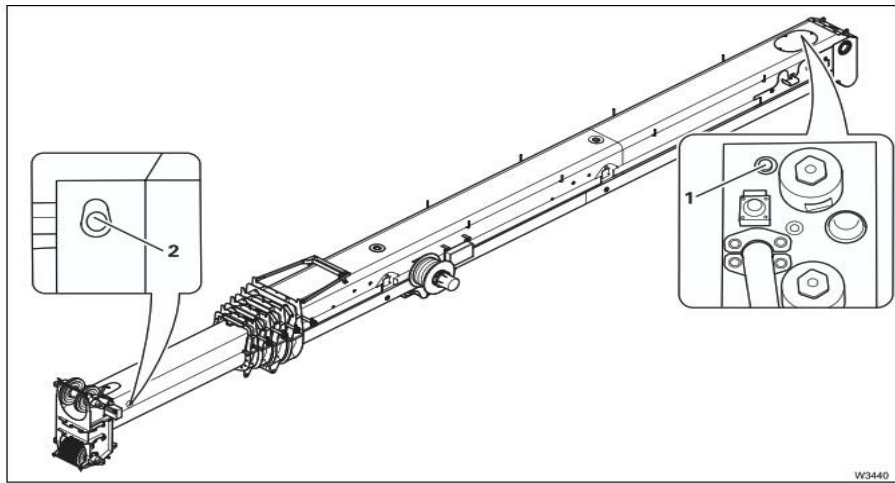
Nota. Adaptado del Manual de usos, cuidados y mantenimiento ATF 110G-5 (Tadano Faun, 2002, p. 50).

Sistema Hidráulico. Diesel hidráulico, con sistema hidráulico de 3 circuitos, 1 doble bomba de émbolos axiales, 1 bomba de émbolos axiales, este sistema se acciona mediante una bomba que despoja fuerza de la grúa.

Sistema de Elevación de Carga.

Figura 26

Mecanismo telescópico



Nota. Mecanismo telescópico con una sección por fuera. Adaptado del Manual de Servicio TMS900E (Grove, 2006, p. 175).

Mecanismo de Elevación. Motor de émbolos axiales, tambor de elevación con engranaje planetario incorporado y freno hidráulico a discos múltiples cargado a resorte.

Figura 27

Características del mecanismo de elevación

		Mecanismo elevador 1	Mecanismo elevador 2**)
Diámetro tambor	mm	525	525
Fondo de la garganta			
Diámetro del cable	mm	21	21
Largo aprox. del cable	m	250	250
Tracción máx. del cable, 1 ^{er} estrato aprox.	kN	95	95
Tracción del cable, 3 ^{er} estrato, aprox.	kN	83	83
Velocidad máx. del cable, 4 ^o estrato aprox.	m/min	130	130

Nota. Adaptado del Manual de usos, cuidados y mantenimiento ATF 110G-5 (Tadano Faun, 2002, p. 51).

Pluma Telescópica. Pluma telescópica de cinco piezas en acero de grano fino altamente resistente; se compone de una pluma base y de 4 telescopios con cilindro telescópico para extender y retraer los telescopios, esta componente permite al equipo elevar cargas a distintas alturas.

Figura 28

Característica de la pluma telescópica

Longitud total retraída	m	12,95
Longitud total extendida	m	52
Altura máx. del rodillo	m	ca. 55
Tiempo de telescopiado	s	ca. 320

Nota. Adaptado del Manual de usos, cuidados y mantenimiento ATF 110G-5 (Tadano Faun, 2002, p. 51).

Mecanismo de Ajuste de Pluma. Cilindro diferencial con válvula de frenado de bajada de bloqueo integrada.

Figura 29

Mecanismo de ajuste de pluma

Ángulo de cambio de posición	°	de -2° a +82°
Tiempo requerido para ajustar la pluma en marcha rápida (sólo ajuste hacia arriba)	seg.	aprox. 84 seg. aprox. 42 seg.

Nota. Adaptado del Manual de usos, cuidados y mantenimiento ATF 110G-5 (Tadano Faun, 2002, p. 51).

Mecanismo Giratorio. Motor de cilindrada constante de émbolos axiales engranaje planetario de tres etapas con freno de estacionamiento accionado por pedal o automáticamente, circuito hidráulico abierto con desbloqueo del mecanismo giratorio, velocidad de giro de 0 – 1,7 rpm sin escalonamiento.

Bastidor de la Superestructura. Construcción soldada a prueba de torsión con unión de rodadura con bolas de una sola hilera de engranaje externo, giro ilimitado de 360° sistema de lubricación central para la unión de rodadura con bolas, puntos de apoyo de los cilindros espacio de almacenaje detrás de la cabina.

Dispositivo de Seguridad. Válvulas de seguridad contra roturas de tubos y de tubos flexibles, interruptor final de tomo para vueltas de cable de seguridad en el tambor de elevación.

Sistema Eléctrico. Instalación de 24 voltios de corriente continua con generador de corriente trifásico de 30 amperios.

Limitador Electrónico del Momento de Carga. Gráfico LCD, apagado en caso de sobrecarga, aviso de sobrecarga, indicador de utilización. Limitación de la zona de trabajo para el ángulo de la pluma telescópica, la altura del cabezal del rodillo y el alcance.

4.3.1.1.3 Resultado del Análisis de Criticidad de la Grúa sobre Camión. De la encuesta realizada al personal de la empresa de Transportes CSM, operadores de grúa, conductores, supervisores de mantenimiento, el jefe de mantenimiento y el coordinador gestión integral, para un total de nueve encuestados, se obtuvieron los siguientes resultados que fueron analizados y ponderados (ver Apéndice B), consiguiendo el valor promedio de los factores para cada componente. Para establecer dicho valor se tuvo en cuenta que el número terminado entre 0,1 a 0,45 se acercaba al entero más cercano por debajo; si era mayor de 0,45 se redondea a la unidad siguiente. Se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 9

Asignación de valores de la grúa

No.	Componente	Cód.	FF	IO	FO	CM	SHA
1	Motor	M	3	5	2	1	3
2	Caja de cambios	CC	2	3	4	1	3
3	Caja de transfer	CT	2	3	4	2	3
4	Suspensión de ejes	SE	1	3	4	2	3
5	Transmisión de fuerza	TF	1	3	4	2	3
6	Ruedas y neumáticos	RN	3	3	2	1	1
7	Sistema de frenos	SF	2	3	2	1	3

No.	Componente	Cód.	FF	IO	FO	CM	SHA
8	Dirección	DI	1	3	4	2	3
9	Sistema eléctrico I	SEI	2	1	2	1	3
6	Bastidor	BA	1	3	4	2	1
11	Sistema de estabilización	SES	4	5	4	1	3
12	Motor de la superestructura	MS	1	3	4	2	3
13	Sistema hidráulico	SH	4	5	4	1	3
14	Sistema de elevación de carga	SEC	3	7	4	2	6
15	Mecanismo giratorio	MG	1	3	2	2	6
16	Bastidor de la superestructura	BS	1	1	4	2	3
17	Dispositivo de seguridad	DS	1	1	4	2	6
18	Sistema eléctrico II	SEII	2	1	2	1	1
19	Limitador electrónico del momento de carga	LEC	1	7	4	2	6

Nota. En la tabla se muestra el valor asignado a los equipos de los distintos factores, los cuales fueron explicados con anterioridad.

Cálculo del CTR para los distintos Componentes del Equipo.

Tabla 10

Cálculo del CTR

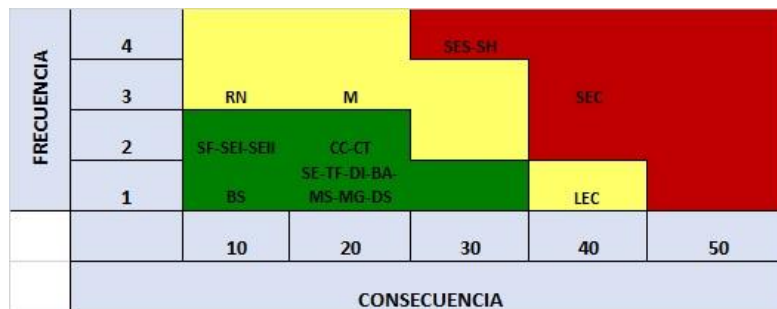
No.	Componente	Cód.	FF	C	CTR
1	Motor	M	3	14	42
2	Caja de cambios	CC	2	16	32
3	Caja de transfer	CT	2	17	34
4	Suspensión de ejes	SE	1	17	17
5	Transmisión de fuerza	TF	1	17	17
6	Ruedas y neumáticos	RN	3	8	24
7	Sistema de frenos	SF	2	10	20
8	Dirección	DI	1	17	17

No.	Componente	Cód.	FF	C	CTR
9	Sistema eléctrico I	SEI	2	6	12
10	Bastidor	BA	1	15	15
11	Sistema de estabilización	SES	4	24	96
12	Motor de la superestructura	MS	1	17	17
13	Sistema hidráulico	SH	4	24	96
14	Sistema de elevación de carga	SEC	3	36	108
15	Mecanismo giratorio	MG	1	14	14
16	Bastidor de la superestructura	BS	1	9	9
17	Dispositivo de seguridad	DS	1	12	12
18	Sistema eléctrico II	SEII	2	4	8
19	Limitador electrónico del momento de carga	LEC	1	36	36

Nota. La tabla muestra el resultado del cálculo del CTR para cada equipo. Con estos valores se procede a la ubicación en la matriz de criticidad para conocer en qué nivel se encuentran.

Figura 30

Matriz de criticidad para la grúa



Nota. Matriz de criticidad con la ubicación de cada equipo según los resultados de los factores. Adaptado de Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos (p7) por Parra y Crespo (2012).

Según los resultados anteriores, usando la matriz de criticidad las componentes quedan clasificadas en los siguientes niveles: 16% con tres componentes en alta criticidad, el 16% en

criticidad media y el 68% en una criticidad baja. Con esto podemos concluir que los sistemas a estudiar serán el sistema de estabilización, sistema hidráulico y sistema de elevación.

4.3.1.2 Contexto Operativo Cama Alta Extensible. La función principal de este equipo durante el desarrollo de la operación es transportar las cargas de una locación a otra, pero este tractocamión en particular cumple con especificaciones solicitadas por el proveedor. Esto es debido a que ella transporta cargas especiales que no podrían ser trasladadas por una cama alta con dimensiones normales. El vehículo en cuestión cuenta con una característica especial, el tráiler se puede extender permitiendo cargas largas sin sobrepasar las dimensiones permitidas por el ministerio de transporte y cumplir con seguir siendo una carga normal.

Este vehículo cuenta con dos elementos que son el tractocamión y el tráiler o remolque. El tractocamión es un Kenworth modelo 2007 línea T800 con un tráiler modelo 2018 marca American Trucks SAS, línea extensible.

Figura 31

Tractocamión



Nota. Tractocamión WTN-995.

Figura 32

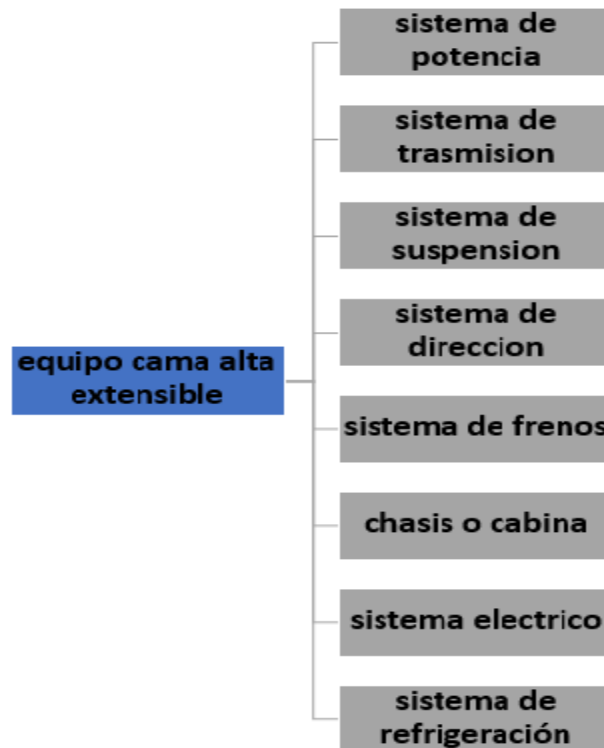
Tráiler



Nota. Tráiler cama alta extensible. Adaptado de Hércules Tráilers (2020).

Figura 33

Sistemas de la cama alta extensible



Nota. Mapa conceptual de los sistemas del equipo cama alta extensible.

4.3.1.2.1 Sistema de Potencia.

Motor. Este tractocamión está compuesto por un motor CUMMINS de 450 hp de potencia con cilindraje de 15 litros. Su función principal es convertir la potencia del combustible diésel en energía rotativa. Funciona utilizando pistones para comprimir una mezcla de aire combustible, al comprimirse el oxígeno la mezcla explota generando que el pistón retroceda, creando un movimiento alternativo (Cummins Engine Company, 2000).

Sistema de Transmisión. Cuenta con una caja de transmisión Eaton Fuller 16915. El sistema de transmisión suministra la potencia que se necesita para el funcionamiento de las ruedas motrices. Dicha transferencia de energía es dada por una serie de elementos que transmiten la potencia desde el cigüeñal hasta las ruedas para que giren; es decir, que este sistema es el mediador entre el motor y la ruedas.

Sistema de Frenos. Este sistema se encarga de parar la marcha del vehículo. El sistema de frenos de aire es de circuito doble. Tiene un circuito para las ruedas delanteras y un circuito independiente para las ruedas traseras. El sistema se alimenta por medio de un compresor impulsado por el motor. Dicho compresor utiliza el aire del exterior y lo comprime, y luego se deposita para ser almacenado hasta el momento que se necesario (Haskell, 2022).

Sistema de refrigeración. Sistema de enfriamiento de aire a aire. Incorporan un radiador para enfriar el agua de la cubierta del motor. Un enfriador de aire de carga para enfriar el aire de entrada del motor turbo cargado y un condensador de refrigerante para proporcionar aire acondicionado en la cabina. Este sistema cuenta con una bomba de agua y un radiador.

Sistema Eléctrico. Encargado del suministro de energía de todos los sistemas para su funcionamiento óptimo. Además del arranque del vehículo, para cumplir con sus funciones, posee unas componentes importantes como lo son la batería, el alternador y arrancador.

Sistema de Dirección. Dirección hidráulica integral, el sistema incluye una bomba de líquido accionada por el motor, un depósito de líquido, el engranaje de dirección y las mangueras de conexión. Gracias a la potencia hidráulica, se requiere poco esfuerzo para girar el volante, este componente permite orientar las ruedas a voluntad del conductor.

Sistema de Suspensión. Proporciona estabilidad al sistema de dirección, soporta el peso del vehículo y evita transmitir los golpes de terrenos desiguales protegiendo el bastidor, este sistema es conformado por muelles, amortiguadores.

4.3.1.2.2 Chasis y Cabina. Dentro de este sistema encontramos las siguientes componentes.

Quinta rueda. Mecanismo de seguridad que se usa para mantener acoplado el remolque al camión, funciona bloqueando un perno rey en la mordaza de la cerradura.

Kin Ping. Es un componente importante ya que permite la conexión entre el tractocamión y el remolque. Está conectado a la quinta rueda y está elaborado de una aleación de cromo forjado.

4.3.1.2.3 Resultado del Análisis de Criticidad.

Para la asignación de valores se utilizó la misma metodología explicada con anterioridad en el Capítulo 4.3.1. En el Apéndice B se pueden ver las encuestas realizadas.

Tabla 11

Asignación de valores cama alta extensible

N°	Componentes	FF	IO	FO	CM	SHA
1	Motor	3	7	4	2	3
2	Sistema de transmisión	4	5	4	2	3
3	Sistema de frenos	1	3	2	1	3
4	Sistema de refrigeración	4	5	4	1	3

N°	Componentes	FF	IO	FO	CM	SHA
5	Chasis o cabina	1	3	4	2	3
6	sistema eléctrico	2	1	2	1	1
7	Sistema de dirección	1	3	2	2	3
8	Sistema de suspensión	1	3	2	2	3

Nota. En la tabla se muestra el valor asignado a los equipos de los distintos factores los cuales fueron explicados con anterioridad.

A continuación, el cálculo del CTR para las distintas componentes del equipo.

Tabla 12

Cálculo del CTR

Componentes	COD	FF	C	CTR
Motor	M	3	33	99
Sistema de transmisión	ST	4	25	75
Sistema de frenos	SF	1	10	10
Sistema de refrigeración	SR	4	24	72
Chasis o cabina	CC	1	17	17
Sistema eléctrico	SE	2	4	8
Sistema de dirección	SD	1	11	11
Sistema de suspensión	SS	2	11	22

Nota. La tabla muestra el resultado del cálculo del CTR para cada equipo. Con estos valores se procede a la ubicación en la matriz de criticidad para conocer en qué nivel se encuentran.

Figura 34

Matriz de criticidad del vehículo



Nota. Matriz de criticidad con la ubicación de cada equipo según los resultados de los factores, adaptado de métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos (p7) por Parra y Crespo (2012).

Con ayuda del modelo de Criticidad Total por Riesgo (CTR) se pudo obtener inicialmente los equipos que causan un mayor impacto operacional dentro de la empresa Transportes CSM y, a su vez, conocer cuáles de sus componentes están en el rango de criticidad alta.

Tabla 13

Equipos y sistema críticos

Equipos en alta criticidad	
Grúa sobre camión	Sistema elevación de carga
	Sistema de estabilización
	Sistema hidráulico
Cama alta extensible	Motor
	Sistema de transmisión
	Sistema de refrigeración


Nota. Esta tabla muestra los equipos y sus sistemas que se encuentra en un nivel de criticidad alta, los cuales serán el objeto de estudio de los próximos capítulos de esta investigación.

5. Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF) para los Equipos de Alta Criticidad de la Empresa de Transportes CSM

Después de haber realizado el estudio de criticidad a los distintos equipos de la empresa de Transportes CSM y determinar cuáles de ellos se encuentra en una alta criticidad, son estos los equipos a los cuáles se procederá a realizar el análisis de modo y efecto de falla (AMEF o FMEA), el cual es una herramienta que permite identificar fallas, causas y efectos para evaluarlas y clasificarlas de manera objetiva con el fin de poder evitar su ocurrencia. Posterior a esto, se hará la valoración de los modos de falla utilizando el número prioritario de riesgo (NPR) para así identificar cuáles generan un mayor impacto dentro del funcionamiento del equipo.

Tabla 14

AMEF hoja de información RCM

AMEF HOJA DE INFORMACION RCM N°1							
				EQUIPO:			
				SISTEMA:			
FUNCIÓN [F]	DESCRIPCIÓN FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTOS FALLA	S	O	D	NPR

Nota. Esta tabla muestra la hoja de información donde se establece los modos de falla y efectos de falla. El cálculo del NPR es el producto entre la severidad (S), ocurrencia(O) y la detección (D). Adaptado de Moubray (2004).

Para la realización del cálculo del $NPR = S * O * D$ se establecieron los siguientes criterios.

Tabla 15*Severidad*

Valor	Descripción
1	Consecuencia del fallo despreciable
2 y 3	No hay consecuencia para seguridad y afines
4, 5 o 6	Los efectos tienen consecuencias importantes en los costes directo del mantenimiento y una pequeña influencia adversa en la producción pues causar paradas cortas no programadas
7 y 8	Importante impacto del efecto de fallo en la producción y elevados costes de mantenimiento
9 y 10	Graves consecuencia para la seguridad y afines.

Nota. Clasificación de severidad según la valoración de riesgo. Adaptado de Gardella (2011).

Tabla 16*Ocurrencia*

Valor	Tasa de fallos
1	Menos de 1 en más de 5 años
2	Entre 1 y 3 en más de 5 años
3	Entre 1 y 3 en 5 años
4	Entre 1 y 3 en 2 años
5	Entre 1 y 3 por año
6	Entre 1 y 3 cada seis meses
7	Entre 1 y 3 cada dos meses
8	Entre 1 y 3 cada mes
9	Entre 1 y 3 cada semana
10	Entre 1 y 3 cada dos días
11	Entre 1 y 3 por día

Nota. Clasificación de ocurrencia según la valoración de riesgo. Adaptado de Gardella (2011).




Tabla 17*Detectabilidad*

Valor	Descripción
1	No hay ninguna duda de que el fallo será detectado de inmediato, por cualquier persona y sin ambigüedad.
2	La detección es prácticamente certera Probablemente habrá que verla algún técnico u operario especializado.
3, 4 y 5	La detección es razonablemente fiable. Hay que aplicar algún método, técnica o instrumento y/o tardar algún tiempo en diagnosticar definitivamente.
6, 7 y 8	La detección entraña riesgos de no acertar, se necesitan medios y tiempo relativamente largo para diagnosticar el fallo.
9 y 10	La detección es extremadamente difícil, o prácticamente inviable en las condiciones tecnológicas actuales.

Nota. Clasificación de detectabilidad según la valoración de riesgo. Adaptado de Gardella (2011).

Después de realizarse el cálculo de número de riesgo prioritario, de acuerdo con la puntuación obtenida, se procede a la clasificación de los modos de falla:


Tabla 18*Rango de NPR*

Modo de falla	Rango	Identificación
Prioritario	$NPR < 25$	
Altamente prioritario	$26 < NPR < 70$	
Críticamente prioritario	$NPR > 70$	

Nota. La tabla muestra el rango del NPR y su clasificación según puntuación.

Figura 35

AMEF hoja de información N°1

AMEF HOJA DE INFORMACION RCM N°1																	
		EQUIPO: GRUA SOBRECAMION															
		SISTEMA: SISTEMA HIDRUALICO															
FUNCION [F]	DESCRIPCION FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA				EFECTOS FALLA	S	O	D	NPR							
		Clasificación A	Clasificación B	Clasificación C	Clasificación D												
1	A	No hay suministro de fluido hidráulico	1	Falla en la bomba hidráulica	1. Hay ruidos de tableteo y vibraciones anormales	1. Nivel de aceite hidráulico bajo	Posibles fugas.	Inoperatividad de la grúa	6	7	1	42					
						2. Velocidad excesiva del motor.			6	6	1	36					
						3. Entrada de aire en las líneas de aspiración.			6	7	2	84					
					2	Falla en los cilindros hidráulicos	2. Líneas de aspiración rotas o restringidas		1. Presencia de contaminantes externos en el fluido.	Mala filtración.	Pérdida de potencia, pérdida de rendimiento del sistema	6	7	2	84		
									2. Fluido hidráulico de baja calidad.	Poco análisis para evaluar la calidad y viscosidad del fluido hidráulico.		6	7	3	126		
									3. Cavitación en la bomba	1. Excesiva velocidad del eje de rotación			8	3	6	144	
					3	Falla en los cilindros hidráulicos	3. Vástago deformado		2. Vacío en la entrada de la bomba	Hay zonas de presión negativas que exceden la presión de vapor del líquido a bombear	Daños extremos en la bomba	7	3	6	126		
									3. Filtro de aspiración en mal estado	Selección del filtro de baja calidad, reutilizado o no adecuado.		7	3	5	105		
									1. Sellos gastados	Aceite lubricantes con residuos o partículas abrasivas.		No se ha hecho una detección y el análisis de estas partículas en el lubricante.	Pérdida de potencia, desplazamiento lento de los vástagos	5	7	6	210
			2	B	No hay presión en el sistema	1	Falla la válvula reguladora de presión	1. Líneas obstruidas	2. Aceite lubricantes con residuos o partículas abrasivas.	No se ha hecho una detección y análisis de estas partículas en el lubricante.	No funciona correctamente los diferentes accionamientos hidráulicos	5	7	5	175		
									2. Montaje incorrecto del resorte de válvula.	El muelle no se ha colocado correctamente durante el montaje.		5	8	2	80		
								3	Vástago deformado	1. Rotura de la rosca del vástago.		1. Mal mecanizado de la rosca.	Fallas prematuras en las juntas del vástago	7	5	3	105
										2. El vástago no tiene el tamaño adecuado para su aplicación		2. Elección de una rosca standard o no adecuada.		7	7	2	98
								4	Válvula ajustada muy alta	Ajuste incorrecto de juego para la válvula		El juego de válvula ajustado es excesivamente estrecho o se ha superado el intervalo de mantenimiento.		5	7	3	105
4										4		6	5	120			
2	A	No hay transferencia de potencia del motor a la bomba	1	Presión reducida	Bomba presenta anomalías	Líneas contaminadas o rotas		Cavitación en la bomba	8	4	8	256					
			2	Sobre presión en el sistema	Daño en el vástago del cilindro	Pandeo en la estructura del cilindro.		Desajuste de la estructura del cilindro	7	2	3	42					

Nota. Hoja de información RCM del sistema hidráulico de la grúa. Adaptado de Moubray (2004).

6. Proceso de Decisión RCM

En el capítulo anterior se definió las categorías de los modos de fallo. Ahora se procede a establecer técnicas de mantenimiento adecuadas. En la Figura 9 se encuentra plasmado en el diagrama de decisión que será utilizado.

6.1 Hoja de Decisión

La planilla RCM nos permite registrar las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión.

Figura 36

Hoja de decisión RCM

HOJA DE DECISIÓN RCM								EQUIPO:				Elaborador por:		Hoja N°		
INFORMACIÓN DE REFERENCIA								SISTEMA:				Fecha:			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL
								MODO DE FALLA				CONSECUENCIA DE LA EVALUACIÓN				
F	FF	MF		H	S	E	O	H1	H2	H3						
								S1	S2	S3						
								O1	O2	O3						
								N1	N2	N3	H4	H5	S4			

Nota. Hoja de decisión RCM. Adaptado de Moubray (2004).

La información de referencia con columnas F, FF, MF relaciona la hoja AMEF con la hoja de decisión RCM.

H, S, E, O Y N son columnas que nos permiten registrar las repuestas a las preguntas referidas a la consecuencia de cada modo de falla (Moubray, 2004).

Las siguientes tres columnas (H1, H2, H3, etc.) registra si una tarea proactiva ha sido seleccionada, de ser así el tipo de tarea (Moubray, 2004).

Solo si es necesario responder a las preguntas de *default*, se usará las columnas H4, H5, o S4 (Moubray, 2004).

Las últimas columnas consignan las tareas propuestas, la frecuencia con que se realiza y quien debe desarrollarlo.

6.2 Consecuencia de las Fallas

Cada modo de falla se analiza en términos de categoría de consecuencia solamente, es decir que, si es clasificado como que tiene consecuencias ambientales, no se evalúa consecuencias operacionales (Moubray, 2004).

Después de categorizar las consecuencias del modo de falla se procede a buscar tareas preventivas adecuadas.

Figura 37

Consecuencias de falla

HOJA DE DECISIÓN RCM									
INFORMACIÓN DE REFERENCIA			MODO DE FALLA	CONSECUENCIA DE LA EVALUACIÓN					
F	FF	MF		H	S	E	O		
1	A	1	Nivel de aceite hidráulico bajo	N				→	Falla oculta
1	A	1	Líneas de aspiración rotas	S	S			→	Consecuencia de seguridad
1	A	2	Sellos gastados	S	N	S		→	Consecuencias ambientales
1	B	1	Vástago deformado	S	N	N	S	→	Consecuencias operacionales
1	B	1	Líneas obstruidas	S	N	N	N	→	C. no operacionales

Nota. Resumen de las consecuencias de falla. Adaptado de Moubray (2004).

Figura 38

Criterio de viabilidad técnica

H1	H2	H3	
S1	S2	S3	
O1	O2	O3	
N1	N2	N3	
S			→ ¿Es técnicamente viable una tarea para detectar si la falla esta por ocurrir?
N	S		→ ¿Es técnicamente viable una tarea de restauración programada para reducir la relación de falla?
N	N	S	→ ¿Es técnicamente viable una tarea de descarte programado para reducir la relación de falla?

Nota. Tabla sobre los criterios de factibilidad técnica. Adaptado de Moubray (2004).

Figura 39

Hoja de decisión RCM N°1

HOJA DE DECISION RCM						EQUIPO: GRUA SOBRECAMION							Elaborador por: Luz Amparo Muñoz Orozco			Hoja N° 1							
INFORMACION DE REFERENCIA						MODO DE FALLA						CONSECUENCIA DE LA EVALUACION			SISTEMA: SISTEMA HIDRUALICO				Fecha:		TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	PUEDE SER REALIZADO POR
												H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5			
F	FF	MF	CB	CC		H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4								
1	A	1	1	1	Nivel de aceite hidráulico bajo.	N	N	N	S	S	N	N						Verificar la mirilla del tanque de nivel del hidráulico en el sistema antes de iniciar labores, si no es el adecuado reportarlo, esto nos indica que hay fugas. Reabastecer y después verificar cilindros, mangueras, etc. en busca de fugas.	Diario	Operador			
1	A	1	1	2	Velocidad excesiva del motor.	N	S	N	S	S	N	N						Regular la velocidad del motor.	Semanal	operador / mecánico			
1	A	1	1	3	Entrada de aire en las líneas de aspiración.	S	N	N	S	S	N	N						Revise que todas las líneas están bien fijadas y correctamente reparadas. Apriete, repare o reemplace según sea necesario.	Diario	operador / mecánico			
1	A	1	2	1	Presencia de contaminantes externos en el fluido.	N	N	N	S	N	N	S						Correcto proceso de filtrado o cambio de filtro.	Según las horas de trabajo de la maquina	mecánico			
1	A	1	2	2	Fluido hidráulico de baja calidad.	S	N	N	S	S	N	S						Realizar análisis según las recomendaciones del fabricante para la elección del fluido hidráulico. Verificar posible cambio del tipo de fluido.	Mensual	Ingeniero encargador de mantenimiento			
1	A	1	3	1	Excesiva velocidad del eje de rotación.	N	S	N	S	S	N	N						Verificar la velocidad de rotación, si hay líneas obstruidas o aumento de la presión del sistema	Diario	operador			
1	A	1	3	2	Vacío en la entrada de la bomba.	S	N	N	S	S	N	N						Análisis de mantenimiento predictivo para verificar presiones. Inspeccionar el estado del vacuometro, controlar la presión y verificar el vacío admisible permitido en la bomba (13 cm Hg)	Mensual	Ingeniero encargador de mantenimiento en conjunto con el especialista			
1	A	1	3	3	Filtro de aspiración en mal estado.	N	N	N	S	N	N	S						Cambio de filtro con selección correcta y de alta calidad que no sea reutilizado. Llevar el registro de las horas de trabajo del equipo, para realizar el cambio del filtro de aspiración según la recomendación del fabricante.	Según las horas de trabajo de la maquina	Ingeniero encargador de mantenimiento / mecánico			
1	A	2	1		Sellos gastados	N	N	N	S	S	N	S					Análisis para detección de partículas en lubricante, y cambio de sellos.	Según las horas de trabajo de la maquina	Ingeniero encargador de mantenimiento en conjunto con el especialista				
1	A	2	2		Vibración en los cilindros durante la operación.	N	N	N	S	S	N	N						Mantenimiento predictivo de vibraciones.	6 meses	Ingeniero encargador de mantenimiento en conjunto con el especialista			
1	B	1	1	2	Aceite lubricantes con residuos o partículas abrasivas.	N	N	N	S	N	N	S						Análisis para detección de partículas abrasivas en laboratorio.	3 meses	Ingeniero encargador de mantenimiento en conjunto con el especialista			
2	A	1			Presión reducida	N	N	N	S	S	N	N						Verificar que las líneas no se encuentren contaminadas o rotas, en caso de ser así realizar cambio.	Diario	Operador / mecánico			
2	A	2			Sobre presión en el sistema	N	N	N	S	S	N	N						Ajustar correctamente la estructura del cilindro.	Semanal	Ingeniero encargador de mantenimiento / mecánico			

Nota. Hoja de decisión RCM N°1 Sistema hidráulico / Grúa sobrecamión. Adaptado de Moubray (2004).

7. Módulo de Sistema de Información

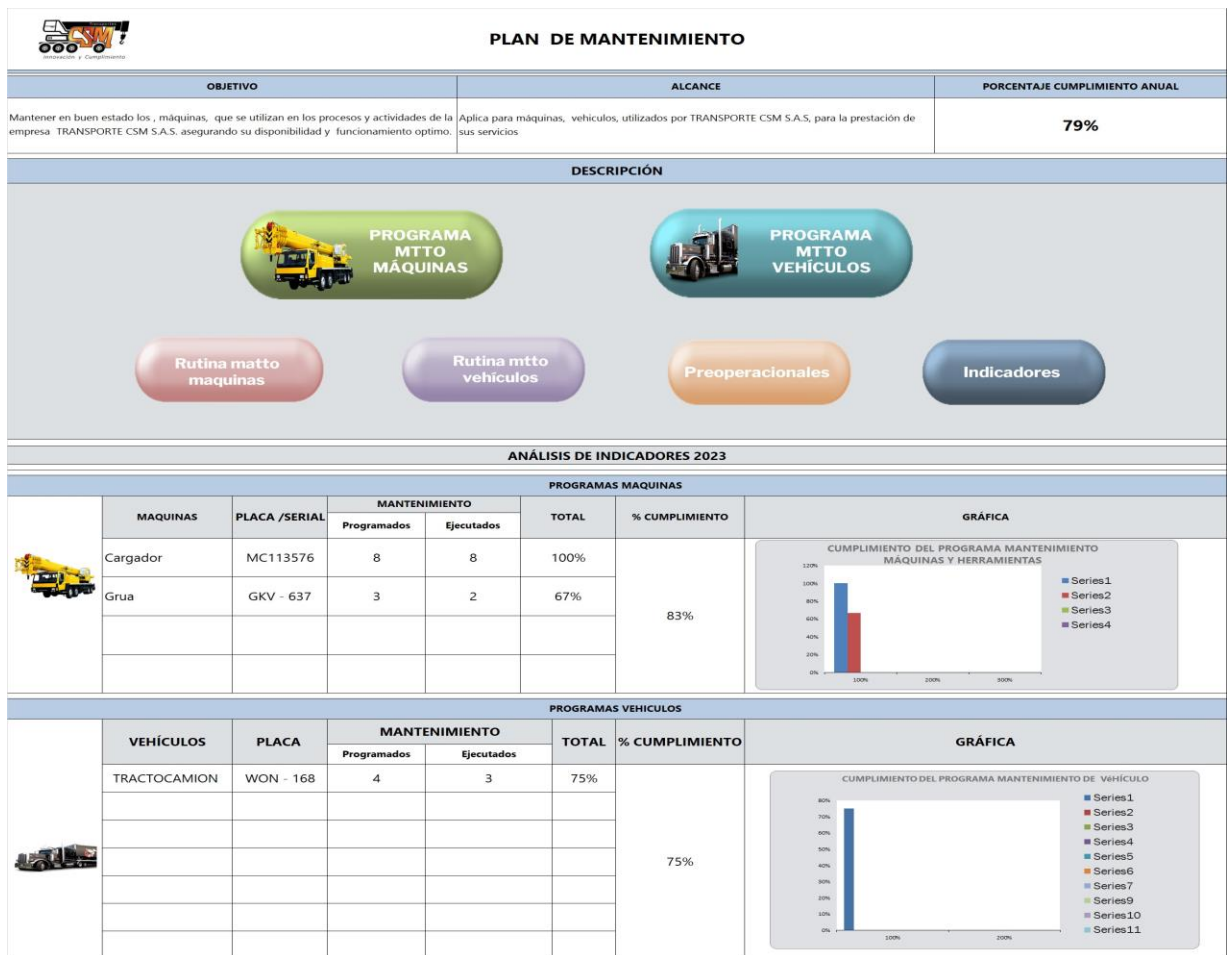
En este capítulo se busca agrupar toda la información obtenida durante el desarrollo de esta práctica empresarial en la cual se ejecutó dicho proyecto, dejando una herramienta sencilla y versátil que sea de gran ayuda para el desarrollo de la empresa.

Para la ejecución de este módulo se utilizó como herramienta Excel donde se diseñó la interfaz. Se añadieron los requerimientos que necesita la empresa en pro de mejorar la calidad del mantenimiento que se está realizando a los diferentes equipos y vehículos.

7.1 Plan General de Mantenimiento

Figura 40

Plan general de mantenimiento



Dentro de esta primera interfaz, encontramos el objetivo que es mantener en buen estado de las máquinas y vehículos que se utilizan en los procesos y actividades de la empresa TRANSPORTE CSM S.A.S., asegurando su disponibilidad y funcionamiento óptimo.

El alcance este Aplica para máquinas y vehículos utilizados por TRANSPORTE CSM S.A.S., para la prestación de sus servicios.

Encontramos también el indicador de cumplimiento, donde podemos observar cómo se está comportando el porcentaje anual.

Figura 41

Programas



En esta imagen se observan recuadros que se encuentran vinculados con un archivo externo según sea el caso. Al dar clic en ellos, nos dirige al documento que se encuentra unido a este.

Por último, encontramos el análisis del indicador de cumplimiento anual que nos muestra los mantenimientos programados y ejecutados según el programa de máquinas o vehículos.

Figura 42

Indicador de cumplimiento

	MAQUINAS	PLACA /SERIAL	MANTENIMIENTO		TOTAL	% CUMPLIMIENTO	GRÁFICA
			Programados	Ejecutados			
	Cargador	MC113576	8	8	100%	83%	
	Grua	GKV - 637	3	2	67%		
PROGRAMAS VEHICULOS							
	VEHÍCULOS	PLACA	MANTENIMIENTO		TOTAL	% CUMPLIMIENTO	GRÁFICA
			Programados	Ejecutados			
	TRACTOCAMION	WON - 168	4	3	75%	75%	

En este segmento encontramos la programación de mantenimiento preventivo según las horas o kilometraje del equipo. También nos muestra el porcentaje de cumplimiento según la rutina por horas y el total anual.

A esta interfaz va vinculado un formato llamado Historial de recorrido, el cual permite al programa ir sabiendo el acumulado para así poder programar el próximo mantenimiento.

Figura 45

Historial de recorrido

HISTORIAL DE RECORRIDO							
KILOMETRO ACUMULADO	18732	TIPO	MAQUINA	PLACA/SERIAL	938K	CUSTODIA	Propio
Fecha	Horometro / Kilometros	Consumo combustible (GAL)	Ubicación / Proyecto				
DOMINGO	1-ene.-23						
LUNES	2-ene.-23						
MARTES	3-ene.-23						
MIÉRCOLES	4-ene.-23						
JUEVES	5-ene.-23						
VIERNES	6-ene.-23						
SÁBADO	7-ene.-23						
DOMINGO	8-ene.-23						
LUNES	9-ene.-23						
MARTES	10-ene.-23						
MIÉRCOLES	11-ene.-23						
JUEVES	12-ene.-23						
VIERNES	13-ene.-23						
SÁBADO	14-ene.-23						
DOMINGO	15-ene.-23						
LUNES	16-ene.-23						
MARTES	17-ene.-23						
MIÉRCOLES	18-ene.-23						

En este formato se va registrando el historial del equipo o vehículo según las horas de trabajo o kilometraje. Mediante este registro se alimenta la programación de mantenimiento y manualmente el personal a cargo del programa general de mantenimiento los ejecuta.

7.3 Inventario de Equipos, Máquinas y Vehículos


En el inventario se registra el nombre, el código interno asignado por la empresa y se establece la periodicidad del mantenimiento. A este formato se encuentra vinculado la hoja de vida.

8. Resultados

8.1 Resultados del AMEF para la Grúa

Tabla 19

AMEF hoja de información N°1 sistema hidráulico

AMEF HOJA DE INFORMACION RCM N°1												
			EQUIPO: GRUA SOBRECAMION									
			SISTEMA: SISTEMA HIDRUALICO									
1	Función [F] Generar la presión y el flujo de aceite hidráulico	A	Descripción Falla Funcional No hay suministro de fluido hidráulico	MODO DE FALLA				Efectos Falla Inoperatividad de la grúa	S	O	D	N PR
				Clasificación A	Clasificación B	Clasificación C	Clasificación D					
				1	Falla en la bomba hidráulica	1. Hay ruidos de tableteo y vibraciones anormales	1. Nivel de aceite hidráulico bajo	Posibles fugas.	6	7	1	42
						2. Velocidad excesiva del motor.			6	6	1	36
						3. Entrada de aire en las líneas de aspiración.			6	7	2	84
					2. Líneas de aspiración rotas o restringidas	1. Presencia de contaminantes externos en el fluido.	Mala filtración.	Perdida de potencia, pérdida de rendimiento del sistema	6	7	2	84
						2. Fluido hidráulico de baja calidad.	Poco análisis para evaluar la calidad y viscosidad del fluido hidráulico.		6	7	3	126

				3. Cavitación en la bomba	1. Excesiva velocidad del eje de rotación		Daños extremos en la bomba	8	3	6	144
					2. Vacío en la entrada de la bomba	Hay zonas de presión negativas que exceden la presión de vapor del líquido a bombear		7	3	6	126
					3. Filtro de aspiración en mal estado	Selección del filtro de baja calidad, reutilizado o no adecuado.		7	3	5	105
	2	Falla en los cilindros hidráulicos	1. Sellos gastados	Aceites lubricantes con residuos o partículas abrasivas.	No se ha hecho una detección y el análisis de estas partículas en el lubricante .	Perdida de potencia, desplazamiento lento de los vástagos	5	7	6	210	
			2. Vibración en los cilindros durante la operación.	Desequilibrio de elementos rotativos.		Pandeo del cilindro	7	5	3	105	
			3. Vástago deformado	1. Rotura de la rosca del vástago.	1. Mal mecanizado de la rosca.	Fallas prematuras en las juntas del vástago	7	5	3	105	
					2. Elección de una rosca standard o no adecuada.		7	7	2	98	
				2. El vástago no tiene el tamaño adecuado para su aplicación			7	5	6	210	


		B	No hay presión en el sistema	1	Falla la válvula reguladora de presión	1. Líneas obstruidas	1. El asiento o la guía de válvula no se ha mecanizado centrada mente.		No funciona correctamente los diferentes accionamientos hidráulicos	5	7	5	175
							2. Aceite lubricantes con residuos o partículas abrasivas.	No se ha hecho una detección y análisis de estas partículas en el lubricante .		5	8	2	80
						2. Montaje incorrecto del resorte de válvula.	El muelle no se ha colocado correctamente durante el montaje.			5	4	3	60
						3. El regulador ajusta únicamente a presiones excesivas	Roturas o desgaste en el muelle	Al renovar las válvulas se usaron muelles, chavetas de sujeción de válvula antiguas y desgastadas.		5	7	3	105
						4. Válvula ajustada muy alta	Ajuste incorrecto de juego para la válvula	El juego de válvula ajustado es excesivamente estrecho o se ha superado el intervalo de mantenimiento.		4	6	5	120

2	Transformar la potencia mecánica a potencia hidráulica	A	No hay transferencia de potencia del motor a la bomba	1	Presión reducida	Bomba presenta anomalías	Líneas contaminadas o rotas		Cavitación en la bomba	8	4	8	256
				2	Sobre presión en el sistema	Daño en el vástago del cilindro	Pandeo en la estructura del cilindro.		Desajuste de la estructura del cilindro	7	2	3	42

En la tabla anterior se observa el análisis realizado para los diferentes modos de falla para el sistema hidráulico de una grúa junto con sus efectos de falla y cálculo del número de riesgo prioritario, se evidencia que la bomba hidráulica es un componente que genera un impacto muy desfavorable en el equipo ya que impide la operatividad de la grúa lo que ocasiona pérdidas de tiempo dentro de las operaciones de la empresa.

Después del cálculo del NPR se puede concluir que gran parte de los distintos modos de fallas en este sistema se encuentran en un rango críticamente prioritario.

Tabla 20
AMEF hoja de información N°2 sistema de elevación


AMEF HOJA DE INFORMACION RCM N°2												
			EQUIPO: Grúa sobre camión									
			SISTEMA: Sistema de elevación									
FUNCION [F]	DESCRIPCION FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA				EFECTOS FALLA	S	O	D	N P R		
		Clasificación A	Clasificación B	Clasificación C	Clasificación D							
3	Elevar o inclinar la pluma telescópica	A	Extensión y retracción errática de los telescopios	1	Falla en el vástago del cilindro	Sistemas de sellado fallando.	No hay verificación de sistemas de sellado correcto.	Dificultad para maniobrar la grúa	4	2	6	48
					Falla en la válvula de alivio	Fallos de montaje y ajuste	Ajuste incorrecto de juego para la válvula por ser estrecho o supera el intervalo de mantenimiento.		6	3	5	90
					Presión de aceite excesiva	1. El orificio de la válvula está bloqueado.	6		3	2	36	
						2. La válvula esta atascada.	6		3	2	36	
					Temperatura del fluido hidráulico muy baja	Posible fuga o escape de fluido.	5		5	5	125	

				Manguera de retorno restringida	1. Manguera averiada o de baja calidad.	Mala selección o uso repetido de la manguera.	4	6	2	48
					2. Posible contaminación del aceite.		4	6	2	48
				Vástago rayado	1. Fricción excesiva		7	7	1	49
					2. Existen abolladuras que rozan contra el vástago y el sello.		7	4	6	168
				Ruidos o vibraciones	Movimientos forzados	Carga excesiva	6	7	2	84
				Bomba hidráulica desgastada	1. Desgaste que se presenta en los cilindros de la carcasa donde trabajan los pistones.	No se realizan frecuentemente pruebas de dureza a pistones y cachara.	7	5	6	210
					2. Posibles repuestos de la bomba con baja calidad o vida útil corta.	No hay una correcta selección de fabricantes de repuestos de bomba.	7	6	2	84
					3. Contaminación por cuerpos extraños	1. El aceite no llega a la bomba tan rápido como la	7	8	2	112

					bomba lo exige							
					2. Presencia de sustancias abrasivas que atacan la superficie de la bomba		7	7	6			294
	2	Perdida de fluido hidráulico por el pistón	Falla en el pistón del cilindro	1.Sellos dañados	Presión excesiva que conduce a la fractura de sellos.	Inoperatividad de la grúa	4	6	6			144
				2. El vástago del pistón esta atascado o el cilindro hidráulico bloqueado.	Hay suciedad		4	6	2			48
	3	Fricción en el riel telescópico	Almohadillas desgastadas	Falta de lubricación		fricción o castañeteo en la pluma	4	6	5			120

Durante el cálculo de NPR para el sistema de elevación se encontró que uno de los modos de falla genera un efecto muy desfavorable en el equipo ya que le impide realizar su función principal que es el izaje cargas, debido a que generar dificultad para maniobrar la grúa lo que impide su funcionamiento, los resultados obtenidos para este sistema oscilan entre el rango de altamente prioritario y críticamente prioritario.

Tabla 21
AMEF hoja de información N°3 sistema estabilizador

AMEF HOJA DE INFORMACION RCM N°3												
				EQUIPO: Grúa sobre camión								
				SISTEMA: sistema estabilizador								
FUNCION [F]	DESCRIPCION FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTOS FALLA	S	O	D	N					
							PR					
4	Asegurar el anclaje de la grúa	A Extensión de los estabilizadores errática	1	Clasificación A Fallas en el cilindro de extensión	Clasificación B 1. Sellos de émbolos dañados	Clasificación C Consumo más elevado de aceite hidráulico, altas temperaturas	Clasificación D El ajuste del transmisor de longitud se modificó.	Desplazamiento lento o retracción del vástago	4	5	5	100
									4	5	5	100
									4	6	2	48
									4	8	1	32
				3. Perdida de aceite en las mangueras	1. Mangueras mal instaladas, malos ajustes en el sistema de ensamble.	No operación del sistema.	3	8	2	48		
							2. Condiciones de aceite no apropiado.	Mal Almacenamiento y aplicación del aceite.	4	6	3	72
									3. Mal apriete de los conectores	No hubo verificación de correcto	4	8

					s de las mangueras.	ajuste de los conectores.							
					4. Fallas del embolo.	Se encuentra agrietado		Perdida de potencia	6	3	6	108	
				Se encuentra suelto		5			3	6	90		
				5. Fallas con el interruptor de fin de carrera.	1. Cortocircuito en el interruptor de fin de carrera.	1. Cortocircuito en el módulo del interruptor de carrera	No extensión de los cilindros.	6	6	3	108		
						2. Cortocircuito en el cable del interruptor de fin de carrera		6	6	3	108		
					2. Interrupción del interruptor de fin de carrera.	1. Interrupción en el módulo del interruptor de carrera		6	7	3	126		
						2. Interrupción en el cable del interruptor de fin de carrera		5	7	3	105		
			Falla en la extensión de las vigas		1. No sé a garantizado que el peso para el interruptor de fin de carrera esté montado correctamente en el cable de izaje de la pluma principal.	Aislamiento o las guías de cable están dañadas			No se puede estabilizar la grúa	5	5	2	50
										2. Pandeo en la viga	6	5	4


				Válvulas dañadas	Bobina dañada	Bobina de encendido no funciona adecuadamente	No envía la cantidad suficiente de voltaje a las bujías, lo que lleva a una combustión incompleta.	Retracción del vástago	4	6	6	144
					Flujo excesivo en la válvula	Aumento excesivo de presión.			4	5	6	120
					Anillos dañados	Anillos están desgastados.			5	5	5	125
					Sellos desgastados	1. Instalación incorrecta del sello.	Cambios en las condiciones de servicio (Contexto Operacional)		5	5	5	125
						2. Mala operación, mantenimiento o funcionamiento inadecuado de los sistemas auxiliares del sello	Poca capacitación del personal, se instala un sello de mala calidad.		5	4	5	100

El sistema estabilizador permite el anclaje de la grúa elevándola del suelo para obtener estabilidad y bloqueo de las ruedas del camión, durante el estudio de los distintos modos de falla junto con los efectos de falla que generan, se observó que gran parte de estos están en un rango de críticamente prioritario, cuando este sistema falla impide que el equipo pueda anclarse lo cual a su vez inhabilita el equipo para trabajar, en conclusión, se deben generar tareas de mantenimiento que prevengas las fallas para mantenerlo operativo.

8.2 Resultados AMEF para Cama Alta Extensible

Tabla 22

AMEF hoja de información N°4 sistema de potencia

AMEF HOJA DE INFORMACION RCM N°4																	
		EQUIPO: CAMA ALTA EXTENSIBLE															
		MOTOR															
FUNCION [F]	DESCRIPCION FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA					EFECTOS FALLA	S	O	D	N P R						
		Clasificación A	Clasificación B	Clasificación C	Clasificación D	Clasificación E											
5	Transformar la energía química del combustible en energía mecánica	A	Perdida de potencia en el motor	1	Falla en la bomba de inyección	1. Desgaste de engranajes	Los dientes de engrane están dañados.	Sobrecarga o sobreesfuerzo, lubricación inadecuada, partículas de abrasivas, corrosión.	Aceites lubricantes con residuos o partículas abrasivas.	Incremento del consumo de combustible, daño en los inyectores	6	3	5	90			
					2. Aro de sellos desgastados	1. Tipo de sello defectuoso	Adquisición de sellos en un fabricante poco confiable.	No se hizo verificación de compra.	6						6	3	108
						2. El nivel del refrigerante está arriba de especificación	El motor está sobrecalentándose	Mal funcionamiento del sistema de refrigeración	6						5	2	60
3. Eje desgastado	La temperatura de entrada de combustible a la bomba está arriba de especificación	Fuga de aceite lubricante (interna)			6	7	8	336									

			4. Hay ruido en la bomba de inyección de manera excesiva.	1. Bomba mal regulada				4	4	4	64
				2. Bomba obstruida por residuos.	Filtros en mal estado	Combustible de mala calidad.		4	6	4	96
				3. Desgaste lógico debido a la fricción.				4	6	4	96
2	Perdida de presión en bomba de transferencia	Acoplador dañado o roto	Acoplador de mala calidad.			Se pierde carga del motor		6	5	6	180
3	Fallas en la válvula de admisión	1. Mala calibración de la válvula	Fallas en el instrumento de calibración.			Combustión deficiente y formación de hollín		3	4	4	48
		2. Guías de válvulas de admisión desgastadas.	1. Desgaste excesivo de los extremos del vástago de la válvula					6	5	5	150
			2. Aumento del consumo de aceite	Retenedores de válvula desgastados.	Mala calidad del retenedor comprado.			6	7	2	84
			3. Grietas en el platillo					6	3	5	90
4	Restricción de entrada de combustible	Falla en los inyectores	1. Los aros ellos del inyector están	1. Los ajustes de inyectores no son correctos.	Selección de los aros sellos y ajustes de	No hay ingreso de combustible		7	3	7	147


				dañados o faltan		inyectores de forma errónea.							
					2. Acumulación de sedimentos de combustible en las boquillas.	Filtros en mal estado.		2	5	6		60	
				2. Deformaciones en las toberas	1. No se hizo calibración de toberas.	Instrumento de calibración no disponible.		7	3	7		147	
					2. Toberas sucias o deterioradas	Daño interno del motor		7	3	7		147	
				3. Filtro de combustible obstruido	La manguera de suministro del sistema está colapsada, restringida, o fugando	Desechos en los pasajes de combustible.		2	5	4		40	
5	Turbocompresor averiado	1. avería en el eje del turbo	Eje desequilibrado a causa de desgastes por el roce.	Defecto o mala calidad del aceite.		impacto en los alavés de la turbina compresora, humo azulado y alto consumo de aceite		6	3	6		108	
		2. fallo en la válvula	La acumulación de carbón es excesiva en la línea de descarga de aire, válvulas de aire corriente abajo.	La línea de llenado o las líneas de purga están restringidas, obstruidas, o no orientadas correctamente.				5	4	5		100	

					3. juego en la turbina compresora	Hay agrietamiento o porosidad en la turbina compresora, o tiene una junta con fuga				6	3	6	108
			6	Ruido del cojinete de bancada o del cojinete de biela	Cojinetes averiados	Los cojinetes de biela están dañados o gastados.	Los cojinetes no están ensamblados correctamente, o son los cojinetes erróneos.	eje de apoyo sometido a grandes temperaturas		5	5	4	100
			7	Baja Potencia de Frenado	El solenoide(s) del freno del motor funciona mal. El ajuste del freno del motor no es correcto	La válvula(s) de control del freno del motor funciona mal	El pistón(es) del freno del motor está pegado	El pasaje de aceite lubricante del freno del motor está restringido	Funcionamiento intermitente del motor	6	5	5	150
6	Inyección de combustible de manera dosificada	A	No inyecta combustible o lo hace de manera inadecuada	1	La bomba de combustible funciona mal	La temperatura de entrada de combustible a la bomba está arriba de especificación	El nivel del aceite lubricante está arriba de especificación.	Daño interno del motor		7	4	8	224

				2	Falla en el regulador de presión	Daño en los sellos	Instalación incorrecta del sello	Falta de personal capacitado		daños en los inyectores, humo negro en el tubo de escape.	7	4	2	56
							Diseño y selección inadecuado del sello.				7	4	2	56
				3	Toberas de inyección obstruida	Exceso o distribución irregular de combustible	Presión irregular o incorrecta.			perdida de potencia en los cilindros	7	3	7	147

En el sistema de potencia se pudo evidenciar que hay una gran variedad de modos de falla los cuales generan distintos efectos que involucran el mal funcionamiento del motor, el comportamiento del número prioritario de riesgo oscilo en el rango de críticamente prioritario, lo cual nos dice que se deben generar tareas preventivas para disminuir la cantidad de fallas en el vehículo.

Tabla 23
 AMEF hoja de información N°5 sistema de refrigeración

AMEF HOJA DE INFORMACION RCM N°5													
			EQUIPO: Cama alta extensible										
			SISTEMA: sistema de refrigeración										
FUNCION [F]		DESCRIPCION FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA					EFECTOS FALLA	S	O	D	N P R
				Clasificación A	Clasificación B	Clasificación C	Clasificación D	Clasificación E					
7	Mantener la temperatura de trabajo estable	A	Motor sobrecalentado	1	Bomba defectuosa	1. Sedimentos acumulados en la bomba	1. Cambios en la calidad del fluido, o con anomalías.	Se adicione anticongelante puro sin diluir en el sistema. Hubo mezclas de refrigerante.	El paso de refrigerante disminuye incrementado la temperatura de operación	6	4	7	1 6 8
						2. Variaciones en la corriente, o agotamiento del fluido que mueve sedimentos.	No se inspecciono nivel refrigerante.			5	4	6	1 2 0
					2.	Sellos del eje desgastados	Sellos de baja calidad o defectuosa se desgastan más rápido.	Poca inspección o análisis sobre la compra de los sellos.	Filtración del refrigerante desde el impeler hacia la polea de transmisión	6	4	2	4 8
					3.	Rodamientos desgastados	1. lubricación deficiente	Incorrecta viscosidad del aceite base.	Rodamientos desgastados ocasion	6	7	2	8 4


					2. Indentaciones en los caminos de rodadura, en los elementos rodantes, formación de microcráteres	Contaminación	Sustancias extrañas típicamente contenidas en el lubricante	an que el eje gire con dificultad reduciendo el caudal y elevando la temperatura	6	6	2	72
					3. Montaje inadecuado	1.(sobrecalentamiento) El rodamiento trabaja a altas temperaturas			6	6	3	108
						2.(Sobrecargas) Montaje en frío con métodos no adecuados.	Poca experiencia del personal que hace el montaje.		6	5	3	90
					4. Desalinación.	Sobrecarga del rodamiento.			6	6	4	144
					5. Cizallamiento en las pistas.	Vibración entre elementos rodantes y caminos de rodadura	Transporte inadecuado, almacenamiento incorrecto		6	5	3	90
2	Termostato averiado	No hay temperatura regulada, o hay fluctuación de la temperatura del refrigerador.	Hay presión acumulada que aumenta la temperatura.				El refrigerante entra retardado al radiador aumentando la temperatura de trabajo	5	5	5	125	

				Cámara de expansión bloqueada	Conductos con obstrucciones					5	7	2	70
			3	Falla en el radiador	Conductos obstruidos	Hay En climas fríos puede tener funda de radiador que restringe el flujo de aire en frente del radiador			El paso de refrigerante baja dificultando la transferencia de calor	6	6	7	252
				Mangueras en mal estado	Mangueras retorcidas o desgastadas por fricción y con fugas					6	6	7	252
			4	Grietas en tubos del sistema de refrigeración	Refrigerante en mal estado	Contaminantes en el refrigerante.	No hubo correcto almacenamiento del refrigerante.		Mal funcionamiento de la bomba ocasionado que no suministre la cantidad necesaria de refrigerante	2	5	2	20
			1	Rotura de panel de enfriamiento	1. No se usó componentes fabricados del equipo original	Se acudió a este recurso al no haber más opción.		Aumento de temperatura en el motor	6	5	1	30	

8	Bajar la temperatura del refrigerante redirigiéndolo hacia el colector de enfriamiento	A	Perdida de líquido refrigerante			2. Rotura por choque térmico	Grietas o porosidades en el panel				7	5	7	2 4 5
---	--	---	---------------------------------	--	--	---------------------------------	-----------------------------------	--	--	--	---	---	---	-------------

Sistema de refrigeración es quien permite la transferencia de calor, manteniendo la temperatura de trabajo, se establecieron los distintos modos de falla que producen alguna anomalía dentro del sistema, se calculó el numero prioritario de riesgo y se encuentra algunos en los rango prioritarios y altamente prioritario, pero en su mayoría están en el críticamente prioritario.

Tabla 24
 AMEF hoja de información N°6 sistema de transmisión

AMEF HOJA DE INFORMACION RCM N°6																		
		EQUIPO: Cama alta extensible																
		SISTEMA: sistema de transmisión																
FUNCION [F]	DESCRIPCION FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA				EFECTOS FALLA	S	O	D	NP R								
		Clasificación A	Clasificación B	Clasificación C	Clasificación D													
9	Obtener en las ruedas el par motor necesario para poner en movimiento el vehículo parado.	A	Caja neutralizada	1	Bomba de lubricación averiada	1. falta de presión			Fricción en los engranes, dañando trenes de engranes	6	5	2	60					
					2.	Partículas dentro del circuito	Filtro en mal estado	Falta de mantenimiento				10	7	3	210			
				2	Engranajes desgastados	No se seleccionó el engranaje de arranque correctamente para la carga y el terreno como indica el manual.			Ruido excesivo	7	7	5	245					
										3	Rodamientos desgastados	1. Lubricación deficiente	Degradación de los lubricantes o escasez de este.	Alta temperatura de operación.	6	8	1	48
												2. Desalineación.	Sobrecarga del rodamiento.		6	5	3	90
				3.	Contaminación	Sustancias extrañas contenidas en el lubricante		afectación de la piñonearía	6	7	3	126						
		B	Temperaturas elevadas en la caja de cambios	1	Falta de aceite	1. Daños en las mangueras o abrazaderas no ajustadas.	Las mangueras están obstruidas			Aumento de temperatura en el fluido	5	7	2	70				

					2. No se mantiene el nivel de aceite como lo indica el manual.	No se compró aceite a un distribuidor de confianza.			4	6	1	24	
					3. No se hace cambio regular del aceite	1. No se tienen presentes los correctos intervalos de lubricación recomendados.	Falta de capacitación del personal		5	8	2	80	
						2. No hay en stock el tipo de lubricante apropiado para temperaturas adecuadas.			5	5	1	25	
					4. Tarro de depósito fisurado.	Desgaste por uso			3	5	1	15	
10	Trasmitir el giro del motor a la caja de cambios	A	disminución de la fuerza del motor hasta las ruedas, desplazamiento lento	1	Disco de embrague desgastado	1. Desgaste normal por uso.		Aumento del esfuerzo mecánico entre el disco y el volante puede afectar otras piezas	3	4	3	36	
						2. Falta de engrase en todas las articulaciones.	Poca inspección			3	4	1	12
						3. Falta de lubricación de cada punto en el mecanismo del embrague.	Fuga de aceite.		Juntas defectuosas	3	4	5	60
				2	Muelle de diafragma averiado	Puntas del muelle de diafragma desgastadas	No llevan a cabo la función dispuesta	Desgaste progresivo	Perdida de fuerza en el desplazamiento,	3	4	5	60

				3	Olor a quemado en el embrague	Embrague patina	Desgaste progresivo en el ajuste del embrague	No se hizo ajuste de embrague a las especificaciones del fabricante	aumento de esfuerzo mecánico entre el disco y el volante	5	4	1	20
1 1	Desacoplar la caja de cambios del motor	B	No hay cambio de marcha	1	Falla con el pedal de embrague	1. Pedal del embrague se fue a fondo	Varillaje del pedal esta fracturado		No entra los cambios	5	5	2	50
						2. No se puede embragar				5	5	1	25
						3. Pedal de embrague muy corto	Juego en el pedal	Desgaste de uso		4	5	2	40
				2	Tornillo regulador averiado	Desgaste progresivo.			Rotura del fleje del tornillo regulador	6	5	3	90

En la tabla anterior se puede observar los distintos modos de falla con sus efectos para el sistema de transmisión en un vehículo, realizando la descripción de la falla funcional y a su vez clasificando en cuatro secciones en clasificación del NPR gran parte de sus resultados están en un rango de puntuación de prioritario y altamente prioritario.

8.3 Hoja RCM para la Grúa

En esta capitulo se encuentra consignado la hoja de decisión RCM para los tres sistemas críticos elegido con anterioridad para la grúa, establecieron las tareas de mantenimiento para cada modo de falla, el intervalo de tiempo inicial y el personal a cargo de la actividad, buscando mejorar el estado del equipo, disminuir el impacto operacional y aumentar la confiabilidad ante el cliente garantizado un equipo en condiciones óptimas.

Tabla 25

Hoja de decisión RCM N°1 sistema hidráulico / grúa sobrecamión

HOJA DE DECISION RCM						EQUIPO: GRUA SOBRECAMION						Elaborador por: Luz Amparo Muñoz Orozco			Hoja N° 1			
						SISTEMA: SISTEMA HIDRUALICO						Fecha:						
INFORMACION DE REFERENCIA			MODO DE FALLA			CONSECUENCIA DE LA EVALUACIÓN				H1	H2	H3	Acción a falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	PUEDE SER REALIZADO POR
F	FF	MF	C	C		H	S	E	O	S1	S2	S3						
			B	C						O1	O2	O3	H4	H5	S4			
1	A	1	1	1	Nivel de aceite hidráulico bajo.	N	N	N	S	S	N	N				Verificar la mirilla del tanque de nivel del hidráulico en el sistema antes de iniciar labores, si no es el adecuado reportarlo, esto nos indica que hay fugas. Reabastecer y después verificar cilindros, mangueras, etc. en busca de fugas.	Diario	Operador
1	A	1	1	2	Velocidad excesiva del motor.	N	S	N	S	S	N	N				Regular la velocidad del motor.	Semanal	operador / mecánico

1	A	1	1	3	Entrada de aire en las líneas de aspiración.	S	N	N	S	S	N	N			Revise que todas las líneas están bien fijadas y correctamente reparadas. Apriete, repare o reemplace según sea necesario.	Diario	operador / mecánico
1	A	1	2	1	Presencia de contaminantes externos en el fluido.	N	N	N	S	N	N	S			Correcto proceso de filtrado o cambio de filtro.	Según las horas de trabajo de la maquina	mecánico
1	A	1	2	2	Fluido hidráulico de baja calidad.	S	N	N	S	S	N	S			Realizar análisis según las recomendaciones del fabricante para la elección del fluido hidráulico. Verificar posible cambio del tipo de fluido.	Mensual	Ingeniero encargado de mantenimiento
1	A	1	3	1	Excesiva velocidad del eje de rotación.	N	S	N	S	S	N	N			Verificar la velocidad de rotación, si hay líneas obstruidas o aumento de la presión del sistema	Diario	operador
1	A	1	3	2	Vacío en la entrada de la bomba.	S	N	N	S	S	N	N			Análisis de mantenimiento predictivo para verificar presiones. inspeccionar el estado del vacuómetro, controlar la presión y verificar el vacío admisible permitido en la bomba (13 cm Hg)	Mensual	Ingeniero encargado de mantenimiento o en conjunto con el especialista
1	A	1	3	3	Filtro de aspiración en mal estado.	N	N	N	S	N	N	S			Cambio de filtro con selección correcta y de alta calidad que no sea reutilizado. Llevar el registro de las horas de trabajo del equipo, para realizar el cambio del filtro de aspiración según la recomendación del fabricante.	Según las horas de trabajo de la maquina	Ingeniero encargado de mantenimiento / mecánico

1	A	2	1	Sellos gastados	N	N	N	S	S	N	S			Análisis para detección de partículas en lubricante, y cambio de sellos.	Según las horas de trabajo de la maquina	Ingeniero encargado de mantenimiento o en conjunto con el especialista
1	A	2	2	Vibración en los cilindros durante la operación.	N	N	N	S	S	N	N			Mantenimiento predictivo de vibraciones.	6 meses	Ingeniero encargado de mantenimiento o en conjunto con el especialista
1	B	1	1	2	Aceites lubricantes con residuos o partículas abrasivas.	N	N	N	S	N	N	S		Análisis para detección de partículas abrasivas en laboratorio.	3 meses	Ingeniero encargado de mantenimiento o en conjunto con el especialista
2	A	1			Presión reducida	N	N	N	S	S	N	N		Verificar que las líneas no se encuentren contaminadas o rotas, en caso de ser así realizar cambio.	Diario	Operador / mecánico
2	A	2			Sobre presión en el sistema	N	N	N	S	S	N	N		Ajustar correctamente la estructura del cilindro.	Semanal	Ingeniero encargado de mantenimiento o / mecánico

Nota. Adaptado de Moubray (2004).

Tabla 26

Hoja de decisión RCM N°2 sistema de elevación / grúa sobre camión

HOJA DE DECISION RCM							EQUIPO: Grúa sobre camión						Elaborador por: Luz Amparo Muñoz Orozco		Hoja N°2			
INFORMACION DE REFERENCIA							SISTEMA: Sistema de elevación						Fecha:					
							MODO DE FALLA			CONSECUENCIA DE LA EVALUACIÓN				H1	H2	H3	Acción a falta de	
F	FF	MF	C B	C C	C D	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
3	A	1	1	1	1	No hay verificación de sistemas de sellado correcto.	N	N	N	S	S	N	N			Inspección del sistema de sellado o cambio de los sellos.	Mensual	mecánico
3	A	1	2	1	1	Ajuste incorrecto de juego para la válvula por ser estrecho o supera el intervalo de mantenimiento.	N	N	N	S	S	N	S			Realizar ajuste de los juegos para la válvula, cambio de juegos y en los tiempos de mantenimiento indicados por el manual.	Manual	mecánico
3	A	1	2	2	1	El orificio de la válvula está bloqueado.	S	N	N	S	S	N	N			Desmontaje de la válvula para desbloqueo y verificación.	Mensual	mecánico
3	A	1	2	2	2	La válvula esta atascada.	N	N	N	S	N	N	S			Desatascar la válvula, o cambio. Inspeccionar puntos de fuga de una válvula (bridas, accesorios y vástago) y lubricación.	Mensual	mecánico
3	A	1	3	1		Posible fuga o escape de fluido.	S	S	S	S	S	N	N			Inspección y detección de fugas con procesos de mantenimiento predictivo. Adicional tener presente el	Diario	Operador

																		control de temperatura del fluido hidráulico.		
3	A	1	4	1	1	Mala selección o uso repetido de la manguera.	N	N	N	S	S	N	S					Seguimiento de la vida y rendimiento de cada manguera, inspeccionarlas con frecuencia, sustituir las proactivamente e identificar los recambios. El diseño deber de evitar el flujo turbulento, también debe de tener un buen diámetro para el transporte del fluido de las bombas, con el fin de no tener excesivas pérdidas por fricción o turbulencia.	Diario	Operador
3	A	1	4	2		Posible contaminación del aceite.	N	N	N	S	S	N	N					Actividades de prevención para preservar al aceite de todo tipo de contaminación externa como aplicar tecnologías para su depuración y limpieza cuando se encuentre operando.	Cada 2 meses	ingeniero de mantenimiento
3	A	1	5	1		Fricción excesiva	N	N	N	S	N	N	N	S				No sobrecargar la pluma telescópica.	Diario	Operador
3	A	1	5	2		Existen abolladuras que rozan contra el vástago y el sello.	N	N	N	S	S	N	N					Realizar inspección continua para correcta lubricación o engrase.	Diario	Operador

3	A	1	6	1	1	Carga excesiva.	N	N	N	S	S	N	N			Detección temprana de ruidos o vibraciones por medio de mantenimiento preventivo. Evitar los movimientos de la pluma telescópica donde lo indica el manual de operación y exceder las cargas.	Semanal	ingeniero de mantenimiento / operador
3	A	1	7	1	1	No se realizan frecuentemente pruebas de dureza a pistones y cascara.	N	N	N	S	N	N	N	S		Realizar pruebas de dureza.	Anual	personal externo especialista
3	A	1	7	2	1	No hay una correcta selección de fabricantes de repuestos de bomba.	N	N	N	S	N	N	S			Solicitar a fabricantes referencias y detalles de los repuestos de bomba, para realizar una matriz de calidad y seleccionar los repuestos más óptimos.	Anual	ingeniero de mantenimiento
3	A	1	7	3	1	El aceite no llega a la bomba tan rápido como la bomba lo exige.	N	N	N	S	N	N	N	S		Inspección de presiones y caudales de la bomba hidráulica y verificación de que este en el rango operativo que debe tener.	Semanal	técnico / ingeniero mecánico
3	A	1	7	3	2	Presencia de sustancias abrasivas que atacan la superficie de la bomba.	N	N	N	S	N	N	N	S		Inspección de fluido, para encontrar suciedades. Monitorizar las temperaturas de los cojinetes, el nivel de lubricante y la vibración de la bomba. El lubricante debe ser transparente y sin signos de formación de espuma.	Semanal	mecánico / técnico

3	A	2	1	1	1	Presión excesiva que conduce a la fractura de sellos.	S	N	N	S	N	N	S			Cierre la válvula de descarga para proteger la bomba del flujo en reversa y de la contra presión excesiva. Cambio de sellos.	Mensual	mecánico
3	A	2	1	2	1	Hay suciedad.	N	N	N	S	N	N	N	S		Limpieza correcta del vástago y del pistón el cilindro.	Semanal	operador / mecánico
3	A	3	1	1		Falta de lubricación.	N	N	N	S	N	N	S			Correcta lubricación según lo indica el manual de operaciones y en el tiempo correspondiente.	Diario	Operador / aparejador

Nota. Adaptado de Moubray (2004).

Tabla 27

Hoja de decisión RCM N°3 sistema estabilizador / grúa sobre camión

HOJA DE DECISION RCM							EQUIPO: Grúa sobre camión						Elaborador por: Luz Amparo Muñoz Orozco		Hoja N°3				
							SISTEMA: Sistema Estabilizador						Fecha:						
INFORMACION DE REFERENCIA			MODO DE FALLA				CONSECUENCIA DE LA EVALUACIÓN				H1	H2	H3	Acción a falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	PUEDE SER REALIZADO POR
											S1	S2	S3						
F	FF	MF	C B	C C	C D	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
4	A	1	1	1		Consumo más elevado de aceite hidráulico, altas temperaturas.	N	N	N	S	S	N	N			Realizar trabajos de inspección y control de temperaturas para regulación, Verificar el nivel de aceite diariamente.	Diario	operador	
4	A	1	2	1	1	El ajuste del transmisor de longitud se modificó.	S	N	N	S	S	N	N			Comprobar la precarga del tambor del cable. Abrir transmisor de longitud y girar cuidadosamente a él potenciómetro longitudinal en sentido contrario al de las agujas del reloj con un destornillador.	Diario	operador	
4	A	1	2	2	1	Constante fricción y altas temperaturas.	N	S	N	S	N	N	N	S		Regulación de altas temperaturas.	Diario	operador	
4	A	1	2	3	1	Mal manejo por parte del operario.	N	S	N	S	N	N	N	S		Capacitación de operarios para correcto manejo de extensión y retracción de pluma.	Mensualmente	personal externo contratado	
4	A	1	3	1		Mangueras mal instaladas, malos ajustes	N	S	N	S	S	N	N			Comprobación de los registradores de presión en los cilindros	Semanalmente	operador / mecánico	

						en el sistema de ensamble.												inclinadores de pluma y en las mangueras de unión por si se detectara pérdidas de aceite.		
4	A	1	3	2	1	Mal almacenamiento y aplicación del aceite.	N	S	N	S	N	N	N	S				Capacitación de personal para correcto manejo y almacenamiento de aceite.	Mensualmente	personal externo contratado
4	A	1	3	3	1	No hubo verificación de correcto ajuste de los conectores.	N	N	N	S	S	N	N					Realizar el apriete correcto de las mangueras y posterior verificación del ajuste en los conectores.	Semanalmente	mecánico
4	A	1	4	1		Embolo se encuentra agrietado.	N	N	N	S	N	N	S					Cambio del embolo.	Mensualmente	mecánico
4	A	1	4	2		Se encuentra suelto el embolo.	N	N	N	S	N	N	S					Ajustar el embolo.	Diario	operador
4	A	1	5	1	1	Cortocircuito en el módulo del interruptor de carrera.	N	S	N	S	S	N	N					Utilizar un cable de puesta a tierra con una sección transversal suficiente Fijar un extremo del cable de puesta a tierra directamente en la superestructura o la pluma mediante un tornillo de apriete o una prensa de tornillo, para no sobrecargar la unión de rodadura con bolas (no fijarlo en piezas atornilladas o empernadas). Fijar el otro extremo del cable de puesta a tierra en una	Cada 6 meses	personal externo contratado especializado

																		varilla metálica introducida en el suelo.		
4	A	1	5	1	2	Cortocircuito en el cable del interruptor de fin de carrera.	S	S	N	S	S	N	N					Después de una descarga de corriente o de un rayo hay que comprobar el buen funcionamiento de los componentes eléctricos a electrónicos. Comprobar que la unión de rodadura con bolas no presente daños y se mueve libremente.	Cada 6 meses	personal externo técnico
4	A	1	5	2	1	Interrupción en el módulo del interruptor de carrera.	S	S	N	S	N	N	S					Sustituir el interruptor de fin de carrera, y sustituir el cable	Cada 6 meses	operador / mecánico
4	A	1	5	2	2	Interrupción en el cable del interruptor de fin de carrera.	S	S	N	S	N	N	S					Sustituir el interruptor de fin de carrera, y sustituir el cable	Cada 6 meses	operador / mecánico
4	A	2	1	1		Aislamiento o las guías de cable están dañadas.	N	N	N	S	N	N	N	S				Garantizar que el peso para el interruptor de fin de carrera esté montado correctamente en el cable de izaje de la pluma principal.	Diario	operador
4	A	2	2			Pandeo en la viga.	N	S	N	S	S	N	N					Revisar todos los movimientos de la pluma, Probar el sistema de elevación, Comprobar funcionamiento límites	Semanalmente	operador

																			superior e inferior del sistema de izaje, sin carga de trabajo		
4	A	3	1	1	1	No envía la cantidad suficiente de voltaje a las bujías, lo que lleva a una combustión incompleta.	S	N	N	S	N	N	S						Inspección y verificación del envío correcto de voltaje. Cambio de bobina.	Semanalmente	operador
4	A	3	2	1		Aumento excesivo de presión.	N	N	N	S	S	N	N						Calibración lubricación y limpieza de la válvula.	Semanalmente	operador / mecánico
4	A	3	3	1		Anillos están desgastados.	N	N	N	S	N	N	S						Cambio de anillos y análisis de falla del anillo para reducción de desgaste.	Semanalmente	mecánico
4	A	3	4	1	1	Cambios en las condiciones de servicio (Contexto Operacional)	N	N	N	S	N	N	N	S					Capacitación del personal para instalación correcta de sellos y reducción de desgaste.	Mensualmente	personal externo
4	A	3	4	2	1	Poca capacitación del personal, se instala un sello de mala calidad.	N	N	N	S	S	N	S						Cambio de proveedor de sellos buscando una opción con mejor calidad, ver operaciones del plan de mantenimiento.	Anualmente	ingeniero de mantenimiento

Nota. Adaptado de Moubray (2004).

8.4 Hoja RCM para cama alta extensible

Después de haber establecido los distintos modos de fallas y efectos que generan se buscó establecer tareas preventivas que permitan que el vehículo mejore su calidad operativa, en la hoja de decisión se propuso tareas preventivas para cada sistema crítico, teniendo en cuenta el intervalo inicial para darle cumplimiento y el personal a cargo del desarrollo de la actividad.

Tabla 28

Hoja de decisión RCM N°4 motor / cama alta extensible

HOJA DE DECISION RCM											EQUIPO: Cama alta extensible						Elaborador por: Luz Amparo Muñoz Orozco		Hoja N°4
INFORMACION DE REFERENCIA											SISTEMA: Motor						Fecha:		
											MODO DE FALLA				CONSECUENCIA DE LA EVALUACIÓN				H1
F	FF	MF	C B	C C	C D	C E	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	Intervalo Inicial	Puede ser realizado por	
5	A	1	1	1	1	1	S	N	N	S	S	N	N						Revisar el juego entre dientes de los engranes y los dientes de engrane.
5	A	1	2	1	1	1	N	N	N	S	N	N	S				Cambiar de proveedor o fabricante de sellos a uno más confiable.	Anual	ingeniero de mantenimiento
5	A	1	2	2	1	1	N	N	N	S	S	N	N				-Inspección de las fugas de refrigerante. -Asegúrate que el nivel de refrigerante sea el adecuado. -Usa la mezcla adecuada de refrigerante. -Cuidado de los accesorios,	Semanal	mecánico

5	A	3	1	1			Fallas en el instrumento de calibración.	N	N	N	S	N	N	S			Cambio de los instrumentos de calibración.	Mensual	ingeniero de mantenimiento
5	A	3	2	1			Desgaste excesivo de los extremos del vástago de la válvula	N	N	N	S	S	N	S			Inspección del desgaste para análisis, y cambio de vástago.	Anual	personal externo especializado
5	A	3	2	2	1	1	Mala calidad del retenedor comprado.	N	N	N	S	N	N	S			Cambio de retenedores y selección de unos de mayor calidad.	Mensual	mecánico / técnico
5	A	3	2	3			Grietas en el platillo.	S	N	N	S	S	N	N			Inspección y análisis de tipo de grieta y la gravedad de la grieta, para toma de decisiones.	Cada 6 meses	personal externo especializado
5	A	4	1	1	1	1	Selección de los sellos y ajustes de inyectores de forma errónea.	N	N	N	S	N	N	N	S		Capacitación de personal para correcta selección de sellos y ajustes para los inyectores.	anual	personal externo especializado
5	A	4	1	1	2	1	Filtros en mal estado.	N	N	N	S	N	N	S			Cambio de filtros.	según kilometraje	mecánico
5	A	4	1	2	1	1	Instrumento de calibración no disponible.	N	N	N	S	N	N	S			Verificar porque en stock no está disponible las herramientas necesarias para el desempeño de las actividades de mantenimiento correspondiente, y hacer posible la disposición de dicha instrumentación.	Cada que lo requiera	ingeniero de mantenimiento

5	A	4	1	2	2	1	Daño interno del motor.	S	S	N	S	N	N	S	Verificaciones del correcto funcionamiento realizados con instrumentos propios del motor. Operar el motor y revisar fugas en los sistemas de aire y escape. Cambio de toberas o verificación de deformaciones, revisan completa de los inyectores.	Anual	personal externo especializado
5	A	4	1	3	1	1	Desechos en los pasajes de combustible.	N	N	N	S	S	N	N	Limpieza en los pasajes.	Semanal	mecánico
5	A	5	1	1	1		Defecto o mala calidad del aceite.	N	N	N	S	S	N	S	Revisión de la calidad del aceite por medio de análisis en laboratorio.	Cada 6 meses	personal externo especializado
5	A	5	2	1	1		La línea de llenado o las líneas de purga están restringidas, obstruidas, o no orientadas correctamente.	N	N	N	S	S	N	S	Revise las líneas de purga y la línea de llenado por orientación correcta y por restricción. Consultar el manual de servicio del OEM.	Mensual	ingeniero de mantenimiento
5	A	5	3	1			Hay agrietamiento o porosidad en la turbina compresora, o tiene una junta con fuga.	S	N	N	S	N	N	S	Cambio de los componentes del turbocompresor.	Cada que lo requiera	mecánico
5	A	6	1	1	1		Los cojinetes no están ensamblados correctamente, o son los	N	S	N	S	S	N	N	Consultar el árbol de síntomas Ruido Excesivo del Motor - Cojinete de Bancada. Inspeccione los cojinetes.	Mensual	ingeniero de mantenimiento / mecánico

							cojinetes erróneos.												
5	A	7	1	1	1	1	El pasaje de aceite lubricante del freno del motor está restringido.	N	N	N	S	N	N	S			Liberar el pasaje para correcta lubricación.	Semanal	mecánico
6	A	1	1	1			El nivel del aceite lubricante está arriba de especificación.	N	N	N	S	S	N	N			Realice la prueba de salida de la bomba de combustible. Reemplace la bomba de combustible si es necesario. Consultar Procedimiento, Revise la temperatura de combustible. Llene el tanque de combustible, revise el enfriador de combustible. Consultar manuales de servicio Revise el nivel de aceite y manténgalo. Verifique la calibración.	Anual	personal externo especializado
6	A	2	1	1	1		Falta de personal capacitado.	N	N	N	N	N	N	N	S		Capacitación de personal para correcto manejo e instalación de sellos	Mensual	personal externo especializado
6	A	2	1	2	1		Falta de personal capacitado.	N	N	N	N	N	N	S			Capacitación de personal para correcta selección de sellos que se compran.	Mensual	ingeniero de mantenimiento
6	A	3	1	1			Presión irregular o incorrecta.	N	N	N	S	S	N	S			-Impedir que impurezas queden flotando en el combustible que entra en el sistema de inyección. -Aplicar un líquido limpiador de inyectores.	Mensual	mecánico

7	A	1	1	1	2	Hubo mezclas de refrigerante.	N	N	N	S	S	N	N	Implemente procedimientos enfocados en el almacenamiento de los lubricantes, filtrado de los lubricantes nuevos, identificación y etiquetado para evitar la miscibilidad, limpieza en las áreas de trabajo, graseras y engrasadoras, utilizar guantes limpios para reducir el riesgo de contaminación, mejora en los sistemas de sellado.	Semanal	ingeniero encargado de mantenimiento
7	A	1	1	2	1	No se inspecciono nivel refrigerante.	N	N	N	S	S	N	N	Verificar con frecuencia el nivel de refrigerante.	Diaria	conductor
7	A	1	2	1	1	Poca inspección o análisis sobre la compra de los sellos.	N	N	N	S	N	N	N	Capacite a su personal en el uso correcto de herramientas.	Mensual	ingeniero encargado de mantenimiento
7	A	1	3	1	1	Incorrecta viscosidad del aceite base.	S	N	N	S	S	N	N	Evitar falla por viscosidad con paquetes de aditivos que incluyen mejoradores del índice de viscosidad.	Mensual	ingeniero encargado de mantenimiento
7	A	1	3	2	1	1	Sustancias extrañas típicamente contenidas en el lubricante.	N	N	N	S	S	N	Filtrado y limpieza del lubricante, preferiblemente cambio, Eliminación del ingreso de cuerpos extraños sólidos.	según kilometraje	mecánico
7	A	1	3	3	1	(sobrecalentamiento) El rodamiento trabaja a altas temperaturas.	N	N	N	S	S	N	N	Proceso de lubricación para aumentar eficiencia. Control de la aspereza de la superficie e ingreso de cuerpos extraños. Revisión del sistema de sellado,	Semanal	mecánico

																		Filtración del aceite lubricante, revisión del lubricante y del método de lubricación.		
7	A	1	3	3	2	1	Poca experiencia del personal que hace el montaje.	N	N	N	S	N	N	N				Siga las instrucciones de montaje recomendadas y capacite al personal.	Mensual	personal externo especializado
7	A	1	3	4	1		Sobrecarga del rodamiento.	N	N	N	S	S	N	S				Diagnóstico y corrección de las cargas excesivas y de impacto; Inspección durante funcionamiento para encontrar la causa de la carga excesiva, liberar cargas, control de las condiciones de funcionamiento, utilizando rodamientos con una mayor capacidad de carga, alineación del rodamiento, o cambio de rodamiento.	cada que lo requiera	personal externo especializado
7	A	1	3	5	1	1	Transporte inadecuado, almacenamiento incorrecto.	N	N	N	S	S	N	N				Inspección con mantenimiento predictivo por vibraciones.	cada seis meses	personal externo especializado
7	A	2	1	1			Hay presión acumulada que aumenta la temperatura.	N	N	N	S	N	N	N				Inspeccionar y verificar la presión, para disminuirla o regularla.	Semanal	mecánico
7	A	2	2	1			Conductos con obstrucciones.	N	N	N	S	N	N	S				Limpieza de los conductos.	Semanal	mecánico

7	A	3	1	1		En climas fríos puede tener funda de radiador que restringe el flujo de aire en frente del radiador.	N	N	N	S	N	N	S			Retirar la funda correctamente.	cuando lo requiera	mecánico
7	A	3	2	1		Mangueras retorcidas o desgastadas por fricción y con fugas.	N	N	N	S	N	N	S			Inspección de fugas en mangueras o Cambio de mangueras.	Semanal	mecánico
7	A	4	1	1	1	No hubo correcto almacenamiento del refrigerante.	N	N	N	S	N	N	N			Capacitación sobre las buenas prácticas de manejo y almacenamiento de refrigerantes.	Mensual	personal externo especializado
8	A	1	1	1		Se acudió a este recurso al no haber mas opción.	N	N	N	S	N	N	N			Buscar siempre el uso de recursos componentes del equipo original.	Anual	ingeniero encargado de mantenimiento
8	A	1	2	1		Grietas o porosidades en el panel.	S	N	N	S	N	N	S			Cambio del componente panel de enfriamiento.	Anual	mecánico

Nota. Adaptado de Moubray (2004).

Tabla 30

Hoja de decisión RCM N°6 sistema de transmisión / cama alta extensible

HOJA DE DECISION RCM										EQUIPO: Cama alta extensible			Elaborador por: Luz Amparo Muñoz Orozco			Hoja N°6			
										SISTEMA: Transmisión			Fecha:						
INFORMACION DE REFERENCIA			MODO DE FALLA			CONSECUENCIA DE LA EVALUACIÓN				H1	H2	H3	Acción a falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	PUEDE SER REALIZADO POR	
										S1	S2	S3							
F	FF	MF	C B	C C	C D	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
9	A	1	1			Falta de presión.	N	N	N	S	S	N	S				Cambio de la bomba de lubricación o búsqueda de aumento de la presión.	Cuando lo requiera	mecánico/ técnico
9	A	1	2	1	1	Falta de mantenimiento .	N	N	N	S	S	N	N				Ejecutar correctamente los planes de mantenimiento y seguir las recomendaciones ya establecidas por el fabricante.	Anual	ingeniero mecánico
9	A	3	1	1	1	Alta temperatura de operación.	N	N	N	S	N	N	S				Disminuir la temperatura por medio de una lubricación más eficiente en los rodamientos desgastados para extender vida útil.	Diario	mecánico / conductor
9	A	3	2	1		Sobrecarga del rodamiento.	N	N	S	S	S	N	S				Diagnóstico y corrección de las cargas excesivas y de impacto; Inspección durante funcionamiento para encontrar la causa de la carga excesiva, liberar cargas, control de las condiciones de funcionamiento, utilizando rodamientos con una mayor capacidad de carga, alineación del rodamiento, o cambio de rodamiento.	Semanal	mecánico

9	A	3	3	1	Sustancias extrañas contenidas en el lubricante.	N	N	N	S	S	N	N			Filtrado y limpieza del lubricante, preferiblemente cambio, Eliminación del ingreso de cuerpos extraños sólidos.	Semanal	mecánico
9	B	1	1	1	Las mangueras están obstruidas.		N	N	S	S	N	N			Limpieza para quitar obstrucciones en las mangueras	Semanal	mecánico
9	A	1	2	1	No se compró aceite a un distribuidor de confianza.	N	N	N	S	N	N	N			Adquirir de manera legal y segura los aceites usados dándoles correcto manejo y almacenamiento.	Mensual	ingeniero mecánico
9	A	1	3	1	Falta de capacitación del personal.	N	N	N	S	S	N	S			Capacitación del personal para tener presente los correctos intervalos de lubricación recomendados por el fabricante.	Mensual	especialista en lubricantes
9	A	1	3	2	1	No hay en stock el tipo de lubricante apropiado para temperaturas adecuadas.	N	N	N	S	S	N	N		Buscar un balance de los tipos de lubricantes para que haya disposición del lubricante requerido sin que allá un exceso de inventario.	Mensual	ingeniero mecánico
9	A	1	4	1	Desgaste por uso.	N	N	N	S	N	N	S			Cambiar el tarro de depósito.	Semestral	mecánico
10	A	1	1		Desgaste normal por uso.	N	N	N	S	N	N	S			Cambio del disco de embrague.	Anual	mecánico / técnico
10	A	1	2	1	Poca inspección.	N	N	N	S	N	N	N			Verificar frecuentemente el engrase de las articulaciones.	Diario	conductor
10	A	1	3	1	1	Juntas defectuosas.	N	N	N	S	N	N	S		Desmontaje y valoración de daños	Mensual	mecánico / técnico
10	A	2	1	1	1	Desgaste progresivo.	N	N	N	S	N	N	S		Inspección del desgaste en los muelles de diafragma para cambio o ajuste.	mensual	mecánico
10	A	3	1	1	1	No se hizo ajuste de embrague a las	N	N	N	S	N	N	S		Cambio de el embrague	Mensual	mecánico

					especificaciones del fabricante.													
11	A	1	1	1	Varillaje del pedal esta fracturado.	N	N	N	S	N	N	S				Cambio del pedal de embrague.	Anual	mecánico
11	A	1	2	1	Varillaje del pedal esta fracturado.	N	N	N	S	S	N	S				Cambio del varillaje del pedal por fractura.	Anual	mecánico
11	A	1	3	1	1	Desgaste de uso.	N	N	N	S	S	N	S			Cambio o arreglo por juego en el pedal.	Mensual	mecánico
11	A	2	1			Desgaste progresivo.	N	N	N	S	S	N	S			Cambio del tornillo regulador.	Anual	mecánico

Nota. Adaptado de Moubray (2004).

9. Conclusiones

Definiendo el contexto operacional de los diferentes equipos de transportes CSM con el personal involucrado en la operación, se procede a realizar el análisis de criticidad para identificar los equipos críticos, dando como resultado de este estudio dos equipos con criticidad alta, a los cuales se les aplicará la metodología RCM.

El RCM es una metodología que permite identificar, evaluar y mantener un equipo en óptimas condiciones; utilizando las posibles averías mediante el análisis de modo de efecto y falla, el cual hace posible tener una idea más clara de la causa de la falla y así analizar los efectos que estas causan en los equipos. Posteriormente, se establecieron las tareas de mantenimiento con su periodicidad y el personal responsable de la ejecución, y así eliminar las causas de dichas fallas.

Para la implementación de esta estrategia de mantenimiento se realizó un módulo de sistema de información el cual será la herramienta que se usará en la empresa para dar cumplimiento a las tareas programadas y así tener un seguimiento a los equipos. Para obtener los mejores resultados es necesario la disposición del personal y del área de mantenimiento para la ejecución y alimentación del módulo.

Referencias Bibliográficas

- AENOR. (2011). *Norma UNE-EN 13306 – Terminología de Mantenimiento*. Madrid, España.
<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/gestion-de-proyectos/norma-une-en-13306-terminologia-del-mantenimiento-norma-espanola/54401799>
- Alonso-Rosales, J. F. (2009). *Análisis de modos y efectos de fallas potenciales (AMEF)*. El Cid Editor.
- Botero, C. (1995). Manual de mantenimiento. Parte III: Costos en el departamento de mantenimiento. *Informador Técnico*, 49, 14–20. <https://doi.org/10.23850/22565035.1169>
- Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51-59.
- Cummins Engine Company. (2000). *Manual de Diagnóstico y Reparación Motores - Signature, ISX y QSX15*. Boletín 3150971-00.
- Gardella, M. (2011). *Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/9686>
- Grove. (2006). *Manual de Servicio TMS900E*. The Manitowoc Company.
- Haskell, P. (2022). *Kenworth Operating Instructions & Preventive Maintenance*. KW1466.
- Hércules Tráiler. (10 de septiembre de 2020). *Tráiler Extensible*.
<https://trailersherculesltda.com/trailer-extensible>

- INSST. (2004). *NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos – AMFE*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_679.pdf
- Klimin, P. (2 de octubre de 2010). *Camión Grúa – Partes detalladas*. Dimensión CAD. http://www.dimensioncad.com/view_category.php?preferred_language=sp&category_number=20&subcategory_number=19&diagram_id=20009131
- Layme, R. D. (2014). *Propuesta de mejora del plan de Mantenimiento basado en el RCM en la línea de Extrusión I* [Trabajo de grado – Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio UPC. <http://hdl.handle.net/10757/336943>
- Mendizábal, A. (s.f.). *7 Pasos para realizar un análisis RCM*. <https://angelmendizabal.com/mantenimiento/7-pasos-para-realizar-el-analisis-rcm/>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad II*. Industrial Press Inc. <https://shorturl.at/ntvRX>
- Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de Gestión de Activos – Nota técnica 5: Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos*. Ingeman. <http://www.mantenimientomundial.com/notas/Metodos-basicos-de-criticidad-activos.pdf>
- Pinilla, C. B. (2013). *Ingeniería De Mantenimiento – Material Docente*. https://www.academia.edu/31596242/INGENIERIA_DE_MANTENIMIENTO_Material_Docente
- RENOVETEC. (s.f.). *Ingeniería del Mantenimiento*. <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/26-articulos-destacados/17-plan-de-mantenimiento-basado-en-rcm>

SAE. (1999). *Norma SAE JA1011 - Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento*

Centrado en la Confiabilidad. [https://www.studocu.com/pe/document/universidad-](https://www.studocu.com/pe/document/universidad-catolica-de-santa-maria/disenio-hidraulico/norma-sae-ja1011-apuntes-3/11827431)

[catolica-de-santa-maria/disenio-hidraulico/norma-sae-ja1011-apuntes-3/11827431](https://www.studocu.com/pe/document/universidad-catolica-de-santa-maria/disenio-hidraulico/norma-sae-ja1011-apuntes-3/11827431)

Socconini, L. (2019). *Lean manufacturing – Paso a paso.* Marge books.

Tadano Faun. (2002). *Manual de usos, cuidados y mantenimiento – ATF 110G-5.* TADANO


FAUN GmbH.

Apéndices

Apéndice A. Historial de Fallas

Figura 52

Historial de Fallas



HISTORIAL DE FALLAS

ITEM	FECHA DE REPORTE	FECHA DE DAÑO / FALLA	NOMBRE DE QUIÉN REPORTÓ	CARGO DE QUIÉN REPORTÓ	CATEGORÍA	PLACA / SERIAL	NOMBRE / REFERENCIA	CUENTA CON MANUAL	GARANTIA	PROBLEMATICA PRESENTADA
						Número				
1	20/1/2021	20/1/2021	ALCIDES CORDOBA	CONDUCTOR	Vehículos	WTN - 395	CAMA ALTA EXTENSIBLE	No	No	BATERIA AGOTADA
2	14/2/2021	14/2/2021	ELISEO CRUZ	OPERADOR	Máquinas	RT 875	GRUA DE 75 TON	No	No	FUGA
3	16/2/2021	16/2/2021	RAFAEL PACHECO	OPERADOR	Máquinas	938K	CARGADOR 8 TON	Si	No	FALLA EN VALVULA EGR
4	4/3/2021	4/3/2021	DEIBY POLANCO	OPERADOR	Máquinas	GKV - 637	GRUA 130 TON	Si	No	FALLA EN EL SISTEMA DE TELESCOPAJE
5	25/3/2021	25/3/2021	DARWIN GALLEG0	CONDUCTOR	Vehículos	SXV - 336	CAMA BAJA 4E	No	No	NO ENCIENDE EL CARRO
6	31/03/2021	31/03/2021	BRAYAN SERVA	CONDUCTOR	Vehículos	SZK - 715	CAMA ALTA	No	No	CORTO ELECTRICO
7	08/04/2021	08/04/2021	CRISTIAN POSADA	CONDUCTOR	Vehículos	SXV - 878	CAMA BAJA 3E	No	No	FALLA RADIADOR
8	12/04/2021	12/04/2021	ANDRES GUIROGA	OPERADOR	Máquinas	190WC	CARGADOR 7 TON	No	No	FALLA EN MANGUERA HIDRAULICA
9	20/05/2021	20/05/2021	DAVINSON AGUAS	OPERADOR	Máquinas	400S	MNALIFT 14 M	NO	No	FUGA DE HIDRAULICO
10	05/06/2021	05/06/2021	HERNAN ESCOBAR	OPERADOR	Máquinas	WGX - 389	GRUA DE 100 TON	Si	No	BOOM NO SE EXTIENDE
11	17/06/2021	17/06/2022	DARWIN GALLEG0	CONDUCTOR	Máquinas	SXV - 336	CAMA BAJA 4E	No	No	LLANTA PINCHADA
12	27/06/2021	27/06/2022	ALCIDES CORDOBA	CONDUCTOR	Vehículos	WTN - 395	CAMA ALTA EXTENSIBLE	No	No	SOBRACALENTAMIENTO EN EL MOTOR
13	13/07/2021	13/07/2021	DAVID JIMENEZ	OPERADOR	Máquinas	T2978	GRUA DE 90 TON	Si	No	FIGA HIDRAULICA
14	19/07/2021	19/07/2021	RAFAEL PACHECO	OPERADOR	Máquinas	938K	CARGADOR 8 TON	Si	No	PASADORES Y BUJES DAÑADOS
15	20/07/2021	20/07/2021	DAVID JIMENEZ	OPERADOR	Máquinas	RT 890E	GRUA DE 90 TON	Si	No	ESTABILIZADOR SE EXTIENDE LANTAMENT
16	08/08/2021	08/08/2021	DEIBY POLANCO	OPERADOR	Máquinas	GKV - 637	GRUA 130 TON	Si	No	FALLA EN LA DIRECCION
17	21/08/2021	21/08/2021	MARTIN MORRA	CONDUCTOR	Vehículos	SSZ-162	CAMA ALTA	No	No	BATERIA AGOTADA
18	11/09/2021	11/09/2021	JORGE LONDOÑO	CONDUCTOR	Vehículos	SXS - 180	CAMA ALTA	No	No	CORTO ELECTRICO
19	23/09/2021	23/09/2021	HERNAN ESCOBAR	OPERADOR	Máquinas	RT 890E	GRUA DE 90 TON	Si	No	ESTABILIZADOR BLOQUEADO
20	05/10/2021	05/10/2021	ALCIDES CORDOBA	CONDUCTOR	Vehículos	WTN - 395	CAMA ALTA EXTENSIBLE	No	No	NO ENCIENDE EL CARRO
21	11/10/2021	11/10/2021	FERNANDO GONZALES	CONDUCTOR	Vehículos	TAV -496	CAMA BAJA 3E	No	No	CORTO ELECTRICO
22	20/10/2021	20/10/2021	DAVINSON AGUAS	OPERADOR	Máquinas	400S	MNALIFT 14 M	No	No	FALLA EN EL YOSTIN
23	04/11/2021	04/11/2021	EMMANUEL TARAZONA	OPERADOR	Máquinas	600S	MNALIFT 18 M	No	No	FALLA EN LA DIRECCION

Apéndice B. Resultados obtenidos para los equipos.

B.1. Análisis y tabulación de resultados de las encuestas aplicadas al personal de Transportes CSM, donde ellos asignaron los valores del equipo según el componente. Con base en su experiencia y conocimiento de la máquina, se obtuvieron los siguientes resultados después de las encuestas.

Tabla 31*Asignación de valores de la grúa*

Tabla de asignación de valores de la grúa							
No.	Componente	Cód.	FF	IO	FO	CM	SHA
1	Motor	M	3	5	2	1	3
2	Caja de cambios	CC	2	3	4	1	3
3	Caja de transfer	CT	2	3	4	2	3
4	Suspensión de ejes	SE	1	3	4	2	3
5	Transmisión de fuerza	TF	1	3	4	2	3
6	Ruedas y neumáticos	RN	3	3	2	1	1
7	Sistema de frenos	SF	2	3	2	1	3
8	Dirección	DI	1	3	4	2	3
9	Sistema eléctrico I	SEI	2	1	2	1	3
6	Bastidor	BA	1	3	4	2	1
11	Sistema de estabilización	SES	4	5	4	1	3
12	Motor de la superestructura	MS	1	3	4	2	3
13	Sistema hidráulico	SH	4	5	4	1	3
14	Sistema de elevación de carga	SEC	3	7	4	2	6
15	Mecanismo giratorio	MG	1	3	2	2	6
16	Bastidor de la superestructura	BS	1	1	4	2	3
17	Dispositivo de seguridad	DS	1	1	4	2	6
18	Sistema eléctrico II	SEII	2	1	2	1	1
19	Limitador electrónico del momento de carga	LEC	1	7	4	2	6

B.2. Tabulación de las Encuestas.

Tabla de asignación de valores (camión o chasis)					
Motor					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	2	7	4	1	1
2	3	5	2	1	1
3	3	5	2	1	3
4	1	5	2	1	3
5	3	7	2	2	6
6	3	3	2	1	3
7	4	5	2	1	3
8	2	3	2	1	3
9	2	3	2	1	3
valor	2,555556	4,777778	2,222222	1,111111	2,888889

Tabla de asignación de valores (camión o chasis)					
Sistema de frenos					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	3	2	1	3
2	2	5	2	1	3
3	2	3	4	2	3
4	2	1	2	1	3
5	2	3	2	1	6
6	3	3	2	1	6
7	1	3	2	1	1
8	1	3	2	1	1
9	2	3	2	1	1
valor	1,777778	3	2,222222	1,111111	3

Tabla de asignación de valores (camión o chasis)					
Caja de cambios					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	3	4	1	3
2	2	5	2	2	3
3	1	3	4	2	3
4	1	1	4	2	3
5	2	1	4	1	6
6	3	3	4	1	6
7	1	3	4	2	1
8	1	3	4	1	1
9	2	3	4	1	1
valor	1,555556	2,777778	3,777778	1,444444	3

Tabla de asignación de valores (camión o chasis)					
Dirección					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	3	2	1	3
2	1	5	4	1	3
3	1	3	4	2	3
4	1	1	4	1	3
5	1	3	4	2	6
6	1	3	4	2	6
7	1	3	4	2	1
8	1	3	4	2	1
9	1	3	2	2	1
valor	1	3	3,555556	1,666667	3

Tabla de asignación de valores (camión o chasis)					
Caja de transfer					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	3	4	1	3
2	2	5	2	2	3
3	1	3	4	2	3
4	1	1	4	2	3
5	2	1	4	1	6
6	3	3	4	2	6
7	1	3	4	2	1
8	1	3	4	1	1
9	2	3	4	1	1
valor	1,555556	2,777778	3,777778	1,555556	3

Tabla de asignación de valores (camión o chasis)					
Sistema eléctrico					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	1	2	1	3
2	2	1	2	1	3
3	2	1	4	2	3
4	2	1	2	1	3
5	2	1	2	1	6
6	3	1	2	1	6
7	1	1	2	1	1
8	1	1	2	1	1
9	1	1	2	1	1
valor	1,666667	1	2,222222	1,111111	3

Tabla de asignación de valores (camión o chasis)					
Suspensión de ejes					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	3	4	1	3
2	2	5	2	2	3
3	1	3	4	2	3
4	1	1	4	2	3
5	2	5	4	1	6
6	2	3	4	2	6
7	1	1	4	2	1
8	1	3	4	1	1
9	1	3	4	1	1
valor	1,333333	3	3,777778	1,555556	3

Tabla de asignación de valores (camión o chasis)					
Bastidor					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	3	4	2	1
2	1	5	4	2	1
3	1	3	4	2	1
4	1	1	4	2	1
5	1	3	4	2	1
6	1	3	4	2	1
7	1	3	4	1	1
8	1	3	4	2	1
9	1	3	2	2	1
valor	1	3	3,777778	1,888889	1

Tabla de asignacion de valores (camión o chasis)					
transmisión de fuerza					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	3	4	1	3
2	2	5	2	2	3
3	1	3	4	2	3
4	1	1	4	2	3
5	2	5	2	1	6
6	1	3	4	2	6
7	1	1	4	2	1
8	1	3	4	1	1
9	1	3	4	1	1
valor	1,222222	3	3,555556	1,555556	3

Tabla de asignacion de valores (camión o chasis)					
Sistema de estabilización					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	4	5	4	1	3
2	3	5	4	1	3
3	3	5	4	2	3
4	4	5	4	1	3
5	4	3	4	1	6
6	4	5	4	1	6
7	4	5	4	1	1
8	3	3	4	1	1
9	3	5	4	1	1
valor	3,555556	4,555556	4	1,111111	3

Tabla de asignacion de valores (camión o chasis)					
Ruedas y neumáticos					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	3	3	2	1	1
2	3	5	2	1	1
3	2	3	2	1	1
4	3	1	2	1	1
5	3	5	2	1	3
6	3	3	1	1	1
7	3	1	2	1	1
8	2	3	2	1	1
9	3	3	2	1	1
valor	2,777778	3	1,888889	1	1,222222

Tabla de asignacion de valores (superestructura)					
Motor super estructura					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	3	4	1	1
2	1	5	4	1	1
3	1	3	2	1	3
4	1	3	4	1	3
5	1	3	4	2	6
6	1	3	4	2	3
7	1	3	2	2	3
8	2	3	4	2	3
9	2	3	4	2	3
valor	1,22222	3,222222	3,55556	1,55556	2,88889

Tabla de asignacion de valores (superestructura)					
dispositivo de seguridad					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	1	4	1	6
2	1	1	4	1	6
3	1	1	2	1	6
4	1	1	4	2	6
5	1	1	4	2	6
6	1	1	4	2	3
7	1	1	2	2	6
8	2	1	4	2	6
9	2	1	4	1	6
valor	1,22222	1	3,55556	1,55556	5,66667

Tabla de asignacion de valores (superestructura)					
Sistema hidraulico					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	4	5	4	1	1
2	4	5	4	1	1
3	4	3	4	1	3
4	4	5	4	1	3
5	3	5	4	2	6
6	3	3	2	1	3
7	4	5	4	1	3
8	3	5	4	1	3
9	4	5	4	1	3
valor	3,66667	4,555556	3,77778	1,11111	2,88889

Tabla de asignacion de valores (superestructura)					
Sistema electrico II					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	1	2	1	1
2	1	1	2	1	1
3	1	1	2	1	1
4	2	1	2	1	1
5	2	1	2	2	1
6	2	1	2	1	1
7	2	1	2	1	1
8	2	1	2	1	1
9	2	1	2	1	1
valor	1,66667	1	2	1,11111	1

Tabla de asignacion de valores (superestructura)					
sistema de elevacion de carga					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	3	7	4	2	6
2	3	7	4	2	6
3	3	7	2	2	6
4	2	5	4	1	6
5	3	7	4	2	6
6	2	7	4	2	6
7	2	5	2	1	6
8	3	7	4	1	6
9	3	7	4	2	6
valor	2,66667	6,555556	3,55556	1,66667	6

Tabla de asignacion de valores (superestructura)					
Mecanismo giratorio					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	3	2	1	6
2	1	5	2	2	6
3	1	3	2	2	6
4	1	3	2	2	6
5	1	3	2	2	6
6	1	3	2	2	6
7	1	3	2	1	6
8	2	3	2	1	6
9	2	3	4	1	6
valor	1,22222	3,222222	2,22222	1,55556	6

Tabla de asignacion de valores (superestructura)					
limitador electrónico del momento de carga					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	3	4	1	6
2	1	5	4	1	6
3	1	3	2	1	6
4	1	3	4	1	6
5	1	3	4	2	6
6	1	3	4	2	6
7	1	3	2	2	6
8	2	3	4	2	6
9	2	3	4	2	6
valor	1,22222	3,222222	3,55556	1,55556	6

Tabla de asignacion de valores (camión o chasis)					
bastidor de la superestructura					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	1	4	1	1
2	1	1	4	1	1
3	1	1	2	2	3
4	1	1	4	2	3
5	1	1	4	2	6
6	1	1	4	2	3
7	1	1	2	2	3
8	2	1	4	2	3
9	2	3	4	2	3
valor	1,22222	1,222222	3,55556	1,77778	2,88889

B.3. Resultados para la cama alta extensible

Tabla de asignacion de valores cama alta					
motor					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	3	7	4	2	3
2	2	7	2	1	3
3	2	7	4	2	3
4	3	5	4	1	3
5	3	7	4	2	3
6	2	7	2	2	3
7	3	5	4	2	3
8	2	7	4	1	3
valor	2,5	6,5	3,5	1,625	3

Tabla de asignacion de valores cama alta					
Sistema de trasmision					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	4	5	4	2	3
2	4	5	4	2	3
3	4	5	4	2	1
4	4	5	2	2	3
5	4	5	4	2	1
6	3	7	4	2	3
7	3	5	2	2	3
8	4	5	4	2	3
valor	3,75	5,25	3,5	2	2,5

Tabla de asignacion de valores cama alta					
Sistema de frenos					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	3	2	1	3
2	1	3	2	1	3
3	2	3	2	1	3
4	1	5	2	1	3
5	1	3	1	1	3
6	2	3	2	1	3
7	1	3	2	1	3
8	1	3	2	1	3
valor	1,25	3,25	1,875	1	3

Tabla de asignacion de valores cama alta					
Sistema de refrigeracion					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	4	5	4	1	3
2	4	5	4	1	3
3	4	5	4	1	3
4	4	5	4	1	3
5	4	3	4	1	3
6	3	5	4	1	3
7	4	3	4	1	3
8	3	5	4	1	3
valor	3,75	4,5	4	1	3

Tabla de asignacion de valores cama alta					
chasis o cabina					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	3	4	1	3
2	1	3	4	1	3
3	1	5	4	2	3
4	1	3	4	2	3
5	1	5	4	2	3
6	1	3	4	1	3
7	1	1	4	2	3
8	1	3	4	2	3
valor	1	3,25	4	1,625	3

Tabla de asignacion de valores cama alta					
sistema electrico					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	1	2	1	1
2	2	3	2	1	1
3	2	1	2	1	1
4	2	1	2	1	1
5	1	1	2	1	1
6	1	1	2	1	1
7	2	1	1	1	1
8	2	1	2	1	1
valor	1,625	1,25	1,875	1	1

Tabla de asignacion de valores cama alta					
sistema de direccion					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	5	2	1	3
2	1	3	2	1	3
3	1	3	2	1	3
4	1	3	1	1	6
5	2	3	1	1	3
6	1	1	2	1	3
7	1	1	2	1	3
8	1	3	2	1	3
valor	1,125	2,75	1,75	1	3,375

Tabla de asignacion de valores cama alta					
sistema de suspension					
N°	FF	IO	FO	CM	SHA
1	1	3	2	1	3
2	1	3	2	1	3
3	1	5	2	1	3
4	1	3	2	1	6
5	2	3	1	1	3
6	1	1	2	1	3
7	1	1	2	1	3
8	1	3	2	1	3
valor	1,125	2,75	1,875	1	3,375