

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS

**“PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA
MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE UN CARGADOR FRONTAL DE UNA
EMPRESA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

ELABORADO POR

WILSON RAMOS VELAYARCE

ASESOR

MSc Ing. JORGE VERA ERMITAÑO

Lima – Perú

2023

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento a los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la FIM – UNI por su profesionalismo y sus sabias palabras, por compartir sus conocimientos de forma clara y pertinente, por su paciencia, perseverancia y tolerancia que mostraron con mi persona.

Agradezco a mis compañeros de pregrado, por compartir horas de estudio, por su perseverancia y apoyo en los momentos más difíciles de la carrera, por su compañerismo y amistad, por la confianza y oportunidad que me brindaron en ser parte de sus equipos de estudio.

Expreso mi agradecimiento especial al Magister Jorge Vera Ermitaño por su amistad y asesoramiento para llevar acabo el desarrollo de la investigación, también agradezco al Magister Reynaldo Villanueva Ure por su amistad y apoyo en la parte inicial de este trabajo, sin ellos no hubiese sido posible el inicio y conclusión de la investigación y mucho menos alcanzar la meta propuesta en esta parte de mi desarrollo profesional.

Agradezco a mi madre Margarita Velayarce Huamán, quien siempre estuvo apoyándome moralmente e incentivándome alcanzar mis objetivos profesionales en particular este trabajo de investigación que me permitirá obtener la titulación en el campo de la ingeniería y con ello ser parte de los profesionales de esta prestigiosa institución.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional desde que inicie la carrera, a mi hija Margaret y mi esposa Flor por ser mi fuerza e inspiración de seguir alcanzando nuevos objetivos.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en la aplicación de la metodología denominada Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) a uno de los activos físicos de la maquinaria pesada que tiene a disposición la empresa de construcción civil ROFER SAC. La aplicación de la metodología se da inicio conociendo el nivel de criticidad de cada uno de los activos según la información histórica del área de mantenimiento durante el periodo Julio 2020 a Julio 2021 y a partir de los resultados se eligió el activo que presenta una criticidad alta.

Después de llevar a cabo la matriz de evaluación de la criticidad, el activo que presentó un valor crítico resultó ser el Cargador Frontal L120G encontrando un valor según la matriz de criticidad mayor a 60, que lo ubica entre los equipos con alta criticidad. Se desarrolló el RCM siguiendo los siete pasos que recomienda el método. Las acciones ejecutadas fueron la identificación fallas funcionales y sus modos de falla, descripción de los efectos de falla y las consecuencias de las fallas para realizar el cuadro de criticidad, además se elaboró una matriz de criticidad cuantitativa de riesgos que incluyó los tipos de fallas y las tareas de mantenimiento necesarias en un plan de mantenimiento.

Después de llevar a cabo las acciones del plan de mantenimiento durante un periodo de 12 meses se llegó a constatar que el Cargador Frontal incrementó su disponibilidad pasando de 91,8% a 94,4 % lo que nos indica que la aplicación de la metodología del RCM tuvo un impacto positivo y que generó beneficios en una empresa de la construcción que cuenta con activos

físicos que requieren mantenerse en buen estado para sostener los requerimientos de la operación.

Palabras claves: Cargador Frontal L120G, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Disponibilidad.

ABSTRACT

This research work consists of the application of the methodology called Reliability Centered Maintenance (RCM) to one of the physical assets of the heavy machinery available to the civil construction company ROFER SAC. The application of the methodology begins by knowing the level of criticality of each of the assets according to the historical information of the maintenance area during the period July 2020 to July 2021 and from the results the asset that presents a high criticality was chosen.

After carrying out the criticality evaluation matrix, the asset that presented a critical value turned out to be the L120G Front Loader, finding a value according to the criticality matrix higher than 60, which places it among the equipment with high criticality. The RCM was developed following the seven steps recommended by the method. The actions carried out were the identification of functional failures and their failure modes, description of the failure effects and the consequences of the failures to make the criticality table, in addition a quantitative criticality risk matrix was developed that included the types of failures and the maintenance tasks required in a maintenance plan.

After carrying out the actions of the maintenance plan for a period of 12 months, it was found that the availability of the front loader increased from 91.8% to 94.4%, which indicates that the application of the RCM methodology had a positive impact and generated benefits in a construction company that has physical assets that need to be maintained in good condition to sustain the requirements of the operation.

Keywords: L120G Front Loader, Reliability Centered Maintenance, Availability.

PRÓLOGO

El trabajo de investigación realizado tuvo como objetivo llevar a cabo la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de un cargador frontal; la investigación está estructurada en seis capítulos como se detalla a continuación:

En el Capítulo I, se detallan las generalidades, se describe el problema de investigación, se plantean los objetivos y los antecedentes de investigación que se han realizado respecto al tema de investigación.

En el Capítulo II, se elabora el marco teórico y conceptual, se presenta información relevante que es de mucha ayuda para comprender los conceptos que se manejan en la investigación y también ayudan con la descripción de las variables tanto independiente como dependiente.

En el Capítulo III, se plantean las hipótesis como una respuesta adelantada a la solución del problema de investigación, además se realiza la operacionalización de las variables dependiente e independiente, acá se puede apreciar también los indicadores que me permiten evaluar el comportamiento de la variable dependiente antes y después de la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

En el Capítulo IV, se detalla la metodología de la investigación, describiendo el tipo, nivel de investigación, la unidad de análisis, además se presenta la matriz de consistencia, esta matriz de consistencia muestra en una sola tabla, el título, problema, los objetivos, las hipótesis, las variables,

indicadores, la metodología, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, todo ello referido a la investigación.

En el Capítulo V, se presenta el desarrollo de la tesis, se detallan las averiguaciones encontradas al aplicar los instrumentos de investigación y el plan de mantenimiento, para eso se usaron tablas y gráficos con la finalidad de hacer más entendible la información al lector.

En el Capítulo VI, se realiza el análisis y discusión de los resultados, se comenta sobre el impacto que tuvo la aplicación del Plan de Mantenimiento Centrado RCM, los efectos que tuvo en el mejoramiento de la disponibilidad del cargador frontal y los beneficios económicos obtenidos.

En la parte final se presentan las conclusiones y recomendaciones, además las referencias bibliográficas utilizadas y los anexos de este trabajo de investigación.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
PRÓLOGO.....	VII
ÍNDICE.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Descripción del problema de investigación	1
1.3. Objetivo de estudio	7
1.3.1. Objetivo general.....	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4. Antecedentes referenciales.....	8
1.4.1. Antecedentes referenciales internacionales	8
1.4.2. Antecedentes referenciales nacionales	9
CAPITULO II – MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	11
2.1. Marco teórico	11
2.1.1 Gestión del Mantenimiento	11
2.1.2 Tipos de mantenimiento.....	11
2.1.3 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM):.....	14
2.1.4 Funciones	18

2.1.5 El <i>contexto</i> operacional.....	19
2.1.6 Falla Funcional.....	20
2.1.7 Modo de falla	20
2.1.8 Efectos de falla	21
2.1.9 Consecuencias de la falla	21
2.1.10 Cargador frontal	22
2.1.11 Principales componentes de un cargador frontal	22
2.1.12 Detalles del cargador frontal L120G	23
2.2. Marco conceptual.....	36
CAPITULO III – HIPÓTESIS Y ADMINISTRACIÓN DE VARIABLES.....	43
3.1. Hipótesis general	43
3.2. Hipótesis específica	43
3.3. Administración de las variables.....	44
CAPITULO IV – METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	45
4.1. Tipo, nivel y diseño de la investigación.....	45
4.2. Población y muestra	45
4.3. Fuentes de información técnica e instrumentos de recolección y procesamiento de datos.....	46
4.4. Unidad de análisis.....	46
4.5. Periodo de análisis.....	48
4.6. Matriz de consistencia.....	49
CAPÍTULO V – DESARROLLO DE LA TESIS.....	51
5.1. Descripción de la empresa.....	51
5.2 Organigrama de la empresa	51

5.3. Misión de la empresa	52
5.4. Visión de la empresa	53
5.5. Situación actual de la maquinaria de la empresa.....	53
5.6 Descripción del proceso de mantenimiento en la empresa ROFER SAC...	54
5.7 Maquinaria con la que cuenta la empresa ROFER SAC	54
5.8 Tiempo total programado para la producción durante el periodo julio 2020 – junio 2021	55
5.9 Historial de la cantidad de fallas producción durante el periodo julio 2020 – junio 2021	56
5.10 Historial del tiempo de mantenimiento de las fallas durante el periodo julio 2020 – junio 2021	57
5.11 Historial del costo de mantenimiento de las fallas durante el periodo julio 2020 – junio 2021	59
5.12 Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	60
5.13 Implantación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	60
5.13.1 Fase de conformación del equipo RCM.....	61
5.13.2 Implantación de la lógica RCM	62
a) Selección del equipo o sistema	62
b) Contexto operacional del cargador frontal L120G de la empresa ROFER SAC	67
c) Situación del cargador frontal L120G – durante el periodo agosto 2020 – julio 2021.....	67
d) Diagrama de entradas y salidas del Cargador Frontal L120G.....	68

e) Funciones primarias y secundarias de los elementos del cargador frontal L120G	68
f) Análisis de los modos y efectos de falla	71
g) Hoja de información de la lógica de RCM aplicado a los ítems del FMEA del Sistema de Lubricación del cargador frontal	73
h) Documentación del Plan de Mantenimiento.....	75
CAPITULO VI – ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	78
6.1 Resultados económicos obtenidos en el Cargador Frontal L20G	83
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES.....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
ANEXOS	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figure 1 Principales puntos débiles en los procesos de mantenimiento existentes de organizaciones europeas.....	2
Figure 2 Planes para disminuir el tiempo de inactividad no programado.....	3
Figure 3 Integrantes de un Equipo Natural de Trabajo de RCM.....	17
Figure 4 Componentes Principales de un Cargador Frontal.....	23
Figure 5 Límites de Funcionamiento Económico del Motor.....	25
Figure 6 Sistema Hidráulico de un Cargador Frontal.....	32
Figure 7 Organización de la Empresa de la Empresa ROFER SAC.....	52
Figure 8 Flujograma de Implantación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.....	60
Figure 9 Integrantes del Equipo de Mantenimiento.....	61
Figure 10 Criticidad de los Activos Físicos de la Empresa ROFER SAC.....	66
Figure 11 Diagrama de Entradas y Salidas del Cargador Frontal L120G.....	68
Figure 12 Disponibilidad Mensual del Cargador Frontal en los Periodos Julio 2020 – Junio 2021 y Julio 2021 – Junio 2022.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Table 1 Especificaciones técnicas del motor de un cargador frontal L120G....	24
Table 2 Especificaciones técnicas de la línea motriz de un cargador frontal L120G	26
Table 3 Especificaciones técnicas del sistema eléctrico central de un cargador frontal L120G	28
Table 4 Especificaciones técnicas del sistema de frenos de un cargador frontal L120G	29
Table 5 Especificaciones técnicas de la cabina de un cargador frontal L120G	30
Table 6 Especificaciones técnicas del sistema de brazos de elevación de un cargador frontal L120G	30
Table 7 Especificaciones técnicas del sistema hidráulico de un cargador frontal L120G	32
Table 8 Especificaciones técnicas del sistema de dirección de un cargador frontal L120G	34
Table 9 Especificaciones técnicas del sistema de mantenimiento de un cargador frontal L120G	35
Table 10 Administración de la variable independiente.....	44
Table 11 Administración de la variable dependiente.....	44
Table 12 Matriz de consistencia.....	49
Table 13 Maquinaria de trabajo con la que cuenta la empresa ROFER SAC..	55
Table 14 Tiempo laborable programado para la producción Julio 2020 – Junio 2021	55

Table 15 Número de fallas de la maquinaria de la empresa ROFER SAC durante el periodo JULIO 2020 – JUNIO 2021	56
Table 16 Tiempo de mantenimiento de fallas de la maquinaria de la empresa ROFER SAC durante el periodo JULIO 2020 – JUNIO 2021.....	57
Table 17 Costo de mantenimiento de los activos físicos de la Empresa ROFER SAC durante el periodo julio 2020 – junio 2021	59
Table 18 Criterios y pesos para obtener el factor de criticidad	65
Table 19 Intervalos para conocer el nivel criticidad de los equipos evaluados	65
Table 20 Resultados del análisis de criticidad, para elegir el activo más crítico	66
Table 21 Funciones Primarias y Secundarias de los Elementos del Cargador Frontal L120G.....	69
Table 22 Hoja de información FMEA del subsistema “Sistema de Lubricación del cargador frontal”.....	71
Table 23 Hoja de Análisis de Decisión - Lógica RCM en el Subsistema de Lubricación del Motor del Cargador Frontal L120G	73
Table 24 Plan de Mantenimiento del Cargador Frontal L120G.....	75
Table 25 Costos de repuestos para el Cargador Frontal L120G	78
Table 26 Costos de capacitación en Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	79
Table 27 Disponibilidad del Cargador Frontal L120G en el periodo Julio 2020 – Junio 2021	80
Table 28 Disponibilidad del cargador Frontal L120G en el periodo Julio 2021 – Junio 2022	81

Table 29 Ahorros generados por las horas ganadas a partir de la aplicación del RCM.....	83
--	----

CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

En el mundo entero el RCM es un método estructurado para establecer la mejor estrategia de mantenimiento de los activos físicos de una empresa, es una metodología muy poderosa que, cuando se aplica correctamente, puede generar mejoras significativas en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del equipo y el rendimiento de la planta, al mismo tiempo, garantizar que se optimice el dinero que se invierte en programas de mantenimiento predictivo y preventivo.

La empresa de servicios ROFER S.A.C que cuenta con maquinarias como cargadores frontales, chancadoras, retroexcavadoras, tren de pavimentación, entre otros, con el objetivo de definir un proceso sistemático de análisis que garantice la disponibilidad mecánica y seguridad de la operación de sus equipos con el menor costo posible aplicará el RCM a los activos físicos antes mencionados, en particular a un cargador frontal L120G por ser uno de los equipos que más usan.

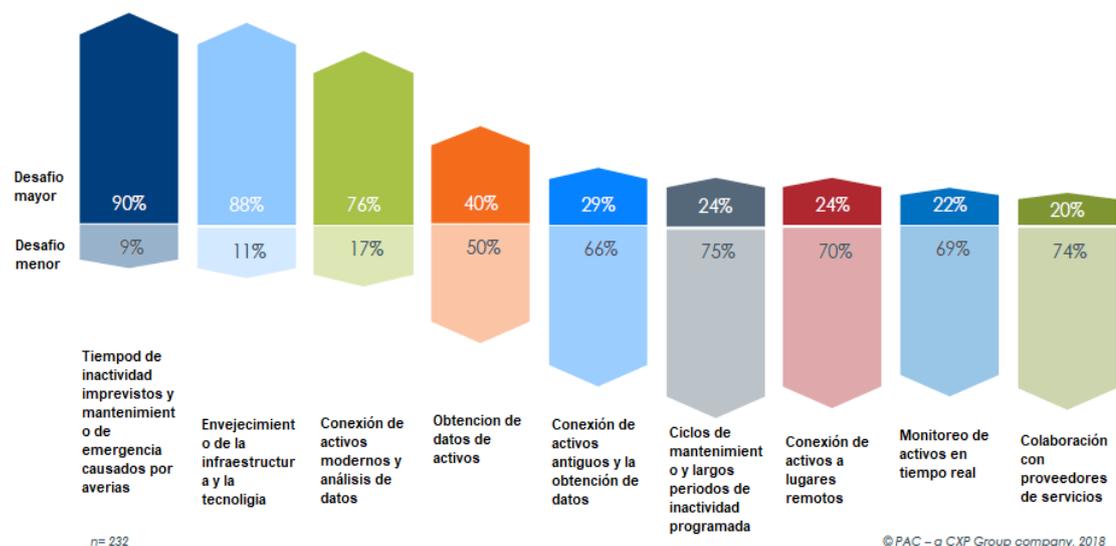
1.2. Descripción del problema de investigación

Según Infraspak Team (2022) un mantenimiento eficaz es fundamental para garantizar la competitividad y la productividad de una empresa, es una tarea ardua para los responsables de mantenimiento, sin duda, pero no es imposible prestar servicios de primera calidad con más agilidad y economía; el mantenimiento lo que busca es la reducción del *downtime* porque no solo mejora el tiempo de actividad, sino que también

aumenta la vida útil del equipo, ambas cosas tienen un impacto positivo en el retorno de la inversión de los equipos, con lo que aumentan los márgenes de beneficio, además influye en la sostenibilidad, ya que debemos utilizar los recursos durante el mayor tiempo posible y abandonar la “cultura europea del descarte”. Para las empresas europeas, los principales puntos críticos en el proceso de mantenimiento son el downtime no planeado y el mantenimiento de emergencia(90 %), el envejecimiento de la infraestructura y tecnología (88 %), la conexión de activos modernos y el análisis de datos(76 %), la obtención de datos de activos(40 %), la conexión de activos antiguos y la obtención de datos(29 %), los ciclos de mantenimiento(24 %), la conexión de activos a lugares remotos(24 %), el monitoreo de activos en tiempo real(22 %) y la colaboración con proveedores(20 %).

Figure 1

Principales puntos débiles en los procesos de mantenimiento existentes de organizaciones europeas



Fuente: CXP Group Report, 2018

Según Advanced Technology Services (ATS) (2020) para disminuir el downtime, el 46 % de las empresas pretenden introducir o alterar la estrategia de mantenimiento, el 46 % actualizar equipos, el 33 % mejorar y aumentar la frecuencia de capacitaciones, al 32 % les gustaría expandir sus capacidades de monitoreo y el 16 % pretende automatizar el análisis/downtime de máquinas. Además, el 13 % pretende aumentar el downtime programado, el 9 % contratar más técnicos de mantenimiento y el 9 % subcontratar servicios de mantenimiento.

Figure 2

Planes para disminuir el tiempo de inactividad no programado



Nota. De Infraspeak Team (2022). Estadísticas de mantenimiento: Desafíos, tendencias y métricas por Industrial Maintenance 2020 | Status, Trends + Forecasts Report, Advanced Technology, 2020

Según la Agencia Peruana de Noticias ANDINA (2021) solo el 75% de las empresas formales en el Perú tiene un plan de mantenimiento continuo de sus instalaciones por que han encontrado en ello una oportunidad para optimizar sus servicios volviéndose más rentables y productivas; además las

empresas que realizan autogestión de mantenimiento pueden ahorrarle por encima del 20% a sus clientes si opta por la tercerización sin embargo en una empresa se debe ir erradicando el concepto de tercerizar el servicio de mantenimiento dado que tiene un valor monetario alto, toda empresa industrial debe contar con un área dedicado exclusivamente a realizar la gestión del mantenimiento y para ello tiene que incluir a profesionales capacitados en la materia.

En la actualidad las empresas de construcción civil debido a la alta competencia que existe por ganar la buena pro en las obras de licitación pública, se ven obligadas a obtener valores muy elevados de producción y altos estándares calidad de su trabajo, procurando hacer uso del menor tiempo posible respecto a los plazos con el cumplimiento de los entregables.

La empresa ROFER CONSTRUCCIONES SAC realiza servicios de movimientos de tierras, pavimentación, alquiler de maquinaria y venta de agregados; cuenta con 7 activos físicos para realizar los trabajos de construcción civil, opera todos los días excepto domingos y feriados, el tiempo de trabajo es de 8 horas diarias; en el análisis realizado se determinó que el cargador frontal presentó 16 fallas durante el periodo julio 2020 – junio 2021, consecuencias de ello se usó 121 hora para corregir las fallas y tuvo un costo de mantenimiento de S/ 15 800. En la ejecución de los trabajos, realiza movimiento y carga de material suelto y para esto utiliza cargadores frontales; en muchas ocasiones la continuidad de los trabajos se vieron afectados por las constantes paradas de los equipos; estos hechos

son un indicador que la disponibilidad mecánica del cargador frontal no era el indicado; la baja disponibilidad mecánica se debe por lo general a una planificación y ejecución deficiente de la metodología del mantenimiento por lo que surgió la necesidad de buscar el mejoramiento de la disponibilidad del cargador frontal a partir de la metodología denominada “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad(RCM)”

También es necesario mencionar que la empresa de construcción civil no cuenta con el área o departamento de Mantenimiento explícitamente definido, si no cuenta con 4 técnicos en mantenimiento que realizan en su mayoría de veces el mantenimiento correctivo sin seguir el desarrollo de un plan que le permita llevar hacer el análisis del historial de fallas de los equipos y poder tomar las acciones que corresponden; producto de ello se ha observado lo siguiente:

- ✓ Si bien se tiene conocimiento de los equipos que fallan no se conoce el nivel de criticidad que poseen.
- ✓ No se ha llevado el análisis correspondiente de los modos y efectos de falla de cada uno de los activos físicos, por lo que se desconoce en qué etapa del ciclo de vida se encuentran dichos equipos.
- ✓ Como no se ha llevado ningún análisis de modos y efectos de fallas no se tiene datos estadísticos que me permitan conocer el tiempo medio entre fallas o el tiempo hasta el fallo, tampoco se conoce el

tiempo medio de reparación cuando ocurren las fallas, lo cual no permite conocer la disponibilidad mecánica de los equipos.

- ✓ El personal que se ocupa del mantenimiento muestra deficiencias en el conocimiento sobre las metodologías de mantenimiento de activos físicos, además desconocen cómo llevar a cabo la planificación de un sistema de mantenimiento que les permita conocer el porqué de las fallas y a partir de ello buscar mejoras para obtener beneficios no solamente económicos si no también ganarse un lugar en el mercado laboral por su calidad de servicio.

Los hechos mencionados son una evidencia que la gestión del mantenimiento que se viene realizando en la empresa ROFER SAC es ineficiente, por lo tanto, resulta necesario llevar a cabo la presente investigación teniendo como situación problemática la indisponibilidad alta de uno de los cargadores frontales con los que cuenta la empresa.

1.2.1 Problema general

- ✓ ¿En qué medida la ausencia de un plan de mantenimiento afecta la disponibilidad mecánica de un cargador frontal?

1.2.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cuáles son los activos físicos de la empresa de construcción civil que presentan un nivel de criticidad alta?

- ✓ ¿Cuáles son los modos y efectos de falla de los componentes o subsistemas del cargador frontal que presentan nivel crítico de disponibilidad?
- ✓ ¿Cuáles son las acciones que se deben tomar con los componentes o subsistemas del cargador frontal que presentan un nivel crítico de disponibilidad?

1.3. Objetivo de estudio

1.3.1. Objetivo general

- ✓ Desarrollar un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de un cargador frontal.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Identificar los activos físicos de la empresa de construcción civil que presentan un nivel de criticidad alta.
- ✓ Analizar los modos y efectos de fallas de los componentes o subsistemas de los activos físicos que presentan nivel crítico de disponibilidad
- ✓ Determinar las acciones correspondientes según el diagrama de decisión RCM para cada uno de los componentes o subsistemas del cargador frontal que presentan un nivel crítico de disponibilidad.

1.4. Antecedentes referenciales

1.4.1. Antecedentes referenciales internacionales

Castillo (2017) en su trabajo de investigación titulado “Propuesta de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema power oil de la estación Atacapi del B57-LI de Petroamazonas EP”, el autor su objetivo planteado fue aplicar la metodología del “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad” RCM a los equipos que componen la unidad de bombeo horizontal multietapas (HPS) para reducir en número de fallas imprevistas y reducir las pérdidas de producción de petróleo, concluyo que el RCM no pretende cambiar la estructura del trabajo, ni añadir tareas que no sean factibles de cumplir, simplemente se puede evidenciar cuales son los modos de falla y los equipos que mayor afectación tienen para poder tomar acciones proactivas y afianzar que el activo continúe cumpliendo su función.

También menciona que el RCM aplicado sistema Power Oil de la estación Atacapi, mejora notablemente el tiempo medio entre fallas y disminuye el número de fallas, esta reducción implica directamente una reducción de las pérdidas de producción de petróleo, reducción de costos de mantenimiento asociados con tiempo de horas hombre y costos de materiales y repuestos.

Zavala (2018) presentó su tesis denominada “Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en RCM para el Chancador Primario Fuller, Operación Mantoverde”, menciona en una de sus conclusiones que el desarrollo de la metodología RCM se enfoca en aplicar tareas de mantenimiento según sean

las causas de indisponibilidad en el sistema, de esta manera se realizan solo actividades necesarias para que el activo siga cumpliendo las funciones que los usuarios quieren que realice en su actual contexto operacional.

1.4.2. Antecedentes referenciales nacionales

Núñez (2016) presentó una tesis denominada “RCM para optimizar la disponibilidad de los tractores D8T en la EMPRESA ARUNTANI SAC – UNIDAD TUKARI”, el investigador menciona en sus conclusiones que la implementación de la gestión de mantenimiento aplicando los conceptos del RCM permite mejorar la disponibilidad mecánica de los equipos de la empresa”.

Pacheco (2018) presentó un trabajo de investigación denominada “Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM para la reducción de fallas de la maquinaria de la Empresa Hydro Pátapo S.A.C.”, la investigadora en sus conclusiones menciona que utilizando la metodología del RCM y el diagrama de Pareto, se determinó las máquinas críticas de la empresa, permitiendo determinar su tiempo de inoperatividad y los costos que surgen de los mismos. La metodología RCM, se apoya en sus herramientas, tales como el Árbol de fallas, Análisis de falla y efectos (AMFE), Hoja de información preventiva e intervalos de tiempos de programación para el análisis de las dos máquinas críticas, esto permitió realizar la propuesta de incorporar un área de Mantenimiento para desarrollar un Sistema de Gestión de Mantenimiento Preventivo basado en el RCM. Este sistema propone el desarrollo de un

procedimiento de mantenimiento preventivo, capacitaciones y cronograma de ejecución de las actividades para el sistema, se espera una mejor ejecución de los procesos, mayor control y mejor funcionamiento al menor costo posible.

Barsallo (2020) en su tesis denominada “Gestión del mantenimiento utilizando la herramienta RCM para aumentar la eficiencia de los vehículos de la Empresa Induamérica Servicios Logísticos S.A – Lambayeque”, después de concluir la investigación menciona que los vehículos presentan problemas en el motor y los componentes del sistema de frenos, fallas en el sistema eléctrico, derrame de líquidos, problemas con el sistema de aire y fallas en el sistema de transmisión, además afirma que las fallas más recurrentes son sobrecalentamiento del motor, descalibración de piezas interrupciones eléctricas en algunos sistemas, vibraciones constantes y fallas en el sistema de suspensión, entre otros menores como problemas con los neumáticos que es muy habitual en cualquier unidad”.

CAPITULO II – MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. Marco teórico

2.1.1 Gestión del Mantenimiento

La gestión del mantenimiento es un proceso de seguimiento a los activos físicos de una empresa con el fin de garantizarle al cliente interno o externo, que el parque industrial está disponible, cuando lo requiera con confiabilidad y seguridad total, durante el tiempo necesario para operar, con las condiciones técnicas y tecnológicas exigidas previamente, para producir bienes o servicios que satisfagan necesidades, deseos o requerimientos de los compradores o usuarios, con los niveles de calidad, cantidad y tiempo solicitados, en el momento oportuno al menor costo posible y con los mayores índices de productividad y competitividad.

2.1.2 Tipos de mantenimiento

Según Amendola, L. (2017) los tipos de mantenimiento usados en la industria son: Mantenimiento Correctivo, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Predictivo, Mantenimiento Proactivo.

a) *Mantenimiento Correctivo*

Para Amendola, L. (2017) es el mantenimiento que se ejecuta después de la aparición de un fallo para reestablecer un ISED “Infraestructura Sistema Equipos y Componentes” a una condición en donde cumpla la función para la cual es requerido.

Por su parte la norma ISO JA14224 (2016) define como el mantenimiento que se lleva a cabo después de haber reconocido la

existencia de una avería con el fin de devolver al componente en el estado que regrese a la función requerida.

b) *Mantenimiento Preventivo*

Para Amendola, L. (2017) es el mantenimiento que se ejecuta a intervalos predeterminados y/o de acuerdo a criterios prescritos, utilizando todos los medios disponibles, para determinar frecuencia de aparición de fallos, vida útil, etc. Busca reducir la probabilidad del fallo o la degradación del componente o equipo.

Los objetivos del mantenimiento preventivo son:

- ✓ Predecir y/o prevenir fallos.
- ✓ Detectar fallos en su fallo incipiente.
- ✓ Evitar degradación o deterioro del ISED y sus consecuencias negativas para el proceso productivo.

De igual manera la ISO 14224 (2016) define como mantenimiento realizado a intervalos predeterminados o según criterios prescritos y cuyo fin es reducir la probabilidad de avería o deterioro del funcionamiento de un equipo o activo.

c) *Mantenimiento predictivo*

Para Amendola, L. (2017) es el mantenimiento basado en análisis técnicos (Análisis de aceite, vibración, ultrasonido, termografía, pruebas no destructivas) y en la condición del equipo, antes de ocurrir una falla, sin detener el funcionamiento del mismo, para determinar la expectativa de vida de los componentes y reemplazarlos en tiempo óptimo.

Los objetivos del mantenimiento predictivo son:

- ✓ Aumento de la disponibilidad de la maquinaria.
- ✓ Mejora de la confiabilidad global.
- ✓ Menos pérdidas de materias prima por paradas no planificadas y re arranques.
- ✓ Reducción del índice de intervenciones / año de los equipos.
- ✓ Reducción del gasto en repuestos.
- ✓ Optimización del ciclo de vida.

d) *Mantenimiento Proactivo*

Según Amendola, L. (2017) el mantenimiento proactivo (Proactive Reliability Maintenance) ayuda a garantizar el mejor rendimiento de los activos de una planta. PAM es una estrategia de mantenimiento basada en RCM (Mantenimiento Centrado en fiabilidad), RCA (análisis de causa raíz), RAM (Estudios de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad), RBI (Inspección basada en riesgos), que ayuda a identificar los problemas en la maquinaria de la planta y evitar su repetición. Se basa en un método sistemático para clasificar la productividad de los activos e implementar las acciones correctivas para reducir los costes del ciclo de vida total. Le permite a una organización controlar totalmente lo que sucede dentro de su planta.

Los objetivos del mantenimiento proactivo son:

- ✓ Disminución en los costes derivados tanto de fallos como de mantenimiento inadecuado.
- ✓ Mejora de los procesos.

- ✓ Mejora de productividad.
- ✓ Optimización de costo, riesgo y desempeño.
- ✓ Mejora de la seguridad.
- ✓ Reducción de gastos en repuestos.
- ✓ Optimización del ciclo de vida.

2.1.3 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM):

Según Mora, L. (2011) menciona que el RCM Es una metodología que nos permite elegir la mejor estrategia de mantenimiento garantizando la confiabilidad y disponibilidad de los activos físicos considerados como críticos en la producción de una empresa.

Para llevar a cabo esta metodología nos debemos centrar en analizar y responder cada una de las siete interrogantes de forma minuciosa que a continuación se presenta:

- ✓ ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su contexto operacional actual?
- ✓ ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ✓ ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ✓ ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ✓ ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ✓ ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ✓ ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

El RCM nos permite identificar fallas funcionales a partir del conocimiento de las circunstancias y sucesos que permitieron que el activo falle, así mismo con esta metodología analizamos los modos y efectos de falla haciendo uso de un análisis minucioso de cada una de ellos, pero no esto no queda ahí, porque una vez identificado las fallas funcionales, modos y efectos de falla esta metodología teniendo en cuenta las consecuencias críticas de las misma considera medidas correctivas utilizando para ello un diagrama de decisiones que en algunas ocasiones por no ser suficiente se recurre a juicio de expertos en el campo del mantenimiento, dentro de estas medidas correctivas tenemos las siguientes:

Tareas proactivas que se dividen en tres categorías

Tareas de reacondicionamiento cíclicas, tareas de sustitución cíclica, tareas a condición, cada una de ellas se elige de acuerdo al estado crítico del componente.

Tareas a falta de

Este tipo de tareas están directamente relacionadas con el estado de falla y son elegidas cuando es difícil encontrar una tarea proactiva efectiva. Se agrupan en tres categorías: búsqueda de falla, rediseño y mantenimiento a rotura conocida también como “ningún mantenimiento programada” es decir se utiliza cuando la falla ha ocurrido.

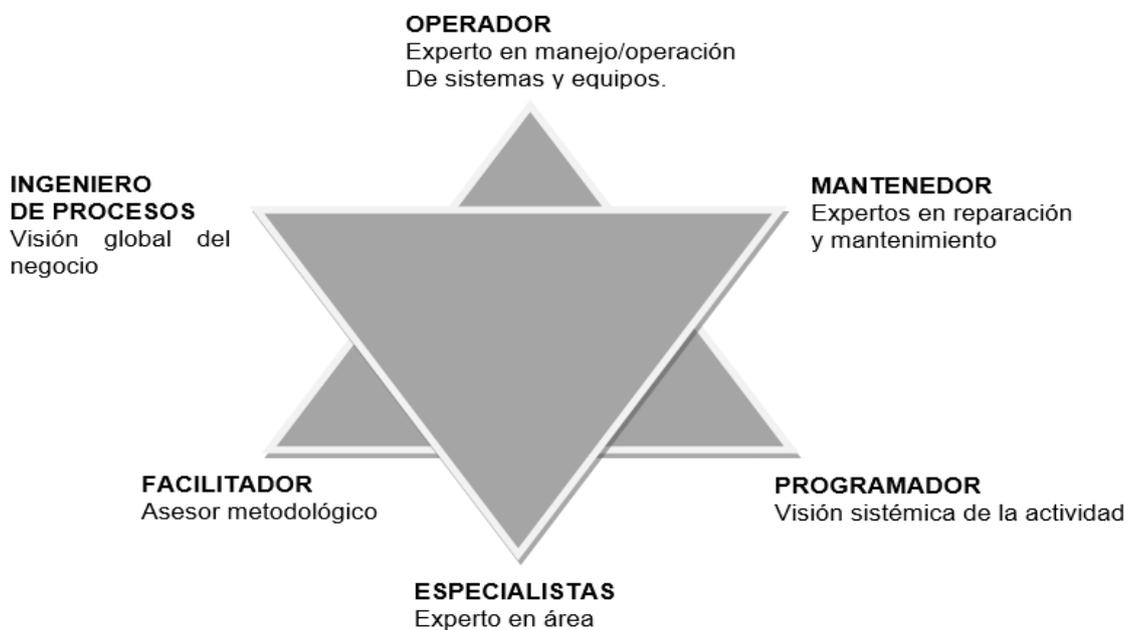
El RCM para elegir las tareas de mantenimiento que se debe hacer con cada uno de los casos críticos considera la categoría de las fallas, cada

una de ellas tienen sus consecuencias en particular, estos tipos de tareas son:

Tareas para fallas ocultas, tareas para fallas con consecuencias ambientales o para la seguridad, tareas si la falla tiene consecuencias operacionales y tareas si una falla tiene consecuencias no operacionales

El RCM al ser una metodología sigue los siguientes pasos:

- ✓ **Planificación:** consiste en decidir los bienes que obtendrán un mayor beneficio, evaluar los recursos necesarios para aplicar el RCM a los bienes seleccionados, decidir quién llevará a cabo el proceso y quién audita cada análisis, asegurar que se entienda claramente el contexto operativo del bien.
- ✓ **Grupos de revisión:** El grupo de revisión debe incluir personal de diversas áreas y cada miembro debe haber sido capacitado en RCM. Un ejemplo de grupo de revisión se muestra en la siguiente figura 3.

Figure 3*Integrantes de un Equipo Natural de Trabajo de RCM*

Fuente: Parra y Crespo “Ingeniería y aplicación práctica de un Modelo de Gestión del Mantenimiento

- ✓ **Facilitadores:** Su rol es el análisis de RCM se lleva a cabo al nivel correcto, que los límites del sistema están claramente definidos y que los resultados del análisis son registrados apropiadamente, además que todos los miembros del equipo comprendan y apliquen correctamente el proceso de RCM y que el análisis es planeado correctamente y termine en el tiempo previsto.
- ✓ **Resultados del análisis de RCM:** Es muy importante registrar los resultados para su análisis respectivo y a partir de ello saber si la

metodología que estamos empleando nos permite mejorar los niveles de disponibilidad mecánica

- ✓ **Auditorías e implementación:** Después de que se aprueba cada revisión, las recomendaciones se implementan incorporando rutinas de mantenimiento en las planificaciones y sistemas de control, cambios en los procedimientos operativos del bien, y proveyendo recomendaciones de modificaciones de diseño a las autoridades del sector correspondiente.

2.1.4 Funciones

Según Moubray, (2004), que la definición de las funciones de un activo debe consistir de un verbo, un objeto y un estándar de funcionamiento deseado por el usuario. (p.23)

Según la norma SAE J1012 (2002) define la función de un activo físico o sistema como lo que el dueño o usuario desea que realice dicho sistema (p.06).

Por su parte la norma SAE JA1011 (1999), el contexto operacional del activo debe ser definido, y todas las funciones de los activos deben ser identificadas. Las funciones se dividen en dos categorías principales: funciones primarias y secundarias.

Funciones primarias

Moubray, (2004), son la razón principal de porque es adquirido y existe el activo físico, por eso se debe definir las tan precisamente como sea posible. Las funciones primarias son fáciles de reconocer, el nombre de la mayoría de los activos físicos industriales se basa en su función primaria. (p.37)

Funciones secundarias

Moubray, (2004), explica que la mayoría de los activos cumplan una o más funciones además de la primaria, las cuales se conocen como funciones secundarias. La función o funciones secundarias son menos obvias que la principal, pero a veces requieren mayor atención y las consecuencias de falla de estas pueden ser de mayor gravedad que las primarias, por lo que deben ser claramente identificadas. (p.39, 40)

2.1.5 El contexto operacional

El contexto operativo se puede definir como el conjunto de condiciones reales del proceso bajo las cuales opera el equipo, también incluye todos los criterios y parámetros de desempeño deseados por el usuario. Este contexto se puede definir a partir de los diagramas y descripciones del proceso en el que opera el equipo, así como de las entrevistas con el personal de producción, operación y mantenimiento. Es importante analizar y comprender el contexto operativo antes de iniciar el RCM.

2.1.6 Falla Funcional

Moubray, (2004) define una “falla” como el estado de incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga, concepto aplicado a un activo como un todo. Esta definición requiere se amplíe tomando en cuenta el estado de falla (falla funcional) y los eventos que causan este estado de falla (modos de falla). Adicional cada activo tiene más de una función, y por lo general cada función tiene más de un estándar de funcionamiento deseado. (p.49)

Cada activo tiene más de una función, por lo tanto, al ser posible que cada una de éstas falle, se deduce que cualquier activo puede tener una variedad de estados de fallas diferentes. Entonces es preciso definir una falla en términos de “perdida de una función específica” y no con la “falla del activo como un todo”. Dado que este se aplica a funciones individuales, podemos definir una falla funcional como: *“la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario”* (Moubray J. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. 2004, p, 50)

2.1.7 Modo de falla

Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funciona. (Moubray J. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. 2004, p, 56)

Moubray, (2004) explica que la descripción de un modo de falla como mínimo debe consistir de un sustantivo y un verbo. (p.57)

Moubray, (2004) explica que, si se plantea realizar verdaderamente un mantenimiento proactivo a los activos, se debe conocer por adelantado que eventos de falla pueden ocurrir (modos de falla), una vez identificados los modos de falla es posible evaluar que sucede cuando ocurren, evaluar consecuencias y decidir acciones, como anticipar, prever, corregir o hasta rediseñar. (p, 58)

La SAE JA1012 (2002) explica que se identificarán todos los modos de falla que sean causa razonablemente probable de cada falla funcional, a un nivel que sea posible identificar una política apropiada de gestión de la falla. (p, 14)

2.1.8 Efectos de falla

Moubray, (2004) explica que los efectos de la falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla, dentro de la descripción de estos efectos se debe incluir la información necesaria para la evaluación de las consecuencias de las fallas. Efecto de falla es diferente de consecuencia de falla, el efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, consecuencia de falla responde a ¿Qué importancia tiene? (p. 76-77)

2.1.9 Consecuencias de la falla

Moubray, (2004) explica que, si las consecuencias de una falla son serias, se harán esfuerzos para evitar, eliminar o minimizar las mismas, sobre todo si la falla puede herir o matar una persona, o si tiene efectos serios sobre el medio ambiente. Aplica también si las fallas afectan la

producción, las operaciones o si tienen daños secundarios significativos. (p. 95).

Además, explica que se debe decidir si merece la pena realizar algún tipo de tarea proactiva considerando los criterios utilizados para evaluar las consecuencias de la falla. (p. 96).

Sexto L, (2014), menciona que las consecuencias del fallo pueden dividirse de la siguiente manera:

- ✓ Consecuencias de los fallos ocultos.
- ✓ Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente
- ✓ Consecuencias operacionales
- ✓ Consecuencias no operacionales.

2.1.10 Cargador frontal

Un cargador frontal es un equipo tractor, montado en orugas o ruedas, que tiene una cuchara o pala de gran tamaño en su extremo frontal. Los cargadores frontales son equipos de carga, acarreo y eventualmente excavación. En el caso de acarreo se recomienda utilizarlo solo en distancias cortas.

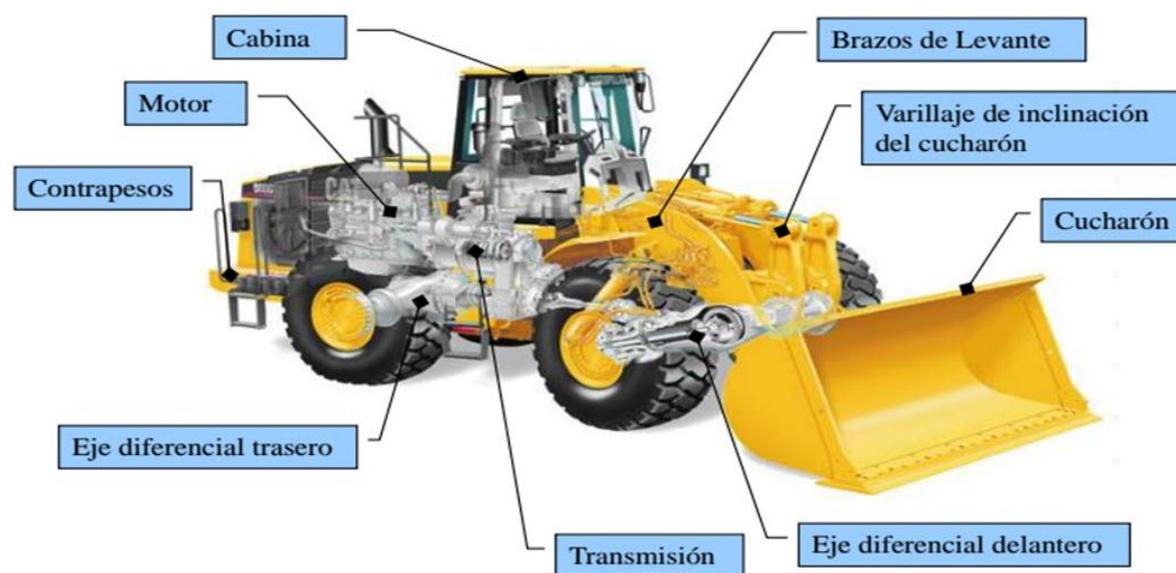
2.1.11 Principales componentes de un cargador frontal

Entre los principales componentes de un cargador frontal tenemos: El motor, la cabina, brazos de levante, varillaje de inclinación del cucharón,

cucharón, eje diferencial delantero, transmisión, eje diferencial trasero y contrapesos.

Figure 4

Componentes Principales de un Cargador Frontal



Fuente: recuperado de <https://maqpe.com/cargador-frontal/>

2.1.12 Detalles del cargador frontal L120G

a) Detalles del motor

El cargador frontal L120G consta de un motor diésel turboalimentado en línea de 8 litros y 6 cilindros con un avanzado sistema de inyección de combustible y tecnología Common Rail. El combustible se distribuye sometido a alta presión por un acumulador de alta presión. Una bomba de alta presión impulsada por el árbol de levas suministra el combustible, mediante conductos de alta presión, hasta los inyectores de combustible

electrohidráulicos. Se produce la recirculación de los gases de escape refrigerados y filtro de partículas con regeneración activa y pasiva.

Limpieza de aire: prefiltro ciclónico de tres etapas – filtro primario - filtro secundario.

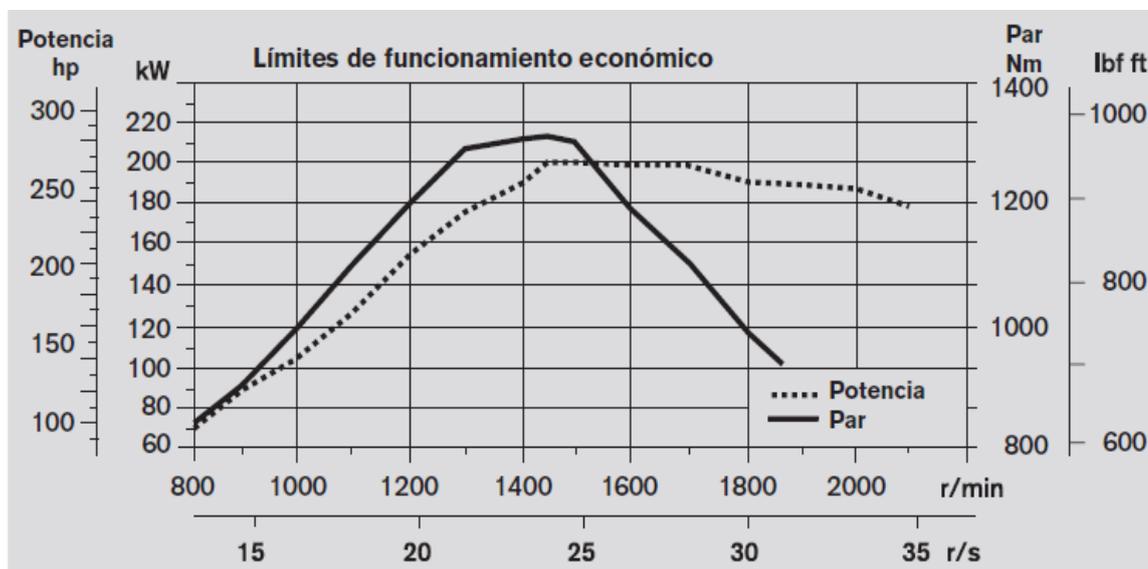
Sistema de refrigeración: ventilador hidrostático, controlado electrónicamente e intercooler aire-aire.

Tabla 1

Especificaciones Técnicas del Motor de un Cargador Frontal L120G

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR DE UN CARGADOR FRONTAL L120G			
Motor			D8H(Tier 4i) D8H (Etapa IIIB)
Potencia	máxima	a	28,3(1700)
r/s(rpm)			
SAEJ119 bruta		kW(CV)	201 (273)
ISO 9249, SAEJ1349 neta		kW(CV)	200 (272)
Par	máximo	a	25,0 (1500)
r/s(RPM)			
SAE J1995 bruta		Nm	1320
ISO 9249, SAE J1349 neta		Nm	1312
Rango de funcionamiento económico		rpm	850 – 2100
Cilindrada			7,75
I			

Fuente: Ficha técnica del cargador frontal L120G

Figure 5*Límites de Funcionamiento Económico del Motor*

Fuente: Ficha técnica del cargador frontal L120G

b) Detalle de la línea motriz

La línea motriz consta de:

Convertidor de par: de etapa simple.

Transmisión: transmisión de contra eje Volvo con control de palanca simple. Cambio de velocidades rápidas y suaves con válvula de modulación por anchura de impulso (PWM).

Transmisión: Transmisión servoasistida automática (APS) de Volvo con cambio de marchas 1 – 4 totalmente automático y selector de modo con 4 programas diferentes de cambio de marchas, incluyendo un modo AUTO.

Ejes: semiejes totalmente flotantes de Volvo con reductores planetarios de cubo y carcasa del eje de fundición. Eje delantero fijo y eje trasero oscilante. Bloqueador de diferencial de bloqueo total en el eje delantero.

Tabla 2

Especificaciones Técnicas de la Línea Motriz de un Cargador Frontal

L120G

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA LÍNEA MOTRIZ DE UN CARGADOR FRONTAL		
L120G		
Transmisión	Volvo	HTE 206
Multiplicación de par,		2,47:1
Velocidad máxima	1 ^a	7,0
km/h		
Marcha adelante/atrás	2 ^a	13,5
km/h		
	3 ^a km/h	28,0
	4 ^a km/h	40,0
Medida de neumáticos		750/65R25
Eje delantero/eje trasero		AWB 31/AWB30
Oscilación del eje trasero	±	±13
°		
Altura libre sobre el suelo con una oscilación de 13°	mm	460

Fuente: Ficha técnica del cargador frontal L120G

c) Detalles del sistema eléctrico central

Sistema de advertencia central: Presenta un sistema eléctrico Contronics con luz de advertencia central y zumbador para las siguientes funciones:

- ✓ Avería grave del motor

- ✓ Presión del sistema de dirección baja
- ✓ Aviso de sobre régimen del motor
- ✓ Interrupción de la comunicación (error informático).

La Luz de advertencia central y zumbador con la marcha engranada es utilizada para las siguientes funciones:

- ✓ Presión de aceite del motor baja
- ✓ Temperatura de aceite del motor alta
- ✓ Temperatura del aire de admisión alta
- ✓ Nivel de refrigerante bajo
- ✓ Temperatura de refrigerante alta
- ✓ Presión del cárter alta
- ✓ Presión de aceite de la transmisión baja
- ✓ Temperatura de aceite de la transmisión alta
- ✓ Presión de frenos baja
- ✓ Freno de estacionamiento aplicado
- ✓ Fallo en la carga de los frenos
- ✓ Nivel de aceite hidráulico bajo
- ✓ Temperatura de aceite hidráulico alta
- ✓ Sobre régimen en la marcha engranada
- ✓ Temperatura de aceite de refrigeración de los frenos alta en los ejes delantero y trasero.

Tabla 3

Especificaciones Técnicas del Sistema Eléctrico Central de un Cargador Frontal L120G

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO CENTRAL DE UN CARGADOR FRONTAL L120G		
Tensión	V	24
Baterías	V	2 x 12
Capacidad de la batería	Ah	2 x 170
Capacidad de arranque en frío, aprox.	A	1000
Capacidad nominal del alternador	W/A	3420/110
Potencia del motor de arranque	kW	5,5

Fuente: Ficha técnica del cargador frontal L120G

d) Detalles del sistema de frenos

Freno de servicio: Sistema de dos circuitos de Volvo con acumuladores de nitrógeno. Frenos de disco húmedos refrigerados por aceites completamente herméticos, operados de forma hidráulica. El operador puede seleccionar el desembrague automático de la transmisión al frenar mediante un interruptor en el pilar A.

Freno de estacionamiento: Freno multidisco húmedo completamente hermético integrado en la transmisión. Se aplica por fuerza de resorte y se libera de forma electrohidráulica con un interruptor en el tablero de instrumentos.

Freno secundario: circuitos dobles de frenado con acumuladores recargables. Un circuito o el freno de estacionamiento cumple todas las medidas de seguridad.

Normas: El sistema de frenos cumple la normativa ISO 3450.

Tabla 4

Especificaciones Técnicas del Sistema de Frenos de un Cargador Frontal L120G

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE FRENOS DE UN CARGADOR FRONTAL L120G	
Número de discos de freno por rueda	1
Acumuladores	3 x 1,0
I	

Fuente: Ficha técnica del cargador frontal L120G

e) Detalles de la cabina

Instrumentos: Toda la información importante está situada en el centro del campo de visión del operador. Pantalla para el sistema de supervisión Contronic.

Calefactor y desempañador: Calefactor con filtrado del aire exterior y ventilador con auto y 11 velocidades. Difusores del desempañador en todas las ventanas.

Asiento del operador: asiento ergonómico con suspensión regulable y cinturón de seguridad retráctil. El asiento está apoyado en un soporte en la pared trasera de la cabina y el suelo. Los rieles del asiento absorben la fuerza del cinturón de seguridad retráctil.

Normas: La cabina ha sido probada y certificada según ROPS (ISO 3471, SAE J1040) y FOPS (ISO 3449). La cabina cumple los requisitos de conformidad con ISO 6055 (Protección estructural del operador - carretillas industriales) y SAE J386 (“Sistema de retención del operador”).

Tabla 5

Especificaciones Técnicas de la Cabina de un Cargador Frontal L120G

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA CABINA			
Salida de emergencia:	Utilice el martillo de emergencia para romper la ventanilla		
Nivel del sonido en la cabina conforme a ISO 6396/SAE	J2105		68
dB(A)			
Nivel de sonido en el exterior conforme a ISO 6395/SAE	J2104		106
dB(A)			
Ventilación	m3/min		9
Capacidad de calefacción	kW		16
Aire acondicionado (opcional)	kW		7,5

Fuente: Ficha técnica del cargador frontal L120G

f) Detalles del sistema de brazos de elevación

Cinemática TP con elevado par de arranque y movimiento paralelo de los brazos en todo el recorrido de la elevación.

Tabla 6

Especificaciones Técnicas del Sistema de Brazos de Elevación de un Cargador Frontal L120G

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE BRAZOS DE ELEVACIÓN DE UN CARGADOR FRONTAL L120G		
Cilindros de elevación	und	2

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE BRAZOS DE ELEVACIÓN DE UN
CARGADOR FRONTAL L120G**

Diámetro interior del cilindro	mm	150
Diámetro del vástago del pistón		80
mm		
Carrera		676
mm		
Cilindro de basculamiento	und	1
Diámetro interior del cilindro	mm	210
Diámetro del vástago del pistón		110
mm		
Carrera		412
mm		

Fuente: Ficha Técnica del Cargador Frontal L120G

g) Detalles del sistema hidráulico

Alimentación del sistema: dos bombas sensibles a la carga de pistones axiales con caudal variable. El sistema de la dirección siempre tiene prioridad.

Válvulas: Válvula de 2 correderas de doble efecto. La válvula principal se regula con una válvula auxiliar de 2 correderas.

Función de elevación: la válvula tiene tres posiciones: elevación, retención y posición inferior. El automatismo inductivo/magnético de los brazos puede conectarse o desconectarse y es regulable en cualquier posición entre el alcance máximo y la altura de elevación máxima.

Función de basculamiento: la válvula tiene tres funciones, incluyendo la recogida, retención y descarga. El automatismo

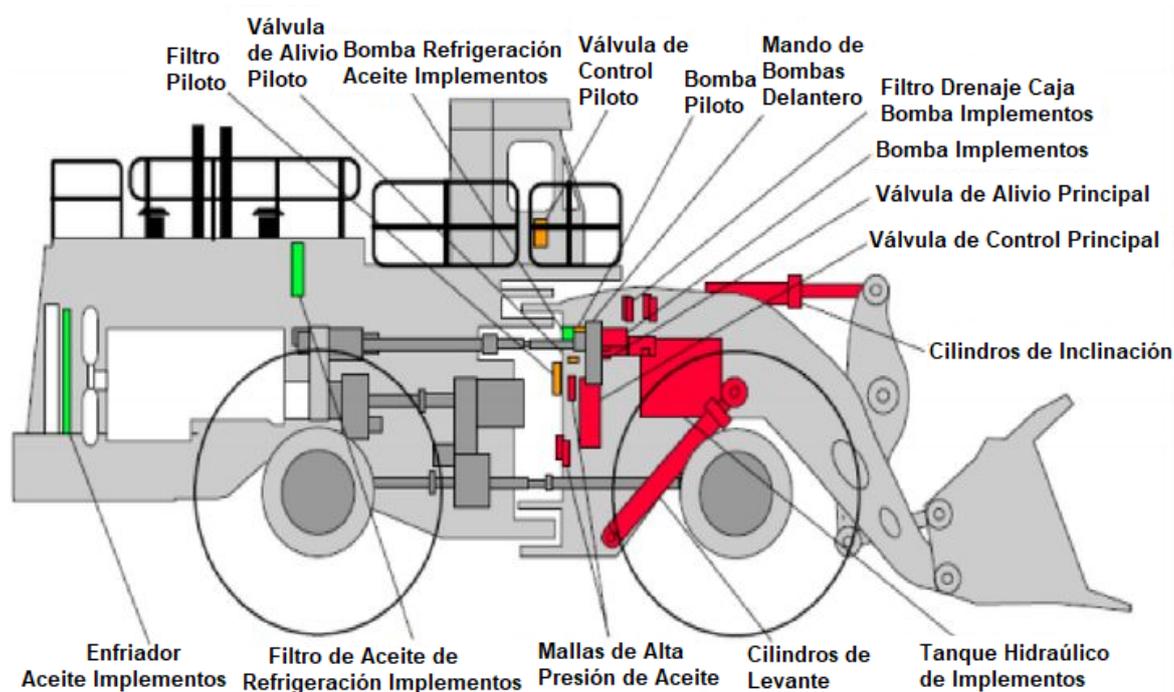
inductivo/magnético del basculamiento puede ajustarse al ángulo de la cuchara que se desee.

Cilindros: cilindros de doble efecto para todas las funciones

Filtro: Filtrado de paso total por un cartucho de 10 micras (absoluto).

Figure 6

Sistema Hidráulico de un Cargador Frontal



Fuente: Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/13890827/>

Tabla 7

Especificaciones Técnicas del Sistema Hidráulico de un Cargador Frontal

L120G

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE UN CARGADOR
FRONTAL L120G**

Máxima presión operativa, bomba 1 para el sistema hidráulico en **29,0 ± 0,5**

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA HIDRAÚLICO DE UN CARGADOR
FRONTAL L120G**

funcionamiento			
MPa			
Caudal			135
l/min			
a			10
Mpa			
Régimen del motor		r/s	32(1900)
(rpm)			
Máxima presión operativa, bomba 2 para el sistema de la dirección, frenos,			31,0 ± 0,5
sistema	piloto	y	trabajo
MPa			
Caudal			135
l/min			
a			10
Mpa			
Régimen del motor		r/s	32(1900)
(rpm)			
Máxima presión operativa, bomba 3 para el sistema de frenos, y del			21,0 ± 0,5
ventilador	de	refrigeración.	
MPa			
Caudal			33
l/min			
a			10
Mpa			
Régimen del motor		r/s	32(1900)
(rpm)			
Servosistema,	presión	de	trabajo
MPa			
Tiempos de ciclo			
Elevación			5,4
s			
Basculamiento			2,1
s			
Descenso, vacía			2,5
s			
Tiempo total del ciclo			10,0

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA HIDRAÚLICO DE UN CARGADOR
FRONTAL L120G**

s

Fuente: Ficha técnica del cargador frontal L120G

h) Detalles del sistema de dirección

Sistema de dirección: Dirección articulada, hidrostática y sensible a la carga.

Alimentación del sistema: Una bomba sensible a la carga de pistones axiales con caudal variable da prioridad a la alimentación del sistema de dirección.

Cilindros de dirección: Dos cilindros de doble efecto.

Tabla 8

Especificaciones Técnicas del Sistema de Dirección de un Cargador

Frontal L120G

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN DE UN CARGADOR
FRONTAL L120G**

Cilindros de dirección			und	2
Diámetro	interior	del	cilindro	80
			mm	
Diámetro del Vástago			mm	50
Carrera			mm	486
Presión de trabajo			MPa	21,0
Caudal máximo			l/min	120
Articulación			Máxima	40
\pm				

Fuente: Ficha técnica del cargador frontal L120G

i) Detalles del acceso al mantenimiento

Accesibilidad para mantenimiento: capo de grandes dimensiones, fácil de abrir, que cubre la totalidad del compartimento del motor, con accionamiento eléctrico. Los filtros de líquidos y los filtros del aire de ventilación de componentes proporcionan largos intervalos de servicio. Posibilidad de supervisar, registrar y analizar datos para facilitar la localización y solución de fallos.

Tabla 9

Especificaciones Técnicas del Sistema de Mantenimiento de un Cargador Frontal L120G

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO DE UN CARGADOR FRONTAL L120G			
Depósito	de	combustible	269
Refrigerante del motor			43
Depósito de aceite hidráulico			133
Aceite de la caja de cambios			38
Aceite de motor			22
Aceite de los ejes – delantero			36

Fuente: Ficha técnica del cargador frontal L120G

j) Mantenimiento

Según García, S. (2012) el mantenimiento se define habitualmente como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento. Además, el

objetivo fundamental de mantenimiento no consiste en reparar de manera urgente las averías que surjan, sino que debe existir un departamento que se ocupe del mantenimiento teniendo en cuenta cuatro objetivos que deben marcar y dirigir su trabajo:

- ✓ Cumplir un valor determinado de disponibilidad.
- ✓ Cumplir un valor determinado de fiabilidad.
- ✓ Asegurar una larga vida útil de la instalación en su conjunto, al menos acorde con el plazo de amortización de la planta.
- ✓ Conseguir todo ello ajustándose a un presupuesto dado, normalmente el presupuesto óptimo de mantenimiento para esa instalación.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Análisis de criticidad

Para García, O (2012) es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos).

2.2.2. Análisis de modo y efectos de fallas (AMEF):

Es un método sistemático que permite identificar los problemas antes de que ocurran y puedan afectar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado.

El objetivo básico del AMEF es encontrar todas las formas o modos en los que puede fallar un activo dentro de un proceso, e identificar las posibles consecuencias de fallos en función de tres criterios básicos del RCM: seguridad humana, seguridad del medio ambiente e impacto en la producción.

2.2.3. El diagrama de decisión (Anexo F):

Es el encargado de relacionar la información recolectada y las tareas de mantenimiento que se aplicarán para reducir la probabilidad o evitar de las fallas funcionales.

2.2.4. La hoja de información (Anexo D)

Es la encargada de recoger las funciones, fallas funcionales, modos de avería y efectos de las averías.

2.2.5. La hoja de decisión (Anexo E)

Es la encargada de la evaluación de las consecuencias de cada modo de avería y la selección de las tareas de mantenimiento más adecuadas. La hoja de decisión R.C.M. es una herramienta que se utiliza para registrar las respuestas a las preguntas del diagrama de decisión. También posibilita elegir de manera óptima la actividad de mantenimiento adecuada para cada máquina, y así eludir posibles efectos de cada modo de falla.

2.2.6. Confiabilidad

Según Mora, L (2011) lo define como la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña durante un periodo de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno. El indicador de la confiabilidad es el MTTF (Tiempo promedio operativo hasta el fallo).

$$\mathbf{CONFIABILIDAD = MTTF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} TTF_i}{n}}$$

TTF_i: Tiempos operativos hasta el fallo

n: número total de fallos en el periodo evaluado

2.2.7. Mantenibilidad:

Se denomina mantenibilidad a la probabilidad de que un elemento, máquina o dispositivo, puedan regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica realizar unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción. La mantenibilidad se caracteriza por el tiempo promedio para reparar (MTFS = MDT).

$$\mathbf{MANTENIBILIDAD = MTFS = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} DT_i}{n}}$$

DT_i: tiempos fuera de servicio

n: número total de fallos en el periodo evaluado

2.2.8. Disponibilidad

La disponibilidad es una función de la confiabilidad y la mantenibilidad, es la función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible y cumplir la función para lo cual fue destinado.

Según Parra, C. & Crespo, A. (2012) a través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el MTTF y el MTFS, es posible evaluar las distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.

$$\mathbf{DISPONIBILIDAD} = \frac{\mathbf{MTTF}}{\mathbf{MTTF + MTFS}} \cdot \mathbf{100\%}$$

MTTF: Tiempo promedio operativo hasta el fallo

$$\mathbf{MTTF} = \frac{\mathbf{N^{\circ} de horas de operación}}{\mathbf{N^{\circ} de paradas correctivas}}$$

MTFS: Tiempo promedio fuera de servicio

$$\mathbf{MTFS} = \frac{\mathbf{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{\mathbf{N^{\circ} de reparaciones correctivas}}$$

2.2.9. Tiempo promedio operativo hasta el fallo (MTTF)

Indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo, es decir es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento del fallo. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo.

$$MTTF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}}$$

2.2.10. Tiempo promedio fuera de servicio (MTFS)

Indica el intervalo del tiempo de reparación más probable de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un periodo determinado.

$$MTFS = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{N^{\circ} \text{ de reparaciones correctivas}}$$

2.2.11. Contronics

Es un sistema que transmite al operador diagnósticos necesarios por una pantalla, lo que permite detectar los problemas a tiempo para reducir las paradas y aumentar la seguridad.

2.2.12. Caja de cambios APS

Sirve para que la máquina seleccione siempre la marcha más adecuada en función de la velocidad, el kick down y el freno motor para ahorrar combustible.

2.2.13. Filtro de partículas diésel

Incluye un catalizador de oxidación y un quemador de regeneración para quemar los humos de escape y reducir las emisiones.

2.2.14. Sistema hidráulico sensible a la carga

Está compuesto por bombas de pistones axiales y caudal variable para un control superior y una gran fuerza de arranque.

2.2.15. CareTrack

Es un sistema de telemática de Volvo. Se instala de serie en este vehículo y está diseñado para transmitir información que ayuda a mejorar la productividad y el rendimiento.

2.2.16. Ventilador de refrigeración hidráulico

El ventilador de refrigeración hidráulico de regulación electrónica sólo funciona cuando es necesario para ahorrar combustible. El ventilador está situado detrás del motor y el radiador y aumenta la velocidad cuando es necesario. Se obtiene una mayor potencia del motor, un menor consumo de combustible y menores niveles de ruido.

2.2.17. Filtro de partículas diésel

El filtro de partículas diésel (DPF) incluye un catalizador de oxidación y un quemador de regeneración que funciona mientras utiliza la máquina. El sistema retiene temporalmente los gases de escape y después los quema, lo que reduce las emisiones. El proceso disminuye las emisiones sin detener la producción.

2.2.18. Pedal ecológico

El ecopedal ofrece una cantidad determinada de resistencia mecánica que hace que el operador pise el pedal del acelerador con menos fuerza. Este eficiente sistema estimula el ahorro del operador evitando un consumo excesivo del combustible.

2.2.19. Caja de cambios automática APS

Con la caja de cambios APS (Automático Power Shift) la máquina selecciona siempre la marcha más adecuada en función de la velocidad, el kick down y el freno motor. La caja de cambios FAPS (Fully Automatic Power Shift) cambia a 1ª cuando se requiere más potencia para reducir el consumo de combustible.

CAPITULO III – HIPÓTESIS Y ADMINISTRACIÓN DE VARIABLES

3.1. Hipótesis general

“El desarrollo de un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad mejorará significativamente la disponibilidad mecánica del cargador frontal”.

3.2. Hipótesis específica

- ✓ La identificación de los activos físicos de la empresa de construcción civil que presentan nivel de criticidad alta permitirá enfocar el plan de mantenimiento en el cargador frontal.

- ✓ El análisis de los modos y efectos de falla a través de una matriz cualitativa permitirá conocer los riesgos de falla de los componentes o subsistemas del cargador frontal con nivel de disponibilidad mecánica crítica.

- ✓ Las acciones que emanan de la metodología RCM que pueden ser tareas periódicas de mantenimiento, nuevos procesos de mantenimiento, rediseño o cambio total de los componentes con nivel crítico permitirá mejorar la disponibilidad mecánica del cargador frontal en su conjunto.

3.3. Administración de las variables

Tabla 10

Administración de la Variable Independiente

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	Conjunto de actividades determinadas a partir de una metodología desarrollada con la finalidad de identificar activos o componentes físicos con nivel de criticidad alto y a partir de ello tomar acciones que permitan mejorar las funciones de los mismos y mitigar las consecuencias de sus fallas.	ANÁLISIS DE CRITICIDAD	Impacto a la operación Impacto al mantenimiento Costo de Mantenimiento Impacto de seguridad Impacto medio ambiente Ocurrencia de falla
		ANÁLISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS	Modos de falla Efectos de falla Acciones a tomar

Tabla 11

Administración de la Variable Dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Disponibilidad de los activos físicos	Capacidad de un activo físico para realizar su función requerida bajo condiciones específicas	CONFIABILIDAD	Tiempo promedio entre fallas
		MANTENIBILIDAD	Tiempo promedio para reparar

CAPITULO IV – METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo, nivel y diseño de la investigación

4.1.1. Tipo de investigación

Por el tipo de investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación experimental, porque busca medir el efecto – causa de variables relacionadas en razón a un grupo de control que busca certificar la validez interna de la prueba.

4.1.2. Nivel de investigación

De acuerdo con la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio aplicativo y explicativo.

✓ **Aplicativo**, porque plantea resolver un problema en base a procesos, sus resultados y su impacto.

✓ **Explicativo**, porque busca explicar el comportamiento de una variable en función a otras.

4.1.3. Diseño de investigación

Esta investigación corresponde a un diseño experimental.

4.2. Población y muestra

✓ **Población:** 7 Activos físicos de la Empresa ROFER Construcciones SAC

✓ **Muestra:** 1 Cargador frontal marca Volvo L120G

4.3. Fuentes de información técnica e instrumentos de recolección y procesamiento de datos

- ✓ Archivos documentados en el área de mantenimiento de la empresa ROFER SAC.
- ✓ Matriz de criticidad.
- ✓ Matriz de análisis de modos y efectos de fallo.
- ✓ Diagrama de decisión RCM.
- ✓ Programa Microsoft Excel
- ✓ Juicio de expertos

4.4. Unidad de análisis

El cargador frontal L120G es de propiedad de la empresa ROFER Construcciones SAC ubicada en Av. Los Pinos 890 – Urb. Los Halcones - Chaclacayo – Lima – Perú, su lugar de operación del cargador frontal es Minería Gloria Grande (Urbanización Colinas de la Gloria) – Ate - km 14 + 800 Carretera Central (acceso 2.5 km hacia la Urb. Gloria Grande), la obra que viene realizando la empresa es movimiento de tierra para la Inmobiliaria LGP, en torno a este contexto de operación se tiene previsto contar con la siguiente información:

- ✓ Describir el funcionamiento del Departamento de Mantenimiento encargado del mantenimiento del cargador frontal L120G.

- ✓ Conocer los tipos de Mantenimiento utilizados por el departamento de mantenimiento.
- ✓ Conocer el funcionamiento de cada uno de los componentes del cargador frontal.
- ✓ Registro de intervenciones del cargador frontal L120G.
- ✓ Registro histórico de cambio de los componentes del cargador frontal L120G.
- ✓ Registro de reparaciones de importancia de los componentes del cargador frontal L120G.
- ✓ Registro actual e histórico del plan de mantenimiento aplicado Al cargador frontal L120G.
- ✓ Definir la criticidad de los componentes del cargador a través de la matriz de criticidad, herramienta empleada en el mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- ✓ Plantear los pasos del RCM con la información analizada en los puntos anteriores.
- ✓ Desarrollar la metodología RCM y finalmente entregar un plan de mantenimiento Basado en RCM.

4.5. Periodo de análisis

El presente trabajo de investigación se realizó en un periodo de 02 años, que se divide en dos etapas, la primera etapa inicia con el análisis de la información del historial de mantenimiento del Cargador Frontal L120G desde el 01/07/2020 hasta el 30/06/2021; la segunda etapa inicia con la aplicación del RCM desde 01/07/2021 culminando el 30/06/2022.

4.6. Matriz de consistencia

Tabla 12

Matriz de Consistencia de la investigación

TITULO: "PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE UN CARGADOR FRONTAL DE UNA EMPRESA CONSTRUCCIÓN CIVIL"				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES INDEPENDIENTES	TIPO DE INVESTIGACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> ✓ ¿En qué medida la ausencia de un plan de mantenimiento afecta la disponibilidad mecánica de un cargador frontal? 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Desarrollar un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de un cargador frontal. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ "El desarrollo de un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad mejorará significativamente la disponibilidad mecánica del cargador frontal". 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mantenimiento Centrado en la confiabilidad. Dimensiones ✓ Análisis de criticidad ✓ Análisis modal de fallas y efectos Indicadores ✓ Impacto a la operación ✓ Impacto al mantenimiento ✓ Costo de mantenimiento ✓ Impacto de seguridad ✓ Impacto medio ambiente ✓ Ocurrencia de falla ✓ Modos de falla ✓ Efectos de falla 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Experimental. NIVEL DE INVESTIGACION ✓ Aplicativo ✓ Explicativo DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN ✓ Experimental POBLACIÓN Y MUESTRA ✓ Población: Activos físicos de la Empresa ROFER SAC ✓ Muestra: Cargador frontal L120G
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICAS	VARIABLES DEPENDIENTES	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ ¿Cuáles son los activos físicos de la empresa de construcción civil que presentan un nivel de criticidad alta? ✓ ¿Cuáles son los modos y efectos de falla de los 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identificar los activos físicos de la empresa de construcción civil que presentan un nivel de criticidad alta. ✓ Analizar los modos y efectos de fallas de los componentes o subsistemas de los activos físicos que 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La identificación de los activos físicos de la empresa de construcción civil que presentan nivel de criticidad alta permitirá enfocar el plan de mantenimiento en el cargador frontal. ✓ El análisis de los modos y efectos de falla a través de una matriz cualitativa 	<ul style="list-style-type: none"> VARIABLES DEPENDIENTES ✓ Disponibilidad de los activos físicos. Dimensiones ✓ Confiabilidad ✓ Mantenibilidad 	

TITULO: “PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE UN CARGADOR FRONTAL DE UNA EMPRESA CONSTRUCCIÓN CIVIL”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>componentes o subsistemas del cargador frontal que presentan nivel crítico de disponibilidad?</p> <p>✓ ¿Cuáles son las acciones que se deben tomar con los componentes o subsistemas del cargador frontal que presentan un nivel crítico de disponibilidad?</p>	<p>presentan nivel crítico de disponibilidad</p> <p>✓ Determinar las acciones correspondientes según el diagrama de decisión RCM para cada uno de los componentes o subsistemas del cargador frontal que presentan un nivel crítico de disponibilidad.</p>	<p>permitirá conocer los riesgos de falla de los componentes o subsistemas del cargador frontal con nivel de disponibilidad mecánica crítica.</p> <p>✓ Las acciones que emanan de la metodología RCM que pueden ser tareas periódicas de mantenimiento, nuevos procesos de mantenimiento, rediseño o cambio total de los componentes con nivel crítico permitirá mejorar la disponibilidad mecánica del cargador frontal en su conjunto.</p>	<p>Indicadores</p> <p>✓ Tiempo promedio entre fallas</p> <p>✓ Tiempo promedio para reparar</p>	<p>TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS</p> <p>✓ Archivos documentados en el área de mantenimiento de la empresa ROFER SAC.</p> <p>✓ Matriz de criticidad.</p> <p>✓ Matriz de análisis de modos y efectos de fallo.</p> <p>✓ Diagrama de decisión RCM.</p> <p>✓ Programa Microsoft Excel</p> <p>✓ Juicio de expertos</p>

CAPÍTULO V – DESARROLLO DE LA TESIS

5.1. Descripción de la empresa

La empresa ROFER Construcciones S.A.C., es una empresa cuyo servicio se enfoca en el desarrollo de proyectos de asfaltado de pistas y veredas, movimiento de tierras, alquiler de maquinaria, venta de agregados y apertura de trochas de carretera para vehículos de tránsito pesado y liviano.

Fue creada bajo el nombre de “ROFER Construcciones SAC” en 2017 siendo una sociedad anónima cerrada, como empresa para la construcción de carreteras y vías de ferrocarril, alquiler y arrendamiento de otros tipos de maquinaria, equipos y bienes tangibles, actualmente cuenta con profesionales altamente capacitados que han demostrado estar a la altura y nivel de las competencias que exige el mundo actual de la ingeniería, demuestran excelencia y calidad en los trabajos que realizan con el objetivo de mantener a sus clientes satisfechos sin descuidar el cuidado medioambiental. ROFER Construcciones SAC actualmente se encuentra ubicada en Av. Los Pinos 890 – Urb. Los Halcones - Chaclacayo – Ate - Lima – Perú, y presta servicios tanto en zonas urbanas como rurales.

5.2 Organigrama de la empresa

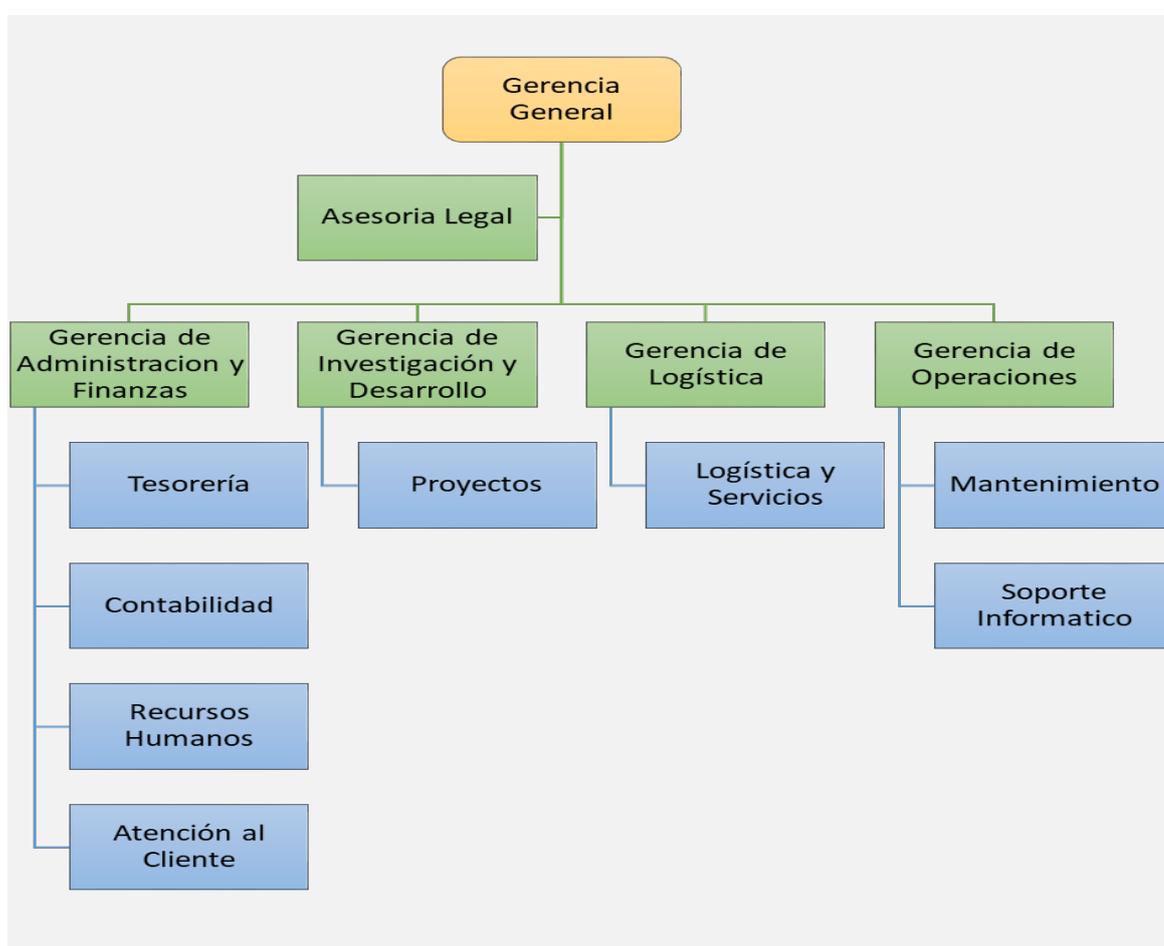
ROFER Construcciones S.A.C. tiene una estructura organización vertical y funcional con coordinaciones formales establecidas de acuerdo a jerarquía. El trabajo se divide por áreas de equipos especializados y que se

integran para cumplir los objetivos de la empresa a pesar de sus actividades diferenciadas.

A continuación, en la figura 7, se muestra el organigrama de la empresa:

Figure 7

Organización de la Empresa de la Empresa ROFER SAC



5.3. Misión de la empresa

Colaborar de manera proactiva con el progreso del Perú priorizando el crecimiento y necesidades de los clientes mediante el desarrollo de proyectos y construcciones de vías de ferrocarril, velando en todo momento

la seguridad de sus trabajadores y clientes, demostrando excelencia y calidad en el desarrollo y resultado de sus entregables.

5.4. Visión de la empresa

Ser una empresa líder en la construcción de obras y ejecución de proyectos, reconocida por su excelencia y calidad, preocupada por el cumplimiento de las normas y elevación de los estándares de seguridad, contribuidora con la reducción de la contaminación ambiental para mejorar la calidad de vida de la población en general.

5.5. Situación actual de la maquinaria de la empresa

Para el desarrollo de este punto, se describió en primer lugar la situación actual de las máquinas, y posteriormente se realizó un diagnóstico de las fallas en la maquinaria respecto a las actividades que realizan con ayuda del Gerente General de la empresa y con los datos en cuanto a maquinaria, costos y número de fallas que se registraron en el periodo de Julio de 2020 a Junio del 2021, con el fin de conocer cuáles son los problemas existentes en cada máquina para luego determinar la de mayor criticidad y plantear mejoras.

Para realizar el diagnóstico, se describió la maquinaria que utiliza la empresa para los proyectos que viene realizando en la actualidad. También se indicó el número de fallas que se registraron por máquina y el costo de reparación en cada una de ellas, la relación de los costos de repuestos y mano de obra, el tiempo de inoperatividad, y el tiempo de reparación en el periodo de julio de 2020 a junio de 2021. Finalmente se realizó un análisis de

la cantidad de fallas por máquina en cuanto a tiempo de reparación e implicancia económica.

Los resultados obtenidos de los datos de la situación actual de las máquinas están referidos a las fallas y costos en las que incurren. En primer lugar, se describió a la empresa, sus aspectos generales, organigrama estructural, y se describió: cómo se encuentra organizada, misión y visión, con la ayuda del Gerente General de la empresa, y posteriormente se procedió a mostrar el diagrama del proceso de ejecución de la obra que se encuentra desarrollando en la actualidad.

5.6. Descripción del proceso de mantenimiento en la empresa ROFER SAC

La empresa ROFER Construcciones SAC, durante su existencia y en particular en el periodo de análisis julio 2020 a junio 2021 viene practicando mantenimiento predictivo y correctivo según como lo muestra el historial de intervenciones de cada uno de los equipos con los que cuenta, pero también se ha podido verificar que no realiza un buen control del mantenimiento mecánico y tampoco cuenta con un plan de mantenimiento organizado que les permita mejorar en cuanto a la disponibilidad de sus equipos.

5.7. Maquinaria con la que cuenta la empresa ROFER SAC

La empresa ROFER Construcciones SAC cuenta con excavadoras, cargadores frontales en marcas CAT y VOLVO, minicargadores, las características generales de cada uno de ellas se presentan en la tabla 13 que se muestra a continuación:

Tabla 13

Maquinaria de Trabajo con la que cuenta la Empresa ROFER SAC

TAG	NOMBRE DEL EQUIPO	MARCA	MODELO	AÑO DE FABRICACIÓN	AÑO DE ADQUISICIÓN	Nº DE MÁQUINAS
EX-001	Excavadora	Caterpillar	420E	2013	2017	1
MC-001	Cargador Frontal	Volvo	L120G			1
CF-002	Cargador Frontal	Volvo	L120F	2010	2014	1
MC-001	Minicargador	Caterpillar	236D3			1
MC-002	Minicargador	Caterpillar	246D			1
SF-001	Reach Stacker	Fantuzzi				1
SK-001	Reach Stacker	Kalmar				1

5.8. Tiempo total programado para la producción durante el periodo

julio 2020 – junio 2021

Para el análisis sobre el tiempo total de horas de trabajo de los activos físicos se analizó el periodo Julio 2020 hasta junio 2021, para el cálculo del total de días laborables al mes no se toman en cuenta los días feriados y domingos, esto será de mucha utilidad para conocer los indicadores del mantenimiento, la disponibilidad y confiabilidad de los activos físicos de la empresa.

Tabla 14

Tiempo Laborable Programado para la Producción Julio 2020 – Junio 2021

Año	Meses	Días del mes	Feridos	Domingos	Total de días laborables	Número de horas de trabajo/día	Tiempo total programado para producir()
2020	Julio	31	2	4	25	8	200
	Agosto	31	1	5	25	8	200
	Setiembre	30	1	4	25	8	200
	Octubre	31	1	4	26	8	208

Año	Meses	Días del mes	Feritados	Domingos	Total de días laborables	Número de horas de trabajo/día	Tiempo total programado para producir()
	Noviembre	30	1	5	24	8	192
	Diciembre	31	2	4	25	8	200
2021	Enero	31	2	5	24	8	192
	Febrero	28	2	4	22	8	176
	Marzo	31	1	4	26	8	208
	Abril	30	2	4	24	8	192
	Mayo	31	1	5	25	8	200
	Junio	30	1	4	25	8	200
	TOTAL				296	8	2368

5.9. Historial de la cantidad de fallas producción durante el periodo julio 2020 – junio 2021

Para conocer el historial de fallas de cada uno de los activos físicos se tuvo en cuenta las ordenes de trabajo, informes de intervenciones a la maquinaria, consultas con los técnicos operarios que han trabajado durante ese periodo y que aún continúan brindando sus servicios para la empresa.

En la tabla 15 se puede observar que no todos los activos presentan la misma cantidad de fallas, esto se debe a que algunas de ellas están más propensas a sufrir averías en algunos de sus subsistemas por que llevan más tiempo operando en el día o sus contextos de operación difieren el uno del otro.

Tabla 15

Número de Fallas de la Maquinaria de la Empresa ROFER SAC durante el Periodo JULIO 2020 – JUNIO 2021

TAG	NOMBRE DEL	PERIODO 2020	PERIODO 2021	fallas
-----	------------	--------------	--------------	--------

EQUIPO														
		JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	
EX-001	Excavadora 420E	2	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	14
CF-001	Cargador Frontal L120G	1	2	0	1	2	2	2	1	1	1	1	2	16
CF - 002	Cargador Frontal 980G	1	1	1	0	2	1	1	1	1	1	1	1	12
MC-001	Minicargador	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	7
MC-002	Minicargador	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	8
SF-001	Reach Stacker Fantuzi	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	7
SK-001	Reach Stacker Kalmar	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	7

5.10. Historial del tiempo de mantenimiento de las fallas durante el periodo julio 2020 – junio 2021

El historial del tiempo de mantenimiento de fallas se obtuvo del registro de intervenciones para cada equipo, esta información fue proporcionada por el encargado de la planificación del mantenimiento y a partir de ello se elaboró la Tabla 16.

Tabla 16

Tiempo de Mantenimiento de Fallas de la Maquinaria de la Empresa

ROFER SAC durante el Periodo JULIO 2020 – JUNIO 2021

TAG	NOMBRE DEL EQUIPO	PERIODO 2020						PERIODO 2021						Tiempo Total(h)
		JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	
EX-001	Excavadora EC210D	6	6	0	3	3	5	36	3	3	3	3	8	79
CF-001	Cargador Frontal L120G	3	39	0	5	6	5	6	36	5	3	3	10	121
CF - 002	Cargador Frontal L120F	3	36	3	0	5	3	3	5	3	3	36	5	105
MC-001	Minicargador 236D3	0	3	0	5	3	5	3	0	3	0	0	3	25
MC-002	Minicargador 246D	3	0	3	3	0	5	3	0	5	3	5	0	30
SF-001	Reach Stacker Fantuzi	0	3	0	3	5	0	3	3	0	3	5	0	25
SK-001	Reach Stacker Kalmar	3	3	0	3	3	0	3	5	0	3	0	0	23

De la tabla 16 podemos observar que el equipo que acumula mayor tiempo para reparar las fallas durante el periodo de Julio 2020 – Junio 2021 es el Cargador Frontal L120G haciendo un total de 121 horas, además se puede observar que en los meses de agosto del 2020 y febrero del 2021 el incremento del tiempo de reparación es de consideración, los tiempos de reparación son variables debido a que los tipos de falla no son los mismos, como por ejemplo algunas fallas tienen que ver con el mal funcionamiento del motor, otras fallas con la ruptura de mangueras, otras con la articulación.

5.11. Historial del costo de mantenimiento de las fallas durante el periodo julio 2020 – junio 2021

Tabla 17

Costo de Mantenimiento de los Activos Físicos de la Empresa ROFER Construcciones SAC durante el Periodo julio 2020 – junio 2021

TAG	NOMBRE DEL EQUIPO	PERIODO 2020						PERIODO 2021						Costo Total (soles)	Costo Total (dólares)
		JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO		
EX-001	Excavadora 420E	690	790	0	240	340	1240	2100	340	450	450	340	1580	8560	2156
CF-001	Cargador Frontal L120G	200	2300	0	1640	400	1840	400	2100	1640	200	200	4880	15800	3980
CF - 002	Cargador Frontal L120F	200	2040	200	0	4880	200	200	240	200	200	2040	1640	12040	3033
MC-001	Minicargador 236D3	180	0	0	2040	180	1320	180	0	180	0	0	180	4260	1073
MC-002	Minicargador 246D	180	0	180	180	0	1320	180	0	2840	180	1320	0	6380	1607
SF-001	Reach Stacker Fantuzi	0	240	0	200	840	0	200	240	0	340	240	0	2300	579
SK-001	Reach Stacker Kalmar	240	200	0	340	470	0	220	840	0	200	0	0	2510	644

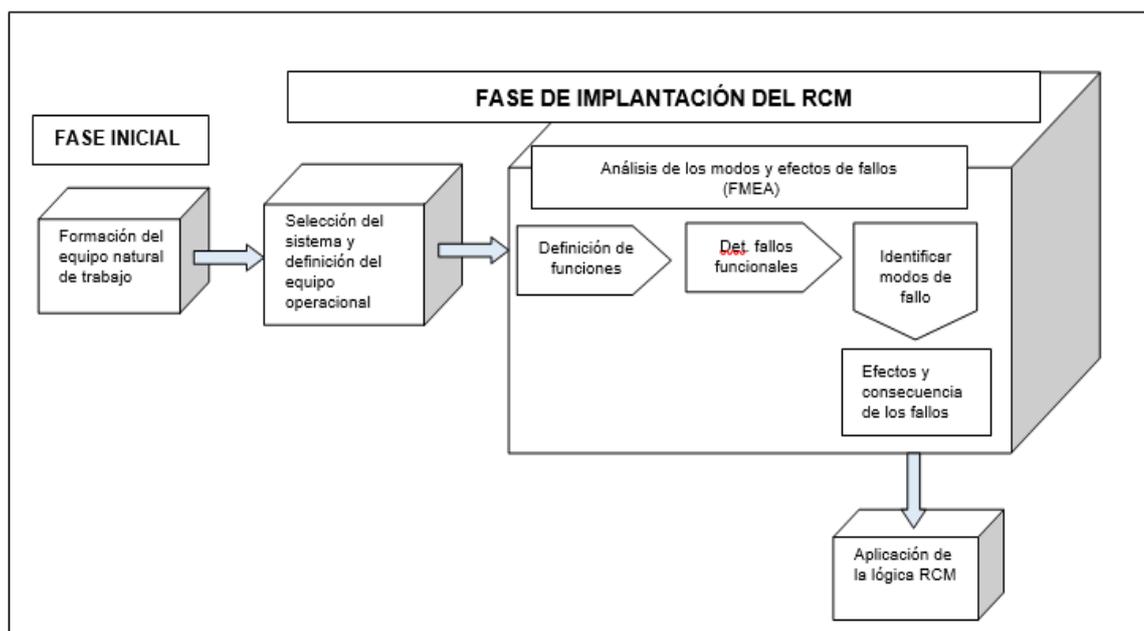
5.12. Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Para llevar a cabo desarrollo de la investigación se tuvo a bien realizarlo en dos fases consecutivas, tomando como referencia los requerimientos de mantenimiento centrado en la confiabilidad que optimiza el plan de mantenimiento del Cargador Frontal L20G

La figura 8 nos permite observar las dos fases del proceso de implantación del RCM.

Figure 8

Flujograma de Implantación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad



Fuente: Basado en Parra Márquez, C. A., & Crespo Márquez, A. (2012).

“Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos”

5.13. Implantación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

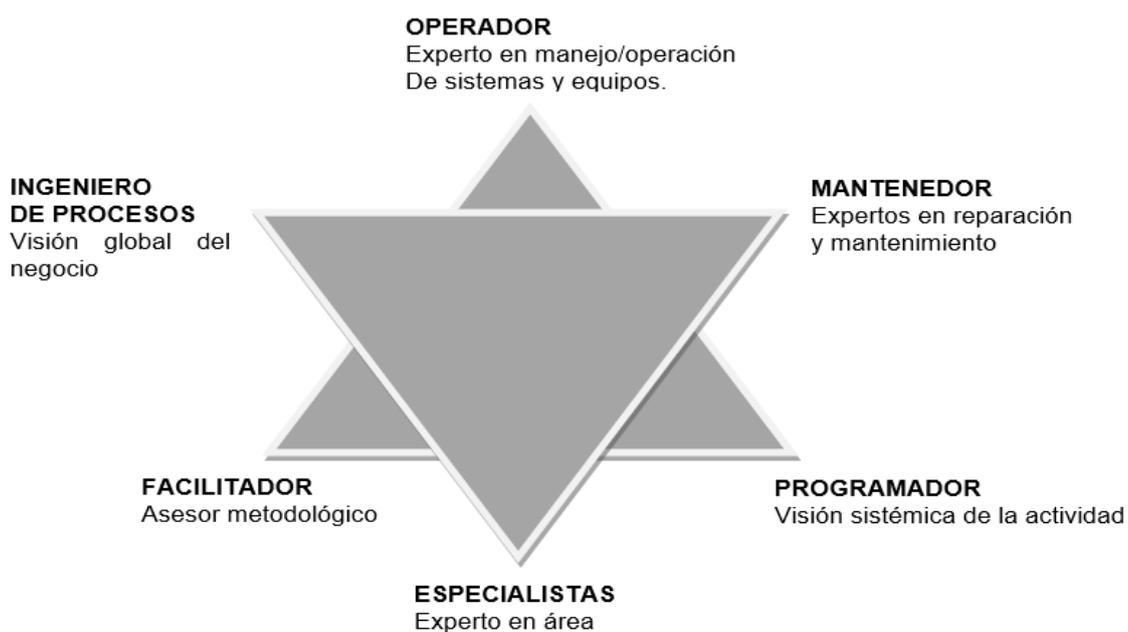
El proceso de la implantación se establece en dos fases: fase inicial (conformación del equipo RCM) y fase de implantación de la lógica RCM.

5.13.1. Fase de conformación del equipo RCM

El RCM según las normas JA 1011 se guía en base a siete preguntas y con la finalidad de dar respuesta a las mismas se conformó el equipo de trabajo integrado por un ingeniero de procesos, un operador, un experto en mantenimiento, un programador, un especialista en el área y un facilitador, los integrantes del equipo se ilustran en la figura 9.

Figure 9

Integrantes del Equipo de Mantenimiento



Fuente: Parra y Crespo "Ingeniería y aplicación práctica de un Modelo de Gestión del Mantenimiento.

5.13.2. Implantación de la lógica RCM

a) Selección del equipo o sistema

Para seleccionar el equipo o sistema de acuerdo al RCM se utilizó el análisis de criticidad, la cual es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos).

Para determinar el activo más crítico, se elaboró una matriz de criticidad realizó un análisis de criticidad teniendo en cuenta 6 aspectos:

✓ **Impacto a la operación (IO):** respecto a este criterio se evaluó como afecta cuando ocurre la falla en la continuidad de operación del equipo, considerando para esto la siguiente puntuación:

- 1: se paraliza la operación al 10 %
- 2: se paraliza la operación al 30 %
- 3: se paraliza la operación al 50 %
- 4: se paraliza la operación al 100 %

✓ **Impacto al mantenimiento (IM):** respecto a este criterio se evaluó el tiempo que demora realizar el mantenimiento cuando ocurre la falla, considerando para esto la siguiente puntuación:

- 1: la reparación se realiza en menos de 2 horas.
- 2: la reparación se realiza entre 2 a 10 horas.
- 3: la reparación demora entre 1 a 2 días y además en el taller.
- 4: la reparación demora más de dos días y además lo realiza un tercero.

✓ **Costo de mantenimiento (CM):** respecto a este criterio se evaluó el costo económico que genera reparar la máquina cuando falla, considerando para esto la siguiente puntuación:

- 1: el costo de reparación es menos de \$ 500
- 2: el costo de reparación está entre \$ 500 y \$ 2000
- 3: el costo de reparación está entre \$ 2000 y \$ 5000
- 4: el costo de reparación supera los \$ 5000

✓ **Impacto a la seguridad (IS):** respecto a este criterio se evaluó si las fallas potenciales pueden causar accidentes leves y graves o incluso la pérdida de vidas humanas, considerando para esto la siguiente puntuación:

- 1: produce lesiones que requiere descanso medico de 1 día.
- 2: produce lesiones con incapacidad temporal y rehabilitación.
- 3: produce lesiones con incapacidad permanente, enfermedad ocupacional.

- 4: produce la muerte de la persona o daño muy grave.

✓ **Impacto al medio ambiente (IMA):** respecto a este criterio se evaluó si la falla potencial una vez ocurrida emana fluidos o partículas que modifiquen y dificulten el trabajo habitual con normalidad, considerando para esto la siguiente puntuación:

- 1: produce un derrame en el área de trabajo cuya limpieza se realiza de manera inmediata.
- 2: produce un derrame en el área de trabajo cuya limpieza demora 6 horas.
- 3: produce un derrame en el área de trabajo cuya limpieza demora 1 día.
- 4: produce un derrame a gran escala cuya limpieza demora más de 1 día además daña el área de trabajo.

✓ **Ocurrencia de Falla (OF):** respecto a este criterio se evaluó el número de fallas que se produjeron durante 12 meses antes de la implantación del RCM, considerando para esto la siguiente puntuación:

- 1: No se ha presentado evento de falla
- 2: La falla se ha presentado entre 1 a 4 veces al año.
- 3: la falla se ha presentado entre 5 a 8 veces al año.

- 4: la falla se ha presentado más de 8 veces al año.

Además, para calcular el factor de criticidad, se toma en cuenta los siguientes pesos para cada uno de los criterios de evaluación:

Tabla 18

Criterios y Pesos para obtener el Factor de Criticidad

CRITERIO	PESO
IMPACTO A LA OPERACIÓN (IO)	4
IMPACTO AL MANTENIMIENTO (IM)	3
COSTO DE MANTENIMIENTO (CM)	2
IMPACTO DE SEGURIDAD (IS)	4
IMPACTO MEDIO AMBIENTE (IMA)	4
OCURRENCIA DE FALLO (OF)	3

Luego el factor de criticidad se obtiene mediante la siguiente formula.

$$\text{Factor de Criticidad} = 4 \times IO + 3 \times IM + 2 \times CM + 4IS + 4IMA + 3 \times OF$$

El nivel de criticidad se determinó teniendo en cuenta categorías de criticidad y niveles relacionados cada uno de ellos con un intervalo numérico que se obtiene con la fórmula del factor de criticidad, todo lo mencionado se resume en la tabla 19 que se muestra a continuación:

Tabla 19

Intervalos para Conocer el Nivel Criticidad de los Equipos Evaluados

CRITICIDAD	NIVEL	MÍNIMO	MÁXIMO
A	ALTA	61	80
B	MEDIA	41	60
C	BAJA	21	40
D	MUY BAJA	0	20

Al respecto se obtuvieron los siguientes resultados

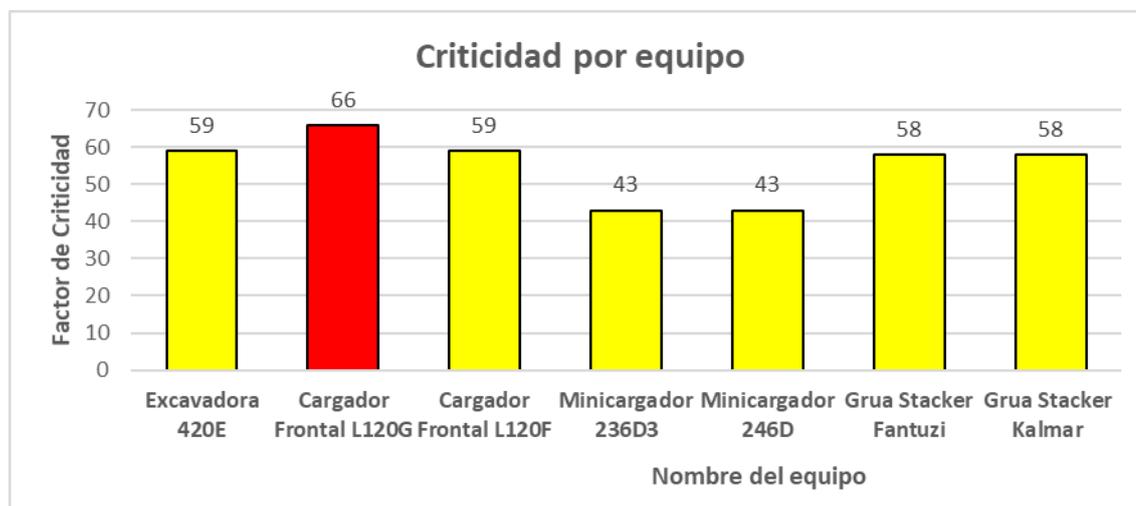
Tabla 20

Resultados del Análisis de Criticidad, para elegir el Activo más Crítico

TAG	NOMBRE DEL EQUIPO	IO	IM	CM	IS	IMA	OF	Factor de criticidad	Nivel de Criticidad
EX – 008	Excavadora 420E	3	3	3	3	2	4	59	MEDIA
CF – 009	Cargador Frontal L120G	3	4	3	3	3	4	66	ALTA
CF – 010	Cargador Frontal L120F	3	3	3	3	2	4	59	MEDIA
MC – 001	Minicargador 236D3	2	2	2	2	2	3	43	MEDIA
MC – 003	Minicargador 246D	2	2	2	2	2	3	43	MEDIA
ST – 001	Grua Stacker Fantuzi	3	3	2	3	3	3	58	MEDIA
ST – 002	Grua Stacker Kalmar	3	3	2	3	3	3	58	MEDIA

Figure 10

Criticidad de los Activos Físicos de la Empresa ROFER Construcciones SAC



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la matriz de criticidad como se aprecia en la tabla 20 y figura 10 el activo físico que presenta criticidad alta viene a ser el Cargador Frontal L120G, a partir de esto el equipo de trabajo optó por elegir el cargador en mención para la aplicación de la metodología RCM.

**b) Contexto operacional del cargador frontal L120G de la empresa
ROFER Construcciones SAC**

El Cargador Frontal L120G de la empresa Rofer Construcciones SAC su lugar de operación es Minería Gloria Grande (Urbanización Colinas de la Gloria) – Ate – km 14 + 800 Carretera Central (acceso 2.5 km hacia la Urb. Gloria Grande), la obra que viene realizando la empresa es movimiento de tierra para la Inmobiliaria LGP, aproximadamente a 370 msnm, con una presión atmosférica de 101,4 KPa esta zona presenta una temperatura media anual es de 15.5 °C., las temperaturas máximas en verano pueden llegar a 32 °C y las mínimas en invierno a 8 °, la zona presenta alta humedad atmosférica.

**c) Situación del cargador frontal L120G – durante el periodo agosto
2020 – julio 2021**

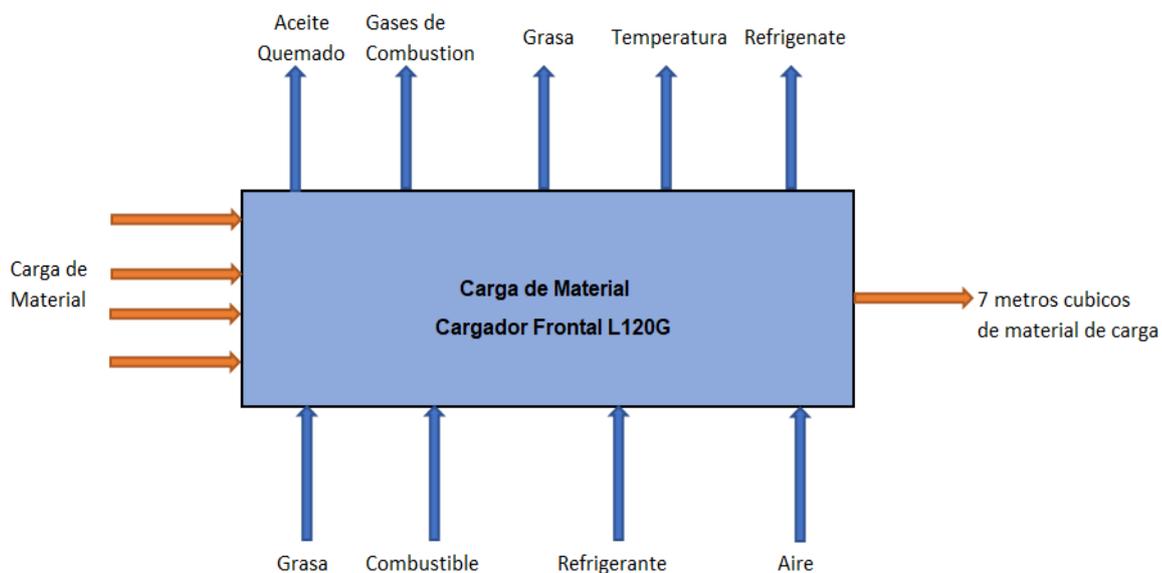
La operación se paralizaba al 50%, la reparación de las fallas demoraba más de 2 a 4 días y lo realiza un tercero, el costo de la reparación costaba 3500 soles en promedio , en algunas ocasiones producía lesiones con incapacidad permanente, enfermedad ocupacional en los trabajadores, se producía un derrame en el área de trabajo y cuya limpieza demoraba 1 día y el número de fallas la falla que se ha presentado durante este periodo es más de 10 veces, razón por la cual presentaba un índice de criticidad alta.

d) Diagrama de entradas y salidas del Cargador Frontal L120G

Toda maquinaria está diseñada para cumplir trabajos específicos, en particular un cargador frontal está diseñado para obtener la máxima facilidad de manejo y operación, a través de un cucharón cargar, levantar, transportar y vaciar la carga del mismo, en todo este proceso se involucran diversos elementos que se les conoce como entradas y salidas en un cargador frontal que se muestran en la figura 11.

Figure 11

Diagrama de Entradas y Salidas del Cargador Frontal L120G



Fuente: Elaboración propia

e) Funciones primarias y secundarias de los elementos del cargador frontal L120G

Un cargador frontal en forma general está compuesto por los siguientes elementos: motor, sistema de transmisión, articulación, frenos,

sistema hidráulico, cucharón, neumáticos y cabina, todos ellos son de gran importancia, pero uno de ellos es el que sufre la mayor cantidad de averías tanto en su parte interna y externa.

Por su parte el motor está constituido por diferentes sistemas de gran importancia que a continuación vamos a detallar en la tabla 21 cada uno de ellos.

Tabla 21

Funciones Primarias y Secundarias de los Elementos del Cargador

Frontal L120G

ELEMENTO	FUNCIONES	
	FUNCIONES PRIMARIAS	FUNCIONES SECUNDARIAS
Motor Eléctrico	Suministrar 200 Kw a 1700 RPM	
Sistema de enfriamiento	Mantener la temperatura de operación del motor entre 85 y 110 °C	Contener refrigerante limpio (7.11 gal) Aliviar la presión del tanque de expansión cuando la presión alcance 7 psi Indicar el nivel de refrigerante
Sistema de combustible	Suministrar combustible entre 75 y 100 psi a los inyectores en máximas revoluciones	Contener herméticamente hasta 211 galones de combustible limpio Entregar combustible pulverizado a la cámara de combustión (inyectores) Evacuar los gases generados en el depósito de combustible y suspender el tanque de combustible
Sistema de admisión y escape	Suministrar aire limpio a una presión máxima de 29.31 in Hg a una temperatura de 60 °C	Contener el aire del sistema de admisión Extraer las partículas depositadas a la entrada de los filtros. Conducir sin restricción los gases productos de la combustión para impulsar las aspas de la turbina del turbocompresor. Contener los gases de escape.
Sistema de	Suministrar aceite a una presión de hasta	Contener aceite del motor limpio (14.3 gal) Mantener el aceite del motor limpio

ELEMENTO	FUNCIONES	
	FUNCIONES PRIMARIAS	FUNCIONES SECUNDARIAS
lubricación	72 psi (según revoluciones del motor) a los diferentes componentes móviles del motor.	Prevenir que ingresen partículas a la galería principal del motor

Fuente: Manual de Partes del Cargador Frontal L12OG

El equipo de trabajo después de realizar un análisis de acuerdo a su experiencia y teniendo en cuenta el juicio de expertos en el tema se llegó a la conclusión que la mayor cantidad de fallas en el motor se produce debido a que no se está haciendo el uso correcto del sistema de lubricación.

f) Análisis de los modos y efectos de falla

Tabla 22

Hoja de Información FMEA del Subsistema “Sistema de Lubricación del cargador frontal”

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA: Cargador Frontal L120G		Facilitador:	Fecha:	Hoja N°: 1	
	SUBSISTEMA: Sistema de Lubricación		Auditor:	Fecha:		
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTOS DE FALLA			
1. Suministrar aceite a una presión de hasta 72 psi (según revoluciones del motor) a los diferentes componentes móviles del motor	1	No suministra aceite	1	Aceite motor emulsionado por enfriador de aceite roto		Aumenta la temperatura del motor por encima de 110°C, baja potencia del motor, el operador para el equipo para evitar mayores daños
			2	Desgaste de casquetes por operación normal		
			3	Aceite motor emulsionado por culata agrietada		
			4	Aceite motor emulsionado por el sello del buje del turbocompresor cristalizado		
			5	Aceite motor emulsionado por sello de la bomba de agua cristalizado		
			6	Muy bajo nivel de aceite del motor		
			7	Degradación del aceite por vida útil		
			8	Aceite motor diluido por inyector de combustible con fuga		
			9	Casquetes y bujes desgastados por operación normal		
	2	Suministra aceite por debajo de 72 psi	1	Bajo Nivel de aceite Motor		La alarma de baja presión de aceite aparece en el tablero y el operador para el equipo, si el equipo sigue operando con esta alarma puede causar daños severos al motor
			2	Obstrucción en la rejilla de entrada de la Bomba de aceite principal		
			3	Fuga de Aire en la lado de suministro de la Bomba		
			4	Válvula de derivación de la bomba en permanente posición abierta		
			5	Desgaste excesivo en los engranajes de la Bomba Principal		
			6	Válvula de derivación del Filtro de aceite en permanente posición abierta		
			7	Tubería o conducto de aceite abierto, roto o desconectado		
			8	Demasiado espacio libre en los cojinetes del motor.		
	3	Suministra aceite por	1	Nivel de aceite Motor demasiado alto.		Fugas a través del sello mecánico. Puede causar daños sobre la bomba de aceite, el
			2	Temperatura del motor demasiado baja		

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA: Cargador Frontal L120G			Facilitador:	Fecha:	Hoja N°: 1
	SUBSISTEMA: Sistema de Lubricación			Auditor:	Fecha:	
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLO		EFECTOS DE FALLA		
	encima de 72 psi	3	Aumento excesivo de viscosidad del aceite	operador detecta ruido y vibración en la bomba. Decece el rendimiento del motor.		
		4	Válvula de derivación del Filtro de aceite atascada en posición cerrada.			
		5	Obstrucción en una tubería o un conducto de aceite del Motor.			
2. Contener aceite del motor (14.3 gal)	1 No contiene aceite del motor	1	Empaque y sellos del turbo cristalizados	La fuga de aceite hace que la presión del aceite caiga por debajo de 72 psi, la alarma de baja presión de aceite aparece en el tablero y el operador para el equipo, si el quipo sigue operando con esta alarma puede causar daños severos en el motor		
		2	Sellos de la bomba de aceite cristalizados			
		3	Tubería bypass del enfriador de aceite rota por roce			
		4	Sellos de los ejes de los piñones intermedios de los engranajes frontales rotos por cristalización			
		5	Empaques del carter cristalizados			
		6	Sellos de la caja de balancines (Culatín) cristalizados			
		7	Empaque y sellos de la culata cristalizado			
		8	Mangueras y tubería de lubricación de turbos rotas por roce			
3. Mantener el aceite del motor limpio	1 No mantiene aceite del motor limpio (por encima de 12 ppm)	1	Falla en filtros de aire o parte del sistema de aire	Ruido y/o vibración excesiva. Mantenimiento recibe los reportes de análisis de aceite y dependiendo de la criticidad solicita parar el equipo y llevarlo al taller para evaluación		
		2	Ingreso de tierra por sellos y empaques.			
		3	Mala Práctica de llenado de aceite Motor.			
	2 No mantiene aceite del motor limpio (agua por encima de 0.2 % V)	1	Ingreso de agua por sellos y empaques.			
		2	Respiraderos Rotos			
	3 No mantiene aceite del motor limpio (dilusión por combustible por encima de 2.5% V)	1	Goteo por inyectores			
2		Mala eficiencia de la combustión				
4. Prevenir que ingresen partículas a la galería principal del motor	1 No previene que ingresen partículas a la galería principal del motor	1	Filtros de aceite obstruidos por operación normal			

g) Hoja de información de la lógica de RCM aplicado a los ítems del FMEA del Sistema de Lubricación del cargador frontal

Tabla 23

Hoja de Análisis de Decisión - Lógica RCM en el Subsistema de Lubricación del Motor del Cargador Frontal L120G

HOJA DE DECISIÓN			ELEMENTO:											FECHA INICIAL:		REALIZADO POR:	
Referencia de información			SISTEMA:											FECHA FINAL:		REVISADO POR:	
F	FF	FM	H	S	N	O	Evaluación de las consecuencias			H 1	H 2	H 3	“Tareas a falta de”	Tareas propuestas	Frecuencia inicial	Metodología a usar	
							1	2	3								
							N 1	N 2	N 3	H 4	H 5	S 4					
1	1	1	S	N	S					S				Reemplazar componente dañado, presurizar el sistema de refrigerante	500	Preventiva (Reemplazo Programado)	
1	1	2	N	N	S		S							Tomar muestra de aceite del motor(análisis de partículas de cobre, hierro y plomo)	1000	Basadas en condición	
1	1	3	S	N	S		S							Tomar muestra de aceite del motor(análisis de partículas de cobre, hierro y plomo)	1000	Basadas en condición	
1	1	4	S	N	S		S							Tomar muestra de aceite de motor(análisis de partículas de cobre, hierro y plomo)	1000	Basadas en condición	
1	1	5	S	N	S		S							Tomar muestra de aceite de motor(análisis de partículas de cobre, hierro y plomo)	1000	Basadas en condición	
1	1	7	S	N	S		S							Inspeccionar el Motor por fugas externas de aceite	1000	Basadas en condición	
1	1	8	S	N	S			S						Cambiar aceite del motor	500	Preventiva (reacondicionamiento)	
1	1	9	S	N	S		S							Tomar muestra de aceite de motor(contaminación de combustible en el aceite)	1000	Basadas en condición	
1	1	10	S	N	S		S							Tomar muestra de aceite del motor(contaminación de combustible en el aceite)	1000	Basadas en condición	
1	2	1	S	N	S		S							Añadir aceite hasta el nivel apropiado, investigar las causas de las pérdidas	1000	Basadas en condición	
1	2	3	N	N	S		S							Inspeccionar los filtros en búsqueda de partículas	1000	Basadas en condición	
1	2	4	S	N	S				S					Cambiar filtros de aire	500	Preventiva (Reemplazo Programado)	
1	2	5	S	N	S			S						Reemplazar la válvula, inspeccionar si el eje de la bomba y si el intermedio entre el eje y el distribuidor se encuentran en buen estado	500	Preventiva (reacondicionamiento)	
1	2	6	N	N	S					S				Apagar el motor, sustituir los engranajes de la bomba, controlar el desgaste de los engranajes	250	Correctiva (no programado)	
1	2	7	S	N	S		S							Realizar la limpieza del filtro, verificar la alineación de los espárragos de los filtros de aceite al instalarlo.	1000	Basadas en condición	
1	2	9	S	N	S		S							Inspeccionar el Motor por fugas externas de aceite	1000	Basadas en condición	

HOJA DE DECISIÓN			ELEMENTO:										FECHA INICIAL:		REALIZADO POR:										
Referencia de información			SISTEMA:							Evaluación de las consecuencias			"Tareas a falta de"	FECHA FINAL:										Frecuencia inicial	Metodología a usar
F	FF	FM	H	S	N	O	N	N	N	H	H	S	Tareas propuestas												
1	2	10	S	N	S		1	2	3	4	5	4													
1	2	10	S	N	S				S				Reemplazar los cojinetes del motor, investigar las causas de desgaste										500	Preventiva (reemplazo programado)	
1	3	1	S	N	S		S						Inspeccionar el nivel de aceite del motor con la varilla de medición										1000	Basadas en condición	
1	3	2	N							S			Apagar el motor, utilizar un aceite con menor viscosidad a bajas temperaturas										250	Correctiva (no programado)	
1	3	3	S	N	S				S				Reemplazar el aceite y el filtro, evitar el uso en ralentí por periodos excesivos										500	Preventiva (reemplazo programado)	
1	3	4	S	N	S				S				Reemplazar el aceite y el filtro, usar aceite de mejor calidad										500	Preventiva (reemplazo programado)	
1	3	5	S	N	S		S						Reemplazar el aceite y el filtro, investigar la causa de la obstrucción										1000	Basadas en condición	
2	1	1	S	N	S		S						Revisar el empaque y los sellos del turbo, investigar la causa de la obstrucción										1000	Basadas en condición	
2	1	2	S	N	S		S						Revisar los sellos de la bomba de aceite, investigar la causa de la obstrucción										1000	Basadas en condición	
2	1	3	S	N	S				S				Reemplazar tubería del by - pass, inspeccionar el motor por fugas externas de aceite										500	Preventiva (reemplazo programado)	
2	1	4	S	N	S				S				Reemplazar los sellos, inspeccionar el motor por fugas externas de aceite										500	Preventiva (reemplazo programado)	
2	1	5	S	N	S			S					Reacondicionar los empaques del Carter, inspeccionar el motor por fugas externas de aceite										500	Preventiva (reacondicionamiento)	
2	1	6	S	N	S		S						Revisar los sellos, inspeccionar el motor por fugas externas de aceite										1000	Basadas en condición	
2	1	7	S	N	S			S					Reacondicionar los empaques y sellos de la culata, inspeccionar el motor por fugas externas de aceite										500	Preventiva (reacondicionamiento)	
2	1	8	S	N	S		S						Inspeccionar el motor por fugas externas de aceite										1000	Basadas en condición	
3	1	1	N							S			Cambiar filtros de aire										250	Correctiva (no programado)	
3	1	3	S	N	S		S						Tomar muestra de aceite del motor (contaminación por tierra en el aceite)										1000	Basadas en condición	
3	1	4	S	N	S		S						Utilizar un filtro al añadir aceite nuevo										1000	Basadas en condición	
3	2	1	S	N	S				S				Drenar el agua (alta tensión superficial entre el agua y el aceite)										500	Preventiva (reemplazo programado)	
3	2	3	N							S			Colocar un filtro en los respiraderos que evite la entrada de partículas al interior										250	Correctiva (rediseño)	
3	3	1	S	N	S				S				Tomar muestra de aceite del motor (contaminación de combustible en el aceite)										500	Preventiva (reemplazo programado)	
3	3	2	S	N	S		S						Tomar muestra de aceite del motor (contaminación de combustible en el aceite)										1000	Basadas en condición	
4	1	1	S	N	S				S				Reemplazar el aceite y el filtro										500	Preventiva (reemplazo programado)	

h) Documentación del Plan de Mantenimiento

La salida de la hoja de decisión es un listado de actividades los cuales se procede a agrupar por frecuencias, por responsables y por tiempos de intervención para al final presentar como documento final el plan de mantenimiento del CARGADOR Frontal L120G

Tabla 24

Plan de Mantenimiento del Cargador Frontal L120G

SUBSISTEMA	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO DEL CARGADOR FRONTAL L120G	CODIGO	UND	FREC (H)	RESPONSABLE
MOTOR	Cambiar filtro de aceite del motor	100 - 1223		250	Téc. Mecánico
	Cambiar filtro de aceite de combustible	101 - 9504		250	Téc. Mecánico
	Cambiar separador de agua	105 - 3002		250	Téc. Mecánico
	Separador de agua para servicio pesado			250	Téc. Mecánico
	Limpiar filtro metálico de ingreso del tanque de combustible			500	Tec. Eléctrico
	Cambiar aceite del motor 15W40 (08 Gal)			250	Téc. Mecánico
	Agregar refrigerante ELC al sistema de enfriamiento			250	Téc. Mecánico
	Cambiar refrigerante ELC(12.5 Gal) - 12, 000 horas			12000	Téc. Mecánico
	Agregar prolongador de aditivo refrigerante			6000	Téc. Mecánico
	Cambiar Termostato			3000	Tec. Eléctrico
	Cambiar empaquetadura del termostato			3000	Tec. Eléctrico
	Cambiar elemento primario de aire			500	Téc. Mecánico
	Cambiar elemento secundario de aire			500	Tec. Mecánico
	Inspeccionar fajas alternador			250	Tec. Mecánico
	Reemplazar las fajas del alternador			3000	Tec. Mecánico
Limpiar el respiradero del carter del motor			500	Téc. Mecánico	

	Efectuar la calibración de valvulas			250	Téc. Mecánico
	Prueba de funcionamiento del sistema de combustible con ET			250	Tec. Eléctrico
	Cambiar empaquetadura de tapa de balancines			1000	Tec. Eléctrico
	Obtener muestra de aceite de motor			250	Téc. Mecánico
	Obtener muestra de refrigerante del sistema de enfriamiento			250	Téc. Mecánico
TRANSMISIÓN	Cambiar filtro de la transmisión	105 - 5573		250	Téc. Mecánico
	Cambiar aceite de la transmisión SAE30 (09 Gal)			250	Téc. Mecánico
	Cambiar aceite de los diferentes SAE50 (9.5 Gal c/u)			1000	Téc. Mecánico
	Agregar aditivo para los diferenciales (1/4 Gal c/u)			2000	Téc. Mecánico
	Revisar el nivel de aceite de la transmisión y diferenciales			2000	Téc. Mecánico
	Revisar los frenos de disco			2000	Téc. Mecánico
	Limpiar rejillas magnéticas de la transmisión y diferencial			500	Téc. Mecánico
	Limpiar el respiradero de la transmisión			500	Téc. Mecánico
	Obtener muestra de aceite del sistema de transmisión			500	Téc. Mecánico
	Obtener muestra de aceite de los diferenciales			500	Téc. Mecánico
HIDRAÚLICO	Cambiar el filtro hidráulico			500	Téc. Mecánico
	Cambiar el filtro hidráulico			500	Téc. Mecánico
	Cambiar el aceite hidráulico SAE10 (47 Gal)			2000	Téc. Mecánico
	Obtener muestra de aceite del sistema hidráulico			500	Téc. Mecánico
OTROS SISTEMAS	Lubricar el eje de mando de la articulación central			250	Téc. Mecánico
	Lubricar las bocinas y pines de las articulaciones			1000	Téc. Mecánico
	Lubricar rodamientos de ejes de transmisión post. y adelante			500	Téc. Mecánico
	Lubricar crucetas de los cardanes delantero y posterior			1000	Téc. Mecánico
	Lubricar la columna de dirección			2000	Téc. Mecánico
	Limpie Screens: Bomba Ventilador, control piloto, bomba dirección			1000	Téc. Mecánico
	Revisar acumuladores de freno y probar los frenos de servicio			250	Téc. Mecánico
	Revisar o limpiar las conexiones de la batería			250	Tec. Eléctrico
	Limpiar el filtro de cabina de aire acondicionado			250	Operador
	Cambiar el filtro de cabina del aire acondicionado			2000	Operador
Ajustar los bornes de la batería			1000	Tec. Eléctrico	

También se debe tener en cuenta realizar lo siguiente.

CADA 10 HORAS DE SERVICIO O CADA DIA

- ✓ Revisar el nivel de aceite del motor
- ✓ Revisar el nivel de aceite de la transmisión
- ✓ Revisar el nivel de aceite del sistema hidráulico
- ✓ Drenar el separador de agua
- ✓ Efectuar la prueba de indicadores del tablero
- ✓ Probar el sistema de frenos

CUANDO LO REQUIERA

- ✓ Revisar el cable y el swicht de desconexión de las baterías
- ✓ Revisar el desgaste de las puntas, adpter y segmentos del cucharón, reemplazarlas si es necesario
- ✓ Reemplazar el elemento primario cuando aparezca la alarma de restricción del filtro, limpiar el precleaner.
- ✓ Limpiar el panel del radiador
- ✓ Limpiar la tapa del radiador o reemplazarla si es necesario
- ✓ Engrasar los puntos externos de lubricación y columna de dirección con grasa tipo 3Moly Avanzada NLGI Grado 2

CAPITULO VI – ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Todo proyecto requiere de una inversión económica y la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad tiene las características de un proyecto, que inicia con el diagnóstico en este caso la cantidad de fallas, información proveniente de los usuarios involucrados en cada uno de los procesos, sus percepciones, conocimientos teóricos y empíricos que manejan ayuda a detectar los problemas que impiden que los activos físicos trabajen dando su máxima eficiencia, a partir de esta información se pudo tomar las decisiones correspondientes respecto al mantenimiento. Por otro lado, la ejecución del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad obliga a elaborar un presupuesto que se ejecutara a lo largo de un periodo de 12 meses previo análisis y aprobación por parte del equipo de trabajo y la gerencia general. A continuación, en la tabla 25 y tabla 26 se muestra el presupuesto que genera dicha implementación.

Tabla 25

Costos de Repuestos para el Cargador Frontal L120G

Máquina	Repuesto	Precio por Unidad (dólares)	Unidades	Precio total(dólares)
CARGADOR FRONTAL	Filtro de	100	5	500
	Combustible	100	5	500
	Filtro de aceite	100	5	500
	Filtro de	100	5	500

Máquina	Repuesto	Precio por Unidad (dólares)	Unidades	Precio total(dólares)
	aire(primario)			
	Filtro de aire(secundario)	100	5	500
	Dientes	100	16	1600
	Bomba Hidráulica	2000	1	2000
	Cambio de Baterías	250	2	500
	Cambio de Neumáticos	1200	4	4800
TOTAL				10900

Tabla 26

Costos de Capacitación en Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Descripción	Precio (dólares)	Cantidad	Subtotal (dólares)
Capacitador	500	4	2000
Capacitación Interna en RCM	30	4	120
Materiales de oficina	400	1	400
TOTAL			2520

De la Tabla 25 y Tabla 26 se observa que la implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad asciende a \$ 13 420, por otro lado,

antes de la aplicación de la metodología las pérdidas generadas por fallas en el cargador frontal son más de \$ 20 000.

Los beneficios de la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad(RCM) no solamente son económicos, también se aprecia que la disponibilidad en el periodo (de 12 meses) donde se aplicó la metodología se incrementó con respecto a los 12 meses previos a la aplicación del RCM, a continuación, podemos observar las siguientes tablas que nos muestran mes a mes la disponibilidad del cargador frontal en ambos periodos.

Tabla 27

Disponibilidad del Cargador Frontal L120G en el Periodo Julio 2020 – Junio 2021

Año	Meses	Tiempo total programado para producir (horas)	Tiempo de parada	Tiempo real de trabajo	MTTR (tiempo medio para restaurar)	MTBF (Tiempo medio entre fallas)	Disponibilidad
2020	Julio	200	3	197	3	197	0.985
	Agosto	200	39	161	19.5	80.5	0.805
	Setiembre	200	3	197	3	200	0.985
	Octubre	208	5	203	5	203	0.976
	Noviembre	192	39	153	19.5	93	0.827
	Diciembre	200	5	195	5	97.5	0.951
	Enero	192	6	186	3	93	0.969
2021	Febrero	176	36	140	36	140	0.795
	Marzo	208	5	203	5	203	0.976
	Abril	192	3	189	3	187	0.984
	Mayo	200	39	161	19.5	195	0.909
	Junio	200	10	190	5	95	0.950
	GLOBAL		2368	193	2175	10.7	120.8

De la tabla 27 se observa que el MTTR (tiempo medio para restaurar la falla) es de 10.7 h, el MTBF (tiempo medio entre fallas) es de 120.8 y la disponibilidad inherente del cargador frontal en el periodo Julio 2020 – Junio 2021 es de 91,8%.

Tabla 28

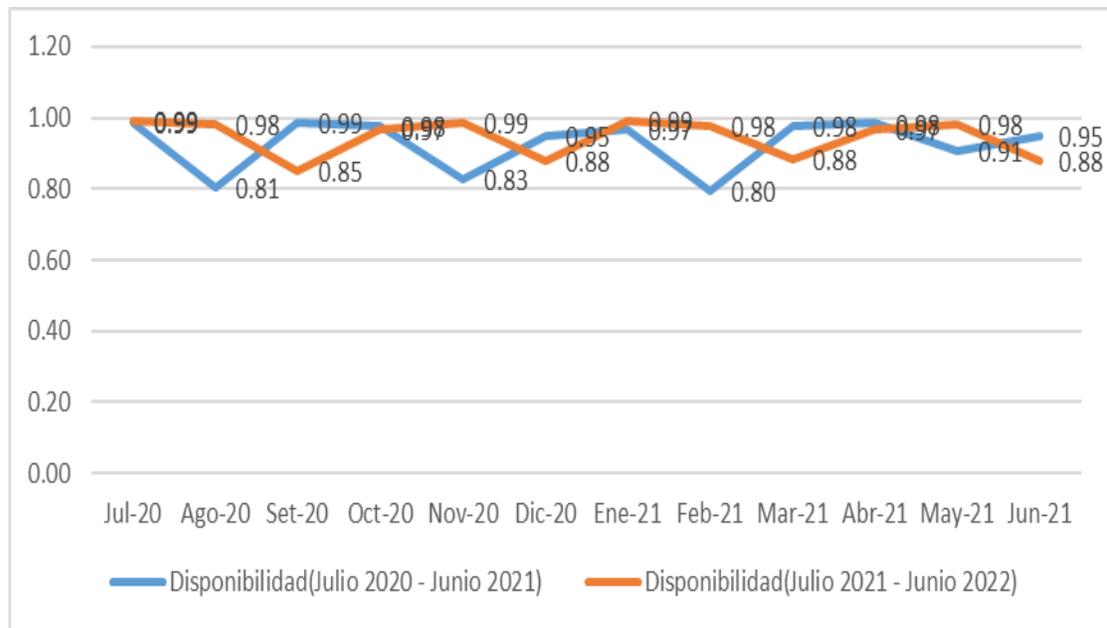
Disponibilidad del Cargador Frontal L120G en el Periodo Julio 2021 – Junio 2022

Año	Meses	Tiempo total programado para producir (horas)	Tiempo de parada	Tiempo real de trabajo	MTTR (tiempo medio para restaurar)	MTBF (Tiempo medio entre fallas)	Disponibilidad
2021	Julio	200	2	198	2	198	0.990
	Agosto	200	4	196	4	196	0.980
	Setiembre	200	30	170	30	170	0.850
	Octubre	200	6	194	3	97	0.970
	Noviembre	200	2	198	3	198	0.985
	Diciembre	200	24	176	24	176	0.880
2022	Enero	200	2	198	2	198	0.990
	Febrero	176	4	172	4	172	0.977
	Marzo	208	24	184	24	184	0.885
	Abril	192	6	186	3	93.5	0.969
	Mayo	200	4	196	4	196	0.980
	Junio	200	24	176	24	176	0.880
GLOBAL		2376	132	2244	9.4	160.3	0.944

De la tabla 28 se observa que el MTTR (tiempo medio para restaurar la falla) es de 9.4 h, el MTBF (tiempo medio entre fallas) es de 160.3 y la disponibilidad inherente del cargador frontal en el periodo Julio 2021 – Junio 2022 es de 94,4%.

Figure 12

Disponibilidad Inherente Mensual del Cargador Frontal en los Periodos Julio 2020 – Junio 2021 y Julio 2021 – Junio 2022



En la Figura 12 se aprecia la mejora relativa de la disponibilidad del cargador frontal en el periodo de julio 2021 – junio 2022 que se atribuye a la aplicación del RCM

Por otro lado el análisis de la Tabla 27 y la Tabla 28 permite ver que hubo mejoras en el mantenimiento, respecto al MTTR (tiempo medio para restaurar las fallas) de 10,7 disminuyó a 9,4 h, en cuanto al tiempo medio entre fallas se incrementó de 120,8 a 160,3 y respecto a la disponibilidad del cargador frontal se incrementó de 91,8 % a 94,4 % es decir hubo una mejora de 2,6 % experimentando una mejora significativa en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad(RAM), se proyecta que aún se puede superar los niveles

obtenidos mejorando las estrategias y cumpliendo a cabalidad cada una de ellas.

6.1 Resultados económicos obtenidos en el Cargador Frontal L20G

La implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología del RCM aplicado en el cargador frontal L120G permitió reducir en 69 horas el tiempo de parada de la máquina, lo cual repercute directamente en la productividad de la empresa como se muestra en la tabla 29.

Tabla 29

Ahorros Generados por las Horas Ganadas a partir de la Aplicación del RCM

AHORRO	PRECIO UNITARIO	NÚMERO DE HORAS	TOTAL
Costo de parada de ahorro	\$ 300	69	\$ 20 700

Las políticas de la empresa para que un proyecto sea viable considera que la inversión debe tener un retorno de la inversión en un plazo máximo de un año y el TIR (Tasa Interna de Retorno) debe ser superior al 30%, por otro lado, la inversión tiene un monto aproximado de \$ 13420 para llevar implementar el plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en el cargador frontal y los ahorros generados superan los \$ 20 000 y con ello se puede confirmar que la $TIR > 30\%$ siendo así un proyecto viable.

CONCLUSIONES

- 1) La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad permitió incrementar la disponibilidad del cargador frontal en 2,6 %, también se logró reducir el número de fallas, extender el tiempo medio entre fallas y disminuir el tiempo para reparar las fallas.
- 2) Con la metodología del RCM se busca analizar las funciones, fallas funcionales y consecuencias de las fallas de los equipos para determinar las tareas proactivas a implementarse en la organización, así mismo el RCM logra mejorar el desempeño operativo, la relación costo - efectividad, y también aumentar la vida útil de los equipos.
- 3) El RCM mejora el entendimiento sobre las fallas de los equipos en el personal, debido a que esta metodología involucra la constante actualización por parte del personal y permite que se fortalezcan las capacidades y actitudes y se trabaje de forma integral.
- 4) Se logró establecer actividades para los tipos de mantenimiento que existen como: predictivo, correctivo y preventivo previo análisis del equipo de trabajo, también para el establecimiento de las actividades se tomó en cuenta la opinión de personas con mucha experiencia en el tema.

5) Con un programa mantenimiento basado en confiabilidad se logra determinar los equipos más críticos y a partir de ello tomar las medidas correspondientes que ayuden a mejorar el rendimiento, producción y eficiencia de los activos físicos.

RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda a las empresas que tiene activos físicos aplicar la metodología del RCM, siguiendo cada uno de los 7 pasos como muestra la norma SAE JA 1011, ello permite determinar el equipo que presenta criticidad con respecto a sus funciones.

- 2) Se recomienda a las empresas contar con personal técnico altamente capacitado en el mantenimiento mecánico y conocer los diferentes tipos de mantenimiento y los beneficios que generan como el mejoramiento de producción y mayor disponibilidad de los equipos.

- 3) Se recomienda involucrar personal capacitado de las distintas áreas como: producción, mantenimiento, calidad y seguridad al momento de realizar la selección de activos físicos al mismo tiempo el personal involucrado debe demostrar responsabilidad, compromiso y flexibilidad para el trabajo en equipo, los trabajadores deben ser conscientes que las horas de trabajo que se invierten en análisis contribuye en la mejora de los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amendola, L. (2015). Organización y gestión del mantenimiento. España: PMM Institute for Learning.

Barsallo Coico, Milka Lisset (2020). Gestión del mantenimiento utilizando la herramienta RCM para aumentar la eficiencia de los vehículos de la empresa Induamerica Servicios Logísticos S.A – Lambayeque [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipan del Perú]. Archivo digital. <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/8251/Barsallo%20Coico%2c%20Milka%20Lisset.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Castillo Santillán, A (2017). Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema power oil de la estación Atacapi del B57-LI de Petroamazonas EP [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo del Ecuador] Archivo digital. <https://1library.co/document/y4xdjk9z-propuesta-mantenimiento-confiabilidad-horizontal-multietapas-estacion-atacapi-petroamazonas.html>

Estadísticas de Mantenimiento: Desafíos, Tendencias y Métricas (2022). Infraspak Team. <https://blog.infraspak.com/es/mantenimiento-estadisticas-desafios-tendencias/>

García Palencia, Oliverio(2012). *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial*.

Colombia: Ediciones de la U.

García, S. (2012). *Ingeniería de mantenimiento - Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial*. RENOVETEC.

<http://www.renovetec.com/ingenieria-del-mantenimiento.pdf>

Informe del Estado del Mantenimiento Industrial (2020). *Advanced Technology Service (ATS)*. <https://www.advancedtech.com/resource/2020-state-of-industrial-maintenance-report-download/>

International Organization for Standardization [ISO]. (2016). *Industrias de petróleo y gas natural – Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos*.

<https://es.slideshare.net/cstparkour/norma-iso14224-en-espaol>

Mora, L. (2011). *Mantenimiento - planeamiento, ejecución y control*. (2da. Ed.). México: Alfa Omega.

Moubray, J (2004). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad (E, Sueiro y Asociados, Trad. 2ª ed.)*. Reino unido: Aldon Ltd. (Original work published 1991).

Núñez Ingaroca, C (2016). *RCM para optimizar la disponibilidad de los tractores d8t en la empresa Aruntani SAC – Unidad Tukari* [Tesis de pregrado,

Universidad Nacional del Centro del Perú]. Archivo digital.

<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1574/TESIS%20FINAL01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pacheco Bado, I (2018). *Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM para la reducción de fallas de la maquinaria de la empresa Hydro Pátapo S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo del Perú]. Archivo digital. <https://1library.co/document/zx9em34z-propuesta-implementacion-gestion-mantenimiento-preventivo-reduccion-maquinaria-empresa.html>

Sector mantenimiento mueve alrededor de S/250 millones anuales en el Perú

(2021). *Agencia Peruana de Noticias ANDINA.*

<https://andina.pe/agencia/noticia-sector-mantenimiento-mueve-alrededor-s250-millones-anuales-el-peru-834935.aspx>

Sexto, L.F. (2015). *Ingeniería de la fiabilidad.* [Tesis de Maestría en Gestión del Mantenimiento, Escuela superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador]. Archivo digital.

Society of Automotive Engineers [SAE]. (1999). Norma SAE JA1011 – Criterios de Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en

Confiabilidad (RCM). https://kupdf.net/download/norma-sae-ja1011_5c787626e2b6f52e0b091af7_pdf

Society of Automotive Engineers [SAE]. (2002). *Norma SAE JA1012 – Guía para norma de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)*.
<https://es.slideshare.net/RobinsonColomaPizarr/norma-sae-ja-1012>

Zavala Medina, C (2018). *Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para el Chancador Primario Fuller, operación Mantoverde* [tesis de pregrado, Universidad Técnica Federico Santa María de Chile]. Archivo digital.
<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/40797/3560900257693UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXO C

Hoja de Información de Funciones del Equipo que Presenta Nivel Crítico

EQUIPO						
ETAPA						
FUNCION						

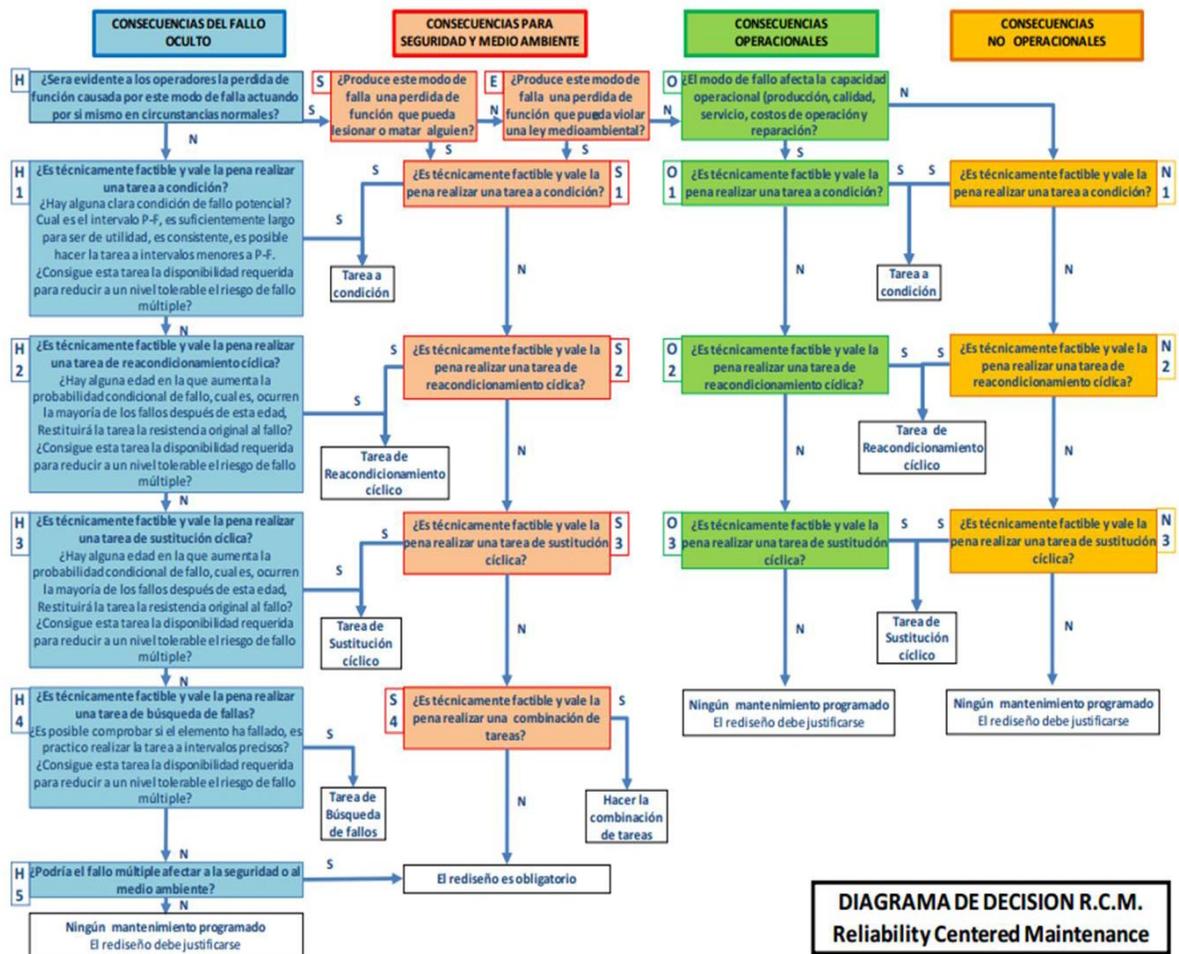
ANEXO D

Hoja de Información de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA: Cargador Frontal L120G			Facilitador:	Fecha:	Hoja N°: 1
	SUBSISTEMA: Sistema de Lubricación			Auditor:	Fecha:	
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLO		EFFECTOS DE FALLA		
1.	1		1			
			2			
			3			
	2		1			
			2			
			3			
	3		1			
			2			
			3			
2						
3						
4						

ANEXO F

Diagrama de decisión del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

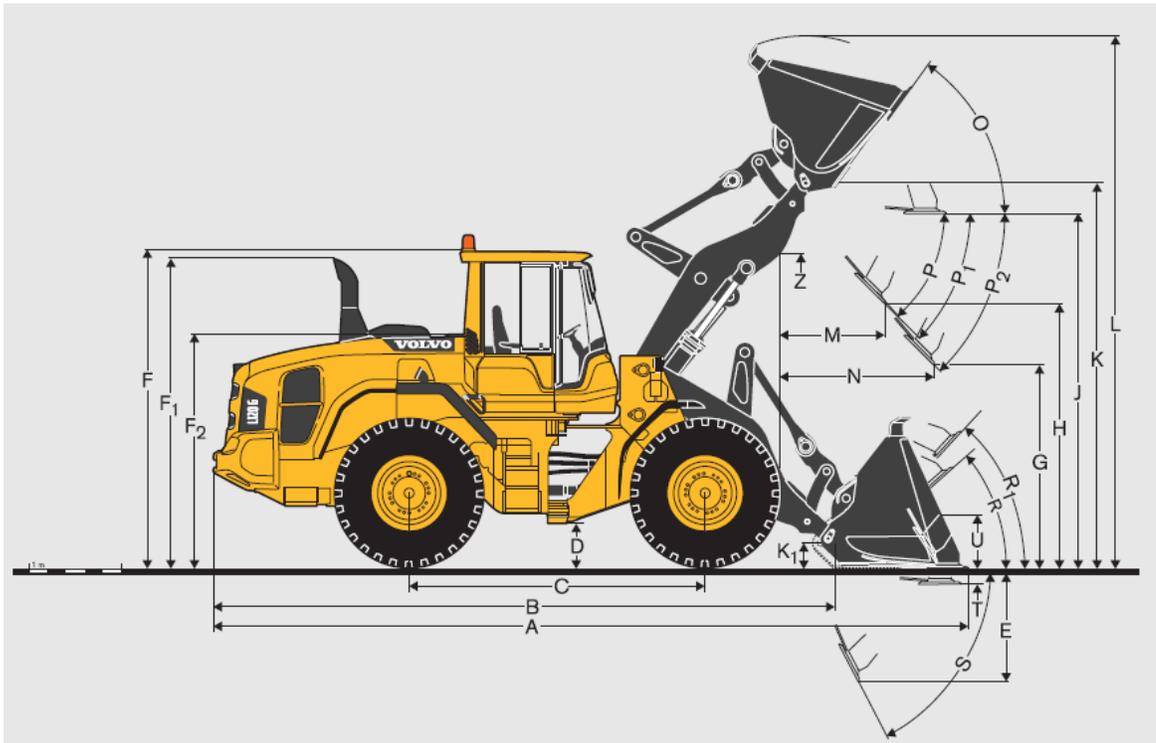


**DIAGRAMA DE DECISION R.C.M.
Reliability Centered Maintenance**

Fuente: Campos Avella 2016

ANEXO I

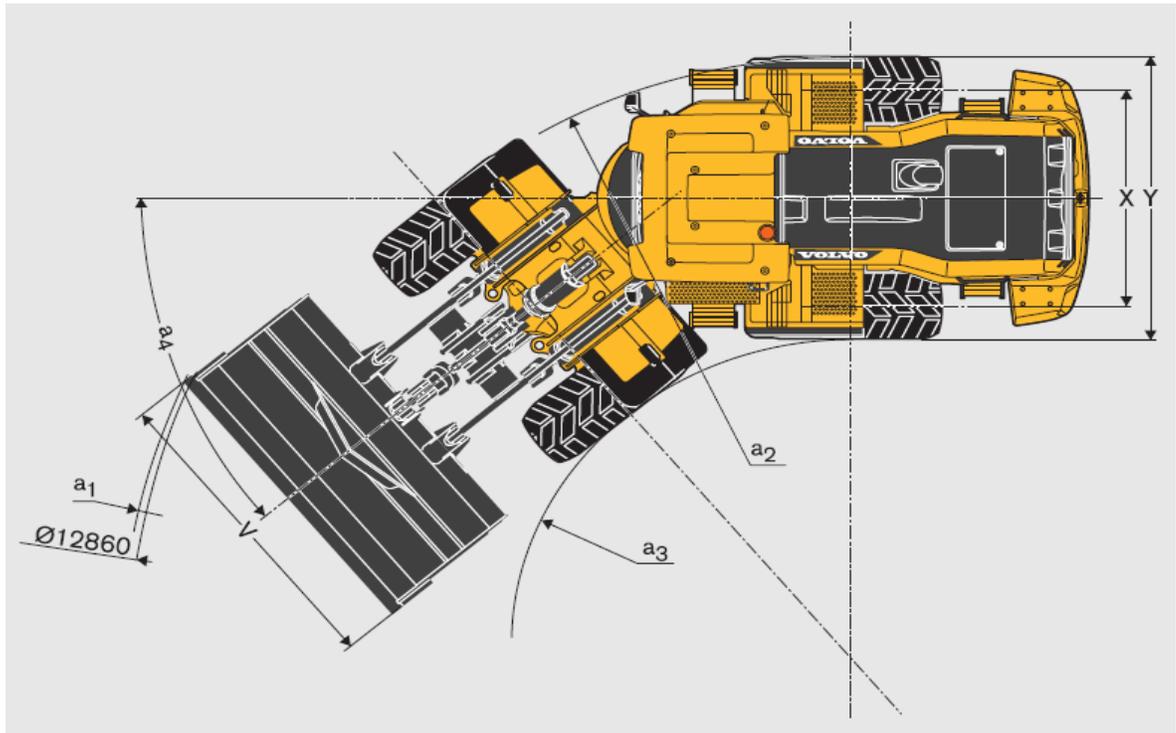
Vista frontal de un cargador frontal L120G de neumáticos 23,5 R25 L3



Fuente: Ficha técnica del cargador frontal L120G

ANEXO J

Vista superior de un cargador frontal L120G de neumáticos 23,5 R25 L3



Fuente: Ficha técnica del cargador frontal L120G

ANEXO K

Medidas longitudinales y angulares de un cargador frontal L120G de neumáticos 23,5 R25 L3

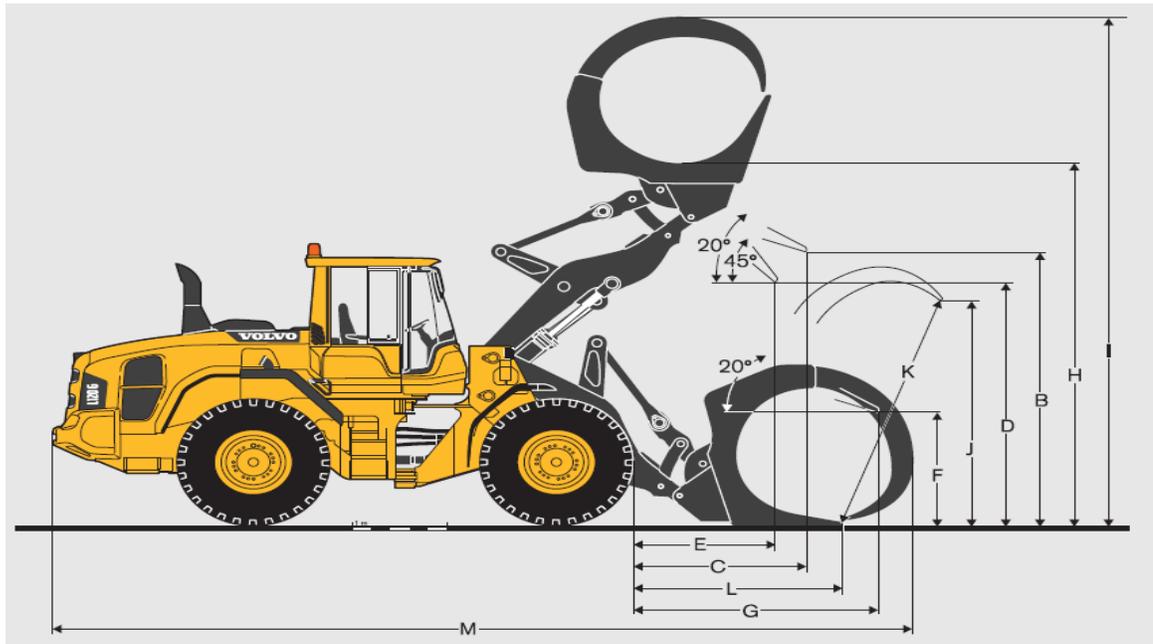
Medidas longitudinales y angulares de un cargador frontal L120G de neumáticos 23,5 R25 L3			
		Brazos estándar	Brazos largos
B	mm	6580	7067
C	mm	3200	-
D	mm	440	-
F	mm	3380	-
G	mm	2132	-
J	mm	3770	4306
K	mm	4100	4618
O	°	54	-
Pmax	°	41	-
R	°	42	42,5
R₁	°	47	-
S	°	67	63,9
T	mm	104	134
U	mm	510	-
X	mm	2070	-
Y	mm	2670	-
Z	mm	3340	3715
a2	mm	5730	-
a3	mm	3060	-
a4	± [□]	40	-

* Posición de acarreo SAE

Fuente: Ficha Técnica del cargador frontal L120G

ANEXO L

Vista frontal de un cargador frontal L120G de neumáticos 750/65 R25



Fuente: Ficha Técnica del cargador frontal L120G

ANEXO M

Cargador frontal Volvo L120G realizando movimiento de tierra para la inmobiliaria LGP en Minería Gloria Grande – Ate – Lima.



ANEXO N

Medidas longitudinales y angulares de un cargador frontal L120G de neumáticos 750/65 R25

Medidas longitudinales y angulares de un cargador frontal L120G de neumáticos 750/65 R25		
A	m ²	2,4
B	mm	3470
C	mm	1850
D	mm	2850
E	mm	1460
F	mm	1520
G	mm	2720
H	mm	4580
I	mm	6620
J	mm	2790
K	mm	2990
L	mm	2060
M	mm	8770

Fuente: Ficha Técnica del cargador frontal L120G

ANEXO O

Tiempo y costo de reparación del cargador frontal L120G durante el periodo Julio 2020 – Junio 2021

Maquina	Tipo de Falla	N° de fallas	Tiempo unitario para reparar la falla(h)	Tiempo total para reparar la falla(h)	Perdida unitaria por fallas(dolares)	Pérdida total por fallas(dolares)
Cargador Frontal	Cavitación en las bombas hidráulica	2	36	72	2100	4200
	Obstrucción de filtros de aire, aceite y combustible	9	3	27	200	1800
	Material de penetración rotas(dientes)	4	5	20	1640	6560
	Obstrucción de Neumáticos	1	5	5	3240	3240
Total		16		124		15800

ANEXO P

Disponibilidad, confiabilidad del cargador frontal L120G durante el periodo Julio 2020 – Junio 2021

Año	Meses	Tiempo total programado para producir(h)	Tiempo de parada	Tiempo real de trabajo	MTTR(tiempo medio para restaurar)	MTBF(Tiempo medio entre fallas)	Disponibilidad
2020	Julio	200	3	197	3	197	0.985
	Agosto	200	39	161	19.5	80.5	0.805
	Setiembre	200	0	200	0	200	1.000
	Octubre	208	5	203	5	203	0.976
	Noviembre	192	6	186	3	93	0.969
	Diciembre	200	5	195	2.5	97.5	0.98
2021	Enero	192	6	186	3	93	0.969
	Febrero	176	36	140	36	140	0.795
	Marzo	208	5	203	5	203	0.976
	Abril	192	5	187	5	187	0.974
	Mayo	200	5	195	5	195	0.975
	Junio	200	10	190	5	95	0.950
GLOBAL		2368	125	2243	7.8125	140.1875	0.947

ANEXO Q*Historial de mantenimiento del cargador frontal L120G durante el periodo Julio 2020 – Junio 2021*

Fecha entre julio 2020 y junio 2021	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de reparación operario(dólares)
23 de julio del 2020	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0
06 de agosto del 2020	36	Brazo	Cavitación en la bomba hidráulica	1	2000	2000	100
23 de agosto del 2020	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0
12 de octubre del 2020	5	Cucharón	Dientes rotos	16	100	1600	40
04 de noviembre del 2020	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0
25 de noviembre del 2020	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0
03 de diciembre del 2020	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0
30 de diciembre del 2020	5	Cucharón	Dientes rotos	16	100	1600	40

Fecha entre julio 2020 y junio 2021	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de reparación operario(dólares)
04 de enero del 2021	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0
22 de enero del 2021	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0
02 de febrero del 2021	36	Brazo de elevación	Cavitación en la bomba hidráulica	1	2000	2000	100
08 de marzo del 2021	5	Cucharón	Dientes rotos	16	100	1600	40
05 de abril del 2021	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0
04 de mayo del 2021	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0
01 de junio del 2021	5	Cucharón	Dientes rotos	16	100	1600	40
25 de junio del 2021	5	Mandos finales	Desgaste de Neumáticos	4	800	3200	40

ANEXO R

Historial de Mantenimiento de la Retroexcavadora 420E durante el periodo Julio 2020 – Junio 2021

Fecha entre julio 2020 y junio 2021	Tiempo de reparación	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos por pack	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de reparación operario(dólares)
07 de julio del 2020	3	Brazo	Ruptura de las mangueras	1	200	200	40
21 de julio del 2020	3	Motor	Desgaste de filtros	6	0	450	0
04 de agosto del 2020	3	Motor	Desgaste de baterías	2	150	300	40
25 de agosto del 2020	3	Motor	Desgaste de filtros	6	0	450	0
14 de octubre del 2020	3	Brazo	Ruptura de la mangueras	1	200	200	40
18 de noviembre del 2020	3	Motor	Desgaste de baterías	2	150	300	40
10 de Diciembre del 2020	5	Cucharon	Dientes rotos	8	150	1200	40
06 de enero del 2021	36	Brazo	Cavitación en la bomba hidráulica	1	2000	2000	100

Fecha entre julio 2020 y junio 2021	Tiempo de reparación	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos por pack	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de reparación operario(dólares)
10 de febrero del 2021	3	Motor	Desgaste de baterías	2	150	300	40
17 de marzo del 2021	3	Motor	Desgaste de filtros	6	0	450	0
12 de abril del 2021	3	Motor	Desgaste de filtros	6	0	450	0
25 de mayo del 2021	3	Motor	Desgaste de baterías	2	150	300	40
08 de junio del 2021	5	Cucharon	Uñas rotas	8	150	1200	40
28 de junio del 2021	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	150	300	40

ANEXO S

Historial de mantenimiento del Cargador Frontal L120F durante el periodo Julio 2020 – Junio 2021

Fecha entre julio 2020 y junio 2021	Tiempo de reparación(h)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de reparación operario(dólares)
09 de julio del 2020	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0
11 de agosto del 2020	36	Brazo	Cavitación en la bomba hidráulica	1	2000	2000	40
11 de setiembre del 2020	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0
02 de noviembre del 2020	5	Cucharón	Dientes rotos	16	100	1600	40
25 de noviembre del 2021	5	Mandos finales	Desgaste de Neumáticos	4	800	3200	40
17 de diciembre del 2020	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0
21 de enero del 2021	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0
11 de febrero del 2021	5	Motor	Desgaste de filtros	5	0	200	40
08 de marzo del	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0

Fecha entre julio 2020 y junio 2021	Tiempo de reparación(h)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de reparación operario(dólares)
5 de abril del 2021	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	200	0
14 de mayo del 2021	36	Brazo	Cavitación en la bomba hidráulica	1	2000	2000	40
18 de junio del 2021	5	Cucharón	Dientes rotos	16	100	1600	40

ANEXO T*Historial de Mantenimiento del Minicargador 236D3 durante el periodo Julio 2020 – Junio 2021*

Fecha entre julio 2020 y junio 2021	Tiempo de reparación	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de reparación operario(dólares)
13 de agosto del 2020	3	Motor	Desgaste de Filtros	4	0	180	0
01 octubre del 2020	5	Mandos Finales	Desgaste de Llantas	4	500	2000	40
04 de noviembre del 2020	3	Motor	Desgaste de Filtros	4	0	180	0
02 de diciembre del 2020	5	Cucharón	Dientes rotos	16	80	1280	40
06 de enero del 2021	3	Motor	Desgaste de Filtros	4	0	180	0
18 de marzo del 2021	3	Motor	Desgaste de Filtros	4	0	180	0
03 de junio del 2021	3	Motor	Desgaste de Filtros	4	0	180	0

ANEXO U*Historial de Mantenimiento del Minicargador 246D durante el periodo Julio 2020 – Junio 2021*

Fecha entre julio 2020 y junio 2021	Tiempo de reparación	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad(repuesto) en dolares	Precio de unidad(repuesto) en dolares	Precio de reparación operario(dólares)
15 de julio del 2020	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	180	0
07 de setiembre del 2020	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	180	0
12 de octubre del 2020	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	180	0
14 de diciembre del 2020	5	Cucharón	Dientes rotos	16	80	1280	40
15 de enero del 2021	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	180	0
11 de marzo del 2021	5	Mandos Finales	Desgaste de Neumáticos	4	700	2800	40
17 de abril del 2021	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	180	0
08 de mayo del 2021	5	Cucharón	Dientes rotos	16	80	1280	40

Anexo V

Historial de mantenimiento del Reach Kalmar durante el periodo Julio 2020 – Junio 2021

Fecha entre julio 2020 y junio 2021	Tiempo de reparación	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad(repuesto) en dolares	Precio de unidad(repuesto) en dolares	Precio de reparación operario(dólares)
08 de agosto del 2020	3	Brazo	Ruptura de las mangueras	1	200	200	40
17 de octubre del 2020	3	Motor	Desgaste de filtros	5	0	200	0
07 noviembre del 2020	5	Mandos finales	Desgaste de llantas	4	200	800	40
11 de enero del 2021	3	Motor	Desgaste de filtros	5	0	200	0
16 de febrero del 2021	3	Brazo	Ruptura de las mangueras	1	200	200	40
19 abril del 2021	3	Motor	Desgaste de baterías	2	150	300	40
13 de mayo del 2021	5	Brazo	Ruptura de las mangueras	1	200	200	40

ANEXO W*Historial de mantenimiento de Reach Fantuzi durante el periodo Julio 2020 – Junio 2021*

Fecha entre julio 2020 y junio 2021	Tiempo de reparación	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de unidad(repuesto) en dólares	Precio de reparación operario(dólares)
04 de julio del 2020	3	Brazo	Ruptura de las mangueras	1	200	200	40
07 de agosto del 2020	3	Motor	Desgaste de filtros	5	0	200	0
03 octubre del 2020	3	Motor	Desgaste de baterías	2	150	300	40
06 de noviembre del 2020	3	Motor	Desgaste de filtros Ruptura de las	6	0	470	0
04 de enero del 2021	3	Brazo	mangueras	1	180	180	40
06 de febrero del 2021	5	Mandos finales	Desgaste de llantas	4	200	800	40
24 de abril del 2021	3	Motor	Desgaste de filtros	5	0	200	0