

**Propuesta plan de mejora para incrementar la disponibilidad de los cargadores Caterpillar
en una empresa productora de concreto en la ciudad de Bogotá.**

Andrés Felipe Roa Sánchez, Pablo Emilio Gavilán Martínez y Alejandro Moreno Cubillos

Asesor:

Msc. Fred Geovanny Murillo Rendon

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Dirección de Posgrados

Universidad ECCI

Bogotá, D.C.

2023

**Propuesta plan de mejora para incrementar la disponibilidad de los cargadores Caterpillar
en una empresa productora de concreto en la ciudad de Bogotá.**

Andrés Felipe Roa Sánchez

Código 124562

Pablo Emilio Gavilán Martínez

Código 124563

Alejandro Moreno Cubillos

Código 124566

Asesor: Msc. Fred Geovanny Murillo Rendon

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Dirección de Posgrados

Universidad ECCI

Bogotá, D.C.

2023

Introducción

Con la globalización del mercado, empresas de todo el mundo se ven obligadas a cumplir con estándares internacionales de calidad para poder ser competitivas a nivel regional, nacional e internacional. En Colombia todas las organizaciones que quieran demostrar la calidad de sus productos o servicios deben estar certificadas de acuerdo con los requisitos de las normas internacionales que aplican a sus procesos, por lo que es importante que cuenten con un plan de mantenimiento que les permita mantener sus equipos y herramientas. En este trabajo se presenta la forma en que será aplicada la herramienta Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) a los Cargadores Caterpillar de una empresa productora de concreto en la ciudad de Bogotá en el que su principal objetivo es aumentar el indicador de disponibilidad que tienen los equipos en la actualidad. Esta metodología permite definir las tareas y frecuencias de mantenimiento.

Resumen

Este documento tiene como objetivo presentar una propuesta de mejora al plan de mantenimiento actual para incrementar la disponibilidad de los cargadores Caterpillar 962H que hacen parte de una empresa productora de concreto, estos cargadores son eje fundamental en la producción del mismo, ya que son los encargados de transportar los agregados a cada una de las plantas de producción y por ende una avería o parada inoportuna de estos equipos equivale a incumplimiento a clientes, pérdidas de producción, baja de calidad. Por esto mismo los cargadores son catalogados de alto impacto dentro de la organización.

Para poder mejorar la eficiencia de estos se diagnosticarán los problemas que están presentando actualmente estos cargadores en cada una de las plantas de producción de Concreto en la ciudad de Bogotá; para esto se realizará una recolección de información teniendo en cuenta manuales que tengan estos equipos, los procedimientos actuales de mantenimiento de la empresa y entrevistas al personal directamente relacionado con los cargadores. Con los datos arrojados en este diagnóstico se evaluará la información recolectada para poder determinar los modos de falla y efectos de este equipo para así poder desarrollar un análisis taxonómico y de criticidad a los cargadores guiado con la norma ISO 14224 para finalmente poder presentar una propuesta de mejora a esta compañía en el mantenimiento preventivo y predictivo que ayude a disminuir costos de mantenimiento mejore el porcentaje de disponibilidad de los equipos.

Palabras clave: Mantenimiento, disponibilidad, concreto, confiabilidad, criticidad.

Abstract

The purpose of this document is to present a proposal to improve the current maintenance plan to increase the availability of the Caterpillar 962H loaders that are part of a concrete production company, these loaders are a fundamental axis in the production of concrete, since they are in charge of transporting the aggregates to each of the production plants and therefore a breakdown or untimely stop of this equipment is equivalent to non-compliance to customers, production losses, low quality. For this reason, loaders are considered of high impact within the organization.

In order to improve their efficiency, the problems that these loaders are currently presenting in each of the concrete production plants in the city of Bogotá will be diagnosed; for this purpose, a collection of information will be made taking into account the manuals that these equipments have, the current maintenance procedures of the company and interviews to the personnel directly related to the loaders. With two data obtained in this diagnosis, the information collected will be evaluated to determine the failure modes and effects of this equipment in order to develop a taxonomic and criticality analysis of the loaders guided by the ISO 14224 standard to finally be able to present an improvement proposal to this company in the preventive and predictive maintenance that will help to reduce maintenance costs and improve the percentage of maintenance of the equipment, reduce maintenance costs and improve the percentage of equipment availability.

Keywords: Maintenance, availability, concrete, reliability, criticality.

Tabla de contenido

Introducción	3
Lista de ilustraciones.....	9
Listado de Tablas	10
Título de la Investigación.....	11
1. Problema de Investigación	11
1.1. Descripción del problema.....	11
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Alcance del problema	12
2. Objetivos	13
2.1. Objetivo general	13
2.2. Objetivos específicos	13
3. Justificación y delimitación	14
3.1. Justificación	14
3.2. Delimitación	15
3.3. Limitaciones	15
4. Marcos de Referencia	16
4.1. Estado del arte	16
4.1.1. Tesis Nacionales.....	16

4.1.2. Tesis Internacionales	20
4.2. Marco Teórico	27
4.2.1. Mantenimiento	27
4.2.2. Principios básicos de Mantenimiento	28
4.2.3. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).....	28
4.2.4. Disponibilidad.....	41
4.3. Marco Legal.....	43
4.3.1. Marco Legal Colombiano	43
4.3.2. Marco Legal Internacional.....	45
5. Marco Metodológico de la Investigación	47
5.1. Tipo de investigación.....	47
5.2. Desarrollo de la investigación	47
5.3. Diseño metodológico.....	49
5.4. Cronograma	50
6. Propuesta de solución	51
6.1. Actividades Fase 1: Recolección de información.....	51
6.2. Actividades Fase 2: Evaluar Información Recolectada.....	65
6.3. Actividades Fase 3 – Propuesta de solución.....	79
7. Análisis Financiero (costo-beneficio).....	89

Inversión	89
Beneficio	91
8. Conclusiones	92
9. Recomendaciones	93
10. Referencias bibliográficas y webgrafía	94

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 <i>Proceso del mantenimiento centrado en confiabilidad</i>	35
Ilustración 2 <i>Pasos adicionales propuestos para metodología RCM</i>	36
Ilustración 3 <i>Histórico de fallas por sistemas</i>	63
Ilustración 4 <i>Porcentaje de frecuencia de fallos</i>	64
Ilustración 5 <i>Histórico Disponibilidad</i>	65
Ilustración 6 <i>Pasos a paso para mantenimiento preventivo</i>	80

Listado de Tablas

Tabla 1 <i>Criterio de detectabilidad (D) para la evaluación de los efectos de falla</i>	38
Tabla 2 <i>Criterio de severidad (S) para la evaluación de los efectos de falla</i>	38
Tabla 3 <i>Criterio de ocurrencia (O) para la evaluación de los efectos de falla</i>	39
Tabla 4 <i>Criterio de semaforización de acuerdo con el valor del NPR.</i>	39
Tabla 5 <i>Cronograma de actividades por fase</i>	50
Tabla 6 <i>Equipos en la organización</i>	52
Tabla 7 <i>Horas de parada por fallos para cuatro equipos</i>	64
Tabla 8 <i>Análisis información histórico de fallas</i>	66
Tabla 9 <i>Análisis de Taxonomía</i>	70
Tabla 10 <i>Análisis de Criticidad</i>	73
Tabla 11 <i>Tabla factor de consecuencias</i>	75
Tabla 12 <i>Tabla factor de consecuencias</i>	76
Tabla 13 <i>Modos y efectos de falla</i>	78
Tabla 14 <i>Formato de inspección diaria</i>	82
Tabla 15 <i>Formato de solicitud mantenimiento de equipos</i>	84
Tabla 16 – <i>Presupuesto Mensual</i>	90

Título de la Investigación

Propuesta plan de mejora para incrementar la disponibilidad de los cargadores Caterpillar en una empresa productora de concreto en la ciudad de Bogotá.

1. Problema de Investigación

1.1. Descripción del problema

En el país existen diferentes compañías dedicadas a la producción de concreto, la empresa en estudio es líder en el mercado nacional.

Hoy, es el segundo productor de concreto más grande de los Estados Unidos y el primer productor de cemento y concreto en Colombia. Es una empresa global en crecimiento, que establece su presencia en 16 países y territorios con economías recientes y avanzadas.

Tiene una historia de más de 80 años y cuenta con más de 7200 empleados en tres estados, 13 plantas de cemento, 265 plantas de concreto, 9 plantas de clínker, 28 puertos y estaciones, 67 centros de embarque, más de 2200 hormigoneras, más de 1600 furgones y cuatro botes.

De acuerdo con las cifras de la expuestas anteriormente se expone la fortaleza de la organización frente a sus competidores directos, aunque con grandes fallos en su sistema de gestión de mantenimiento donde se ha evidenciado pérdidas económicas considerables por demoras en tiempos de parada en sus equipos primarios.

La compañía tiene cuatro plantas ubicadas en la ciudad de Bogotá, en cada una de ellas cuenta con un cargador frontal marca Caterpillar, modelo 962H que últimamente tuvieron

problemas con la disponibilidad (Por debajo del 90% en los meses de junio de 2021 a junio de 2022) ocasionando retrasos en la entrega de producto final.

1.2. Formulación del problema

Dados los problemas que han sido identificados y expuestos anteriormente se plantea el siguiente cuestionamiento:

¿Cómo mejorar la disponibilidad de los cargadores Caterpillar 962H de una empresa productora de concreto para sus plantas en la ciudad de Bogotá y evitar incumplimientos en entrega de producto final al cliente?

1.3. Alcance del problema

El alcance de este proyecto se enfoca en proponer un plan de mejora al actual programa de mantenimiento que se cuenta para los cuatro Cargadores frontales Caterpillar 962H de una empresa productora de concreto en la ciudad de Bogotá buscando aumentar su disponibilidad por encima del 95%.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Generar una propuesta de mejora para incrementar la disponibilidad de los cuatro cargadores Caterpillar 962H de una empresa productora de concreto en cada una de sus plantas en la ciudad de Bogotá que permita aumentar la eficiencia en la entrega de producto final al cliente.

2.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar los problemas que se están presentando con los cargadores Caterpillar 962H que reducen su disponibilidad y por ende la producción de concreto en las plantas que se vean afectadas en la ciudad de Bogotá.
- Identificar y evaluar la información recolectada del equipo objeto de estudio.
- Definir estrategias utilizando RCM (mantenimiento basado en confiabilidad) para mejorar la eficiencia de los activos este evitando paradas no programadas.

3. Justificación y delimitación

3.1. Justificación

Como consecuencia de las averías presentadas por los cargadores frontales Caterpillar 962H entre los meses de junio de 2021 y junio de 2022, la empresa reportó paradas de producción no programadas que afectaron la disponibilidad de las plantas generando en los clientes un descontento por el incumpliendo en la entrega del pedido.

Después de hacer el correspondiente análisis de las estadísticas y bases de datos de los cargadores se evidencian las fallas que se están cometiendo en su proceso de mantenimiento.

Algunos de los problemas detectados son:

- Incumplimiento en la programación de actividades de mantenimiento.
- Aumento en intervenciones correctivas del equipo.
- Falta de entrenamiento al personal de mantenimiento y operaciones.

Este documento pretende desarrollar un programa de mantenimiento que ayude a mejorar la disponibilidad, ya que dichos activos son considerados unos de los más críticos dentro de la operación de producción para las plantas a la que están asignados, ya que cuando presentan fallos generan el retraso en el proceso de producción de concreto debido a que su función primaria es alimentar con materia prima las tolvas de cargue para su procesado.

3.2. Delimitación

Este proyecto de investigación se desarrollará dentro de las instalaciones de una empresa productora de concreto ubicada en la ciudad Bogotá, específicamente en las cuatro plantas analizadas y a los Cargadores asignados a cada una de estas. Esta propuesta será desarrollada entre los meses de junio de 2021 y junio de 2022.

3.3. Limitaciones

En este momento la empresa no cuenta con un informe detallado de criticidad en el mantenimiento de estos equipos, además una falta de capacitación al personal técnico y operativo de la máquina que no permite dictaminar fallas y frecuencia de estas, por consiguiente, no se cuenta con un presupuesto asignado específicamente para el mantenimiento de los cargadores Caterpillar 962H.

4. Marcos de Referencia

4.1. Estado del arte

Seguidamente, se relacionan diferentes investigaciones nacionales e internacionales enlazados con el problema de investigación.

4.1.1. Tesis Nacionales

En primera instancia, se encuentra *Plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada de la empresa INSER SAS* desarrollado en la Universidad Tecnológica de Bolívar por Bravo y Castro (2012).

Este estudio consistió en crear un proyecto de mantenimiento provisorio que ayude a la minimización de los mantenimientos correctivos de la compañía INSER SAS, que es una firma dedicada a la metalmecánica en general, obras civiles y renta de maquinaria pesada, entendiendo por esta a toda máquina móvil, diésel hidráulica y diésel eléctrica, tal como vial, agrario , logística portuario, entre otras que son utilizadas en la edificación , minería, transporte, división naval y portuario, por lo cual para conseguir desarrollar el proyecto de mantenimiento para dicha compañía se basaron en cuatro puntos importantes los cuales son:

- Realizar una identificación y caracterización de los equipos que serán incluidos en el plan de mantenimiento preventivo de la empresa INSER SAS mediante visitas a campo y estudio de catálogos y manuales.
- Conocer las actividades de mantenimiento que se ejecutan actualmente en la empresa INSER SAS, a fin de identificar los puntos a mejorar.

- Establecer el plan de mantenimiento preventivo, a través de la información de las rutinas de mantenimiento proporcionada por los fabricantes de los equipos y las recomendaciones de los operadores expertos en este tipo de maquinaria.

Los aportes que podemos destacar del trabajo realizado para la empresa INSER por los autores de este plan de mantenimiento. Es como establecer la identificación y caracterización a través de la información de las rutinas de mantenimiento y estadísticas de frecuencia con la que se realizan los respectivos mantenimientos a la maquinaria pesada, en este caso los que componen de motores diésel y tienen circuitos hidráulicos.

Luego, tenemos la *Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la tracción X-TREME del parque Mundo Aventura, tomando como referencia las normas, SAE JA1011 y SAE JA1012* por Ramirez y Moreno (2017).

Este documento nos presenta el estudio de criticidad y disponibilidad para una de las máquinas que conforman del parque de atracciones Mundo Aventura, teniendo en cuenta las normas internacionales SAE JA1011 Y SAE JA1012. Además, la máquina que es objeto de este análisis es catalogada como de alto impacto. Este estudio busca desglosar apropiadamente los elementos mecánicos y eléctricos que fueron de mayor crítica en la atracción con el fin de generar planes de mantenimiento que incrementen la disponibilidad de la máquina y reduzcan el tiempo entre fallos, así como el tiempo destinado a realizar las labores de mantenimiento programado y correctivo.

Los aportes que se para nuestro proyecto es como se tomó como referente las normas SAE JA1011 y JA1012, es importante ya que permiten tener una guía para realizar

adecuadamente el procedimiento a seguir en el desarrollo de análisis de los componentes críticos de un equipo y así mismo proponer acciones de mejora en torno a las actividades en el área de mantenimiento.

Torres (2017) en su *Plan de mantenimiento para el área de mantenimiento de la empresa cementos CEMEX regional eje cafetero*, presenta el plan de mejora para a corregir los procesos de mantenimiento de los equipos mixer de la empresa cementos CEMEX regional eje cafetero.

En este programa se han seleccionado diferentes tipos de mantenimientos predictivo, provisorio y correctivo, con estas medidas el área de mantenimiento se trabajó con los clientes internos y externos de la asociación, para de esta manera compensar las debilidades con las que contaba la compañía al momento de efectuar el mantenimiento de los equipos.

Para lograr satisfacer los estándares de calidad y generar beneficio que planteaban en la organización, el plan de mejoramiento se enfocó en el planteamiento de la rectificación de las fallas del mantenimiento correctivo, con el motivo de gestionar los costos del área en materia, ya que, permitió saber, mantener y rebasar las metas económicas establecidas por la comitiva; teniendo en recuento la necesidad de proceder los ajustes requeridos, normalizar la asistencia de mantenimiento hacia los equipos de producción, y estableció frecuencias de comprobación, supervisión y graduación de los equipos, dando diligencia al cometido del área.

Este planteamiento sirvió a nuestro proyecto debido a que se generó un plan de acción en el que se determinaron los ítems que se deben llevar a cabo para dar continuidad a las tareas

implementadas en el plan de mejora, así mismo, se estipulo un organigrama con fechas puntuales para realizar cada tarea, el funcionario responsable y el costo de cada tarea, encontrando que el valor total de la inversión para la ejecución del plan de mejoramiento.

Alternativamente, Ruiz (2009) en el artículo titulado *Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa INVERGLOVAL INC LTDA*, tiene como objetivo de este trabajo implementar un plan de mantenimiento precautorio, apoyado en un índice de datos, que documente los procedimientos de mantenimiento provisorio, acciones y plazos de limpieza, supervisión, arreglo, lubricación y cambio de repuestos para maquinaria pesada. Acá se explican los diseños de métodos mixtos, cuantitativos y cualitativos. Esta perspectiva se considera un componente constitutivo de la información estadística complementaria. Estos datos se basan esencialmente en información proporcionada por el fabricante, de igual manera información acerca el funcionamiento de los equipos en dominio de la firma. Durante la realización del plan, supuestamente se monitorea el funcionamiento de los equipos, utilizando registros e informes de los operadores para tal fin. De este modo se recopila toda la información finalmente recopilada para proveer apoyo a la administración y autorizar la persistencia del plan de mantenimiento planificado.

El aporte de este trabajo es notar cómo cada actividad programada ahorra tiempo y recursos a la empresa. Las reparaciones más costosas son el mantenimiento correctivo, y es obvio que las posibles fallas se pueden evitar en la medida de lo posible mediante la notificación oportuna de las mismas. En el mantenimiento preventivo, las piezas se reparan y reemplazan

para evitar que fallen en el mantenimiento correctivo, pero las piezas dañadas deben repararse y cambiarse porque su falla puede afectar a otros componentes.

4.1.2. Tesis Internacionales

El artículo de Escobar Caina (2011) titulado *Estudio del mantenimiento para maquinaria pesada y su incidencia en la producción en la empresa Alvarado Ortiz Constructores CIA. LTDA en el cantón Ambato*, en Ecuador; consistió en concebir un estudio de mantenimiento para mantener las máquinas en buena condición, contribuyendo justamente en la disposición y prolongación del tiempo útil para realizar la intervención carente contratiempos del mecanismo. Se requirió de un estudio actualizado que permitió verificar y tratar el mantenimiento de la firma Alvarado Ortiz Constructores Cía. Ltda., que se encarga del esbozo, planificación, fiscalización y cimentación de obras viales, civiles, sanitarias, hidráulicas, eléctricas y de infraestructura. Este estudio se basó a las recomendaciones de los fabricantes de las máquinas y a la experiencia, de cada uno de los mecánicos y operadores.

Para el avance de la propuesta se precedió a reformar los registros de las máquinas e inventarios, se elaboraron manuales de mantenimiento y se utilizó un administrador de índice de datos propuesto por la compañía para desplegar un programa de mantenimiento.

De este estudio hecho podemos destacar el análisis que se realizó para procesar y controlar el mantenimiento de la empresa todo en base de los datos y fichas técnicas suministradas por las recomendaciones del fabricante, pero sobre todo se destaca la importancia de los datos estadísticos desarrollados en base a la experiencia de los mecánicos y operarios,

debido a te determino un eje fundamental en este artículo de estudio para generar una propuesta de mejora.

También, desde la perspectiva de Montenegro (2017) en su monografía *Sistema de gestión de mantenimiento basado en el riesgo para incrementar la confiabilidad de la maquinaria pesada de la empresa Chancadora del norte S.A.C* desarrollada en la Universidad Nacional de Trujillo, Perú; se trató sobre de aumentar la seguridad del acopio de la maquinaria aprovechado por la Empresa Chancadora del Norte SAC, para lo cual se planteó y se designó por el período de un año el sistema de gestión de mantenimiento adoptando el modelo de mantenimiento basado en el riesgo de equipos del AMEF.

El autor del texto un realizo estudio a 12 máquinas de la empresa: cargadores frontales, excavadoras, retroexcavadoras, motoniveladoras y rodillo neumático; los cuales, en el periodo de un año, merecieron en un total de 6 960 horas en reparaciones, que ocasionaron una pérdida de capital por fallas en plena manufactura. Luego, se realizó un análisis de criticidad de equipos, apoyado en 5 pautas: Frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento, seguridad ambiental y humana.

Por lo que se entiende, la empresa no contaba prescindir con un plan de mantenimiento planificado de acuerdo con las circunstancias de operación de la maquinaria pesada de las cuales aparecían problemas de paralización en la producción.

Basándose en estos precedentes de la maquinaria de la empresa, el autor se encuentra con una baja confiabilidad y disponibilidad y alta mantenibilidad, para ejecutar las diferentes tareas, por estos aspectos se planteó dar solución a esta problemática desarrollando un sistema de gestión de mantenimiento basado en el riesgo.

Como aporte a nuestro proyecto podemos ver como los indicadores de mantenimiento de la maquinaria obtenidos antes de la aplicación de la experiencia, eran de una disponibilidad del 93%, una confiabilidad de 54%, la mantenibilidad de 48%, y cuando se hizo la aplicación de mantenimiento basado en el riesgo aplicado mediante un conjunto de actividades permitió el incremento de la disponibilidad de toda la maquinaria en un rango o desde un mínimo a un máximo de 93% a 98%, la confiabilidad entre 54% al 92% y reduciendo la mantenibilidad al 6%.

Ahora bien, en el *Plan de mantenimiento preventivo apoyado en el RCM para mejorar el rendimiento de disponibilidad mecánica para maquinaria pesada excavadora CAT 336-Compañía minera Raura S.A* por Mesa Huayta (2019) tiene como objetivo principal de esta tesis fue confeccionar un plan de mantenimiento preventivo apoyado en el RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de la maquinaria, la investigación realizada para poder lograr este propósito fue a través del método de la observación científica con un diseño descriptivo. El instrumento utilizado fue el cuestionario en modalidad de encuesta y ficha de reporte diario a los operarios de la máquina. Con estos datos en los cuestionarios y fichas de reporte provistas por los operarios, se logró establecer una metodología de mantenimiento centrado en fiabilidad.

Gracias a esta implementación de mantenimiento preventivo apoyado en el RCM para mejorar el rendimiento de disponibilidad mecánica maquinaria pesada; con los resultados se pudo conocer es saber cuáles eran las partes o componentes que más se sufrían desgaste en la máquina, su determinación en las averías mecánicas y su incidencia en la producción de la empresa.

Con este proyecto se logró ver como el cómo el mantenimiento basado en fiabilidad suministro a esta empresa un modelo nuevo y más eficiente para su maquinaria pesada, pero como este, el sistema RCM, acompañado del método científico aplicado en mantenimiento centrado en la confiabilidad logro mejorar la disponibilidad mecánica de los equipos críticos además su resultado final en la operatividad de estas máquinas llegara a ser forma continua e ininterrumpida.

Así mismo, Hernández Cruz (2010) dentro de su *Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada en funcionamiento de la zona vial No.14, dirección general de caminos, Salamá, baja Verapaz* presenta programas de mantenimiento para diferentes tipos de maquinaria y equipo de construcción de carreteras. En esta tesis puede encontrar información sobre zonas de carreteras, detalles de las máquinas, diferentes ejemplos de mantenimiento, programas de mantenimiento de máquinas y períodos de servicio.

Notoriamente aparte, la función de todo arreglo es extender la vida útil de cualquier máquina o equipo; se ha establecido que el mantenimiento preventivo es el más oportuno y económico porque se basa en una organización planificada; para su realización es necesario después de que el período de servicio haya terminado se realice el servicio en el equipo de acuerdo con el calendario y las horas de trabajo.

Con este trabajo se observa como a través de un seguimiento a los procedimientos apropiados de mantenimiento preventivo como lo son la lubricación, el engrase por parte de los operadores ayudan a prolongar la vida útil de la maquinaria además de disminuir costos de

operación y mantenimiento, además de hacer notar como la operación de mantenimiento por parte de los operadores de las maquinas es clave en todo el proceso de mantenimiento.

Por su parte, Cárcamo Sáenz (2019) presenta en su *Propuesta de mejora a plan de mantenimiento y al sistema de gestión de stock de repuestos a motor diésel de camiones de extracción 797 Caterpillar en compañía minera centinela ubicada en la ciudad de Antofagasta* (Universidad técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar, Chile) un programa enfocado a mejorar el mantenimiento de un sistema crítico en camionetas Caterpillar y se analiza el comportamiento de la flota de camiones de enero a septiembre. Como se puede apreciar, presenta varios imprevistos que impactan directamente en la disponibilidad y confiabilidad de la flota de camiones que transportan minerales, recordando que parte fundamental para atender los imprevistos es mejorar los lineamientos de mantenimiento, es decir, mantener una adecuada resolución durante la operación por las fallas que se presenten.

A través de este trabajo se interioriza la mejor manera de analizar los lineamientos de mantenimiento que allí como explican se realiza cada se realizan cada 250 horas, y se ha interiorizado aún más el concepto y funcionamiento del área de planeación en los indicadores, y como a través de estos lineamientos ha sugerido mejoras, identificado pasos y en ocasiones, otra posibilidad, no importa que se dejen de lado los sectores otros sectores del mantenimiento para atender a los más críticos. Finalmente, considerando los temas importantes en el mantenimiento, uno está relacionado con el mantenimiento y el otro está relacionado con el inventario existente en el almacén.

En el año 2020, Herrera Brito muestra en su trabajo *Overhaul y trabajos de mantenimiento MMPP CAT 3618* de la Universidad de laguna, España cómo es el proceso de overhaul de dos motores principales CAT 3618 de los cuatro principales que impulsan el catamarán, ya que el fabricante establece en su plan de mantenimiento a las 40.000 horas de funcionamiento, hay que realizar dichos trabajos. Allí exponen que se han concertado los servicios de la factoría específica de la marca, el cual será el que llevará a cabo dichas labores de mantenimiento, en unión con el departamento de maquinarias y el inspector que tiene el buque designado. Además, exponer cuáles han sido las piezas afectadas por el desgaste por horas y sometidas a dicha reparación, viendo así que existen elementos tanto imprescindibles, así como secundarios de este, que tienen que ser sometidos a dicha inspección y/o sustitución.

El aporte a nuestro proyecto es como hacer el correcto seguimiento de los planes de mantenimiento establecidos por las marcas para los mismos. Por ejemplo, en los CAT 3618, que son ser motores robustos y con un bajo índice de averías y en el tiempo que llevo en este barco nunca se han producido averías que hayan ocasionado que un propulsor se hubiera tenido que detener. Además de resaltar la eficiencia al hacer el trabajo de overhaul en taller con respaldo de esta.

También cabe destacar el trabajo realizado por García Correa junto a Yarleque Olaya (2018) de un *Diseño de un plan integral de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa Inversiones Oberti S.R.L.* Universidad Nacional de Piura, Perú; ya que muestra un análisis crítico de fallas, que se llevó a cabo en el periodo 2018 en esta empresa a toda la maquinaria, de la cual se llegó observar mediante un diagrama de Pareto que el equipo con más fallas es la Excavadora Caterpillar y en la cual se centraron en desarrollar la investigación para el

plan de mantenimiento preventivo. En dicho equipo se realizó en base a las indicaciones del manual del fabricante y las recomendaciones de los operarios creando formatos de operación diaria y fichas de programación de las actividades. Llegando a resolver que el Plan de mantenimiento expuesto servirá para minimizar al máximo las fallas puedan presentarse a partir de la implementación de este o que queden restantes posteriormente.

Con este trabajo se interioriza el proyecto de investigación; comprende una visión actual del tipo de actividades de mantenimiento que se realizan en la empresa ya que este análisis previo nos permite proponer actividades para un plan de mantenimiento preventivo basado en horas de funcionamiento del equipo con un costo estimado de los repuestos cambiar, lo cual en conjunto ayuda minimizar el número de fallas que se puedan presentar a partir de la implementación.

4.2. Marco Teórico

En el marco teórico se destacan algunos conceptos que serán importantes durante el desarrollo de este proyecto de investigación relacionados con el equipo objeto de estudio, los conceptos de mantenimiento y sus niveles de importancia.

4.2.1. Mantenimiento

Se define es la disciplina caracterizada por conservar las máquinas y equipos en un estado de operación, lo que comprende servicio, pruebas, inspecciones, ajustes, reemplazo, reinstalaciones, calibración, reparación y reconstrucción.

Basado en la aplicación de conceptos, criterios y técnicas requeridas para el mantenimiento, proporcionando una guía de las políticas o criterios para la toma de decisiones en la administración y la integración de sistemas de mantenimiento. (Parra, 2016).

La importancia del mantenimiento radica en que es necesario preservar los equipos e instalaciones en perfecto estado para no producir ninguna pérdida al interior de la organización. Para que un mantenimiento se considere eficiente este debe garantizar la productividad, asegurar el correcto servicio de los equipos, así como la resguardo y preservación de estos; además de reducir los costos generados por paradas, optimizar la disponibilidad tanto de equipos como de instalaciones, y garantizar la seguridad de todo el personal. (PATTON, 1988).

4.2.2. Principios básicos de Mantenimiento

Para garantizar un mantenimiento efectivo, la meta buscada será la sincronización de las actividades de la industria en función de un alto rendimiento. Los principios de general aplicación en cualquier actividad, podemos condensarlos de la siguiente manera: El mantenimiento debe ser considerado como un factor económico de la compañía, debe ser planificado, eliminando la imprevisión. Debe existir un exacto programa anual de Mantenimiento, basado en el costo real de reparaciones de cada máquina o instalación de trabajo. Debe existir un equipo de Mantenimiento especializado, con funciones claramente definidas dentro del propio organigrama del servicio (Jimbo Robles & Sellán Quiñónez, 2013). Debe existir información técnica completa sobre con los trabajos de mantenimiento de cada máquina o instalación. Las actividades y costos de mantenimiento deben traducirse en índices de referencia y comparación; consiguiendo de esta forma seguir los pasos de la gestión del Servicio de Mantenimiento en la Industria. (Romero Noboa, 2014)

4.2.3. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es una metodología altamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento que incluyan todo tipo de estrategias (preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, etc.); en ella se busca organizar las actividades de la gestión para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos para asegurar su efectivo mantenimiento.

Esta metodología fue desarrollada inicialmente por la industria comercial de aviación de los Estados Unidos para mejorar la seguridad y confiabilidad de sus equipos, fue definida por los

empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en 1978 y ha sido utilizada para determinar estrategias de mantenimiento de activos físicos en casi todas las áreas de trabajo en los países industrializados del mundo.

El mantenimiento centrado en confiabilidad busca determinar de forma sistemática las actividades que se deben desarrollar, con el fin de asegurar que los activos físicos cumplan con las funciones requeridas por el usuario, por medio del diseño de programas y planes que disminuyan el costo y el riesgo de la misma manera que aumenten la confiabilidad de los equipos.

La definición formal del RCM, es la propuesta en la norma SAE – JA 1011 de agosto de 1999: El mantenimiento enfocado en confiabilidad es una filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un grupo de trabajo multidisciplinario, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema productivo, que funciona bajo condiciones de operación definidas, estableciendo las actividades más efectivas en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, considerando los posibles efectos que originan los modos de fallas de estos activos, en la seguridad, el ambiente y las funciones operacionales.

En la actualidad, el RCM es utilizado con frecuencia no solo para identificar tareas de mantenimiento, también se utiliza como marco de referencia para analizar el riesgo en equipos, clasificar por importancia los componentes significativos para el mantenimiento o detectar áreas de oportunidad de mejora en el mantenimiento de equipos complejos.

4.2.3.1. Pasos para Mantenimiento centrado en confiabilidad

La norma SAE JA1011, de agosto de 2009, estableció que para que un proceso sea reconocido como RCM debe seguir los siete pasos en el orden que se muestra a continuación:

(SAE, Criterios de evaluación del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad

(Reliability Center Maintenance, RCM), 1999).

1. Delimitar el contexto operativo, las funciones y los estándares de desempeño deseados asociados al activo (contexto operacional y funciones).

El primer paso para diseñar una estrategia RCM es determinar qué es lo que queremos que el activo haga, para mantener las funciones específicas del equipo debemos establecer sus funciones y parámetros operacionales.

Sus funciones operacionales podemos definirlas en dos categorías:

- Funciones Primarias: Esta categoría sintetiza el porqué de la adquisición del equipo, se justifica la compra del activo porque es veloz, por su productividad, por su capacidad o calidad que ofrece.
- Funciones Secundarias: Esclarece las funciones inherentes que el equipo debe tener para cumplir las expectativas del usuario tales como control, eficiencia, seguridad, sencillez incluso hasta apariencia.

Adicionalmente se definen los estándares de desempeño en el contexto operacional que el usuario requiera para el equipo objetivo del RCM.

2. Determinar cómo un activo puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales).

Una falla funcional la podemos expresar como un estado del activo para no cumplir con las expectativas de rendimiento del activo considerado, para esto es importante la comprensión total de las funciones y rendimiento del activo para así determinar cuáles podrían ser sus

posibles fallas asociados con cada función para que podamos identificar todas las causas relevantes.

3. Definir las causas de cada falla funcional (modos de falla).

En este paso aclaramos las causas que pudieron provocar la falla funcional (razonablemente probables), esto incluye fallos que han ocurrido en equipos similares u operando en contextos operacionales parecidos, fallas que con el mantenimiento existente pueden suceder o fallas que, aunque no han ocurrido tienen alguna probabilidad de ocurrencia. Se deben incluir también fallas generadas por el personal operativo del equipo, y fallas de diseño del equipo.

4. Describir qué pasa cuando ocurre cada falla (efectos de falla).

En RCM los efectos de falla miden la consecuencia de cada falla, en el caso de ocurrir cuanto puede perjudicar a la organización. Los efectos de falla ayudan a determinar la criticidad de la falla ocurrida teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- ¿Existe evidencia de que la falla ha sucedido?
- ¿Cómo afecta la falla en la seguridad al personal? (si tiene relevancia en la seguridad).
- ¿Cómo afecta la falla al medio ambiente?
- ¿Cómo afecta la producción y operaciones de la planta?
- ¿Se generan daños físicos generados por la falla?
- ¿Qué debe hacerse para restaurar la falla?

5. Clasificar los efectos de las fallas (consecuencias de la falla).

En esta clasificación se determina la afectación directa e impacto que tiene cada falla sobre el medio ambiente, la operación de la organización, la seguridad del personal, la calidad del producto generado, la imagen de la empresa. Si existe alguna falla que genere gran impacto sobre alguna de las anteriores, todo el esfuerzo de mantenimiento se direcciona a evitar la posibilidad de que tal daño suceda, pero por el contrario si la falla tiene bajo impacto u afectación tendrá un esfuerzo diferente o una rutina más simple de mantenimiento, tal como se explica esto dependerá de la consecuencia final como punto de partida. Con la metodología de RCM podemos clasificar estas consecuencias en 4 grupos:

- Consecuencias de fallas Ocultas: Una falla oculta no causa un impacto directo, pero expone a la organización a fallas múltiples fallas con resultados a menudo catastróficos o bastante serios.
- Consecuencias al medio ambiente o seguridad: Las fallas que generan estas consecuencias se catalogan si al suceder puede afectar la integridad física o incluso hasta provocar la muerte de cualquier persona. De la misma manera si la falla viola cualquier norma que cause cualquier degradación al medio ambiente.
- Consecuencias operativas: Estas fallas tendrán gran relevancia o determinación en la producción, calidad, o servicio al cliente. Por lo general este tipo de fallas generan costos adicionales al costo de reparación.

6. Determinar qué se debe realizar para predecir o prevenir cada falla (tareas e intervalos de tareas).

En la evolución del mantenimiento a lo largo de la historia uno de los avances que represento en su tiempo fue la relación de la edad del equipo con la probabilidad de falla, estos cambios determinaban la confiabilidad del equipo y la planta, aunque lo que hizo de manera directa fue inflar los costos de mantenimiento de los equipos debido al cambio de componentes de manera proactivo antes de que fallaran. Hoy gracias a estudios de confiabilidad de componentes sabemos que los patrones de deterioro de algunos activos siguen una constante condicional probabilidad de fallo en todas las edades o que sigue una alta tendencia de mortalidad infantil que eventualmente cae a una probabilidad constante o muy lenta de fallo.

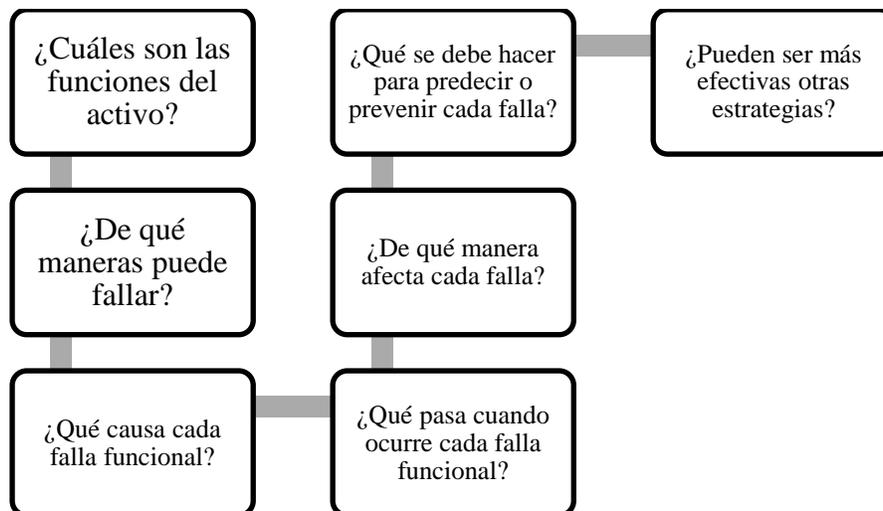
Esto nos lleva a un replanteamiento en las tareas proactivas que RCM divide en las siguientes 3 categorías:

- Tareas de Reacondicionamiento Cíclico: El reacondicionamiento cíclico consiste en actuar habitualmente para reacondicionar a su condición original una pieza o componente existente. Consiste en reconstruir un componente o hacer una reparación a un conjunto o ensamble completo.
- Tareas de Sustitución Cíclica: Consisten en descartar un elemento antes de, aparte de su condición en el momento. La filosofía detrás de estas tareas es remplazar la parte usada por una nueva, la que sustituirá a su condición original.

- Tareas a Condición: La base para estas tareas con actividades de mantenimiento predictivo, condición operacional o monitoreo y revisión periódica que deciden las acciones a tomar.

Decidir si otras estrategias de gestión de fallas pueden ser más efectivas (cambios de una sola vez). Cuando las actividades propuestas no son efectivas se propone detección de errores o fallas periódica, por otro lado, también existe el rediseño a partes físicas del componente y libre de mantenimiento cuando existe el caso que se puede despreciar o asumir la falla del componente.

Ilustración 1 *Proceso del mantenimiento centrado en confiabilidad.*



Nota. Adaptado de “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos” (p. 52), por Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R, 2019., Científica, 23(1), 51-59.

4.2.3.2. Desarrollo de la metodología RCM

Adicional al proceso de RCM descrito anteriormente, se pueden realizar pasos adicionales para incrementar la calidad del análisis y la efectividad del resultado, a pesar de que algunas actividades que se proponen como pasos adicionales al proceso de RCM existen actualmente y son contempladas (de manera intrínseca) para aplicar la metodología, se considera que se les debe dar mayor importancia para lograr el éxito al aplicar la metodología. Los pasos adicionales que se proponen se dividen en 3 etapas como se muestran a continuación.

Ilustración 2 Pasos adicionales propuestos para metodología RCM

Antes de aplicar RCM	Durante el análisis RCM	Después del análisis RCM
<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de información. • Elaborar taxonomía del equipo. • Documentar contexto operativo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Normalizar el análisis de modos y causas de falla. • Categorizar efectos de falla. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar el plan de mantenimiento. <ul style="list-style-type: none"> • Gestión de las recomendaciones o acciones predeterminadas. • Medir el desempeño.

Nota. Adaptado de “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos” (p. 53), por Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R, 2019., Científica, 23(1), 51-59.

Antes de aplicar RCM

De acuerdo con la norma SAE JA1011 antes de iniciar se sugiere que se recoja y analice la información correspondiente al activo que se necesita y que se establezca la taxonomía del activo. Esta información incluye planos, diagramas, manuales, bitácoras de operación - mantenimiento, documentos como el contexto operativo (si existe), también es esencial que se entreviste al personal de operación, producción y mantenimiento para extraer información sobre los requerimientos de desempeño deseados y problemas actuales que se estén presentando.

Durante el análisis RCM

Durante el análisis de RCM, se propone una forma de desarrollar y determinar los modos y causas de falla y categorizar los efectos de falla a través de los números de prioridad de riesgo.

Análisis modos y causas de falla:

La norma ISO 14224 define el modo de falla como un efecto a través del cual una falla es observada, es decir el modo de falla puede ser el síntoma cuantificable o evento que indica la

ocurrencia de una falla, esta norma proporciona una lista de modos de falla que puede ser utilizada como punto de partida para determinar la forma en cómo falla un equipo, después se puede aplicar una técnica de análisis como el diagrama causa-efecto para encontrar las causas de falla.

Existen bases de datos de falla como OREDA (Offshore Reliability Data Handbook), este documento presenta datos estadísticos de falla de equipos en instalaciones costa afuera. Tomando como punto inicial los modos de falla de la norma ISO 14224, se pueden utilizar las tablas de OREDA que relacionan estadísticamente los modos de falla con los componentes del equipo o con las descripciones de la falla.

Categorización de efectos de falla:

Con el fin de proporcionar una visión rápida del impacto de cada efecto de falla definido en el RCM, se propone incluir junto al enunciado del efecto de falla, la categorización del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) correspondiente, este parámetro es función de la evaluación cualitativa de 3 criterios: severidad, detectabilidad y ocurrencia. Se definieron estos criterios para realizar la evaluación, el criterio de detectabilidad se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 1 *Criterio de detectabilidad (D) para la evaluación de los efectos de falla*

CRITERIO DE DETECTABILIDAD	
NIVEL	CRITERIO
4	No hay probabilidad de detectar causas de falla potenciales a tiempo, se puede llegar a falla condicional
3	Baja probabilidad de detectar fallas potenciales y corregirlas a tiempo
2	Mediana probabilidad de detectar causas de falla potenciales y corregirlas a tiempo
1	Causa de falla potencial fácilmente detectable y corregirla durante la operación

Nota. Adaptado de “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos” (p. 55), por Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R, 2019., Científica, 23(1), 51-59.

Tabla 2 *Criterio de severidad (S) para la evaluación de los efectos de falla*

CRITERIO DE SEVERIDAD	
NIVEL	CRITERIO
4	Efectos críticos en la seguridad o en el medio ambiente, pueden existir lesiones, muertes o efectos irreversibles en el medio ambiente.
3	Efectos importantes en la capacidad productiva, hay pérdidas económicas importantes por tiempo de paro y reparación
2	Efecto leve en la capacidad productiva, hay pérdidas económicas leves por tiempo de paro o reparación
1	No hay efectos operativos ni pérdidas importantes

Nota. Adaptado de “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos” (p. 56), por Campos-López,

O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R, 2019., Científica, 23(1), 51-59.

Tabla 3 *Criterio de ocurrencia (O) para la evaluación de los efectos de falla*

CRITERIO DE OCURRENCIA	
NIVEL	CRITERIO
4	Pueden ocurrir varias fallas al año (Tasa de fallas ≥ 1 falla /año)
3	$0.3 < \text{Tasa de fallas} < 1$ (fallas / año)
2	$0.1 < \text{Tasa de fallas} \leq 0.3$ (fallas / año)
1	Tasa de fallas ≤ 0.1 (Fallas al año)

Nota. Adaptado de “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos” (p. 56), por Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R, 2019., Científica, 23(1), 51-59.

Finalmente, el valor del NPR del efecto de falla será el producto de los niveles asignados para cada criterio. Se asignó un criterio de semaforización para los efectos de falla con base en el valor del NPR, este criterio se observa en la siguiente tabla:

Tabla 4 *Criterio de semaforización de acuerdo con el valor del NPR.*

SEMAFORIZACIÓN	VALOR DEL NPR
Rojo	$\text{NPR} \geq 36$
Amarillo	$7 < \text{NPR} < 36$
Verde	$\text{NPR} \leq 7$

Nota. Adaptado de “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos” (p. 56), por Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R, 2019., Científica, 23(1), 51-59.

Una vez obtenidos los resultados de la aplicación de la metodología de RCM, es necesario asignar responsabilidades para asegurar la correcta implementación y ejecución del plan de mantenimiento, así como la aplicación de las recomendaciones obtenidas.

Después el análisis RCM

Una vez implementado el plan de mantenimiento de debe:

- Realizar el seguimiento correspondiente para asegurar la implementación.
- Asignar las responsabilidades correspondientes para la revisión, evaluación y puesta en marcha de las recomendaciones surgidas del análisis del RCM.

La medición del desempeño es la parte más importante para demostrar la efectividad del RCM, este se puede realizar a través de indicadores clave de desempeño (KPI por sus siglas en inglés) de mantenimiento y reportes relacionados con las recomendaciones.

4.2.3.3. Ventajas y desventajas del Mantenimiento centrado en confiabilidad

Si el mantenimiento centrado en confiabilidad es aplicado de manera correcta se obtendrán los siguientes beneficios:

- Menor tiempo muerto en los equipos.
- Mayor disponibilidad técnica.
- Mayor tiempo promedio entre fallas.
- Menor tiempo promedio para reparar.
- Reducción de actividades de mantenimiento preventivo.
- Reducción de desperdicios por efecto de fallas en la máquina.

Aunque es claro que el mantenimiento centrado en confiabilidad no es la solución definitiva para todos los problemas que se tienen en el área de mantenimiento de cualquier empresa los defectos que se pueden encontrar a grandes rasgos son:

El costo de la puesta en marcha del programa es elevado ya que se requiere que se haga una considerable inversión de tiempo, dinero, recursos y el retorno de la inversión puede ser demorado dependiendo de la forma en cómo se implemente.

4.2.4. Disponibilidad

La disponibilidad es una métrica utilizada para medir el porcentaje de tiempo que un activo puede ser utilizado. Calcula la probabilidad de que el equipo esté disponible, sin estar parado por intervenciones de mantenimiento preventivo o por averías, durante el período en que debería estar en funcionamiento.

4.2.4.1. Indicadores de Disponibilidad

Disponibilidad

Propiamente dicha es el cociente entre el tiempo disponible para producir y el tiempo total de parada. Para calcularlo, es necesario obtener el tiempo disponible, como resta entre el tiempo total, el tiempo por paradas de mantenimiento programado y el tiempo por parada no programada.

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ Totales - Horas\ parada\ por\ mantenimiento}{Horas\ Totales}$$

Una vez obtenido el resultado, se divide entre el tiempo total del periodo estimado.

Las horas de parada por mantenimiento que deben computarse son tanto las horas debidas a paradas ocasionadas por mantenimiento programado como el no programado.

En plantas que estén dispuestas por líneas de producción en las que la parada de una máquina supone la suspensión de toda la línea, es relevante calcular la disponibilidad de cada una de las líneas, y después calcular la media aritmética.

La disponibilidad total de cada uno de los equipos significativos debe calcularse mediante la media aritmética para obtener la disponibilidad total del equipo (IRIM, s/f)

Fiabilidad

La fórmula de cálculo es muy parecida a la anterior, pero sustituyendo en el numerador las horas de parada por mantenimiento por horas de parada por mantenimiento no programado.

$$Fiabilidad = \frac{Horas\ totales - Horas\ de\ parada\ por\ mantenimiento\ no\ programado}{Horas\ Totales}$$

Tiempo medio entre paradas (TMEP)

Es el tiempo medio que ha transcurrido entre dos paradas de mantenimiento, y se requiere para su cálculo en el numerador las horas totales del periodo, y en denominador, el número de paradas:

$$TMEP = \frac{Horas\ totales\ del\ periodo}{Número\ de\ paradas}$$

Tiempo medio hasta puesta en marcha (TMPM)

Representa el tiempo medio de duración de las diversas paradas ocurridas en el periodo e ítem analizado:

$$TMPM = \frac{\text{Horas totales de parada}}{\text{Número de paradas}}$$

Número de paradas

Sin ninguna fórmula, representa el número total de eventos que han provocado paradas debidos a mantenimiento, y representa un indicador en sí mismo.

Horas totales de parada

Es la suma de todas las horas de parada que ha sufrido un determinado ítem en el periodo analizado.

4.3. Marco Legal

A continuación, se nombran algunos aspectos legales relacionados con maquinaria pesada con la que se cuenta en esta empresa.

4.3.1. Marco Legal Colombiano**Decreto 2261 de 22 de noviembre 2012**

Mediante el cual el Ministerio de comercio, industria y turismo reglamenta la importación de maquinaria pesada en el territorio nacional y brinda medidas para regular,

registrar y controlar la importación está, además se dictan otras disposiciones para controlar el uso de maquinaria pesada e insumos químicos que puedan ser utilizados en actividades mineras sin las autorizaciones y exigencias previstas en la ley.

Resolución 210 de 29 de enero de 2013

A través de la cual el Ministerio de Transporte de Colombia regula la manera en que se moviliza maquinaria pesada y determina el contenido y el procedimiento para la expedición de la guía de movilización de la maquinaria, de que trata el decreto número 2261 de 2012.

Resolución 1068 de 23 de abril de 2015

Donde se dictan las regulaciones y lineamientos para registrar todo tipo de maquinaria en el sistema Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) y se determina el procedimiento para el cargue masivo de la información del detalle de la maquinaria agrícola, industrial, de construcción autopropulsada y minera en dicho sistema.

Ley 1005 de 19 de enero de 2006

En ella se describe y define cada tipo de vehículo permitido para moverse dentro del territorio nacional modificando el Código Nacional de Tránsito Terrestre, Ley 769 de 2002.

Decreto 19 de 10 de enero de 2012

En este decreto se reglamenta la inscripción en el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) de toda la maquinaria agrícola, industrial y de construcción autopropulsada en el territorio nacional y brinda los lineamientos requeridos para su acreditación.

Resolución 2086 del 30 de mayo de 2014

Emitida por el Ministerio de Defensa Nacional, en ella se fijan las condiciones técnicas del equipo, instalación, identificación, funcionamiento y monitoreo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) u otro dispositivo de seguridad y monitoreo electrónico y el mecanismo de control para el cambio del dispositivo, así como los parámetros para la autorización de proveedores de servicios y el registro respectivo en todo tipo de maquina pesada.

NTC 2042

Requisitos de funcionamiento e identificación de tanques para frenos de aire de automóviles y maquinaria pesada.

4.3.2. Marco Legal Internacional**ISO 12100 Seguridad de las maquinas**

En ella se describen los principios generales para el diseño, evaluación, reducción del riesgo y seguridad de las maquinas que todo fabricante debe revisar para que su producto cumpla con los estándares internacionales de normatividad segura.

SAE JA1011

Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) con el fin de aplicarlos en forma inmediata en el diseño de programas óptimos de mantenimiento para los equipos y maquinaria.

ISO 5500 Gestión de activos

Esta Norma Internacional provee los aspectos generales para la gestión de activos y sistemas de gestión de activos (es decir, sistemas de gestión para la gestión de activos).

EN 16646 Mantenimiento en la gestión de activos físicos

Esta norma introduce la relación entre el plan estratégico organizacional y el sistema de gestión de mantenimiento y describe las interrelaciones entre el proceso de mantenimiento y todos los demás procesos de gestión de activos físicos.

5. Marco Metodológico de la Investigación

5.1. Tipo de investigación

El presente trabajo se desarrolla bajo la metodología de investigación descriptiva de manera mixta en el que se incluyen análisis cualitativos y cuantitativos de los métodos y modos de falla del activo analizado que permitan dar respuesta a la pregunta de investigación.

5.2. Desarrollo de la investigación

El desarrollo del trabajo estará dividido por fases en las que se buscará darle respuesta a cada uno de los objetivos específicos así:

- Fase 1: Recolección de la información.
- Fase 2: Evaluar información recolectada.
- Fase 3: Propuesta de solución.

A continuación, se describen las actividades a realizar en cada una de las fases del proyecto.

Fase 1: Recolección de la información

Fuentes Primarias

Como fuente primaria para la obtención de información de la presente investigación se usaron los siguientes documentos:

- Manual del operador, manual de mantenimiento, manual de partes y repuestos del equipo.

- Resumen de mantenimientos preventivos, correctivos y predictivos para el periodo de estudio (junio 2021 a junio 2022) del activo.
- Entrevistas a personal involucrado en la operación y mantenimiento del equipo, históricos de fallas, ordenes de servicio, reportes de mantenimientos, informes de diagnóstico técnico, y demás documentación relevante suministrada por las áreas de mantenimiento y producción de la compañía.

Fuentes Secundarias

Las fuentes secundarias de la obtención de la información para la presente investigación son artículos científicos, tesis de grado, trabajos de investigación, libros de texto, libros electrónicos usados como referencia para dar soporte a cada uno de los elementos dentro de la investigación. (Sánchez, 2015).

Fase 2: Evaluar información recolectada

Una vez recolectada la información se procederá a hacer un análisis sobre la modos y efectos de falla, análisis de taxonomía, análisis de criticidad, y un análisis de los resultados de la entrevista al personal.

Fase 3: Propuesta de solución

Se propone hacer una modificación a los formatos actuales para incluir casillas que permitan saber quién fue el responsable de mantenimiento, sus observaciones, hallazgos, al igual que los repuestos y tiempos requeridos para cada mantenimiento.

5.3. Diseño metodológico

A continuación, se describen las actividades a realizar en cada una de las fases del proyecto.

Actividades Fase 1.

- A1-F1 Recolección de información – Búsqueda sobre el cronograma de mantenimiento propuesto por el fabricante, sus limitaciones y recomendaciones de uso.
- A2-F1 Procedimientos actuales- Actividad relacionada con la búsqueda de procedimientos basado en los formatos de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.
- A3-F1 Entrevistas al personal – Realizar entrevistas al personal operario del equipo y al personal que realiza los diferentes mantenimientos del activo.
- A4-F1 Histórico de fallas – Identificación del origen de las fallas y su frecuencia de acuerdo con las estadísticas suministradas por el departamento de mantenimiento.
- A5-F1 Disponibilidad del equipo – recolección de información referente a la disponibilidad del activo a lo largo del periodo de estudio.

Actividades Fase 2.

- A1-F2 Análisis historial de fallas
- A2-F2 Análisis resultados de la entrevista
- A3-F2 Análisis de taxonomía
- A4-F2 Análisis de criticidad

- A5-F2 Análisis de modo y efecto de falla (AMEF)

Actividades Fase 3.

- A1-F3 Implementación formatos de mantenimiento
- A2-F3 Propuesta de implementación programa de mantenimiento

5.4. Cronograma

Tabla 5 Cronograma de actividades por fase

ACTIVIDAD	JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE			
	SEMANA				SEMANA				SEMANA				SEMANA			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
FASE 1																
A1-F1			x	x												
A2-F1							x									
A3-F1					x											
A4-F1		x														
A5-F1					x											
FASE 2																
A1-F2								x	x							
A2-F2									x	x	x					
A3-F2											x	x	x			
FASE 3																
A1-F3													x	x	x	x
A2-F3															x	

Fuente: Elaboración propia

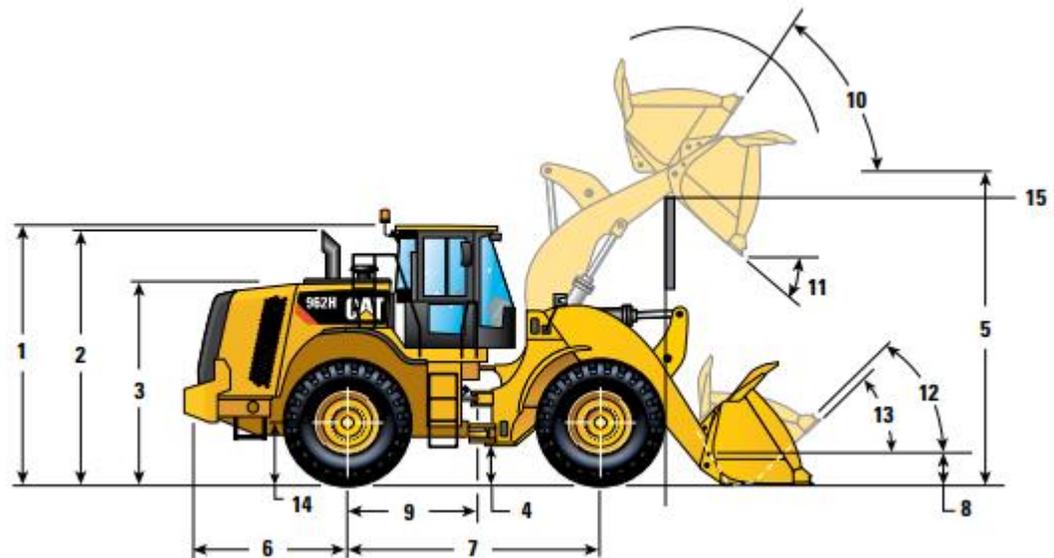
6. Propuesta de solución

6.1. Actividades Fase 1: Recolección de información

Actividad 1 – Fase 1: Recolección de información

Para efectos de recolección de información de los activos analizados se solicita a la empresa los datos de cada uno de los equipos con que cuenta:

Ficha técnica del equipo



1	Altura hasta la parte superior de ROPS/FOPS	3.461 mm	11' 4"
2	Altura hasta la parte superior del tubo de escape	3.278 mm	10' 8"
3	Altura hasta la parte superior del capó	2.448 mm	8' 0"
4	Espacio libre sobre el suelo con 23.5R25	397 mm	1' 3"
5	Altura del pasador en B: estándar	4.182 mm	13' 7"
	Altura del pasador en B: levantamiento alto	4.490 mm	14' 7"
6	Desde la línea de centro del eje trasero hasta el extremo del contrapeso	2.001 mm	6,6"
7	Distancia entre ejes	3.350 mm	11' 0"
8	Altura del pasador en B en transporte: estándar	664 mm	2' 2"
	Altura del pasador en B en transporte: levantamiento alto	748 mm	2' 5"
9	Desde la línea central del eje trasero hasta el enganche	1.675 mm	5' 5"
10	Inclinación hacia atrás a levantamiento máximo		59,5 grados
11	Ángulo de descarga a levantamiento máximo		48,2 grados
12	Inclinación hacia atrás en transporte		48,5 grados
13	Inclinación hacia atrás en conexión a tierra		40 grados
14	Altura hasta la línea central del eje	748 mm	2' 5"
15	Espacio libre del brazo de levantamiento a levantamiento estándar	4.002 mm	13' 1"
	Espacio libre del brazo de levantamiento a levantamiento alto	4.414 mm	14' 5"

Tomado de (Caterpillar , 2023, pág. 12)

Equipos en la organización

Tabla 6 *Equipos en la organización*

PLANTA	EQUIPO	SERIE NÚMERO	HORAS DE USO MENSUAL PROMEDIO	HORAS TOTALES	AÑO DE FABRICACIÓN
Planta 1	Cargador Frontal Caterpillar 962 H	CAT-1285	240	10325	2019
Planta 2		CAT-1199		9662	2017
Planta 3		CAT-1301		8236	2018
Planta 4		CAT-1274		8521	2017

Fuente: Archivos empresa en estudio - elaboración propia

Intervalos de mantenimiento

Se procedió a buscar en los manuales de operación y mantenimiento donde se identifican tareas y su periodicidad e intervalos establecidos.

Tabla 6 Programa de intervalos de mantenimiento recomendado por Caterpillar

CUANDO SEA NECESARIO
<i>Tanque de grasa de la lubricación automática</i>
<i>Batería o cable de batería – Inspeccionar / Reemplazar</i>
<i>Cámara - Limpiar</i>
<i>Disyuntores - Rearmar</i>
<i>Elemento primario del filtro de aire del motor - Limpiar/Reemplazar</i>
<i>Elemento secundario del filtro de aire del motor - Reemplazar</i>
<i>Compartimiento del motor - Limpiar</i>
<i>Cilindro del auxiliar de arranque con éter - Reemplazar</i>
<i>Etiqueta (Identificación del producto) - Limpiar</i>
<i>Sistema de combustible - Cebar</i>
<i>Fusibles - Reemplazar</i>
<i>Lámpara de descarga de alta intensidad (HID) - Reemplazar</i>
<i>Filtro de aceite - Inspeccionar</i>
<i>Núcleo del radiador - Limpiar</i>
<i>Acumulador del control de amortiguación - Comprobar</i>
<i>Dirección secundaria - Probar</i>
<i>Depósito del lavaparabrisas - Llenar</i>
<i>Limpiaparabrisas - Inspeccionar y reemplazar</i>
CADA 10 HORAS DE SERVICIO O A DIARIO
<i>Alarma de retroceso - Probar</i>
<i>Nivel del refrigerante del sistema de enfriamiento - Comprobar</i>
<i>Nivel de aceite del motor - Comprobar</i>
<i>Filtro primario del sistema de combustible (Separador de agua) - Drenar</i>
<i>Nivel del aceite del sistema hidráulico - Comprobar</i>
<i>Cinturón de seguridad – Inspeccionar</i>
<i>Nivel de aceite de la transmisión - Comprobar</i>
<i>Ventanas - Limpiar</i>
<i>Herramienta de trabajo - Inspeccionar</i>
<i>Herramienta - Lubricar</i>
CADA 50 HORAS DE SERVICIO O CADA SEMANA
<i>Inflado de los neumáticos - Comprobar</i>
<i>Cojinetes del pivote inferior del cucharón - Lubricar</i>
<i>Filtro de aire de la cabina - Limpiar/Reemplazar</i>

Agua y sedimentos del tanque de combustible - Drenar

CADA 100 HORAS DE SERVICIO O CADA DOS SEMANAS

Cojinetes de oscilación del eje - Lubricar

Articulación del cucharón y cojinetes del cilindro cargador - Lubricar

Abrazadera de la horquilla forestal - Lubricar

Cojinetes del cilindro de dirección – Lubricar

A LAS PRIMERAS 250 HORAS DE SERVICIO

Juego de las válvulas del motor - Comprobar

Rota válvulas del motor - Inspeccionar

Filtro de aceite de la transmisión - Reemplazar

CADA 250 HORAS DE SERVICIO

Muestra de refrigerante del sistema de enfriamiento (Nivel 1) - Obtener

Cojinete de soporte del eje motriz - Lubricar

Muestra de aceite del motor - Obtener

CADA 250 HORAS DE SERVICIO O CADA MES

Batería - Limpiar

Correa - Inspeccionar/Ajustar/Reemplazar

Acumulador del freno - Comprobar

Sistema de frenos - Probar

Nivel del aceite del diferencial y mandos finales - Comprobar

Estrías del eje motriz (de centro) - Lubricar

Aceite y filtro de aceite del motor - Cambiar

CADA 250 HORAS DE SERVICIO O CADA 3 MESES

Juego de la columna de dirección - Verificar

CADA 500 HORAS DE SERVICIO

Filtro del sistema de combustible (En línea) - Reemplazar

Filtro de aceite del sistema hidráulico - Reemplazar

Muestra de aceite del sistema hidráulico - Obtener

Filtro de aceite de la transmisión - Reemplazar

CADA 500 HORAS DE SERVICIO O CADA 3 MESES

Muestra de aceite del diferencial y mando final - Obtener

Respiradero del cárter - Limpiar

Aceite y filtro de aceite del motor - Cambiar

Aceite y filtro del motor - Cambiar

Filtro primario del sistema de combustible (Separador de agua) - Reemplazar

Filtro secundario del sistema de combustible - Reemplazar

Tapa y colador del tanque de combustible - Limpiar

Muestra de aceite de la transmisión - Obtener

CADA 1000 HORAS DE SERVICIO O CADA 6 MESES

Cojinetes de la articulación - Lubricar

Sujetador de batería - Apretar

Juntas Universales del Eje Motriz - Lubricar

Bisagras del guardabarros de movimiento por carretera - Lubricar
Estructura de protección contra vuelcos (ROPS) - Inspeccionar
Rejilla del aceite de dirección piloto (Dirección con Comando Control) -Limpiar/Reemplazar
Aceite de la transmisión - Cambiar

CADA 2000 HORAS DE SERVICIO

Discos de freno - Comprobar
Rota válvulas del motor - Inspeccionar
Válvula de alivio del tanque hidráulico - Limpiar
Indicador de desgaste del freno de servicio - Comprobar
Estrías de la columna de dirección (Dirección Comando Control) - Lubricar

CADA 2000 HORAS DE SERVICIO O CADA AÑO

Aceite del diferencial y de los mandos finales - Cambiar
Juego de las válvulas del motor - Comprobar
Accionador de inclinación del capó - Lubricar

CADA AÑO

Muestra de refrigerante del sistema de enfriamiento (Nivel 2) - Obtener
Receptor-secador (Refrigerante) - Reemplazar

CADA 3000 HORAS DE SERVICIO

Aceite del sistema hidráulico - Cambiar
Estrías de la columna de dirección (Dirección HMU) - Lubricar

CADA 3 AÑOS

Cinturón de seguridad- Reemplazar

CADA 6000 HORAS DE SERVICIO O CADA 3 AÑOS

Prolongador de refrigerante de larga duración (ELC) para sistemas de enfriamiento - Añadir

CADA 6000 HORAS DE SERVICIO O CADA 6 AÑOS

Termostato del agua del sistema de enfriamiento - Reemplazar

CADA 12.000 HORAS DE SERVICIO O 6 AÑOS

Refrigerante del sistema de enfriamiento (ELC) - Cambiar

Actividad 2 – Fase 1: Procedimientos actuales

En la lista de procedimientos actuales que lleva la empresa se encuentra que tienen formatos de mantenimiento preventivo que se realizan cada 250, 500 y 1000 horas. En estos formatos se encuentra de manera detallada cada una de las inspecciones que se deben realizar al equipo como lo son las inspecciones visuales del chasis y estructura principal, niveles de refrigerante, aceite además de las diferentes tomas de muestras que se le deben hacer a cada uno de los sistemas que compone el cargador-

A continuación, se detallan cada uno de estos formatos.

Formato para las 250 horas

PREVENTIVO CARGADOR		
Equipo: _____ Horómetro: _____		<small>Fecha: 10/12/2022</small> <small>Versión: 001</small>
Fecha: DD/MM/AA _____ N° Orden: _____		PREVENTIVO 250 HORAS
Actividades	✓ / ✗	Notificaciones
CARGADOR		
Motor		
Tomar muestra de aceite de motor para análisis, cambiar aceite si es necesario		
Sistema Refrigeración		
Inspeccionar color y condición del líquido refrigerante, cambiar si es necesario		
Frenos		
Revisar acumulador del freno, sólo si aplica para este equipo		
Sistema Eléctrico		
Realizar limpieza de sensores y conectores de los sensores		
Con voltiamperímetro medir Voltaje y Amperaje del alternador. Verificar valores con especificaciones del equipo		
Empresa que realiza el preventivo: _____		
Responsable de la ejecución del preventivo: _____		

Fuente: Archivos empresa en estudio

En estos formatos de las 250 horas se encontraron algunas observaciones como bombillos fundidos, fugas por el yorcky delantero y trasero, las esquineras presentas desgaste.

Formato para las 500 horas

PREVENTIVO CARGADOR		
Equipo: _____ Horómetro: _____		<small>Fecha: 10/12/2022</small> <small>Versión: 001</small>
Fecha: <small>DD/MM/AA</small> _____ N° Orden: _____		PREVENTIVO 500 HORAS
Actividades	✓ / ✗	Notificaciones
CARGADOR		
Cabina y chasis		
Inspeccionar visualmente cuerpo del cargador (Chasis)		
Sistema Hidráulico		
Tomar muestra de aceite hidráulico para análisis y cambiar si es necesario. En caso de cambio de aceite, limpiar internamente tanque		
Motor		
Realizar cambio de los filtros primario y secundario de la línea de combustible teniendo en cuenta purgar el aire		
Realizar cambio del filtro aceite motor		
Tomar muestra de aceite del motor para análisis		
Cambiar aceite del motor		
Limpiar respiradero del cárter		
Cambiar el filtro principal de aire		
Sistema Refrigeración		
Inspeccionar color y condición del líquido refrigerante, cambiar si es necesario		
Ejes		
Tomar muestra de aceite de mandos finales y diferenciales trasero y delantero para análisis		
Frenos		
Revisar acumulador del freno, sólo si aplica para este equipo		
Sistema Eléctrico		
Realizar limpieza de sensores y conectores de los sensores		
Con voltiamperímetro medir Voltaje y Amperaje del alternador. Verificar valores con especificaciones del equipo		
Aire acondicionado		
Inspeccionar visualmente compresor, filtro y mangueras		
Inspeccionar visualmente, detectar ruido anormal y verificar giro del blower y ventilador		
Realizar limpieza del condensador, usar cepillo y jabón suave		
Realizar limpieza del evaporador, usar cepillo y jabón suave		
Verificar presiones alta y baja del refrigerante		
Empresa que realiza el preventivo: _____ Responsable de la ejecución del preventivo: _____		

En este formato de las 500 horas se encontró que en la mayoría de los casos en los cargadores Caterpillar se habían corregido las observaciones hechas en las 250 horas, además para esta cantidad de horas presente en este formato se encontraron observaciones como que no se habían hecho cambios de aceite de motor y cambios de filtros tanto de aire como de aceite para estos equipos.

Formato para las 1000 horas

PREVENTIVO CARGADOR		
Equipo: _____	Horómetro: _____	Fecha: 10/12/2022
Fecha: DD/MM/AA _____	N° Orden: _____	Versión: 001
PREVENTIVO 1000 HORAS		
Actividades	✓ / ✗	Notificaciones
CARGADOR		
Cabina y chasis		
Inspeccionar visualmente cuerpo del cargador (Chasis)		
Cambiar filtro principal y prefiltro de ventilación de la cabina		
Inspeccionar estructura de protección contra vuelcos (ROPS)		
Limpiar tanque de combustible		
Sistema Hidráulico		
Realizar cambio de filtro del respiradero		
Cambiar filtro del aceite de retorno		
Realizar prueba funcional al sistema hidráulico		
Vaciar lodos y agua de condensación del depósito hidráulico		
Tomar muestra de aceite hidráulico para análisis y cambiar si es necesario. En caso de cambio de aceite, limpiar internamente tanque		
Motor		
Inspeccionar visualmente tuberías, mangueras y abrazaderas o racores del sistema de combustible		
Realizar cambio de los filtros primario y secundario de la línea de combustible teniendo en cuenta purgar el aire		
Realizar cambio del filtro aceite motor		
Tomar muestra de aceite del motor para análisis		
Cambiar aceite del motor		
Limpiar respiradero del cárter		
Cambiar el filtro principal y secundario de aire		
Limpiar tamices de tela metálica de prefiltro de baño de aceite, en caso de poseer prefiltro		

Sistema Refrigeración		
Inspeccionar color y condición del líquido refrigerante, cambiar si es necesario		
Cambiar filtro refrigerante		
Ejes		
Limpia o reemplazar si es necesario el filtro magnético del enfriador de aceite del eje		
Tomar muestra de aceite de mandos finales y diferenciales trasero y delantero para análisis		
Servotransmisión		
Cambiar filtro de aceite de la servotransmisión		
Tomar muestra de aceite de la servotransmisión para análisis. Cambiar si es necesario		
Frenos		
Revisar acumulador del freno, sólo si aplica para este equipo		
Comprobar desgaste de los discos de freno		
Sistema Eléctrico		
Inspeccionar visualmente cableado conexión a tierra, cableado del motor de arranque y conexiones auxiliares motor auxiliar		
Con voltiamperímetro medir Voltaje y Amperaje del alternador. Verificar valores con especificaciones del equipo		
Inspeccionar visualmente estado del cofre de tarjetas electrónicas y sus soportes		
Realizar la limpieza e inspección visual de reles del Tablero de Control		
Realizar limpieza de sensores y conectores de los sensores		
Aire acondicionado		
Inspeccionar visualmente compresor, filtro y mangueras		
Inspeccionar visualmente, detectar ruido anormal y verificar giro del blower y ventilador		
Realizar limpieza del condensador, usar cepillo y jabón suave		
Realizar limpieza del evaporador, usar cepillo y jabón suave		
Verificar presiones alta y baja del refrigerante		
Empresa que realiza el preventivo: _____ Responsable de la ejecución del preventivo: _____		

Fuente: Archivos empresa en estudio

Para las 1000 horas de trabajos cargadores se toma muestras de aceite hidráulico, aceite de motor, además de las inspecciones visuales y a detalle que se le realizan en estos activos, cabe resaltar que para las 1000 horas en varios casos no se han corregido las observaciones hechas cuando se realizó la inspección de las 500 horas.

4. ¿Considera que la frecuencia de los mantenimientos preventivos realizados al equipo es?

Malo Regular Bueno Excelente

4. ¿Ha recibido en los últimos dos años alguna capacitación referente a la operación del equipo?

Ninguna Entre una y tres Más de tres

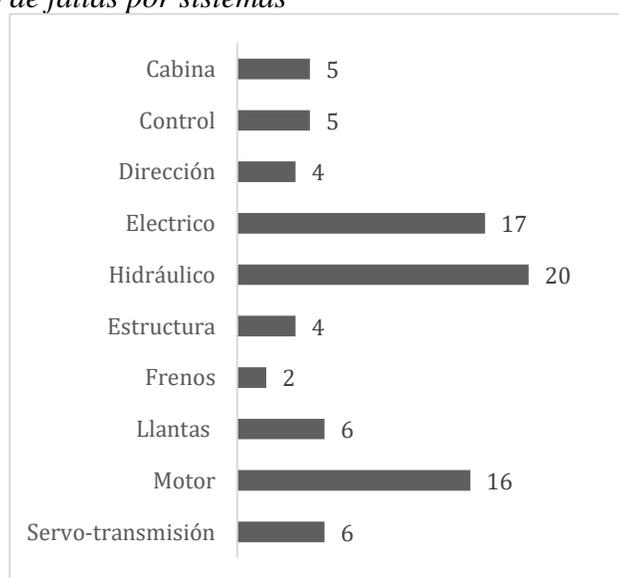
5. ¿Qué percepción tiene usted de la eficiencia del departamento de mantenimiento de la compañía?

Malo Regular Bueno Excelente

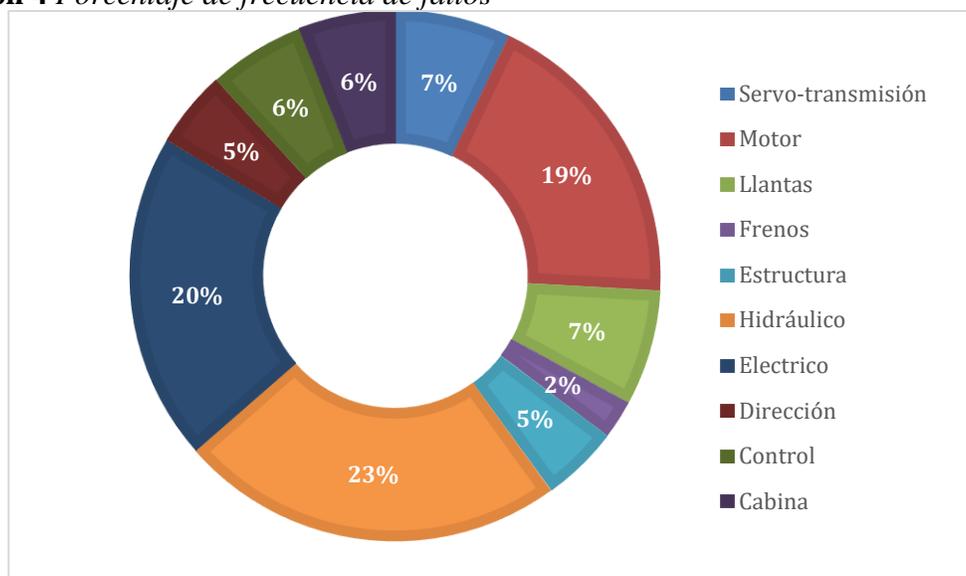
Actividad 4 – Fase 1: Histórico de fallas

El departamento de mantenimiento de la compañía en estudio cuenta con un histórico de fallas para los cuatro cargadores frontales marca Caterpillar 962H ubicados en la ciudad de Bogotá para el intervalo de los meses de junio de 2021 y junio de 2022.

Ilustración 3 Histórico de fallas por sistemas



Fuente: Archivos empresa en estudio - elaboración propia

Ilustración 4 Porcentaje de frecuencia de fallos

Fuente: archivos empresa en estudio-
elaboración propia.

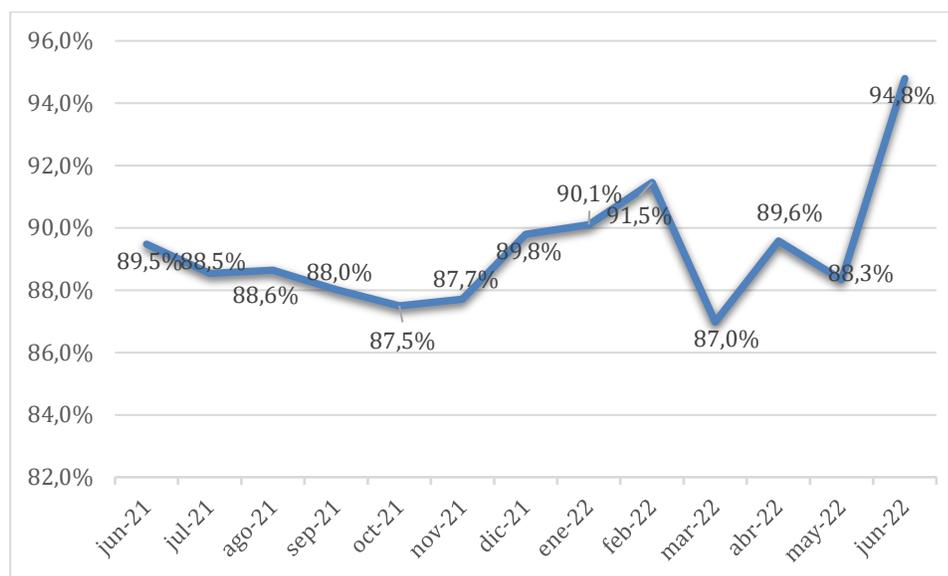
Tabla 7 Horas de parada por fallos para cuatro equipos

Mes	Tiempo de trabajo (Hrs)	Tiempo de fallo (Hrs)
jun-21	859	101
jul-21	850	110
ago-21	851	109
sep-21	845	115
oct-21	840	120
nov-21	842	118
dic-21	862	98
ene-22	865	95
feb-22	878	82
mar-22	835	125
abr-22	860	100
may-22	848	112
jun-22	910	50

Fuente: archivos empresa en estudio-elaboración propia

Actividad 5 – Fase 1: Disponibilidad del equipo

Ilustración 5 *Histórico Disponibilidad*



Fuente: archivos empresa en estudio-elaboración propia

6.2. Actividades Fase 2: Evaluar Información Recolectada

Con el fin de obtener resultados que permitan una acertada toma de decisiones, se hace necesario realizar un análisis de la información recopilada en el capítulo anterior.

Actividad 1 – Fase 2: Análisis Historial de fallas

De acuerdo con la información suministrada por el departamento de mantenimiento, el tiempo de parada de todos los equipos por mantenimiento correctivo fue de 1335 horas entre los meses de junio de 2021 y junio de 2022, evitando la producción de 12.180 metros cúbicos de concreto con los impactos negativos que esto acarrea.

A continuación, se representa el resumen del análisis histórico de fallas:

Tabla 8 *Análisis información histórico de fallas*

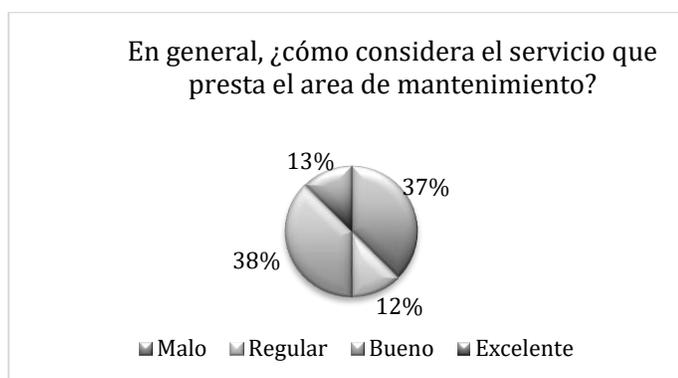
Cantidad horas sin fallas	11.145
Cantidad de horas con fallos	1335
Cantidad de fallas	85
Producción * Hora Planta de concreto (metros cúbicos)	10
Cantidad de plantas de producción	4
Precio metro cubico de concreto (\$)	120.000
Valor anual de pérdida de producción por fallos (\$)	1.602.000.000
Promedio de disponibilidad actual	89.3%

Fuente: Elaboración propia

Actividad 2 – Fase 2: Análisis resultados de entrevista

En esta fase se evaluarán los resultados de las entrevistas relacionadas a continuación:

- Pregunta #1



Fuente: Elaboración propia

En general el personal encuestado tiene una percepción variada del departamento de mantenimiento, la mitad considera que el servicio que se presta es positivo y la otra mitad es negativa.

- Pregunta # 2



Fuente: Elaboración propia

Para esta pregunta, la percepción general es positiva, aunque se presentan algunas opiniones negativas.

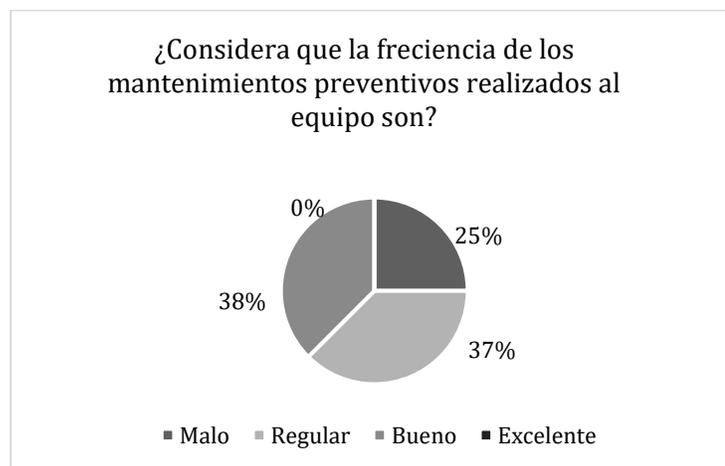
- Pregunta #3



Fuente: Elaboración propia

Para esta pregunta, cerca del 87% el personal encuestado considera que los mantenimientos son realizados con calidad.

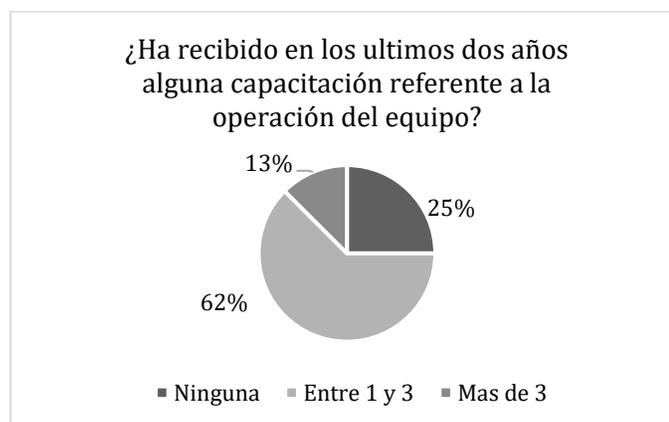
- Pregunta #4



Fuente: Elaboración propia

Para esta pregunta, el personal encuestado considera que la frecuencia con que se realizan los trabajos de mantenimiento preventivo al equipo no son los adecuados, razón por la cual pueden ser tan recurrentes los fallos.

- Pregunta #5

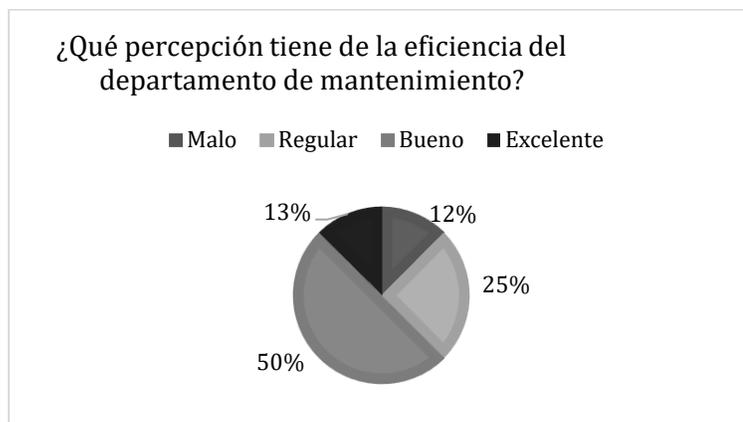


Fuente: Elaboración propia

Para esta pregunta, se evidencia que el personal encuestado tiene en promedio de capacitaciones adecuado, ya que más de la mitad tiene al menos una capacitación en la operación

segura del equipo, aunque es preocupante que el 13% del personal encuestado no tenga entrenamiento.

- Pregunta # 6



Fuente: Elaboración propia

Para esta pregunta, en general la eficacia del departamento de mantenimiento frente a los encuestados es media alta con un 75%, aunque preocupan las razones para que el otro 25% tenga una mala percepción de la eficacia del personal.

Actividad 3 – Fase 2: Análisis de taxonomía

Basados en la norma ISO 14224, se realiza un análisis taxonómico al cargador Caterpillar 962H, se hace una referencia de cada uno de los sistemas que este compone, además de clasificación de los subcomponentes y accesorios.

Tabla 9 *Análisis de Taxonomía*

SISTEMAS	COMPONENTES
Sistema Motriz	Bomba inyección
	Bombas de agua
	Carter
	Enfriador
	Escape
	Fan clutch
	Inyectores
	Motor diésel
	Múltiple
	Soportes
Sistema de transmisión	Bomba servo
	Cardanes
	Convertidor de torsión
	Crucetas
	Diferencial delantero
	Diferencial trasero
	Eje delantero
	Eje trasero
	Enfriador
	Mandos finales eje delantero
	Mandos finales eje trasero
	Soportes
Sistema eléctrico	Alternador
	Batería
	Instalación
	Luces
	Motor de arranque
Sistema de control	Alarmas
	Electroválvulas
	Instrumentos
	Módulos electrónicos
	Sensores
	Válvulas
Sistema estructural	Chasis
	Guardabarros
	Soportes

	Tanque combustible
Sistema de cargue	Balde
	Bujes y pasadores
	Cilindros de inclinación
	Cilindros de levante
	Cuchilla
	Estructura hache
Sistema de dirección	Bomba
	Bujes y pasadores
	Cilindros de dirección
	Mangueras
Sistema de rodaje	Llanta
	Pernos
	Rin
Sistema de frenos	Bomba
	Discos
	Mangueras
	Válvulas
Sistema de cabina	Aire acondicionado
	Cabina
	Capó
	Espejos
	Parabrisa
	Puertas y chapas
	Silla
	Soportes
	Tablero de instrumentos
	Tapicería
	Trapecio acelerador
	Vidrios laterales
Sistema Hidráulico	Bomba hidráulica
	Cilindros
	Enfriador
	Sensor de temperatura
	Tanque hidráulico
	Tuberías y mangueras
	Válvulas hidráulicas

Fuente: elaboración propia

Actividad 4 – Fase 2: Análisis de Criticidad

Para realizar una matriz de frecuencia a partir de los resultados se llevó a cabo una definición del nivel de clasificación para realizar el análisis, para ello se hace referencia a la categorización de equipos. El análisis crítico basado en este modelo requiere referencia a los criterios más relevantes para poder definir las consecuencias y los factores de frecuencia, como se desarrollan en los siguientes puntos.

Tabla 10 *Análisis de Criticidad*

SISTEMAS	COMPONENTES	FF	IO	FO	CM	IM	IS	CO	CT
Sistema motriz	Bomba inyección	5	3	3	3	5	5	19	● 95
	Bombas de agua	5	5	4	3	3	3	18	● 90
	Carter	3	5	5	3	5	5	23	● 69
	Enfriador	4	4	4	2	2	2	14	● 56
	Escape	1	3	3	2	5	2	20	● 20
	Fan clutch	3	2	4	2	4	4	16	● 48
	Inyectores	1	1	1	1	3	3	9	● 9
	Motor diésel	3	5	5	5	5	2	22	● 66
	Múltiple	3	4	5	3	4	4	20	● 60
	Soportes	4	1	2	1	2	2	5	● 20
Sistema de transmisión	Bomba servo	5	3	3	3	5	5	19	● 95
	Cardanes	5	5	4	3	3	3	18	● 90
	Convertidor de torsión	3	5	5	3	5	5	23	● 69
	Crucetas	4	4	4	2	2	2	14	● 56
	Diferencial delantero	4	3	3	2	2	2	20	● 80
	Diferencial trasero	3	2	4	2	4	4	16	● 48
	Eje delantero	5	1	1	1	3	3	9	● 45
	Eje trasero	3	5	5	5	5	2	22	● 66
	Enfriador	2	4	5	3	4	4	20	● 40
	Mandos finales eje delante	5	5	5	5	5	5	25	● 125
	Mandos finales eje trasero	5	3	3	3	5	5	19	● 95
	Soportes	5	5	4	3	3	3	18	● 90
Sistema eléctrico	Alternador	3	5	5	3	5	5	23	● 69
	Batería	4	4	4	2	2	2	14	● 56
	Instalación	1	3	3	2	2	2	12	● 12
	Luces	4	2	4	2	4	4	16	● 64
	Motor de arranque	5	1	1	1	3	3	9	● 45
Sistema de control	Alarmas	3	5	5	5	5	2	22	● 66
	Electroválvulas	3	4	5	3	4	4	20	● 60
	Instrumentos	4	1	2	1	2	2	8	● 32
	Módulos electrónicos	5	3	3	3	5	5	19	● 95
	Sensores	5	5	4	3	3	3	18	● 90
	Válvulas	3	5	5	3	5	5	23	● 69
Sistema estructural	Chasis	1	4	4	2	2	2	14	● 14
	Guardabarros	4	3	3	2	2	2	12	● 48
	Soportes	3	2	4	2	4	4	16	● 48
	Tanque combustible	5	5	3	2	5	3	18	● 90

SISTEMAS	COMPONENTES	FF	IO	FO	CM	IM	IS	CO	CT
Sistema de cargue	Balde	1	5	5	5	5	2	22	22
	Bujes y pasadores	3	4	5	3	4	4	20	60
	Cilindros de inclinación	4	3	2	2	2	2	11	44
	Cilindros de levante	5	3	3	3	5	5	19	95
	Cuchilla	3	4	4	3	3	1	15	45
	Estructura hache	3	5	5	3	5	5	23	69
Sistema de dirección	Bomba	4	4	4	2	2	2	14	56
	Bujes y pasadores	4	3	3	2	2	2	12	48
	Cilindros de direccion	3	5	4	2	4	4	19	57
	Mangueras	5	5	1	1	3	3	13	65
Sistema de rodaje	Llantas	4	5	5	5	5	2	22	88
	Pernos	2	4	5	3	4	4	20	40
	Rin	1	1	2	1	2	2	8	8
Sistema de frenos	Bomba	5	3	3	3	5	5	19	95
	Discos	5	5	4	3	3	5	20	100
	Mangueras	3	5	5	3	5	5	23	69
	Válvulas	4	4	4	2	2	5	17	68
Sistema de cabina	Aire acondicionado	4	3	3	1	2	2	11	44
	Cabina	1	2	4	2	4	4	16	16
	Capó	5	1	1	1	3	3	9	45
	Espejos	3	5	5	5	5	2	22	66
	Parabrisa	2	4	5	5	4	5	23	46
	Puertas y chapas	4	1	2	1	2	4	10	40
	Silla	1	1	1	1	3	3	9	9
	Soportes	3	5	5	5	5	2	22	66
	Tablero de instrumentos	2	4	5	3	4	4	20	40
Tapicería	1	1	2	1	2	2	8	8	

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de criticidad

Para el cálculo de criticidad se tiene en cuenta los factores de frecuencia (FF) y los factores de consecuencia relacionados con el impacto operacional (IO), factor flexibilidad operacional (FO), el costo de mantenimiento (CM), el impacto en la seguridad (IS) y el impacto ambiental (IM) fueron identificados como los principales factores, con referencia a los

estándares internacionales establecidos en el marco legal que son los criterios en el que se basa este tipo de análisis, estos factores se muestran a continuación.

Tabla 11 *Tabla factor de consecuencias*

FACTOR DE CONSECUENCIAS	
Impacto seguridad (IS)	Calificación
Muerte o incapacidad permanente	5
Incapacidad parcial	4
Enfermedades severas	3
Perjuicios leves	2
Sin impacto a la seguridad	1
Impacto Ambiental (IA)	Calificación
Daños irreversibles en el ambiente	5
Daños severos	4
Daños leves	3
Daños mínimos	2
Sin impacto a al medio ambiente	1
Impacto Operacional (IO)	Calificación
Pérdidas superiores al 75% en la producción mensual	5
Perdidas entre el 50% y 75% en la producción mensual	4
Perdidas entre el 25% y 49 % en la producción mensual	3
Perdidas entre el 10% y 24 % en la producción mensual	3
Perdidas inferiores al 10% en la producción mensual	1
Costos de mantenimiento (CM)	Calificación
Costos de mantenimiento y repuestos superior a \$5.001.000	5
Costos de mantenimiento y repuestos entre a \$3.001.000 - \$5.000.000	4
Costos de mantenimiento y repuestos entre a \$1.001.000 - \$3.000.000	3
Costos de mantenimiento y repuestos entre a \$500.000 - \$1.000.000	2
Costos de mantenimiento y repuestos menor a \$500.000	1
Flexibilidad Operacional (FO)	Calificación
No disponible en stock, insumo de importación	5

No en disponible en stock tiempo de compra de 1 a 2 días, reparación compleja	4
No en disponible en stock tiempo de compra de 1 a 2 días, reparación sencilla	3
En stock y procedimiento de reparación complejo	2
En stock y tiempos de reparación bajos	1
FACTOR DE FRECUENCIA	
Descripción	Calificación
Mas de 3 eventos al año	5
Probable evento al año	4
Posible evento de 1 a 3 años	3
Improbable evento de 1 a 4 años	2
Menos de un evento en 5 años	1

Fuente: Elaboración propia

Además, el cálculo de criticidad se realiza con los factores de frecuencia (FF) y consecuencias (CO) estipulados en la tabla anterior, este cálculo se realiza con la multiplicación entre la frecuencia y las consecuencias según la cantidad de fallos presentados y su correspondiente ponderación dentro de la matriz de criticidad.

Tabla 12 *Tabla factor de consecuencias*

Criticidad						
	Frecuencia (FF)					
		1	2	3	4	5
Consecuencias (CO)	5	5	10	15	20	25
	6	6	12	18	24	30
	7	7	14	21	28	35
	8	8	16	24	32	40
	9	9	18	27	36	45
	10	10	20	30	40	50
	11	11	22	33	44	55
	12	12	24	36	48	60
	13	13	26	39	52	65
	14	14	28	42	56	70

15	15	30	45	60	75
16	16	32	48	64	80
17	17	34	51	68	85
18	18	36	54	72	90
19	19	38	57	76	95
20	20	40	60	80	100
21	21	42	63	84	105
22	22	44	66	88	110
23	23	46	69	92	115
24	24	48	72	96	120
25	25	50	75	100	125

Fuente: Elaboración propia

El análisis de criticidad se realiza teniendo en cuenta primero que todo la sumatoria de calificación de cada uno de los cinco factores mencionados anterior mente (IO,FO,CM, IM,IS) esta sumatoria es lo que se encuentre como consecuencias (CO) por ende la sumatoria minina es de 5 y la máxima de 25, además de eso esta sumatoria de los factores anteriormente mencionados se mortifica con el factor de frecuencia para que nos dé lo correspondiente al análisis de criticidad, este análisis se hace teniendo en cuenta la taxonomía de equipo, lo que compite a que este análisis de criticidad se realizó en cada uno de los sistemas y componentes que tiene el cargador Caterpillar 962H, a continuación se especifica la ponderación por colores y rangos que tiene cada uno de los valores en la tabla.

Criticidad alta, color Rojo, valores $50 \leq CT \leq 125$
Criticidad media, color Amarillo, valores $30 \leq CT \leq 49$
Criticidad baja, color Verde $5 \leq CT \leq 29$

Actividad 5– Fase 2: Análisis de modo y efecto de falla (AMEF)

Tabla 13 Modos y efectos de falla

PRODUCTO	COMPONENTES	FUNCIONES	MODOS DE FALLA	EFFECTO	CAUSA	CONTROL	O	G	D	NPR	ACCION CORRECTIVA	RESPONSABLE
SISTEMA DE INYECCION	Bomba de inyección	aumenta la presión del combustible y lo suministra a los inyectores en la cantidad y el momento correctos.	Pérdida de fuerza del equipo	Parada del equipo	Baja calidad del combustible	Cambio periódico de filtros de combustible	3	5	5	75	Asegurar stock de repuesto en almacén	MANUTENIMIENTO
	Inyectores	se encargan de suministrar, a cada cilindro, el combustible exacto en el momento preciso.	bloqueo de la aguja	perdida de presión	suciedad en el asiento de la tobera	Programar actividades de limpieza según fabricante	2	7	5	70	Incluir actividad de calibración y limpieza en las rutinas de preventivo	MANUTENIMIENTO
	Múltiple	proporciona la mezcla de combustible y aire a los cilindros	fugas	Parada del equipo	rotura del múltiple por partes altas	Cambio componente según recomendación del fabricante	4	4	5	80	Programar mantenimiento preventivo en busca de posibles fisuras	MANUTENIMIENTO
SISTEMA HIDRAULICO	Bomba Hidraulica	Convertir energía mecánica en energía hidráulica	Fuga de lubricante	Contaminación del lubricante	daño partes internas y empaquetadura	cambio de Lubricante en rutinas de mantenimiento	7	5	2	70	cambio de Lubricante en rutinas de mantenimiento	MANUTENIMIENTO
	Cilindro de levantar	Generan movimiento para levantar el cucharón de la máquina	Fuga de lubricante	Parada del equipo	desgaste en componentes internos	Análisis de aceite	7	7	2	98	Asegurar stock de repuesto en almacén	MANUTENIMIENTO
	Mangueras	transportar el fluido de un lugar a otro dentro del sistema	Rotura	Parada del equipo	Uso excesivo	Cambio componente según recomendación del fabricante	7	3	2	42	Asegurar stock de repuesto en almacén	MANUTENIMIENTO
SISTEMA DE TRANSMISION	Cruetas cadañ	Permiten la transmisión de torsión y al mismo tiempo permite un movimiento angular.	Rotura cruetas	Parada del equipo	Falta de lubricación	Implementar rutinas de lubricación acordes al mecanismo	5	4	2	40	Asegurar stock de repuesto en almacén	MANUTENIMIENTO
	Diferencial trasero	Permite que exista una diferencia en la velocidad de giro entre la rueda interna y la rueda externa del vehículo cuando se da una vuelta o se está girando la dirección.	Ruido extraño en la diferencial	desgaste excesivo en los engranajes	contaminación de lubricante	Implementar tanto en la inspección diaria como en las rutinas de preventivo la inspección de los desgastes	2	8	5	80	Auditar que se realicen los cambios de lubricante en los tiempos establecidos	MANUTENIMIENTO
	Bomba Servo	controlar la potencia que genera el motor mediante el volante al eje de mando	no arranca el equipo	Parada del equipo	rotura engranaje o planetario.	Análisis de aceite	1	10	7	70	Implementar rutinas de mantenimiento para la servo	MANUTENIMIENTO

Fuente: Elaboración propia

6.3. Actividades Fase 3 – Propuesta de solución

Actividad 1 – Fase 3: Mejora nuevos formatos de mantenimiento

A continuación, se describen el plan de mantenimiento preventivo diseñado para los equipos, la programación de las actividades y la frecuencia de ejecución de estas indicadas, se realizaron con base en las instrucciones de los fabricantes y a las recomendaciones de los operadores y técnicos que poseen mayor experiencia en la maniobra de estos.

De igual forma se establecieron para cada una de las actividades programadas, las herramientas, equipos y personal necesarios para su ejecución, con el fin de generar un estimativo sobre los costos en los que debe incurrir la empresa para llevar a cabo el plan, cabe destacar, que los recursos asignados en este plan, solo corresponden a un deber ser y se establecen con el propósito anteriormente mencionado, por lo cual, son susceptibles de ser modificados de acuerdo a la disponibilidad de los mismos y de los recursos económicos de la empresa.

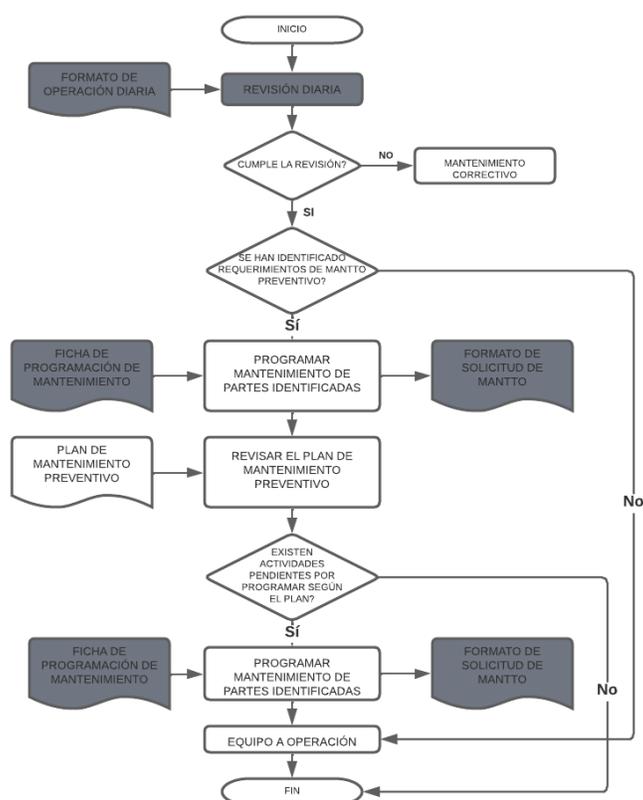
Por otro lado, y con la finalidad de ejercer un mejor control sobre el cumplimiento del plan propuesto, se diseñó en primera instancia un formato de operación diaria, que tal como su nombre lo indica se debe diligenciar diariamente, y corresponde a una lista de chequeo que evalúa si los aspectos fundamentales para el trabajo de un equipo poseen las condiciones adecuadas para su funcionamiento.

Adicionalmente, se creó un plan de mantenimiento que indica la frecuencia y periodicidad de ejecución de las actividades, las fichas de programación de mantenimiento que de una forma más específica indican la fecha y hora de realización y en el que se incluyen las actividades preventivas adicionales, el formato de solicitud de mantenimiento, mediante el cual

se realizan los requerimientos de los recursos necesarios para desarrollar la actividad según lo programado para cada sistema.

A continuación, se ilustra proceso propuesto para el desarrollo del programa de mantenimiento preventivo, seguido de la descripción de los planes propuestos para cada equipo (en color gris se relacionan los pasos que se propone mejorar y/o implementar)

Ilustración 6 Pasos a paso para mantenimiento preventivo



Fuente: Elaboración propia

Formatos de gestión del mantenimiento

Para que un plan de mantenimiento sea implementado efectivamente, se hace necesario trabajar con una serie de fichas o formatos en donde se ingrese información que facilite el control de las actividades en los equipos, para así obtener un historial o hoja de vida que facilite diagnósticos de falla y/o permita identificar los “malos actores” en los equipos.

En el desarrollo de esta propuesta se crearon 3 tipos de fichas de mantenimiento, las cuales son:

- Formato de inspección diaria
- Formato solicitud de mantenimiento de equipos

A continuación, se explicará la función de cada una.

Formato de inspección diaria

En este formato se registrará diariamente los datos obtenidos de la revisión correspondiente a los componentes de la maquinaria, se realizará una inspección de las condiciones mínimas requerida por el fabricante para la operación del equipo. En la parte superior del formato se ingresa nombres de quien realiza la revisión y la fecha de esta, en nuestro caso particular el operador siempre será el encargado de realizar esta operación. Seguidamente encontraremos todas las actividades de inspección pertinentes a cada máquina en donde el operador dependiendo del estado del componente registrará si está en buen o mal estado, simbolizados en el formato con la letra B y M respectivamente. Si el operador encuentra una avería o un fallo inminente debe reportar en el espacio de observaciones la anomalía encontrada, se finaliza el formato firmado y entregado al jefe de mantenimiento.

Tabla 14 *Formato de inspección diaria*

FORMATO DE INSPECCION DIARIA		CÓDIGO		INSP-DIA											
		VERSIÓN		1											
		FECHA DE MODIFICACIÓN		29/06/2022											
		PÁGINA		1 de 1											
1. DATOS DEL USUARIO DEL EQUIPO															
Nombre Operador															
Fecha y hora de la operación															
Cargo															
Planta															
S/N Cargador															
2. DESCRIPCIÓN DE LA VERIFICACIÓN															
No.	DESCRIPCIÓN DE LA VERIFICACIÓN	LUN		MAR		MIER		JUEV		VIER		SAB		DOM	
		B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M
1	Alarma de retroceso - Probar														
2	Nivel del refrigerante del sistema de enfriamiento - Comprobar														
3	Nivel de aceite del motor - Comprobar														
4	Filtro primario del sistema de combustible (Separador de agua) - Drenar														
5	Cinturón de seguridad – Inspeccionar														
6	Nivel de aceite de la transmisión - Comprobar														
7	Herramienta de trabajo - Inspeccionar														
8	Herramienta - Lubricar														
3. OBSERVACIONES															
4. ENTREGA DEL EQUIPO															
Nombre del Operador															
Hora															
Firma del usuario															

Fuente: Elaboración propia

Formato solicitud de mantenimiento de equipos

A través de este formato, la persona encargada de la maquinaria (operarios o técnico), le informa al ingeniero de mantenimiento que existe una falla que necesita reparación y solicita autorización para realizar los trabajos requeridos. De igual manera, notifica de la naturaleza de la falla y la reparación necesaria, así como el sistema que afecta esta (mecánico, eléctrico, hidráulico), según el trabajo que se realice. Además, se ingresa los repuestos utilizados para la reparación y costos de la intervención. Finalmente, el formato es firmado por la persona responsable del procedimiento y el ingeniero de mantenimiento respectivamente.

Tabla 15 *Formato de solicitud mantenimiento de equipos*

SOLICITUD MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	CÓDIGO	MANTO-EQUIP	
	VERSIÓN	1	
	FECHA DE MODIFICACIÓN	01/07/2022	
	PÁGINA	1 de 1	
1. INGRESO DEL EQUIPO			
FECHA: D ___ M ___ A ___	HORA: _____	TÉCNICO: _____	
2. DATOS USUARIO SOLICITANTE			
NOMBRES	_____		
DEPENDENCIA	_____		
USUARIO	_____	EXTENSIÓN _____	
3. DESCRIPCIÓN DE LA SOLICITUD		4. DIAGNOSTICO	
_____		_____	
5. TRABAJOS REALIZADOS			

6. REPUESTOS O MATERIALES			
Descripción	Cant	Descripción	Cant
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
7. ENTREGA DEL EQUIPO			
Nombre del operador		_____	
Fecha y hora		_____	

Fuente: Elaboración propia

Actividad 2 – Fase 3: Propuesta implementación programa de entrenamiento

Se propone implementar el plan de entrenamiento para el personal que desarrolla tareas relacionadas con el mantenimiento y operación del equipo con el objetivo de aumentar sus conocimientos, habilidades técnicas y operativas garantizando un desempeño óptimo en las diferentes situaciones que se presentan durante su jornada laboral. Para esto se deberá gestionar con el fabricante del equipo un proveedor en la ciudad de Bogotá que cuente con instructores altamente calificados y certificados por Caterpillar que desarrolle capacitación teórico-práctica en cada uno de los sistemas y subsistemas, parámetros óptimos de operación, análisis de fallas, tests y ajustes del equipo, simuladores de operación entre otros al personal designado.

PLAN DE CAPACITACION OPERADOR CARGADOR FRONTAL			
SECTOR	CONSTRUCCION		
PERFILES ASOCIADOS	OPERADOR DE CARGADOR FRONTAL		
NIVEL CUALIFICACION	3		
FECHA VIGENCIA DEL PERFIL			
PLAN FORMATIVO			
Nombre	OPERACIONES DE CARGA FRONTAL.	Duración	120 Horas
Descripción de la ocupación y campo laboral asociado	Desempeña funciones laborales como operador de cargador frontal, cuya función principal es operar el cargador frontal cumpliendo los procedimientos y normas establecidas para la tarea. Entre sus funciones principales está el acopio y traslado de carga.		
Perfil(es) ocupacional(es) relacionado(s)	OPERADOR DE CARGADOR FRONTAL		
Requisitos	Sin requisitos especiales.		
Requisitos de ingreso al Plan Formativo	Enseñanza media completa; Salud compatible con el cargo.		
Competencia del Plan Formativo	Operar el equipo Cargador Frontal en funciones de acopio y traslado de carga y en la estiba de carga a granel, cumpliendo las normas de seguridad establecidas para estas operaciones.		
NÚMERO DE MÓDULOS	NOMBRE DEL MÓDULO		HORAS DE DURACIÓN
Módulo 1	NORMAS DE SEGURIDAD PARA OPERACIONES PORTUARIAS EN TIERRA Y NAVE.		40
Módulo 2	FUNCIONAMIENTO DEL CARGADOR FRONTAL EN TAREAS DE ACOPIO Y TRASLADO DE MATERIAL		80
TOTAL DE HORAS			120

ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS MÓDULOS		
A continuación se presenta una propuesta metodológica, que sugiere una estrategia para la adquisición de conocimientos, habilidades y actitudes, por módulo.		
<p>Se sugieren actividades basadas en la experiencia y la observación de los hechos, aplicando la ejercitación práctica y demostrativa que generen desempeños observables en cada uno de los participantes involucrados.</p> <p>Metodologías que involucren situaciones reales tales como, análisis de estudio de casos, resolución de problemas, simulación de contextos laborales, elaboración de proyectos, juego de roles, demostración guiada, son algunas de las orientaciones recomendadas para poder desarrollar aprendizajes que permitan relacionar conocimientos y destrezas en función de lo práctico y lo conceptual.</p> <p>Incorporar el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación por ser un apoyo fundamental para la búsqueda, selección y análisis de la información.</p> <p>El facilitador debe reforzar durante todo el proceso las habilidades tales como la capacidad del trabajo en equipo, la capacidad de innovar, de emprender, de análisis, además destacar actitudes como, la colaboración, el respeto por las normas, la comunicación, la responsabilidad, el orden y limpieza del puesto de trabajo, la puntualidad, entre otros.</p>		
<p>PORTAFOLIO DE EVIDENCIAS</p> <p>Como parte de la estrategia metodológica a desarrollar, se sugiere la elaboración de un portafolio, donde se registren a modo de evidencias, las actividades o acciones concretas desarrolladas por el o los participantes en cada módulo. Las evidencias pueden ser registros fotográficos y videos de los productos, informes, pruebas, entre otros.</p> <p>El portafolio de evidencias, es una herramienta de facilitación del proceso de evaluación y se organiza en torno a la compilación de evidencias y los registros generados por quien aprende y, permite documentar tanto el proceso de enseñanza, así como el proceso de evaluación de aprendizajes.</p> <p>Es importante que la entidad ejecutora y sus facilitadores estimulen en los participantes la construcción de este portafolio durante el desarrollo de la acción formativa. Junto a lo anterior, hacer hincapié que este recurso les será útil para diversos momentos de su trayectoria formativa y laboral (búsqueda de trabajo o para evaluar competencias laborales a través del Sistema Nacional de Certificación de Competencias Laborales, entre otros).</p>		
ESTRATEGIA EVALUATIVA DE LOS MÓDULOS		
La estrategia de evaluación de cada módulo del Plan Formativo considera la realización de diversas actividades que permitan identificar el nivel de avance de los participantes respecto de los aprendizajes esperados del módulo.		
<p>El sistema de evaluación debe estar formulado en términos de desempeño para evaluar el nivel de dominio alcanzado, lo cual no quiere decir que los aspectos y conceptos teóricos estén ausentes.</p> <p>La evaluación debe ser permanente, permitiendo al facilitador detectar las dificultades técnicas en la ejecución de las tareas y/o actividades a realizar por los participantes y así, oportunamente detener el proceso para demostrar la ejecución de la tarea correctamente de acuerdo a las competencias planteadas.</p> <p>Cada módulo debe ser evaluado, expresando la calificación final en términos de competencias logradas y no logradas. Aspectos formales a considerar:</p> <p>1) Instrucciones para el organismo capacitador/facilitador:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corresponde a la ficha descriptiva de la situación evaluativa. • Incluye: aspectos a evaluar, metodología, equipamiento, disposición del espacio de evaluación, entre otros elementos importantes al momento de evaluar. <p>2) Instrumentos de evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • De conocimiento: Corresponde a una prueba de aplicación individual, escrita, que incluye ítems de preguntas abiertas (breves y extensas), preguntas cerradas (de reconocimiento y selección múltiple), entre otras. • De habilidad: Corresponde a una actividad con las instrucciones necesarias para la ejecución de un proceso técnico de acuerdo a los criterios de evaluación de salida del módulo en específico o como evaluación final del plan formativo, aplicando listas de cotejo, rúbricas, escala de valoración, según corresponda. • De actitud: Corresponde a una lista de chequeo de las principales actitudes conductuales del participante, demostradas durante todo el proceso de formación o capacitación. Este instrumento debiera ser completado por el facilitador durante el proceso y al final de éste al aplicar la evaluación de salida. <p>3) Pautas de corrección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • De conocimiento: Incluye las respuestas correctas a las preguntas abiertas, breves y extensas, así como también de las preguntas cerradas de reconocimiento y selección múltiple, entre otras. • De procedimiento: Incluye una guía de instrucción, realizada por el facilitador, de este modo el participante puede ir corroborando cada etapa del proceso de construcción de una determinada tarea. 		
PERFIL DEL FACILITADOR		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Formación Académica: Profesional del área de la Ingeniería en Prevención de Riesgos, Ingeniero mecánico o Ingeniero Industrial, titulado. ✓ Experiencia como facilitador de capacitación laboral para adultos: Mínimo tres años, demostrable. 		
RECURSOS MATERIALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO FORMATIVO		
Infraestructura	Equipos y herramientas	Materiales e insumos
<ul style="list-style-type: none"> • Sala de clases que cuente al menos con 1,5 mt² por participante. - Puestos de trabajo individuales que considere mesa y silla o silla universitaria. - Escritorio y silla para el facilitador. - Conexiones para utilizar medios didácticos, tales como data y salida a internet. - Sistema de Ventilación adecuada. <input type="checkbox"/> Servicios higiénicos separados para hombres y mujeres, con capacidad suficiente para la cantidad de personas que se atiende en forma simultánea. <input type="checkbox"/> Se sugiere un convenio de colaboración 	<ul style="list-style-type: none"> • Computador, para uso del facilitador. • Datashow. • Pizarrón. • Equipo individual (uno por cada participante) de protección personal compuesto por: <ul style="list-style-type: none"> - Zapatos de seguridad. - Chaleco reflectivo - Casco de seguridad - Gafas de seguridad 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Set de oficina, uno por participante, compuesto por: <ul style="list-style-type: none"> - Carpeta o archivador. - Cuaderno o croquera. - Lápiz pasta. - Lápiz grafito. - Goma de borrar. - Líquido corrector. - Regla. - Plumones para pizarrón <input type="checkbox"/> Libro de clases, por grupo. <input type="checkbox"/> Pautas de evaluación por actividad, por participante.

MÓDULO FORMATIVO N° 1		
Nombre	NORMAS DE SEGURIDAD PARA OPERACIONES	
N° de horas asociadas al módulo	40	
Perfil ChileValora asociado al módulo	OPERADOR DE CARGADOR FRONTAL	
Requisitos de ingreso	Enseñanza media completa; Salud compatible con el cargo.	
Competencia del módulo	Identificar las normas de seguridad establecidas para las operaciones y el manejo de equipo en tierra	
APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	CONTENIDOS
1. Identificar las condiciones de seguridad para operar sin riesgos un cargador frontal según normas vigentes.	1.1 Reconoce los riesgos que presenta la operación de un cargador frontal en tareas de transporte y acopio de material. 1.2 Identifica las condiciones de seguridad para operar un cargador frontal. 1.3 Reconoce acciones y condiciones inseguras en la realización de las faenas y las medidas preventivas. 1.4 Actúa con sentido de urgencia, aplicando primeros auxilios y derivación en caso de	1. Principales riesgos en la operación: • Los riesgos en tareas de transporte y acopio de carga. □ Las condiciones de seguridad del equipo, del traslado y del área de trabajo. • Las acciones inseguras y las condiciones inseguras en el trabajo. • Los accidentes más comunes en la realización de las tareas de transporte y acopio de carga
2. Aplicar las normas de seguridad que rigen para las tareas de transporte y acopio de carga.	2.1 Identifica las normas de seguridad de las tareas de transporte y acopio de carga. 2.2 Utiliza los elementos de protección personal durante el desarrollo de la faena, de acuerdo a tipo de faena. 2.3 Circula por las vías de desplazamiento, respetando zonas restringidas, áreas de carga y descarga, durante el desarrollo de la tarea.	2. Normas de seguridad que rigen las tareas de transporte y acopio de carga. • Elementos de protección personal. Su obligatoriedad de uso. • Beneficios de respetar las vías de desplazamiento, zonas restringidas, áreas de carga y descarga, durante el desarrollo de la faena. • Señalética de seguridad, desplazamiento e información general, en inglés.
ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS MÓDULOS		
A continuación se presenta una propuesta metodológica, que sugiere una estrategia para la adquisición de conocimientos, habilidades y actitudes, por módulo.		
Se sugieren actividades basadas en la experiencia y la observación de los hechos, aplicando la ejercitación práctica y demostrativa que generen desempeños observables en cada uno de los participantes involucrados. Metodologías que involucren situaciones reales tales como, análisis de estudio de casos, resolución de problemas, simulación de contextos laborales, elaboración de proyectos, juego de roles, demostración guiada, son algunas de las orientaciones recomendadas para poder desarrollar aprendizajes que permitan relacionar conocimientos y destrezas en función de lo práctico y lo conceptual. Incorporar el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación por ser un apoyo fundamental para la búsqueda, selección y análisis de la información. El facilitador debe reforzar durante todo el proceso las habilidades tales como la capacidad del trabajo en equipo, la capacidad de innovar, de emprender, de análisis, además destacar actitudes como, la colaboración, el respeto por las normas, la comunicación, la responsabilidad, el orden y limpieza del puesto de trabajo, la puntualidad, entre otros.		
PORTAFOLIO DE EVIDENCIAS		
Como parte de la estrategia metodológica a desarrollar, se sugiere la elaboración de un portafolio, donde se registren a modo de evidencias, las actividades o acciones concretas desarrolladas por el o los participantes en cada módulo. Las evidencias pueden ser registros fotográficos y videos de los productos, informes, pruebas, entre otros. El portafolio de evidencias, es una herramienta de facilitación del proceso de evaluación y se organiza en torno a la compilación de evidencias y los registros generados por quien aprende y, permite documentar tanto el proceso de enseñanza, así como el proceso de evaluación de aprendizajes. Es importante que la entidad ejecutora y sus facilitadores estimulen en los participantes la construcción de este portafolio durante el desarrollo de la acción formativa. Junto a lo anterior, hacer hincapié que este recurso les será útil para diversos momentos de su trayectoria formativa y laboral (búsqueda de trabajo o para evaluar competencias laborales a través del Sistema Nacional de Certificación de Competencias Laborales, entre otros).		

MÓDULO FORMATIVO N° 2		
Nombre	FUNCIONAMIENTO DEL CARGADOR FRONTAL PARA ACOPIO, TRASLADO Y ESTIBA DE CARGA A GRANEL.	
N° de horas asociadas al módulo	80	
Perfil ChileValora asociado al módulo	OPERADOR DE CARGADOR FRONTAL /P-5222-8343-001-V01.	
UCL(s) ChileValora relacionada(s)	PONER EN MARCHA EL CARGADOR FRONTAL / U-5222-8343-008-V01.	
Requisitos de ingreso	Enseñanza media completa. Salud compatible con el cargo.	
Competencia del módulo	Reconocer partes, piezas y funcionamiento del equipo de carga frontal, de acuerdo a manuales de operación, uso y cuidado, y normas de seguridad vigentes.	
APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	CONTENIDOS
1. Identificar las piezas y partes de un cargador frontal, junto a sus usos y funciones en sector de construcción de acuerdo a manuales técnicos y normativa vigente.	1.1 Reconoce las piezas y partes de un cargador frontal. 1.2 Describe las condiciones y características de los sectores donde puede operar un cargador frontal. 1.3 Define los usos o funciones que realiza un cargador frontal en los puertos.	1. La estructura y los componentes de un cargador frontal y tipos de carga: • Estructura: - Cabina, motor, contrapesos, ejes, transmisión, brazos de levante, cucharón o balde. - Características de los sectores donde puede operar un cargador frontal en los puertos. • Funciones de carga y descarga.
2. Reconocer las condiciones de funcionamiento del cargador frontal para la realización de las tareas de transporte y acopio de cargas de acuerdo a manuales técnicos y normativa vigente.	2.5 Reconoce los niveles críticos del cargador frontal para la puesta en marcha. 2.6 Describe los sistemas que operaran el cargador frontal. 2.7 Detecta anomalías en el funcionamiento del cargador frontal.	2. Condiciones del equipo: condición de la carrocería, parabrisas, luces, balizas, neumáticos: • Niveles críticos: aceites, hidráulico, agua. • Sistemas que operan el cargador frontal: - Hidráulico. - Dirección. - Pala. • Anomalías en el funcionamiento del cargador frontal.
3. Chequear los equipos de seguridad, de comunicaciones y las áreas de trabajo del cargador frontal, garantizando su operatividad y seguridad en el momento de realizar las funciones portuarias de acuerdo a manuales técnicos y normativa vigente.	3.1 Verifica el funcionamiento de los equipos de seguridad del cargador frontal. 3.2 Verifica el funcionamiento de los equipos de seguridad y de los elementos de protección personal que debe usar cuando va a transportar cargas peligrosas. 3.3 Realiza pruebas de enlace de los equipos de comunicaciones del cargador frontal y los propios. 3.4 Detecta problemas en el funcionamiento de los equipos de comunicación del cargador frontal y en los propios. 3.5 Reconoce obstáculos o dificultades en el área de trabajo y en el trayecto hacia este, para evitar accidentes.	3. Equipos de seguridad, de comunicaciones y área de trabajo del cargador frontal • Chequeo de equipos de seguridad y Elementos de Protección Personal para uso del cargador frontal: - Extintor, cinturón de seguridad, frenos de emergencia, protector auditivo, casco, pasador y chaveta de anclaje del cargador frontal. - Equipos para trabajo con cargas peligrosas, volátiles y/o tóxicas: - Balizas, luces, aire acondicionado, radio, buzo de papel, guantes, lentes, máscara autónoma (trompa). • Chequeo de equipos de comunicaciones • Pruebas de enlace para chequear equipos de comunicaciones (del equipo y el personal).
		• Problemas en los equipos: por ejemplo, baja carga de baterías u otros. Cambio del equipo. • Chequeo del área de trabajo del cargador frontal. • Obstáculos o dificultades en el área de trabajo y/o en el camino para llegar al área de trabajo.
4. Verifica el funcionamiento del cargador frontal, poniendo en marcha el equipo y asegurando su uso o evitándolo por anomalías que presenta según manuales técnicos y normativa vigente.	4.1 Realiza encendido completo y arranque de motor del cargador frontal. 4.2 Detecta problemas en el arranque del motor del cargador frontal y evita su uso en estas condiciones.	4. Puesta en marcha y encendido del motor del cargador frontal: • Encendido del motor: encendido corto y encendido de todos los sistemas del equipo. • Arranque del motor. • Problemas en el arranque del motor: ruidos extraños, lentitud, aceleramiento de la máquina, trabamiento de los equipos u otros.

Fuente: Elaboración propia

7. Análisis Financiero (costo-beneficio)

Para el exponer el análisis financiero costo – beneficio de la implementación del plan de mejora al programa de mantenimiento actual se usó el ROI (Retorno sobre la inversión) con el objetivo de identificar las ganancias económicas esperadas.

Recordemos que la fórmula para la aplicación de este análisis es la siguiente:

$$RETORNO\ SOBRE\ LA\ INVERSIÓN = \frac{\text{Beneficio} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}}$$

Inversión

Para hacer los cálculos de la inversión inicial se realiza presupuesto mensual para el tiempo que dure la implementación del programa (seis meses). Aquí se tuvieron en cuenta los siguientes conceptos:

- Ingeniero mecánico, electromecánico, o profesión afín con experiencia en mantenimiento de equipos de maquinaria amarilla, deseable especialización en gerencia de mantenimiento quien será el encargado de implementar, controlar y vigilar el adecuado cumplimiento de las tareas de mantenimiento asignadas, los intervalos de inspección y el uso de los manuales, herramientas y repuestos necesarios para el correcto cumplimiento del programa.
- Capacitación y certificación por parte del representante técnico de la marca para ser aplicado al personal que interviene en el mantenimiento y operación del equipo.

- Técnicos operarios de los equipos.
- Técnicos mecánicos con capacitación teórico-práctica en el mantenimiento de equipos de movilización de agregados similares a los que cuenta la compañía.
- Gastos de papelería, administración e imprevistos que puedan surgir durante la ejecución.

El presupuesto se basa en un valor de aprobación de \$40.000.000, dividido en seis meses de implementación, en donde el costo de mano de obra tiene incluido las prestaciones sociales.

Tabla 16 – Presupuesto Mensual

No.	Descripción	Costo Mensual (\$)	Cantidad	Precio (hr)	Total (hr)	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Total (\$)
1	Gerente Mantenimiento	9.600.000	1	\$ 40.000	24	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	960.000
2	Ingeniero Mecánico	4.800.000	1	\$ 20.000	480	1.600.000	1.600.000	1.600.000	1.600.000	1.600.000	1.600.000	9.600.000
3	Técnico operario	2.400.000	4	\$ 10.000	180	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	1.800.000
4	Técnico de mantenimiento	3.000.000	4	\$ 12.500	240	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	3.000.000
5	Capacitación y certificación					2.000.000	2.000.000	2.000.000	2.000.000	2.000.000	2.000.000	12.000.000
6	Papelería 2%					200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	1.200.000
7	Administración 5%					500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	3.000.000
8	Imprevistos 10%					1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	6.000.000
Total (\$)												37.560.000

Fuente: Elaboración propia

Total de inversión: \$37'560.000

Beneficio

Con la implementación del programa de mantenimiento se espera durante los primeros seis meses aumentar la disponibilidad por encima del 95%, es decir lograr que los equipos mensualmente trabajen ininterrumpidamente al menos 230 horas cada uno para que se produzcan entre todos 40 metros cúbicos con un precio de \$120.000, es decir \$787'968.000

Esta información se considera ya que, según el análisis de fallas, los paros de los equipos en un periodo de un año son de 1335 horas lo que equivale a 13350 metros cúbicos que dejan de producir las plantas de concreto, lo cual equivale a \$1.602'000.000.

Lo anterior, teniendo en cuenta que la cantidad de producción en una hora es de 10 metros cúbicos y que el valor por metro cubico es \$120,000 en una hora se llega a tener una pérdida de producción de \$1.200.000

El resultado esperado de máximo 623.64 horas de falla por año, lleva a realizar el siguiente calculo: El valor de las pérdidas anuales – (623,64 x el valor de perdidas hora de falla) 1.602'000.000 – (623.64 x 1.200.000) = \$853'632.000

Con la información anterior, se calcula el ROI:

$$RETORNO\ SOBRE\ LA\ INVERSIÓN = \frac{853632000 - 37560000}{37560000} = 21.72\%$$

Se concluye, que el retorno de la inversión con la presente propuesta seria del 2172%

8. Conclusiones

Una vez terminado este trabajo y teniendo en cuenta los objetivos planteados se puede concluir que:

- Para poder desarrollar esta propuesta de plan de mantenimiento es necesario tener claros los objetivos de la compañía respecto al mantenimiento de sus activos, adicional a esto saber diagnosticar los problemas actuales con los cargadores Caterpillar, para esto es necesario una buena recolección de información. Para esta recolección de información se contó con los manuales y procedimientos de la casa matriz sumándole a esto las entrevistas del personal que opera la maquinaria, disponibilidad del equipo, histórico de fallas entre otros. Debido a que con esta información recolectada pudiésemos hacer un buen análisis para el planteamiento final del plan de mantenimiento.
- Teniendo en cuenta los anteriores temas descritos se procedió con la evaluación de la información recolectada para la cual y basados en normativa ISO, la cuales nos permite guiarnos en el desarrollo del análisis criticidad de la taxonomía del equipo. Estas con el fin de poder demostrar el estado actual de operación de los cargadores Caterpillar además de darnos los datos correspondientes para poder plantear la mejor alternativa para el desarrollo de la mejora del plan de mantenimiento.
- Finalmente determinamos las tareas correspondientes para poder llevar la mejora del plan de mantenimiento, esto conlleva a la creación de nuevos formatos como el de inspección diaria.

9. Recomendaciones

- Realizar una evaluación interna sobre la obsolescencia de los equipos estudiados y su posible reemplazo en el corto o mediano plazo.
- Implementación completa del programa de entrenamiento al personal técnico y operativo de acuerdo con los requerimientos de operación de la empresa.
- Hacer un cambio y/o actualización de la caja de herramientas de los técnicos que realizan labores de mantenimiento a los equipos.

10. Referencias bibliográficas y webgrafía.

- Bravo Jiménez, H. J., & Castro Utria, L. C. (2012). Plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada de la empresa Inser S.A.S. Universidad Tecnológica de Bolívar. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12585/873>
- Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51-59. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>
- Cárcamo Sáez, J. M. (2019). Propuesta de mejora a plan de mantenimiento y al sistema de gestión de stock de repuestos a motor diesel de camiones de extracción 797 caterpillar en compañía minera centinela ubicada en la ciudad de antofagasta. Universidad Técnica Federico Santa Maria. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/11673/47368>
- Caterpillar. (12 de Enero de 2023). Cargadores de ruedas medianos 962M. Obtenido de https://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/wheel-loaders/medium-wheel-loaders/1000029167.html#
- Escobar Caina, H. G. (2011). Estudio del mantenimiento para maquinaria pesada y su incidencia en la producción en la empresa Alvarado Ortiz Constructores Cia. Ltda., en el cantón Ambato. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1265>

- García Correa, H. H., & Yarlequé Olaya, V. A. (2018). Diseño de un plan integral de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa Inversiones Oberti SRL–Piura. Universidad Nacional de Piura Recuperado de:
<http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1704>
- Hernández, V. (2010). Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada en funcionamiento de la zona vial no. 14, Dirección General de Caminos, Salamá, Baja Verapaz. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Herrera Brito, P. A. (2020). Overhaul y trabajos de mantenimiento MMPP CAT 3618. Universidad de la Laguna, España. Recuperado de:
<http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/20204>
- IRIM. (s/f). Indicadores de disponibilidad. Renovetec.com. Recuperado el 29 de agosto de 2022, de <http://renovetec.com/irim/14-revista-irim-6/304-indicadores-de-disponibilidad>
- Robles Jimbo, C. N., & Sellán Quiñónez, H. R. (2013). Análisis de los factores que inciden en las paradas imprevistas de las maquinarias y vehículos y su incidencia en la productividad del taller de Mecánica automotriz del gobierno autónomo descentralizado Municipal del cantón Naranjito. Universidad Estatal de Milagro. Recuperado de:
<http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/2031>
- Montenegro Leyva, G. W. (2018). Sistema de gestión de mantenimiento basado en el riesgo para incrementar la confiabilidad de la maquinaria pesada de la empresa Chancadora del Norte SAC. Recuperado de: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11091>
- Moreno Robayo, H. F., & Ramírez Ortiz, J. C. (2018). Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción x-treme del parque mundo aventura, tomando como

- referencia las normas, SAE JA1011 Y SAE JA1012, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/7854>
- OREDA Participants. (2002). Offshore Reliability Data Handbook (OREDA). 4th ed.
- Patton, M. (1988). Maintenance Management. North Carolina: ISA.
- Romero Noboa, H. B. (2014). Diseño e implementación de un manual de operación y mantenimiento para los laboratorios del área térmica, oleohidráulica, neumática y física de la Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3145>
- Ruiz, J. D. (2013). Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la Empresa Inverglobal INC LTDA. Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/500>
- Society of Automotive Engineers, SAE JA1011: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes, 2 ed., Warrendale: SAE International, 2009.
- Society of Automotive Engineers, SAE J1739. (2009). Potential failure mode and effects analysis in design (Design FMEA), potential failure mode and effects analysis in manufacturing and assembly processes (Process FMEA).
- Torres Guevara, E. (2018). Plan de mejoramiento para el área de mantenimiento de la empresa cementos CEMEX regional eje cafetero, Universidad Católica de Pereira. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10785/5448>
- ¿Cómo se calcula la disponibilidad de activos? (2020, agosto 20). Valuekeep. <https://valuekeep.com/es/recursos/blog/disponibilidad-de-los-activos/>