



**IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES
FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE**

Juan David Tamayo Montoya

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesor

Sebastián López Gómez, Magíster (MSc) (C)

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecánica
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita	(Tamayo Montoya, 2024)
Referencia	(Tamayo Montoya, 2024) implementación de la metodología PMO en cargadores frontales y volquetas doble troque. [Trabajo de grado profesional].
Estilo APA 7 (2020)	Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Pedro León Simanca.

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a mi familia, que ha sido mi pilar de apoyo incondicional durante todo este proceso. A mis padres, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia; por ser mis mayores ejemplos de dedicación y amor.

Dedico también este trabajo a mis profesores y mentores, quienes me guiaron con sabiduría y paciencia, en esta hermosa carrera transmitiéndome conocimientos y valores que me acompañarán toda la vida.

Finalmente, dedico este trabajo a todos aquellos que, de una u otra forma, contribuyeron a mi formación y creyeron en mí. Sin ustedes, esto no habría sido posible.

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo de grado. A mi asesor por su paciencia, orientación y conocimientos compartidos. Sin su guía, este proyecto no habría llegado a buen puerto.

Agradezco también de una manera muy especial al Ing. Néstor Figueredo, por haberme facilitado la información necesaria para la realización del proyecto.

Al Ing. Robinson Londoño, por su ayuda en el desarrollo de este proyecto y a todas las personas que colaboraron proporcionando la información necesaria.

Tabla de contenido

Dedicatoria	3
Agradecimientos	3
Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
Objetivos	13
Objetivo General:	13
Objetivos Específicos:	13
Marco Teórico	14
Optimización del Mantenimiento Preventivo - PMO:	14
Modos de Falla:	14
Mantenimiento Correctivo:	15
Mantenimiento Preventivo (Sistemático):	16
Mantenimiento Predictivo (Basado en la Condición):	16
Mantenimiento Mejorativo:	16
Metodología	17
Enfoque Metodológico	18
Fase 1: Recopilación de Datos	18
Paso 1. Consultar y reunir el programa de mantenimiento vigente:	18
Paso 1.1. Preparar la historia de fallas y los datos sobre la disponibilidad de los equipos y maquinaria	18
Fase 2: Análisis, revisión y agrupación de datos.	20
Paso 2. Elaboración de una lista de posibles modos de falla que están siendo atacados por el plan de mantenimiento:	20

Paso 3. Agrupación o clasificación los modos de falla:	21
Identificación de modos de falla	23
Modos de falla con base al histórico de mantenimientos:	23
Paso 4. Evaluación de las consecuencias de fallas:	26
Consecuencias ocultas	26
Consecuencias de seguridad/ambientales:	26
Consecuencia operativa:	27
consecuencia no operativa:	27
Paso 5. Determinación de la política de mantenimiento	28
Tipos de tarea:	28
Tarea a condición	28
Tarea de reacondicionamiento cíclico	28
Tarea de sustitución cíclica	28
Tarea de búsqueda de fallas	29
Correr hasta la falla	29
Rediseñar	29
Descripción de la tarea	30
Frecuencia:	30
Especialidad:	31
Resultados	34
Análisis	35
Conclusiones	36
Referencias	37
Anexos	38

Lista de tablas

Tabla 1. Repetividad de daños (Elaboración propia).	21
Tabla 2. Resumen del porcentaje acumulado repetividad de daños (Elaboración propia)	22
Tabla 3. Modos de falla con base al historial de mantenimiento (Elaboración propia)	24
Tabla 4. Agrupación modos de falla según la consecuencia de falla (Elaboración propia).	27
Tabla 5. Fragmento de la política de mantenimiento (Elaboración propia).	29
Tabla 6. Fragmento de la política de mantenimiento (Elaboración propia).	30
Tabla 7. Fragmento de la tabla de tiempo de fallas (Elaboración propia)	31
Tabla 8. Fragmento de la política de mantenimiento (Elaboración propia)	32

Lista de figuras

Figura 1. Cargadores frontales con capacidad para 4.5 - 5 Toneladas. (Imagen Propia).	12
Figura 2. Volquetas doble troque con capacidad para (12 y 15) m3 (Imagen Propia).	12
Figura 3. Estructura de los modos de falla (López, 2022).	15
Figura 4. Tipos de mantenimiento (UNE-EN13306,2018).	17
Figura 5. Formato mantenimiento preventivo (Elaboración propia).	19
Figura 6. Formato mantenimiento correctivo (Elaboración propia).	19
Figura 7. Fragmento del historial de mantenimientos (Elaboración propia).	20
Figura 8. Fragmento de modos de falla historial de mantenimiento (Elaboración propia).	20
Figura 9. Diagrama Pareto repetitividad daños (Elaboración propia).	23
Figura 10. Tipos de especialidad (Elaboración propia).	31

Siglas, acrónimos y abreviaturas

PMO	Planned Maintenance Optimization
ISO	Organización Internacional de Normalización
CMMS	Computerized Maintenance Management System
MTBF	Tiempo Medio Entre Fallas

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Resumen

La optimización del mantenimiento preventivo (PMO) se está implementando cada vez más en la industria actual y este es empleado para mejorar la eficiencia y confiabilidad de los equipos y activos. La finalidad de esta metodología es intentar reducir las fallas y así evitar que se presenten problemas sorpresa, así como tener los activos disponibles y reducir los gastos del mantenimiento. El PMO consiste en desarrollar e implementar una estrategia proactiva de mantenimiento planificado, esto en contraposición al mantenimiento reactivo o correctivo. Esta estrategia se enfoca en prevenir fallas en los equipos y activos mediante la realización de inspecciones, ajustes y reparaciones periódicas antes de que ocurran problemas costosos y tiempos de inactividad no deseados. Esta practicas está basada en la premisa de que la prevención es mejor que la corrección. En el proyecto se espera implementar el PMO para los sistemas críticos de la maquinaria y equipos.

Palabras clave: Mantenimiento, PMO, CMMS, Activos, MTBF.

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Abstract

The optimization of preventive maintenance (PMO) is increasingly being implemented in today's industry, aimed at improving the efficiency and reliability of equipment and assets. The purpose of this methodology is to try to reduce failures and thus prevent surprise problems, as well as to have assets available and reduce maintenance expenses. PMO involves developing and implementing a proactive strategy of planned maintenance, in contrast to reactive or corrective maintenance. This strategy focuses on preventing failures in equipment and assets through regular inspections, adjustments, and repairs before costly problems and unwanted downtime occur. This practice is based on the premise that prevention is better than correction. In the project, the implementation of PMO is expected for critical machinery and equipment systems.

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Introducción

Hoy en día muchas empresas constructoras colombianas tienden a centrarse y dar más importancia a la producción que al cuidado de los equipos y activos. De esta manera una eficiente gestión del mantenimiento se ha convertido en un factor determinante para lograr lo deseado con el mantenimiento ‘‘Mantener’’. El PMO surge como una respuesta estratégica para mejorar la disponibilidad y el estado de los activos y equipos. Actualmente las empresas dedicadas a la construcción tienen en práctica algunas características de metodologías que implementan el mantenimiento preventivo y correctivo. Si bien es así, no se tiene definido un plan de mantenimiento ni un software en el cual se pueda visualizar el plan de mantenimiento en tiempo real. El hacer un registro digital de la totalidad de las actividades que se fijan en un plan de mantenimiento, ayuda a conocer el estado real y el control de las mismas, en la actualidad se pueden encontrar software que ayudan en la gestión de mantenimiento, comúnmente conocidos como CMMS (Gestión de mantenimiento asistida por computadora), esta clase de software atiende la necesidad atender los mantenimientos bajo un esquema sistemático y organizado para así poder optimizar las labores de control y seguimiento efectivo de un plan de mantenimiento. A su vez el imprimir una herramienta tecnología tipo CMMS ayudara al mejoramiento del uso disponibilidad de los equipos, maquinaria, equipo menor y vehículos. Planteando lo anterior, el proyecto busca desarrollar una política de manejo de la información, que usara como eje central Excel para el manejo de datos, el cual nos permita ordenar y efectuar un PMO con el fin de estructurar un plan de mantenimiento que ayude a disminuir los Backlog (tiempo de trabajo que es necesario para terminar todas las tareas pendientes). Si bien las empresas cuentan con maquinaria y equipos de marcas comerciales como Caterpillar, Hyundai, Fotón, entre otras marcas. También sucede que poseen en sus activos equipos de fabricación china, los cuales aún no tienen una buena representación en cuanto a la disponibilidad de repuestos. Incluso en los equipos comerciales, al tratarse de maquinaria amarilla, se encuentran muchos repuestos que deben ser importados, lo que conlleva un gran tiempo de inactividad de equipos que presentan fallas correctivas. De esta manera, se espera que aplicando la metodología PMO se puedan reducir estos tiempos de inactividad, los cuales representan una disminución considerable en la producción de la empresa y aumentan los gastos. Se desea prevenir las fallas de los equipos y activos por medio del mantenimiento

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

planificado. De esta manera también se espera que el PMO tenga un impacto positivo en la productividad de la empresa.



Figura 1. Cargadores frontales con capacidad para 4.5 - 5 Toneladas. (Imagen Propia).



Figura 2. Volquetas doble troque con capacidad para (12 y 15) m³ (Imagen Propia).

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Objetivos

Objetivo General:

- Implementar el PMO para equipos críticos, tales como cargadores frontales con capacidad para 4.5 - 5 Toneladas y volquetas doble troque con capacidad para (12 y 15) m3.

Objetivos Específicos:

- Recopilar y gestionar la información para elaborar una base de datos de los mantenimientos del año 2022 de los cargadores frontales con capacidad para 4.5 - 5 Toneladas y volquetas doble troque con capacidad para (12 y 15) m3
- Realizar un análisis de la información histórica por medio de las ordenes de trabajo de mantenimiento producidas por los cargadores frontales con capacidad de 4.5-5 Toneladas y volquetas doble troque para (12 y 15) m3
- Determinar e implementar un plan de mantenimiento preventivo

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Marco Teórico

El marco teórico se centrará en explorar y comprender en profundidad la implementación del Optimización del Mantenimiento Preventivo (PMO) en la industria de la construcción en Colombia. Se abordarán aspectos clave como la importancia del mantenimiento preventivo frente al correctivo, la necesidad de una gestión eficiente del mantenimiento, y los beneficios potenciales de la implementación del PMO en términos de disponibilidad de activos, reducción de tiempos de inactividad y optimización de recursos. Además, se examinarán las estrategias y herramientas tecnológicas disponibles para apoyar la aplicación efectiva del PMO, así como los desafíos específicos relacionados con la disponibilidad de repuestos y la capacitación del personal. El marco teórico proporcionará una base sólida para el desarrollo y la implementación de un plan de mantenimiento preventivo óptimo en el contexto de la construcción en Colombia.

Optimización del Mantenimiento Preventivo - PMO:

La optimización del mantenimiento preventivo no solo es una estrategia que puede garantizar la eficiencia operativa y la confiabilidad de los activos, sino que también desempeña un papel significativo en la reducción de costos y la maximización de la vida útil de los equipos. El PMO, como estrategia integral de mantenimiento, busca mejorar la planificación y ejecución de actividades preventivas mediante la recopilación y organización de información existente en una base de datos.

Modos de Falla:

Los modos de falla representan las diversas maneras en que un activo puede dejar de funcionar correctamente o cumplir con su función prevista. En el ámbito de la gestión de activos y el mantenimiento, se busca identificar y comprender estos modos de falla para desarrollar estrategias efectivas de mantenimiento preventivo y predictivo (UNE-EN-ISO 14224,2016). Al entender cómo y por qué pueden ocurrir las fallas, las organizaciones pueden implementar

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

acciones preventivas y predictivas para minimizar el riesgo de tiempos de inactividad no planificados y maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos.

Los modos de falla se organizan y describen los diferentes tipos de fallos que pueden ocurrir en un sistema o componente. En el contexto de la norma (UNE-EN-ISO 14224,2016) la estructura de los modos de falla se muestra en la *figura 3*.



Figura 3. Estructura de los modos de falla (López, 2022).

Existen cuatro tipos principales de mantenimiento, como se ilustra en la *figura 4*: correctivo, preventivo (sistemático), predictivo (basado en la condición) y mejorativo (UNE-EN13306,2018). Cada uno de estos enfoques tiene su propósito y aplicación específicos en la gestión de activos:

Mantenimiento Correctivo:

Se lleva a cabo en respuesta a una falla o avería en el equipo. Es esencialmente reactivo y se realiza después de que ocurre un problema. Aunque puede ser necesario en ciertas situaciones, el mantenimiento correctivo tiende a ser costoso y puede resultar en tiempos de inactividad prolongados.

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Mantenimiento Preventivo (Sistemático):

Este tipo de mantenimiento implica la realización de tareas planificadas y programadas en intervalos regulares para prevenir la ocurrencia de fallas. Estas acciones pueden incluir inspecciones, lubricación, ajustes y reemplazo de piezas según un cronograma establecido. El objetivo principal es prolongar la vida útil del equipo y minimizar la probabilidad de fallas inesperadas.

Mantenimiento Predictivo (Basado en la Condición):

Se basa en el monitoreo continuo del estado y rendimiento del equipo mediante el uso de técnicas como el análisis de vibraciones, termografía, análisis de aceite, entre otros. Al detectar signos tempranos de deterioro o fallo, se pueden tomar medidas correctivas antes de que ocurra una avería. Esto ayuda a evitar costosos tiempos de inactividad y maximiza la disponibilidad del equipo.

Mantenimiento Mejorativo:

Se centra en la mejora continua del rendimiento y la confiabilidad del equipo mediante la implementación de mejoras y actualizaciones. Estas acciones pueden incluir modificaciones de diseño, actualización de componentes o la adopción de nuevas tecnologías. El objetivo es optimizar el rendimiento del equipo y adaptarlo a los cambios en los requisitos operativos y tecnológicos.

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Mantenimiento. Resumen general

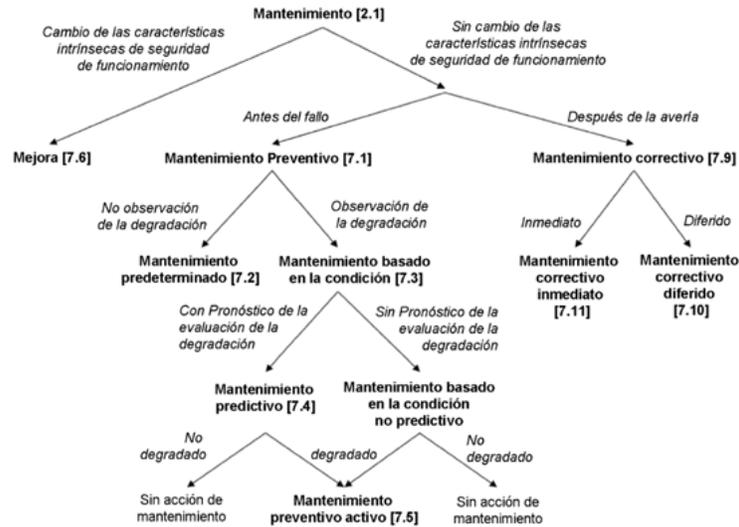


Figura 4. Tipos de mantenimiento (UNE-EN13306,2018).

Metodología

La optimización del mantenimiento preventivo (PMO) es una metodología en la gestión de activos en la industria de la construcción en Colombia. Su implementación efectiva requiere un enfoque metodológico sólido que integre tanto aspectos cualitativos como cuantitativos para abordar los desafíos específicos de esta industria. Para este proyecto, se empleó un enfoque mixto combinando elementos cualitativos y cuantitativos para desarrollar una estrategia de PMO adaptada a las necesidades y características del sector de la construcción en Colombia. Para ello se realizó el “enfoque metodológico y desarrollo de la estrategia PMO (análisis de resultados y discusión),” los cuales se describen a continuación:

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Enfoque Metodológico

Fase 1: Recopilación de Datos

Paso 1. Consultar y reunir el programa de mantenimiento vigente: En el área de mantenimiento de la empresa constructora se llevan a cabo dos tipos de mantenimiento, los cuales se centran en el mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo. El área de mantenimiento cuenta con un total de 29 cargadores frontales con capacidad para (4.5 – 5) Toneladas de la marca XCMG de referencia LW500KV Y LW500FV y con 69 volquetas doble troque con capacidad para (12 y 15) m³ de la marca Shacman de referencia M300.

En la presente obra, se tienen posicionados 4 campamentos, dotados cada uno de un patio taller, con técnicos mecánicos capacitados para realizar los correspondientes mantenimientos, para ello. Se establecieron dos formatos de mantenimiento, los cuales pueden observar en las *figuras 5* y *6*. Estos deben ser diligenciados por los técnicos mecánicos y entregados al personal designado para su recolección.

Paso 1.1. Preparar la historia de fallas y los datos sobre la disponibilidad de los equipos y maquinaria: En la *figura 7* se detalla un fragmento del historial de fallas de los equipos y maquinaria de interés ocurridas desde el 19 de febrero del 2021, hasta el 23 de diciembre del 2023. Donde muestra el código del equipo, la fecha de la falla, tipo de mantenimiento realizado, información sobre el horómetro o kilometraje, sistema del equipo intervenido (motor, dirección, transmisión, frenos, neumática, eléctrico, suspensión, aire acondicionado, llantas, chasis, y seguridad pasiva). A su vez los nombres de los mecánicos que intervinieron en el equipo.

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO 预防性维护		CODIGO 编号:	FOR-009-MYE
				VERSIÓN 版本:	02
				FECHA 日期:	14/07/2022
EQUIPO 设备名称	PLACA			CODIGO EQUIPO 设备代码	
LOCALIZACION 位置	CONDUCTOR - OPERADOR EQUIPO 司机/设备操作手				
FECHA PROGRAMADA 预计日期	RESPONSABLE 负责人				
FECHA REPARACION 维修日期	APROBADOR 申请人				
TRABAJO REALIZADO 已完成的工作: (Se debe explicar de forma clara el trabajo Realizado)					
ACEITE SUMINISTRADO 使用的机油		FILTROS SUMINISTRADOS 使用的滤芯		GRASA Y OTROS 黄油和其它	
REFERENCIA 内容	CANTIDAD 数量	REFERENCIA 内容	CANTIDAD 数量	REFERENCIA 内容	CANTIDAD 数量
MANTENIMIENTO ANTERIOR 上次维护	MANTENIMIENTO ACTUAL 当前维护	MANTENIMIENTO PROXIMO 下次维护			
HOROMETRO 小时表	HOROMETRO 小时表	HOROMETRO 小时表			
TIPO 保养类型	TIPO 保养类型	TIPO 保养类型			
Nota: El cuadro anterior debe ser diligenciado de forma obligatoria. Todos los horómetros y Tipo (MP1, MP2, MP3) 注: 上表必须斜体填写。所有小时表和类型 (MP1, MP2, MP3)					
HORAS DE TRABAJO 工作小时	DIAS 天	MAUESTRO DE ACEITE 油品取样		SI 是	NO 没有
	HORAS 小时				
EMPRESA EXTERNA 外售公司					
Nº DE CONTRATO DE TRABAJO 合同编号			NOMBRE EMPRESA 公司名称		
REPARACION EN PLANTA 在工厂内修理					
SE DESPLAZA EQUIPO 移走车辆维修					

Figura 5. Formato mantenimiento preventivo (Elaboración propia).

		MANTENIMIENTO CORRECTIVO 纠正性维护		CODIGO 编号:	FOR-008-MYE
				VERSIÓN 版本:	02
				FECHA 日期:	30/04/2021
TIPO EQUIPO 设备名称:	CODIGO Y/O PLACA EQUIPO 设备代码	HOROMETRO: KILOMETRAJE:		OT:	
LOCALIZACION 位置:	CONDUCTOR - OPERADOR EQUIPO: 司机/设备操作手				
FECHA PROGRAMADA 预计日期:	MECANICO 负责人:				
FECHA REPARACION 维修日期:	SUPERVISOR 申请人:				
DAÑOS REPORTADOS 故障描述:					
TRABAJO A REALIZAR 故障原因: - Evaluar fallas reportadas - Reparar y/o Reemplazar componentes si es necesario.					
TRABAJO REALIZADO 故障原因:					
EQUIPO OPERATIVO (SI/NO) 维修结果					
Nota: Sistemas (motor , eléctrico, chasis, llanta, suspensión, cabina, a/c, soldadura, implementos, otros) 注: 系统 (发动机、电力、底盘、轮胎、悬架、驾驶室、空调、焊接、工具等)					
PIEZAS SUSTITUIDAS 替换的零件	PIEZAS REPARADAS 修理的零件	SISTEMA EQUIPO 设备系统			
NUEVO / REPARADO 全新/修理过	N.º DE REGISTRO (OT) 工作单编号	ORIGINAL / HOMOLOGADO 原封/合格			
HORAS DE TRABAJO 工作小时	DIAS 天				
	HORAS 小时				
EMPRESA EXTERNA 外售公司					
N.º DE CONTRATO DE TRABAJO 合同编号			NOMBRE EMPRESA 公司名称		
REPARACION EN PLANTA 在工厂内修理			ORDEN DE COMPRA 订单		
SE DESPLAZA EQUIPO 移走车辆维修					

Figura 6. Formato mantenimiento correctivo (Elaboración propia).

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

EQUIPO	OT	FECHA INICIO OT	CAMP	TIPO MANTENIMIENTO	HOROMETRO	KILOMETRAJE	MOTOR	DIRECCION TRANSMI	DIFERENC	FRENOS	SONELMA	ELECTRIC	SUSPENS	HIDRAUL	AVAC	LLANTAS	CHASIS	GRASA	SEGURIDP	MECANICO I	MECANICO II	
VLQ10		30-abr	CAMP-4	PREVENTIVO	0 Hor	41245 Km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	YEFFERSON BORJA DURANGO	-
VLQ66		30-abr	CAMP-4	PREVENTIVO	0 Hor	24388 Km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	YEFFERSON BORJA DURANGO	EDIS ELBER HOYOS ROMERO
VLQ66		30-abr	CAMP-4	PREVENTIVO	0 Hor	24388 Km	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	BLADIS MANUEL HERNANDEZ HERNANDEZ	MARIO FRANCISCO MEJIA LOPEZ
VLQ53		30-abr	CAMP-3	MTTO CORRECTIVO	0 Hor	0 Km	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OCTAVIO GARCIA LLANOS	UAN CAMILO CABALLERO RODRIGUEZ
VLQ10		30-abr	CAMP-4	MTTO CORRECTIVO	0 Hor	41245 Km	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MARIO FRANCISCO MEJIA LOPEZ	ADIS MANUEL HERNANDEZ HERNAND
VLQ10		30-abr	CAMP-4	MTTO CORRECTIVO	0 Hor	41245 Km	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	MARIO FRANCISCO MEJIA LOPEZ	GERMAN EDILSON SANCHEZ GOMEZ
VLQ36		30-abr	CAMP-4	MTTO CORRECTIVO	0 Hor	46479 Km	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BLADIS MANUEL HERNANDEZ HERNANDEZ	-
VLQ46		30-abr	CAMP-4	MTTO CORRECTIVO	0 Hor	35073 Km	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	HERMES ANTONIO RODRIGUEZ GOMEZ	-
VLQ10		30-abr	CAMP-4	MTTO CORRECTIVO	0 Hor	41245 Km	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	HERMES ANTONIO RODRIGUEZ GOMEZ	-
VLQ43		30-abr	CAMP-1	MTTO CORRECTIVO	6822 Hor	0 Km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	EDUARDO ANTONIO CHICA SEPULVEDA	JOSE VASQUEZ
VLQ54		30-abr	CAMP-3	MTTO CORRECTIVO	0 Hor	0 Km	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	AIRES BURITICA	-
CAR10		1-may	CAMP-4	PREVENTIVO	4103 Hor	0 Km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	YEFFERSON BORJA DURANGO	-
VLQ68		1-may	CAMP-4	PREVENTIVO	0 Hor	40641 Km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	YEFFERSON BORJA DURANGO	-
VLQ66		1-may	CAMP-4	PREVENTIVO	0 Hor	34520 Km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	YEFFERSON BORJA DURANGO	-
VLQ68		1-may	CAMP-4	MTTO CORRECTIVO	0 Hor	40641 Km	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	EDIS ELBER HOYOS ROMERO	ANTONIO VICENTE OJEDA NAVARRO
VLQ98		1-may	CAMP-3	MTTO CORRECTIVO	0 Hor	0 Km	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ROBERTO ELIAZ BULLOSO DIAZ	POLIDORO MEDINA PEREZ

Figura 7. Fragmento del historial de mantenimientos (Elaboración propia).

Fase 2: Análisis, revisión y agrupación de datos.

Paso 2. Elaboración de una lista de posibles modos de falla que están siendo atacados por el plan de mantenimiento: Para elaborar e identificar los posibles modos de falla se realiza una interpretación de los datos suministrados en los formatos de mantenimiento, los cuales se encuentran ya digitalizados en el programa elaborado en Excel representado en la *figura 8*.

DAÑOS REPORTADOS	MODO	DE	FALLA	TRABAJO EJECUTADO
llanta en mal estado	llantas	desgastadas	por cumplimiento de vida util	Se realiza el cambio de 1 llanta en mal estado por 1 llanta de segunda
Aire acondicionado deficiente	filtro a/c	obstruido	por acumulación de suciedad	Se reemplaza filtro de descarga, se agrega aceite sintético y se presuriza el sistema
Engrase de equipo	cojinetes, eslabón de	desgastado	por falta de lubricación	se realiza engrase al equipo en todas sus articulaciones
Engrase de equipo	cojinetes, eslabón de	desgastado	por falta de lubricación	se realiza engrase al equipo en todas sus articulaciones
Engrase de equipo	cojinetes, eslabón de	desgastado	por falta de lubricación	se realiza engrase al equipo en todas sus articulaciones
No tiene kit de derrame, llantas en mal estado, el equipo bota el cilindro del freno de ahogo	llantas	desgastadas	por cumplimiento de vida util	se realiza inspección al equipo y se evidencia que las llantas se encuentran en buen estado, se desmonta freno de ahogo y se instala cilindro, se realizan pruebas quedando
Cadenas del volco en mal estado, palanca de	tornillos	suelos	por vibraciones excesivas	Se repara cadena del volco con 3 tornillos nuevos, se ajusta la palanca de cambio, se
Frenos delanteros y traseros descalibrados, filtro	filtros de aire	sucio	por presencia de partículas	Se calibra frenos delanteros y traseros, se sopletea filtro de aire, se despresuriza sistema
Frenos delanteros y traseros descalibrados, filtro	rachas de freno	destensiona	por fatiga	Se calibra frenos delanteros y traseros, se sopletea filtro de aire, se despresuriza sistema
llanta en mal estado	llantas	desgastadas	por cumplimiento de vida util	Se realiza el cambio de 1 llanta en mal estado por 1 llanta de segunda
llanta en mal estado	llantas	desgastadas	por cumplimiento de vida util	Se realiza el cambio de 1 llanta en mal estado por 1 llanta de segunda
llantas en mal estado	llantas	desgastadas	por cumplimiento de vida util	se realiza el cambio de 2 llantas desgastadas por 2 llantas nueva
Fuga de aire, sistema eléctrico sin estandarizar	manguera de aire	rota	por abrasión	Se corrige fuga de aire y se estandariza sistema eléctrico
Diente del balde en mal estado	dientes de cucharón	partidos	golpe por impacto	Se instala 1 diente del balde

Figura 8. Fragmento de modos de falla historial de mantenimiento (Elaboración propia).

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Paso 3. Agrupación o clasificación los modos de falla: Dado a que una avería puede duplicarse y reducir el tiempo de disponibilidad de los equipos al saturar la actividad del personal de mantenimiento, esta puede identificarse fácilmente y ser eliminada.

El diagrama de Pareto es una técnica que permite categorizar gráficamente los datos de mayor a menor importancia. Esta técnica también se fundamenta en la regla 80/20, la cual establece que el 80 % de las consecuencias provienen del 20 % de las causas, la cual nos ayuda a visualizar de forma más clara cuál es la principal causa de los diferentes tipos de averías y reconociendo a la vez, cuáles son las necesidades a tratar para evitar la duplicación de averías y dirigir los esfuerzos a esta necesidad y no saturar la actividad del personal de mantenimiento.

La elaboración de un diagrama de Pareto según Escalante (2004) consta de tres pasos y son los siguientes.

1. Generar una nueva tabla conteniendo la información ordenada de mayor a menor.

La cual aplicada a los modos de fallas, se ilustra de la siguiente manera en la *tabla 1*.

Tabla 1. Repetitividad de daños (Elaboración propia).

Nro	OBJETOS	REPETITIVIDAD DAÑOS			
1	llantas	1956	28	pito reversa	22
2	tornillos	439	29	carpa volco	21
3	bombillos	203	30	piston freno de ahogo	21
4	cableado eléctrico	156	31	guarda barro	21
5	raches de freno	111	32	retrovisor	20
6	cadena compuerta volco	104	33	stop	20
7	manguera hidráulica	75	34	hojas de muelle	19
8	bandas de freno	73	35	vidrios cabina	18
9	manguera de aire	69	36	cadena de ruedas	18
10	dientes de cucharón	67	37	N/A	18
11	evaporador	64	38	embrague	18
12	tubos autocarpado	58	39	campanas de freno	17
13	condensador a/c	55	40	barra de dirección	16
14	fusibles luces	51	41	bomba embrague primaria	15
15	baterias	49	42	switch autocarpado	15
16	compresor de a/c	47	43	amortiguadores de cabina	14
17	pastillas de freno	44	44	soportes del motor	14
18	filtro a/c	43	45	manguera liquido refrigerante	14
19	lamparas	41	46	liquido de frenos	14
20	termostato	35	47	sellos cilindro freno	14
21	resortes autocarpado	32	48	base del stop	13
22	barra de cambios	31	49	tanque de combustible	13
23	correa de accesorios	30	50	plumillas limpia vidrios	13
24	motor autocarpado	26	51	sellos compresor de a/c	12
25	filtros de aire	25	52	manguera a/c	12
26	motor limpia parabrisas	25	53	guaya freno de servicio	11
27	stop	24	54	motor blower	10
			55	sellos bomba freno	10
			56	freno de ahogo	10
			57	terminales de dirección	9
			58	terminales caja de cambios	9

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

2. Agregar a la tabla anterior las columnas de porcentaje y porcentaje acumulado. La columna de porcentaje se obtiene como porcentaje (frecuencia/total) *100. La *tabla* muestra la aplicación del procedimiento.

Tabla 2. Resumen del porcentaje acumulado repetitividad de daños (Elaboración propia)

Nro	OBJETOS	REPETITIVIDAD DAÑOS	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO
1	llantas	1956	0,388866799	0,388866799
2	tornillos	439	0,087276342	0,476143141
3	bombillos	203	0,040357853	0,516500994
4	cableado eléctrico	156	0,031013917	0,547514911
5	rachas de freno	111	0,022067594	0,569582505
6	cadena compuerta volco	104	0,020675944	0,590258449
7	manguera hidraulica	75	0,014910537	0,605168986
8	bandas de freno	73	0,014512922	0,619681909
9	manguera de aire	69	0,013717694	0,633399602
10	dientes de cucharón	67	0,01332008	0,646719682
11	evaporador	64	0,012723658	0,65944334
12	tubos autocarpado	58	0,011530815	0,670974155
13	condensador a/c	55	0,010934394	0,681908549
14	fusibles luces	51	0,010139165	0,692047714
15	baterias	49	0,009741551	0,701789264
16	compresor de a/c	47	0,009343936	0,711133201
17	pastillas de freno	44	0,008747515	0,719880716
18	filtro a/c	43	0,008548708	0,728429423
19	lamparas	41	0,008151093	0,736580517
20	termoestato	35	0,00695825	0,743538767
21	resortes autocarpado	32	0,006361829	0,749900596
22	barra de cambios	31	0,006163022	0,756063618
23	correa de accesorios	30	0,005964215	0,762027833
24	motor autocarpado	26	0,005168986	0,767196819
25	filtros de aire	25	0,004970179	0,772166998
26	motor limpia parabrisas	25	0,004970179	0,777137177
27	stop	24	0,004771372	0,781908549
28	pito reversa	22	0,004373757	0,786282306
29	carpa volco	21	0,00417495	0,790457256
30	piston freno de ahogo	21	0,00417495	0,794632207
31	guarda barro	21	0,00417495	0,798807157
32	retrovisor	20	0,003976143	0,8027833

3. Realizar el diagrama de Pareto considerando dos ejes de referencia. En el eje horizontal colocar las discrepancias, y en el eje vertical colocar el porcentaje de cada discrepancia. Dibujar Barras que representen los porcentajes de las

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

discrepancias. Incluir la línea quebrada del porcentaje acumulado. Se puede analizar el diagrama terminado en la *figura 9*.

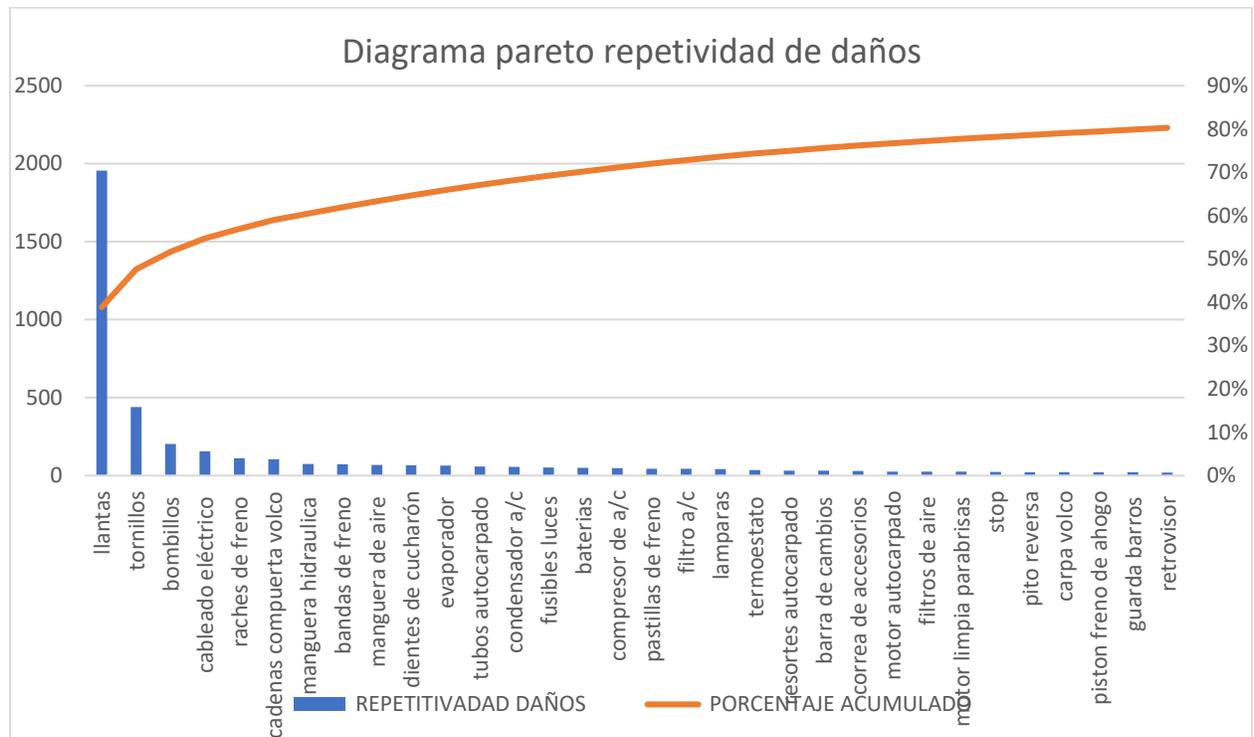


Figura 9. Diagrama Pareto repetitividad daños (Elaboración propia).

El diagrama del Pareto permitió identificar los objetos que fallan con mayor frecuencia en los equipos y maquinaria, tales como llantas, tornillos, bombillos, etc. Esto a su vez proporciona la facilidad de identificar rápidamente los problemas y enfocarse en las causas principales que contribuyen a la mayoría de estas.

Identificación de modos de falla: Los modos de falla se pueden definir como las maneras en que un activo deja de cumplir efectivamente con sus funciones previstas. Un modo de falla se identifica normalmente mediante el análisis de datos de rendimiento, inspecciones visuales, pruebas de funcionamiento y registros del historial de mantenimiento.

Modos de falla con base al histórico de mantenimientos: Todos los mantenimientos correctivos que se evidencian en la figura 8 tienen relacionados un modo de falla. De acuerdo con

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

la información obtenida, se realizó el análisis de 5030 reportes de mantenimiento correctivo de los cuales se obtuvieron un total de 88 modos de falla mostrados en la *tabla 3*.

Tabla 3. Modos de falla con base al historial de mantenimiento (Elaboración propia)

Modo de falla	Causas
Llanta desgastada	Cumplimiento de vida útil
Llanta descalibrada	Permeabilidad (Ósmosis)
Llanta pinchada	Objeto punzante
Llanta explotada	Golpe por impacto o objeto punzante
Llanta cortada	Objeto punzante
Tornillo desgastado	Fatiga
Tornillo deteriorado	Corrosión
Tornillo partido	Golpe por impacto
Tornillo suelto	Vibración
Bombillo quemado	Cortocircuito, presencia de humedad
Cableado eléctrico cortado	Golpe con objeto, presencia de roedores
Cableado eléctrico desconectado	Vibración
Cableado eléctrico deteriorado	Abrasión, cortocircuito
Rache freno destensionado	Fatiga
Rache freno torcido	Golpe con objeto
Cadena compuerta volco desgastada	Fatiga
Cadena compuerta volco destensionada	Fatiga
Cadena compuerta volco partida	Golpe con objeto
Manguera hidráulica rota	Aplastamiento, fatiga, golpe con objeto, sobrepresión
Manguera hidráulica suelta	Incorrecta calibración
Banda freno desgastada	Abrasión, cumplimiento de vida útil
Banda freno cristalizada	Material de baja calidad
Manguera aire rota	Abrasión, fatiga
Manguera aire cristalizada	Sobrecalentamiento
Manguera aire rota	Sobrepresión
Diente cucharón desgastado	Abrasión
Diente cucharón partido	Golpe por impacto
Evaporador obstruido	Acumulación de suciedad
Evaporador deteriorado	Corrosión
Tubo autocarpado torcido	Golpe con objeto
Condensador a/c obstruido	Acumulación de suciedad
Condensador a/c roto	Golpe por impacto
Fusible quemado	Cortocircuito
Batería descargada	Uso del equipo en estado off, cortocircuito

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Batería explotada	Fuga térmica
Compresor a/c quemado	Incorrecta lubricación, cortocircuito,
Compresor a/c suelto	Vibración excesiva
Pastilla freno desgastada	Abrasión, cumplimiento de vida útil
Filtro a/c obstruido	Acumulación de suciedad, cumplimiento de vida útil
Lampara quemada	Cortocircuito
Lampara rota	Golpe con objeto
Termostato deteriorado	Corrosión
Resorte de autocarpado desgastado	Fatiga
Resorte de autocarpado partido	Golpe con objeto
Resorte de autocarpado torcido	Golpe con objeto
Barra de cambios torcida	Incorrecta calibración, golpe por impacto
Barra de cambios suelta	Desajuste en la conexión del embrague
Correa de accesorios desgastada	Fatiga, abrasión, cumplimiento de vida útil
Correa de accesorios destensionada	Fatiga, incorrecta calibración
Correa de accesorios rota	Incorrecta calibración
Motor autocarpado quemado	Cortocircuito
Motor autocarpado roto	Golpe con objeto
Filtro de aire deteriorado	Cumplimiento de vida útil, presencia de partículas contaminantes
Filtro de aire sucio	Presencia de partículas contaminantes
Motor limpia parabrisas deteriorado	Corrosión
Motor limpia parabrisas pegado	Insuficiente lubricación
Motor limpia parabrisas quemado	Cortocircuito
Stop partido	Golpe con objeto
Stop quemado	Presencia de humedad
Pito reversa deteriorado	Presencia de humedad, corrosión
Pito reversa extraviado	Labores en túneles
Pito reversa quemado	Cortocircuito
Carpa volco rota	Objeto punzante, abrasión
Pistón freno de ahogo suelto	Vibración
Pistón freno de ahogo desgastado	Corrosión
Guardabarros roto	Abrasión, golpe con objeto
Retrovisor roto	Golpe con objeto
Retrovisor suelto	Vibración
Retrovisor torcido	Golpe por impacto

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Paso 4. Evaluación de las consecuencias de fallas: Para analizar y comprender las posibles consecuencias de fallos o mal funcionamiento de los cargadores frontales con capacidad para (4.5 – 5) Toneladas y las volquetas doble troque con capacidad para (12 y 15) m³, se tendrá en cuenta una evaluación del impacto de los modos de falla que se muestran en la *tabla 3*. Las consecuencias de las fallas se pueden categorizar de acuerdo con el impacto que tienen en los objetivos de la organización: ocultas, de seguridad/ambientales, operativas y no operativas (SAE JA 1011, 1999).

Consecuencias ocultas: las consecuencias ocultas pueden ocurrir como resultado de una falla en algún componente del equipo, el cual no es inmediatamente evidente o reconocido, estas consecuencias pueden no ser tan fácilmente identificables sin un análisis detallado del impacto de la falla en el contexto operativo.

Por ejemplo, en el sistema refrigeración, encontramos el termostato cuya función principal es regular la temperatura. El cual si detecta bajas temperaturas automáticamente provoca una subida de las mismas y viceversa. Sin embargo, una consecuencia oculta podría ser que el componente no actúe correctamente y las temperaturas del motor sean mucho mayores de las recomendadas. Esto podría llevar a una situación donde haya afectaciones al motor y el equipo tenga que ser reparado.

Consecuencias de seguridad/ambientales: una consecuencia de seguridad o ambiental se refiere a cualquier resultado o efecto que pueda afectar la seguridad del equipo, el personal operativo o el medio ambiente como resultado de un mal funcionamiento o falla en un sistema o componentes en específico.

Por ejemplo, una batería que fue incorrectamente manipulada puede llegar a explotar, esto podría contribuir a la contaminación ambiental y al deterioro de la salud del personal operativo, esto debido a los gases, vapores y humos altamente tóxicos e inflamables, estas sustancias químicas pueden envenenar las reservas de agua cernas.

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Consecuencia operativa: se define como un resultado que afecta la operación segura y eficiente de un sistema o componente de un equipo, estas consecuencias están relacionadas con el rendimiento y la funcionalidad del sistema en condiciones normales de operación.

Por ejemplo, si un sistema de frenos, experimenta un fallo que reduce su capacidad de frenado efectivo, esto tendría consecuencia operativa en el sentido de que el vehículo podría no detenerse tan rápido como se espera en una situación de emergencia.

consecuencia no operativa: según la norma se define como una consecuencia no operativa como un resultado que no afecta directamente la operación segura y eficiente de un sistema o componente de un equipo, pero pueden tener implicaciones importantes en términos de mantenimiento, costo o comodidad.

Por ejemplo, si analizamos un motor de limpiaparabrisas deteriorado por corrosión, se experimentará una falla que no afecta la capacidad de operación de manera segura, pero que con el tiempo podría convertirse en una consecuencia operacional.

Como bien es entendido, un modo de falla puede tener uno o varias consecuencias de falla, en la *tabla 4*. Se muestra un resumen de modos de fallas según la consecuencia de falla.

Tabla 4. Agrupación modos de falla según la consecuencia de falla (Elaboración propia).

CONSECUENCIA OCULTA	CONSECUENCIA SEGURIDAD/AMBIENTAL	CONSECUENCIA OPERACIONAL	CONSECUENCIA NO OPERACIONAL
Termostato obstruido por corrosión	Lampara quemada por corto circuito	Llanta descalibrada por osmosis	Retrovisor torcido golpe por impacto
Banda de freno cristalizada por material de baja calidad	Pito de reversa deteriorado por presencia de humedad	Fusible quemado por cortocircuito	Carpa volco rota por objeto punzante
Tornillo deteriorado por corrosión	Batería explotada por fuga térmica	Manguera de aire rota por abrasión	Motor limpiaparabrisas deteriorado por corrosión
Filtro de aire sucio por presencia de partículas contaminantes	Stop quemado por presencia de humedad	Barra de cambios torcida por golpe por impacto	Guardabarros roto por golpe con objeto

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Paso 5. Determinación de la política de mantenimiento: Para determinar la política de mantenimiento se dispuso centrar las decisiones desde la perspectiva de reducción de los riesgos a un nivel tolerable, para ello, se debe tomar como mínimo una tarea por cada modo de falla, en la cual se determine el tipo de tarea, la descripción de la tarea, la frecuencia y la especialidad.

Tipos de tarea: se refiere a una categoría específica de actividad planificada y sistemática destinada a preservar o mejorar el estado operativo y la confiabilidad de la maquinaria y los equipos, estas tareas se llevan a cabo de manera regular y programada con el objetivo de prevenir la ocurrencia de fallas, minimizar el riesgo de averías no planificadas y prolongar la vida útil de los equipos, entre ellas se ejecutaran las siguientes tareas (Tarea a condición, tarea de reacondicionamiento cíclico, tarea de sustitución cíclica, Tarea de búsqueda de fallas, correr hasta la falla y rediseñar). En la *figura 10.* se hace referencia al fragmento de la política de mantenimiento.

Tarea a condición: En este tipo de tareas se lleva a cabo en respuesta a ciertas condiciones o señales que indican que un equipo o componente puedan necesitar atención, por ejemplo, podría implicar la revisión de niveles de fluidos, la medición de la vibración o la temperatura para detectar signos de desgaste o deterioro, empleando un estudio de termográfica o análisis de vibración.

Tarea de reacondicionamiento cíclico: consiste en realizar actividades de mantenimiento periódicas programadas como lo son engrase, retorqueo, entre otros. Para restaurar o mejorar el rendimiento de los equipos, esta tarea se realiza en intervalos de regulares, independientemente del estado aparente del componente del equipo, con el fin de prevenir la degradación progresiva y prolongar su vida útil.

Tarea de sustitución cíclica: Implica la sustitución programada de componentes o partes del equipo en intervalos regulares, incluso si no muestran signos evidentes de desgaste o falla. Esta estrategia se basa en estimaciones de vida útil y en el historial de rendimiento de los componentes para prevenir fallas repentinas y mantener la confiabilidad del equipo.

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Tarea de búsqueda de fallas: Se refiere a la realización de inspecciones detalladas, pruebas y análisis para identificar y corregir posibles fallas en el equipo antes de que causen interrupciones en su funcionamiento. Esta tarea puede implicar la utilización de herramientas de diagnóstico avanzado y la colaboración entre diferentes grupos de personal técnico.

Correr hasta la falla: Esta estrategia implica no realizar ningún tipo de mantenimiento preventivo programado, sino permitir que el componente funcione hasta que ocurra una falla debido a que hay modos de falla que pueden ser imprevistos, como lo son una llanta explotada por un objeto o la mala operación del equipo por parte del personal operativo.

Rediseñar: En algunos casos, cuando un equipo o sistema experimenta fallas recurrentes o problemas de rendimiento persistentes, puede ser necesario realizar cambios en su diseño o configuración. La tarea de rediseño implica modificar o actualizar el equipo para mejorar su confiabilidad, eficiencia o seguridad, lo que puede requerir cambios en los componentes, procesos o procedimientos operativos.

De esta forma se muestra en la *tabla 5*. Las diferentes tareas que pueden ser aplicadas a un modo de falla.

Tabla 5. Fragmento de la política de mantenimiento (Elaboración propia).

MODO DE FALLA	TIPO DE TAREA
llanta desgatada por cumplimiento de vida útil	3.Tarea de sustitución cíclica
llanta descalibrada por permeabilidad (Ósmosis)	3.Tarea de sustitución cíclica
llanta pinchada por objeto punzante	6.Resideñar
llanta explotada golpe por impacto / por objeto punzante	5.Correr hasta la falla

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Descripción de la tarea: es una declaración clara del propósito de la tarea de mantenimiento, donde se encuentra la información que proporciona una guía estructurada para la ejecución de las diferentes actividades de mantenimiento, asegurando que se realicen de manera eficiente, segura y consistente como se muestra en la *tabla 6*.

Tabla 6. Fragmento de la política de mantenimiento (Elaboración propia).

MODO DE FALLA	TIPO DE TAREA	DESCRIPCIÓN TAREA
llanta desgatada por cumplimiento de vida útil	3.Tarea de sustitución cíclica	cambio de llantas antes de la falla
llanta descalibrada por permeabilidad (Ósmosis)	3.Tarea de sustitución cíclica	calibración de llantas periódicamente
llanta pinchada por objeto punzante	6.Resideñar	cambio tipo de llantas convencionales a sellomatic
llanta explotada golpe por impacto / por objeto punzante	5.Correr hasta la falla	cambio de llantas después de la falla

Frecuencia: Se hace referencia a la periodicidad con la que se debe realizar la tarea de mantenimiento, ya sea en función del tiempo transcurrido, del número de horas de funcionamiento del equipo, o de condiciones específicas detectadas durante la inspección. Para este caso se hará uso de un rango entre el (5 -30) % del tiempo medio entre fallas (MTBF), en el cual se empleará la fórmula 1. Para su obtención. Es importante mencionar que la frecuencia solo se tendrá en cuenta en tipos de tareas como lo son tarea a condición, tarea de reacondicionamiento cíclico, tarea de sustitución cíclica y tarea de búsqueda de fallas.

$$MTBF = \frac{\text{tiempo de operación}}{\text{cantidad de fallas}} = \frac{\text{tiempo esperado} - \text{tiempo de parada}}{\text{cantidad de fallas}}$$

Ecuación 1. Fórmula para calcular MTBF

Para la estimación del tiempo esperado de uso de los equipos, se recurrió pedir la información al área de planeación, la cual estipulo un equivalente de 12264 horas de uso de los

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

equipos en el periodo comprendido entre 05/01/2021 y el 23/12/2023. Con esta información fue posible determinar el MTBF al implementar la *Ecuación 1*. Como se puede observar en la *tabla 7*.

Tabla 7. Fragmento de la tabla de tiempo de fallas (Elaboración propia)

Nro.	OBJETOS	Tiempo total de paro de los equipos por avería (Min)	Tiempo total de paro de los equipos por avería (Hr)	Cantidad de fallas	MTBF	MTBF (DIAS)
9	manguera de aire	4441	74	68	179	15
10	dientes de cucharón	5495	92	67	182	15
11	evaporador	11749	196	64	189	16
12	tubos autocarpado	6777	113	58	210	17
13	condensador a/c	6951	116	55	221	18
14	fusibles luces	1919	32	51	240	20
15	baterías	2645	44	49	249	21
16	compresor de a/c	4639	77	47	259	22
17	pastillas de freno	4492	75	44	277	23
18	filtro a/c	1289	21	43	285	24
19	lámparas	1600	27	41	298	25
20	termostato	9511	159	35	346	29
21	resortes autocarpado	1295	22	32	383	32
22	barra de cambios	1551	26	31	395	33

Especialidad: Asignación de responsabilidades claras sobre quién es el encargado de ejecutar la tarea de mantenimiento, así como cualquier otra persona que deba participar en el proceso, como supervisores, operadores, técnicos, etc. Como se puede observar en la *figura 10*.

ESPECIALIDAD		
personal de limpieza (lava carros)	Técnico automotriz (Mecánico 01)	Técnico (Monta llantas)
Técnico automotriz (Mecánico 02)	Técnico automotriz (Mecánico 03A)	Instrumentación (Análisis de vibración)

Figura 10. Tipos de especialidad (Elaboración propia).

-Mecánico 01: Actualmente es el nivel más alto en la pirámide de conocimientos técnicos de mecánica automotriz. Posee los certificados de los niveles: 03, 02 y 01. Domina los sistemas de inyección electrónica, sensores, actuadores, sistemas de encendido y alimentación de combustible. Diagnostica fallas, recupera e interpreta códigos de averías y corrige fallas

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

-Mecánico 02: se especializa en las instalaciones eléctricas de cualquier vehículo automotriz como: sistema de carga, sistema de arranque, acumuladores, diagramas eléctricos, accesorios e indicadores, alarmas y car audio. Cuenta además con los conocimientos básicos de inyección electrónica automotriz.

-Mecánico 03A: se especializa en motores de combustión diésel, tanto en vehículos livianos, pesados, estacionarios y de navegación.

-Instrumentación: Personal capacitado para el uso de herramientas especiales para realizar actividades de termografía y análisis de vibraciones.

-Personal de limpieza: Como su nombre lo indica, están a cargo de toda el área de limpieza y lavado de la maquinaria y equipos.

-Técnico (Monta llantas): responsable del mantenimiento correspondiente al cambio y reparación de llantas de la maquinaria y los equipos.

La política de mantenimiento consiste en la agrupación de las diferentes tareas, descripción de las tareas, frecuencia y especialidad que se le realiza a cada modo de falla como se muestra en la *tabla 8*.

Tabla 8. Fragmento de la política de mantenimiento (Elaboración propia)

MODO DE FALLA	TIPO DE TAREA	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (DIA)	ESPECIALIDAD
llanta explotada golpe por impacto / por objeto punzante	5.Correr hasta la falla	cambio de llantas después de la falla	N/A	Técnico automotriz (Monta llantas)
llanta cortada por objeto punzante	5.Correr hasta la falla	cambio de llantas después de la falla	N/A	Técnico automotriz (Monta llantas)
tornillos desgastados por fatiga	4.Tarea de búsqueda de fallas	inspeccionar en busca de desgaste y corrosión	2	Técnico automotriz (Mecánico 03A)

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

tornillos deteriorados por corrosión	4.Tarea de búsqueda de fallas	inspeccionar en busca de desgaste y corrosión	2	Técnico automotriz (Mecánico 03A)
tornillos partidos golpe por impacto	5.Correr hasta la falla	cambio de tornillos después de la falla	N/A	Técnico automotriz (Mecánico 03A)
tornillos sueltos por calibración incorrecta/ por vibraciones excesivas	2.Tarea de reacondicionamiento cíclico	retorqueo periódico de tornillos	2	Técnico automotriz (Mecánico 03A)
bombillos quemados por corto circuito	4.Tarea de búsqueda de fallas	Inspeccionar en busca de imperfectos en los sellos de farolas, stop y cables sueltos o deteriorados	4	Técnico automotriz (Mecánico 02)
bombillos quemados por presencia de humedad	4.Tarea de búsqueda de fallas	Inspeccionar en busca de imperfectos en los sellos de farolas, stop y cables sueltos o deteriorados	4	Técnico automotriz (Mecánico 02)

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Resultados

Se recolecto y documento 5030 reportes de mantenimiento correctivo al historial de mantenimiento para los cargadores frontales de (4,5 y 5) toneladas y volquetas doble troque con capacidad de (12 y 15) m³, en el periodo comprendido entre 05/01/2021 hasta 23/12/2023, esto con la intención de tener una información más ordenada

Se definieron los modos de falla para cada componente mantenible, con base a la información suministrada al programa de mantenimiento mediante el apoyo del software EXCEL, OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE, visualizando con ayuda del diagrama del Pareto, los ítems mantenibles que fallaban con mayor ocurrencia, y la principal causa de los diferentes tipos de averías.

Mediante la agrupación y clasificación de los modos de falla de cada ítem mantenible se puso reducir la duplicación de tareas.

Se determino una política de mantenimiento enfocada en la reducción de los riegos a un nivel tolerable. Ya que, Si bien, el equipo de mantenimiento posee un amplio conocimiento sobre los diferentes modos de falla y cómo abordarlos, la implementación de una frecuencia de mantenimiento especifica para los sistemas y objetos de interés logró minimizar la duplicación de tareas. Además, esto resultó en una reducción de los mantenimientos correctivos y una mayor disponibilidad del personal técnico de mantenimiento. Todo esto contribuyó a evitar largos periodos de inactividad de los equipos debido a fallas.

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Análisis

El plan de mantenimiento que se tenía estructurado no estaba aplicado como lo sugiera una norma, se planteaba atacar en gran medida los modos de falla mediante el mantenimiento correctivo, de esta manera, se designó implementar la metodología de optimización del mantenimiento preventivo con la intención de suplir la necesidad que se tenía con el paro de equipos no programado.

La documentación que se realiza de los mantenimientos correctivos y preventivos, es de libre criterio por parte el personal técnico, pero dado a que se tenían cuatro campamentos a lo largo de la obra, con una gran variedad cultura en el personal técnico, esto significa que cada componente de la maquinaria y equipos sean descritos de una manera diferente, por esta razón resulta imperativo establecer los modos de falla, con el fin de generar una documentación estructurada que permita llevar a cabo análisis de alta calidad y confiabilidad en etapas posteriores. Asimismo, la uniformización del lenguaje añadiría un valor adicional al proyecto.

En la empresa se cuenta con programa de mantenimiento elaborado en EXCEL, PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE si bien, fue posible implementar la metodología PMO gracias al uso de este software, se sugiere considerar la implementación en el futuro de un CMMS de mayor calidad con el objetivo de agilizar la documentación y mejorar la definición de cada modo de falla para cada elemento mantenible.

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Conclusiones

Se encontraron un total de 5030 reportes de mantenimientos correctivos documentando en el historial de mantenimiento correspondientes a las 69 volquetas doble troque y 29 cargadores frontales, de los cuales se obtuvo un reporte de 88 modos de falla.

Los objetos como llantas, tornillos y bombillos representan alrededor del 51% del total de los daños acumulados. Esto indica que un número limitado de componentes sufre la mayoría de los daños.

Los primeros 32 objetos representan aproximadamente el 80% de los daños acumulados, lo que sugiere una concentración significativa de los problemas en un conjunto relativamente pequeño de componentes.

En conclusión, los cargadores frontales y las volquetas doble troque eran equipos críticos en la producción de obra, ya que estos se encargaban principalmente del cargue y transporte de material, El análisis de las tablas revelo áreas criticas de preocupación, con una tendencia al aumento en la repetividad de daños y posibles riesgos de ocurrencia, lo que resultaba en una gran cantidad de equipos inactivos. Para abordar esta situación, se implementó la metodología PMO, logrando una estandarización a través del desarrollo de una política de mantenimiento.

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Referencias

SAE Internacional, Criterios de Evaluación del Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Center Maintenance, RCM), Normas SAE JA1011, USA -1999.

SAE International, Guía para Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MMC), Normas SAE JA1012, USA – 2022.

Instituto colombiano de normas técnicas y certificación. Sistemas de gestión de calidad. NTC-ISO 9001. Bogotá D.C., 2015.

Decreto 1072 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. 26 de mayo de 2015. D.O No. 49523.

Díaz, A. A. (2020, 24 julio). 5 normas imprescindibles para una gestión eficaz del mantenimiento industrial. LinkedIn

Guía Técnica Colombiana. Seguridad De Funcionamiento Y Calidad De Servicio. Mantenimiento. Terminología. GTC 62. (1999, 17 marzo).

Instituto colombiano de normas técnicas y certificación. Sistemas de gestión ambiental. NTC-ISO 14001. Bogotá D.C., 2015

Instituto colombiano de normas técnicas y certificación. Sistemas de gestión de calidad- Fundamentos y vocabulario. NTC-ISO 9000. Bogotá D.C., 2015

Alcalá, G. M. (2018, 15 enero). El CMMS como herramienta de análisis. LinkedIn.

Sexto, L. F. (2017). Tipos de mantenimiento ¿cuántos y cuáles son? Revista Electromagazine. 40 - 46

International Organization for Standardization. (2016). Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment (ISO 14224). ISO.

Asociación Española de Normalización. (2018). UNE-EN 13306: Gestión del mantenimiento. Términos y definiciones (Spanish Standard)

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE

Anexos

Anexo 1. [PMO EN CARGADORES FRONTALES Y VOLQUETAS DOBLE TROQUE.xlsm](#)