

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO, CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD, CON EL PROPÓSITO DE REDUCIR EL NÚMERO DE LAS FALLAS DE LOS CARGADORES FRONTALES 950L, DURANTE SU OPERACIÓN, EN LA UNIDAD MINERA PAMPAHUAY, OYÓN - 2020”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

ALCA PALOMINO, JAN CARLO

ASESOR

DAVILA IGNACIO, CARLOS VIDAL

Villa El Salvador

2020

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado a mis dos grandes amores que son mis padres y a mi mamita Victoria H., que siempre me apoyaron en los momentos más difíciles de mi formación profesional, también a los compañeros de la facultad por haberme formado una persona con metas y objetivo en la vida.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater por brindarme una educación de calidad, a mi querida Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur y a todos mis docentes por sus enseñanzas, que fueron base de mi formación y crecimiento profesional. A mi asesor académico Ing. Carlos Dávila Ignacio, por contar con su apoyo, colaboración y una gran dedicación en la realización de mi trabajo de suficiencia profesional. A mis dos grandes compañeros Ing. María Villa y Ing. Diego Palomino por hacer realidad que culmine esta etapa de mi vida profesional. Al Tec. Luis Antonio Ramírez por su apoyo incondicional en la elaboración de este trabajo de investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABLAS	vii
RESUMEN.....	viii
INTRODUCCIÓN	ix
OBJETIVOS.....	12
a. Objetivo General	12
b. Objetivos Específicos	12
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.....	13
1.1 Bases Teóricas.....	13
1.1.1 Estado del Arte	13
1.1.2 Marco Teórico General	18
1.1.3 Marco Teórico Específico.....	24
1.2 Definición de Términos Básicos	36
CAPITULO II: METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL	38
2.1 Delimitación temporal y espacial del trabajo.....	38
2.1.1 Delimitación temporal	38
2.1.2 Delimitación espacial	38
2.2 Determinación y análisis del problema	38
2.3 Modelo de solución Propuesto	39
2.4 Resultados.....	65
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Actividades que realiza el mantenimiento.....	19
Figura 2:	Parámetros de la confiabilidad operacional	19
Figura 3:	Estrategias del mantenimiento RCM	22
Figura 4:	Fases para la implementación del RCM.....	23
Figura 5:	Capacidad inicial fuera del rango desde un principio.....	26
Figura 6:	Capacidad por sobre la operatividad requerida	26
Figura 7:	Capacidad por debajo de la operatividad requerida	27
Figura 8:	Ciclo Deming	28
Figura 9:	Deterioro a falla	32
Figura 10:	Predictibilidad absoluta.....	33
Figura 11:	Ciclo de vida de los equipos.....	34
Figura 12:	Curva P-F	35
Figura 13:	Diagrama de entradas y salidas del proceso de operación de los cargadores frontales 950L.....	39
Figura 14:	Sistemas de los cargadores frontales 950L.....	41
Figura 15:	Estructura para el desarrollo del mantenimiento.....	41
Figura 16:	Organigrama del área de mantenimiento.....	42
Figura 17:	Preguntas RCM.....	46
Figura 18:	Diagrama de árbol de decisiones	50
Figura 19:	Hoja de decisión RCM.....	51
Figura 20:	Formato para el mantenimiento rutinario	59
Figura 21:	Orden de trabajo (OT)	60
Figura 22:	Orden de repuestos.....	61
Figura 23:	Ficha del historial del cargador frontal 950L	62
Figura 24:	Modelo del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad	63
Figura 25:	Orden de trabajo del filtro de aire primario en el mes de febrero 2020	64
Figura 26:	Resultados de los indicadores de mantenimiento del año 2019	65
Figura 27:	Resultados de los indicadores de mantenimiento del año 2020	66
Figura 28:	Comparación de la disponibilidad antes y después de la aplicación del mantenimiento.....	68

Figura 29: Comparación del MTTR antes y después de la aplicación del mantenimiento.....	70
Figura 30: Comparación del MTBF antes y después de la aplicación del mantenimiento.....	71
Figura 31: Comparación de los resultados de los indicadores de mantenimiento del año 2019 y 2020	72
Figura 32: Comparación de la disminución del número de fallas.....	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1:	Características de las fallas esporádicas y crónicas.....	24
Tabla 2:	Análisis de fallas.....	29
Tabla 3:	Especificación técnica de los cargadores frontales 950L.....	40
Tabla 4:	Personal requerido para las labores de mantenimiento.....	43
Tabla 5:	Criterios para determinar la confiabilidad	44
Tabla 6:	Escala de referencia de criticidad.....	45
Tabla 7:	Criticidad de los sistemas de los Cargadores Frontales 950L	45
Tabla 8:	Análisis de modo y efectos de fallas de los componentes del cargador frontal 950L	47
Tabla 9:	Hoja de decisión RCM del sistema motriz	52
Tabla 10:	Nomenclatura de las actividades del programa de mantenimiento....	54
Tabla 11:	Actividades de programación de los Cargadores Frontales 950L cada vez que sea necesario y cada 10 horas de servicio	55
Tabla 12:	Actividades de programación de los Cargadores Frontales 950L cada 50, 100 y 250 horas de servicio.....	56
Tabla 13:	Actividades de programación de los Cargadores Frontales 950L cada 500 y 1000 horas de servicio.....	57
Tabla 14:	Actividades de programación de los Cargadores Frontales 950L cada 2000, 3000, 5000, 6000 y 12000 horas de servicio	58
Tabla 15:	Tiempo medio para restaurar (MTTR) del mes de enero 2019.....	69
Tabla 16:	Tiempo promedio entre fallas (MTBF) del mes de enero 2019.....	71
Tabla 17:	Resultados del antes y después de los indicadores de mantenimiento	72
Tabla 18:	Número total de fallas de los cargadores frontales 950L en el año 2019	73
Tabla 19:	Número total de fallas de los cargadores frontales 950L en el año 2020	74

RESUMEN

En el presente trabajo de suficiencia profesional se describe una propuesta de un plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, con el propósito de reducir el número de fallas de los Cargadores Frontales 950L, durante su operación, en la Unidad Minera Pampahuay, Oyón; para lo cual inicialmente se procedió a realizar un análisis de criticidad de los sistemas más importantes que afectan la confiabilidad de los Cargadores Frontales 950L, estableciendo que, de los 9 sistemas, 7 presentan una criticidad alta y 2 presentan una mediana criticidad. Luego se determinó el modelo del plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, el cual comienza por la notificación al jefe del área de mantenimiento y al supervisor, sigue por la inspección y diagnóstico de la máquina, la reparación de fallas, terminando en la entrega de la orden de trabajo y salida de la máquina del taller. Finalmente se realiza la evaluación de la confiabilidad obtenida a partir de la aplicación de una prueba piloto sobre los sistemas en análisis, evidenciando por medio del reporte de paralizaciones la reducción del número de fallas de 85 a 39, lo que significa un porcentaje de mejora en la reducción de fallas de 64.11%.

Palabras claves: Plan de mantenimiento; RCM; fallas; Operatividad; Máquinas

INTRODUCCIÓN

Guerra y Montes (2018), señalan que la minería es un sector de vital importancia para el desarrollo económico de cualquier país y fuente de riquezas que contribuye a la sustentabilidad de la comunidad. Su desarrollo generalmente se caracteriza por el movimiento constante y permanente de altos volúmenes de materiales, por lo que se requiere de equipos preparados para operar de forma continua durante toda su vida útil, capaces de realizar este trabajo. Para cumplir con la producción planificada, estas máquinas con frecuencia son expuestas a condiciones severas causadas por grandes esfuerzos y jornadas continuas, que con el transcurso del tiempo ocasionan desgastes prematuros en algunos de sus componentes.

Para Olarte et al. (2010), con el paso de los años, los empresarios han entendido la importancia que tiene el correcto funcionamiento de los equipos que participan en los sistemas de producción con respecto a las ganancias de sus organizaciones. Por tal motivo invierten parte de sus recursos para mejorar su área de mantenimiento contratando personal altamente calificado que planifique actividades de prevención y detección de fallas que les permita garantizar la operación óptima de su proceso de producción.

Zegarra (2015), señala que la maximización de la producción es el objeto de toda empresa para poder conseguir máxima rentabilidad. La maximización va a depender de un adecuado planeamiento de la producción, adecuada selección de los equipos para el trabajo a realizar, adecuada operación del equipo, un adecuado índice de utilización de los equipos, adecuada disponibilidad mecánica y alta confiabilidad.

Las razones o los fundamentos por los cuales se hace mantenimiento pueden ser resumidas en las siguientes categorías sobre la base de los beneficios logrados, tal como lo señala Ticlavilca (2016), en que precisa que estas categorías son: prevenir o disminuir el riesgo de fallas; recuperar el desempeño de las máquinas o equipos, aumentar su vida útil y reducir los impactos ambientales producto de las averías o fallas en los equipos.

Zegarra (2015), establece que el máximo rendimiento de una pieza de equipo de minería depende primordialmente de tres factores críticos: el diseño del producto, la aplicación en que es usado, y el mantenimiento que ésta recibe durante su vida de servicio. Dependiendo del equipo, en cierto grado estos factores pueden ser controlados, algunos más que otros.

Flores et al. (2016), señala que el factor de disponibilidad de un equipo o sistema es una medida que nos indica cuánto tiempo está funcionando ese equipo respecto de la duración total durante el periodo en el que se desea que funcione. Típicamente se expresa en porcentaje, no debe ser confundido con la rapidez de respuesta.

Al respecto Gatelu et al. (2016), señala que la disponibilidad de un equipo solo puede aumentarse disminuyendo el tiempo fuera de servicio, lo cual es posible con la mejora de los sistemas administrativos, los procedimientos, la selección, el entrenamiento, la motivación del personal, la calidad y dotación de herramientas, el equipo de diagnóstico, los sistemas de información de equipos y la optimización de los sistemas de abastecimiento.

Campos et al. (2018), establece que el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es una metodología altamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento que incluyan todo tipo de estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, etc.).

Montilla et al. (2007), aclara que si bien es cierto hay relación entre el mantenimiento preventivo y el mantenimiento centrado en la confiabilidad, señala que a diferencia del mantenimiento preventivo, el objetivo del mantenimiento centrado en la confiabilidad no es conservar la condición operativa de los equipos, sino garantizar que el equipo cumpla la función o funciones para las cuales ha sido introducido en un proceso productivo, es decir, este mantenimiento se centra en garantizar la máxima Confiabilidad de un proceso/equipo, entendiendo la Confiabilidad como la probabilidad de que un equipo no falle durante su operación.

En ese sentido en el presente trabajo de suficiencia profesional describo una propuesta de un plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, con el propósito de reducir el número de fallas de los Cargadores Frontales 950L, durante su operación, en la Unidad Minera Pampahuay, Oyón; para lo cual inicialmente procederé a realizar un análisis de criticidad de los sistemas más importantes que afectan la confiabilidad de los Cargadores Frontales 950L, esto obtenido a partir de los reportes de mantenimiento. Luego se determinará el modelo del plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad; para finalmente realizar la evaluación de la confiabilidad obtenida a partir de la aplicación de una prueba piloto sobre los sistemas en análisis y así obtener el porcentaje de mejora.

OBJETIVOS

a. **Objetivo General**

Desarrollar una propuesta de un plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, con el propósito de reducir el número de fallas de los Cargadores Frontales 950L, durante su operación, en la Unidad Minera Pampahuay, Oyón - 2020.

b. **Objetivos Específicos**

- Realizar un análisis de criticidad de los sistemas que afectan la confiabilidad de los Cargadores Frontales 950L, a partir de los reportes de mantenimiento realizado, en la Unidad Minera Pampahuay, Oyón - 2020.
- Determinar el modelo del plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, con el propósito de reducir el número de fallas de los Cargadores Frontales 950L, durante su operación, en la Unidad Minera Pampahuay, Oyón - 2020.
- Evaluar la confiabilidad obtenida luego de la aplicación de la propuesta del plan de mantenimiento, con el propósito de evidenciar la reducción del número de fallas de los Cargadores Frontales 950L, durante su operación, en la Unidad Minera Pampahuay, Oyón - 2020.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Bases Teóricas

1.1.1 Estado del Arte

Vásquez (2019), realizó la investigación titulada *“Implementación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a excavadoras Caterpillar 336D2L”*, en la Universidad de Piura, Perú. La investigación establece como objetivo: Implementar una metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a excavadoras Caterpillar 336D2L; Al desarrollar la investigación se obtiene los siguientes resultados: Se disminuyó las horas de parada y se incrementó la disponibilidad de las excavadoras, esto permitió una reducción económica de 17.55% (US\$ 15 049,00 dólares) en el gasto de mantenimiento, durante el periodo de estudio. Asimismo, la disponibilidad de la flota mejoró en un 90% y el costo de mantenimiento pasó de 16.9% a 14%. Con lo que, se llega a la siguiente conclusión: Se implementó una metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en las excavadoras Caterpillar 336D2L); con el cual se logró disminuir las horas de parada y se incrementó la disponibilidad de las excavadoras, mediante la corrección de los eventos y modos de fallas que originaron las causas de las paradas no programadas.

Barreda (2018), realizó la investigación titulada *“Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (R.C.M.) en la EDAR de Nules - Vilavella”*, en la Universidad Jaime I, España. La investigación establece como objetivo: Aplicar el plan de mantenimiento mediante la metodología R.C.M, para aumentar la fiabilidad de la instalación de la EDAR de Nules - Vilavella; Al desarrollar la investigación se obtiene los siguientes resultados: Se optimizó el plan de mantenimiento, eliminando las tareas de mantenimiento redundantes, optimizando las frecuencias de revisión de los equipos y reduciendo en un 65% el tiempo medio entre averías (MTBF). Con lo que, se llega a la siguiente

conclusión: Se aplicó el plan de mantenimiento mediante la metodología R.C.M, realizando un análisis profundo y detallado de cada avería, conociendo los equipos a los que se deberá prestar una mayor atención, y también determinando las causas de cada avería en estos equipos; con ello se logró aumentar la fiabilidad y seguridad de la instalación de la EDAR de Nules – Vilavella.

Pacheco (2018), realizó la investigación titulada *“Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM para la reducción de fallas de la maquinaria de la empresa Hydro Pátapo S.A.C.”*, en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú. La investigación establece como objetivo: Implementar un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM para reducir las fallas de la maquinaria de la empresa Hydro Pátapo S.A.C.; Al desarrollar la investigación se obtiene los siguientes resultados: Al implementar el mantenimiento RCM, se reduce el tiempo de inoperatividad en un 20,58%, además se ahorra 21 933,84 dólares por año aproximado en reparaciones. Con lo que, se llega a la siguiente conclusión: Se implementó el mantenimiento RCM, con el cual se redujo las fallas de la maquinaria de la empresa Hydro Pátapo, aumentando la disponibilidad, es decir, la vida útil de los activos y generando un beneficio económico en la empresa, por la reducción de costos de operación.

Diestra et al. (2018), realizó la investigación titulada *“Programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad”*, en la Universidad César Vallejo, Perú. La investigación establece como objetivo: Diseñar un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de las máquinas de la empresa COMET S.R.L.; Al desarrollar la investigación se obtiene los siguientes resultados: Se determinó que las máquinas industriales que presentan mayor índice de criticidad y fallas frecuentes fueron los puentes grúa N°2 Y N°5, lo cual generaba

una pérdida del tiempo de fabricación de 4.62%, que representa en costo de producción a \$3,530.1. Con lo que, se llega a la siguiente conclusión: Se logró diseñar el plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), mediante el análisis de criticidad de las máquinas y equipos, basado en la información recopilada por la empresa, con lo cual se permitió plantear estrategias para disminuir las ocurrencias de fallas, optimizando así la disponibilidad operacional de las máquinas de la empresa COMET S.R.L.

Siguas (2018), realizó la investigación titulada *“Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad de cargadores frontales 980h Caterpillar”*, en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú. La investigación establece como objetivo: Desarrollar un modelo de gestión de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de cargadores frontales 980h Caterpillar; Al desarrollar la investigación se obtiene los siguientes resultados: Al aplicar el mantenimiento aumento la disponibilidad de los cargadores frontales 980h Caterpillar en un 85%, con lo cual se ha podido ahorrar S/.288, 219 en el periodo de un año. Con lo que, se llega a la siguiente conclusión: Se desarrolló un modelo de gestión del mantenimiento analizando la ocurrencia de fallas, mejorando con ello la confiabilidad y la disponibilidad de las maquinarias.

Jiménez (2017), realizó la investigación titulada *“Elaboración de un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para el área de Bunchado en planta Electroables de la ciudad de Guayaquil”*, en la Universidad de Guayaquil, Ecuador. La investigación establece como objetivo: Elaborar un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para el área de Bunchado en Planta Electroables de la Ciudad de Guayaquil; Al desarrollar la investigación se obtiene los siguientes resultados: Se determinó la mejora de los indicadores de mantenimiento y productividad de la máquina en forma considerable, con un total de 61.5 horas de paradas/año, las cuales representan 49 hombre/parada año de

personal de mantenimiento, con un costo total de materiales e insumos de las actividades de \$4,450.00. Con lo que, se llega a la siguiente conclusión: Se elaboró un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), por medio del análisis de criticidad, que permitió disminuir el tiempo de paradas, lo que ayuda a incrementar la productividad, disminuir los desperdicios y optimizar los recursos de mantenimiento, en el área de Bunchado en Planta Electrocables de la Ciudad de Guayaquil.

Castro (2017), realizó la investigación titulada *“Método basado en RCM, para la gestión de mantenimiento en tractores agrícolas: Caso municipalidad distrital de Colquepata”*, en la Universidad Nacional de San Agustín, Perú. La investigación establece como objetivo: Proponer un método de gestión de mantenimiento basado en RCM para mejorar la operación de los tractores agrícolas en el distrito de Colquepata; Al desarrollar la investigación se obtiene los siguientes resultados: Durante el análisis de criticidad se obtuvo, 2 subsistemas de alta criticidad (12.5%), 4 subsistemas de mediana criticidad (25%) y 10 subsistemas de baja criticidad (62.5%). Con lo que, se llega a la siguiente conclusión: Se propuso un método de gestión de mantenimiento basado en RCM, con el cual se garantiza la confiabilidad de los equipos, en el método se analizará la frecuencia de fallas, los daños y los efectos causados, generando una base de datos con la información recolectada.

Uzcátegui (2017), realizó la investigación titulada *“Gestión del mantenimiento de la maquinaria pesada del proceso de carga y transporte de la empresa “Construcciones Asfalto Andes, C.A.”*, en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de MOA, Cuba. La investigación establece como objetivo: Desarrollar un plan de mantenimiento, para mejorar la disponibilidad de la maquinaria pesada del proceso de carga y transporte de la empresa “Construcciones Asfalto Andes, C.A; Al desarrollar la investigación se obtiene los siguientes resultados: La disponibilidad aproximada de la flota estudiada es del 68%, siendo los

cargadores Frontales y Camiones los equipos más críticos. Con lo que, se llega a la siguiente conclusión: Se desarrolló un plan de mantenimiento, partiendo de la determinación de las fallas más comunes, el número de fallas y las demoras presentadas, mejorando de esta manera la disponibilidad de la maquinaria pesada del proceso de carga y transporte, y garantizando una gestión confiable en la empresa “Construcciones Asfalto Andes, C.A.

Gálvez y Mescua (2016), realizó la investigación titulada *“Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto”*, en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú. La investigación establece como objetivo: Desarrollar e implementar una estrategia de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad, para reducir las horas inoperativas de la maquinaria; Al desarrollar la investigación se obtiene los siguientes resultados: Al aplicar el plan de mantenimiento RCM, se ha mejorado el indicador de disponibilidad, obteniendo un 92%, asimismo se obtiene una confiabilidad del 62% y un MTBF de 50 horas. Con lo que, se llega a la siguiente conclusión: Se implementó una estrategia de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad, reduciendo las horas inoperativas de la maquinaria, aumentando la disponibilidad en un 62%; el desarrollo se basa en un análisis AMFE (Análisis de los modos de fallo y sus efectos), ante ello se afirma que la implementación del RCM es rentable para la compañía.

Soto (2016), realizó la investigación titulada *“Mantenimiento basado en la Confiabilidad para el mejoramiento de la disponibilidad mecánica de los volquetes FAW en GYM S.A.”*, en la Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú. La investigación establece como objetivo: Aplicar el mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de los volquetes FAW CA3256 en la empresa GYM S.A, mediante el RCM; Al desarrollar la investigación se obtiene los siguientes resultados: Al aplicar el mantenimiento RCM, se mejora

la disponibilidad mecánica en un 92,034% de los volquetes FAW CA3256. Con lo que, se llega a la siguiente conclusión: Se aplicó el Mantenimiento Basado en la Confiabilidad, por lo cual, se logró mantener en óptimas condiciones los volquetes FAW CA3256, evitando la inoperatividad mecánica, al anticiparnos a las fallas.

1.1.2 Marco teórico general

1.1.2.1 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Según Mescua y Gálvez (2016) se llama mantenimiento a las actividades para mantener y recuperar la situación ideal, así como la determinación y evaluación de la situación real de un sistema o equipo por medios técnicos (p.16).

Correa (2017) citado por Sigvas (2018) señala que el mantenimiento presenta desde sus inicios dos áreas muy muy diferentes pero relacionadas; el área técnica y el área económica. La primera área se realizaba para la conservación de las herramientas básicas e importantes de la época. Y la segunda surge por la necesidad de controlar eficientemente los ingresos y egresos, de los recursos en el proceso productivo (p.2).

Pérez (2008) citado por Pacheco (2018) señala que el mantenimiento es el trabajo emprendido para velar y reponer, todos y cada uno de los medios de producción existentes en una planta. También se puede especificar como el conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con la finalidad de corregir o prevenir fallas, buscando que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados (p.16).

En la siguiente figura se muestra las actividades que realiza el mantenimiento.

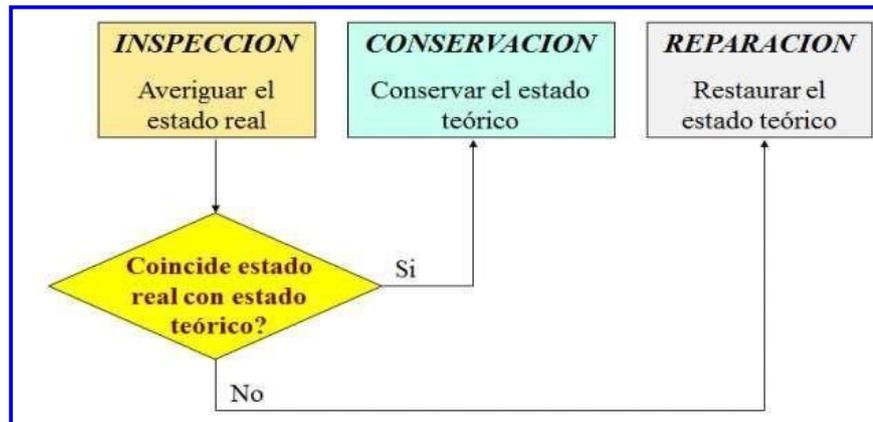


Figura 1: Actividades que realiza el mantenimiento
Fuente: (Mescua & Gálvez, 2016)

En relación a la confiabilidad Pacheco (2018) señala que la confiabilidad se expresa como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, estrategias modernas y metodologías de análisis, para optimizar la gestión, la planeación, ejecución y control de la producción industrial, con la finalidad que las instalaciones o máquinas puedan cumplir su función o el propósito que se espera de ellas (p.20).

En la siguiente figura se muestra los parámetros de la confiabilidad operacional.



Figura 2: Parámetros de la confiabilidad operacional
Fuente: (Pacheco, 2018)

Según Vásquez (2019) como todo sistema evolutivo, el mantenimiento ha seguido una serie de etapas sucesivas que se han caracterizado por una metodología específica, además se relaciona que a través del tiempo la importancia de la productividad ha tomado mayor relevancia; por ello, su crecimiento ha sido siguiendo constantemente al de la producción y la tecnología; entre la evolución del mantenimiento se introduce la filosofía del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) (p.3).

Para Vásquez (2019) ante los cambios para optimizar y mejorar los sistemas, el RCM hasta el momento ha mostrado ser adaptable a ellos, para de esta manera poder ser incorporado a los procesos productivos que lo requieran; debido a que, como parte de los objetivos del RCM es que la maquinaria opere de manera correcta, a gran velocidad, seguridad y precisión (p.4).

Bajo lo dicho, Vásquez (2019) señala que el RCM, es una metodología, que se emplea para determinar las acciones que aseguren, la correcta operatividad de todo sistema o máquina. Los beneficios del mantenimiento RCM, según el autor, son: (p.6)

- Mayor seguridad e integridad medioambiental.
- Optimo desempeño operativo.
- Mejor relación costo-efectividad.
- Mayor vida útil en los equipos.
- Incremento de la seguridad de los procesos

Según Mescua y Gálvez (2016) el mantenimiento centrado en la confiabilidad nos ayuda a identificar qué tipo de actividades de mantenimiento y con qué frecuencia se deben aplicar a las principales máquinas y componentes según el grado de

prioridad, para que cumplan correctamente con su operatividad (p.23).

Para Soto (2016) el mantenimiento RCM es empleado para establecer lo que se debe hacer, para asegurar la operatividad de cualquier recurso físico o sistema. El objetivo de la confiabilidad es garantizar las funciones operacionales de los sistemas o equipos según los estándares para los cuales fueron diseñados, por medio de una metodología óptima y segura, con ello se logrará la eficiencia de los activos y se garantizará la productividad de los procesos (p.13).

Como lo indica Soto (2016) el objetivo principal del RCM es mejorar la confiabilidad de los equipos, reduciendo de esta manera el costo de mantenimiento, enfocándose en las funciones más importantes de los sistemas, y/o reemplazándolas por otras aún mejores, con el fin de hacer más seguro y eficiente el sistema (p.14).

Según Pacheco (2018) un aspecto importante de la filosofía del RCM, es la promoción del uso de las nuevas tecnologías desarrolladas para el campo del mantenimiento. La aplicación correcta de las nuevas técnicas de mantenimiento bajo el enfoque del RCM, permiten de forma eficiente, optimizar los procesos de producción y disminuir al máximo los posibles riesgos sobre la seguridad personal y el ambiente, que traen consigo los fallos de los activos en un contexto operacional específico (p.20).

Pacheco (2018) señala que el mantenimiento RCM certifica que se emprendan las acciones correctas de mantenimiento preventivo o predictivo, eliminando aquellas tareas que no producen ningún impacto en la frecuencia de fallas. Debido al

enfoque riguroso para definir funciones, mecanismo de falla, efectos y grado crítico (p.23).

Para Pexa et al. (2014) citado en Sigvas (2018) el mantenimiento RCM es un método para identificar la funcionalidad de las máquinas o instalaciones, para luego establecer las actividades específicas de mantenimiento que se debe aplicar. Puede combinar las metodologías del mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, e incluye las inspecciones para la detección de fallas ocultas. Su finalidad se centra en conservar la vida útil del activo. Realizando un análisis de todas las posibles causas de las fallas, de manera que se puedan aplicar tareas de prevención en base a la criticidad, de las consecuencias que las fallas puedan generar (p.9).

En la siguiente figura se muestra lo descrito, en relación a las estrategias del mantenimiento RCM.



Figura 3: Estrategias del mantenimiento RCM
Fuente: (Sigvas, 2018)

Existen 8 fases para la implementación del RCM, los cuales se muestran en la siguiente figura: (Mescua y Gálvez, 2016, p.23)



Figura 4: Fases para la implementación del RCM
Fuente: (Mescua & Gálvez, 2016)

Según Vásquez (2019) la norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM. Según esta norma, las siete preguntas básicas del proceso RCM son: (p.7)

- ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
- ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
- ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
- ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?

- ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
- ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

1.1.3 Marco teórico específico

1.1.3.1 Fallas funcionales

A. Falla

Según Arredondo et al. (2016) una falla es un evento no previsible, inherente a los sistemas, que dificulta que estos cumplan con la función que han sido diseñadas. Las fallas en los equipos se consideran sucesos aleatorios, es decir, que ocurren al azar, debido a ello se debe predecir y eliminar las fallas mediante: el diseño mejorado del sistema y la verificación continua del funcionamiento de elementos para determinar el momento idóneo de la acción de mantenimiento (p.4).

En la siguiente tabla se muestra las características de las fallas esporádicas y crónicas.

Tabla 1: Características de las fallas esporádicas y crónicas

Tipo de Falla	Características
Esporádicas	<ul style="list-style-type: none"> • Repentinas • Generan la interrupción operativa de los equipos. • Son visibles • Fácil de repararlas
Crónicas	<ul style="list-style-type: none"> • Persisten en el tiempo. • Difícil de identificarlas • Su solución no es sencilla

Fuente: (Arredondo, Morillo, Sandoval, & Yáñez, 2016)

B. Fallas funcionales

Para Soto (2016) las fallas funcionales identifican todos los estados inestables del sistema. Los estados de falla guardan relación directa con las funciones deseadas. Una vez registradas todas las funciones queridas de un activo, identificar las fallas funcionales es un problema trivial. Una falla funcional es la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según el parámetro de operatividad. Cada activo tiene más de una falla, por lo tanto, al ser posible que cada una de estas falle, se induce que cualquier activo puede tener una variedad de estados de fallas diferentes. Entonces es preciso definir una falla en términos de “perdida de una función específica” y no con la “falla del activo como un todo” (p.18).

1.1.3.2 Análisis modos de falla y efectos

A. Modo de falla

Según Soto (2016) un modo de falla es una potencial causa por la cual un equipo puede obtener a un estado de falla. Al identificar los modos de falla de un equipo o sistema, es importante registrar la causa raíz de la falla. La mayoría de las listas tradicionales de modos de falla incorpora fallas causadas por deterioración o por el desgaste normal. Sin embargo, la lista debe contener fallas causadas por errores humanos (por parte de operadores y mantenedores) y fallas de diseño tal que todas las causas de falla bastante probables del equipo pueden identificarse y pueden repartirse apropiadamente. Las categorías de modos de falla, se muestra a continuación: (p.19)

- **Capacidad inicial fuera del rango desde el inicio**

En la siguiente figura se muestra el modo de falla, que surge en situaciones, cuando la capacidad inicial se

encuentra fuera del rango de la operatividad requerida desde un principio (p.19).



Figura 5: Capacidad inicial fuera del rango desde un principio
Fuente: (Soto, 2016)

- **Capacidad por sobre la operatividad requerida**

En la siguiente figura se muestra el modo de falla, que surge cuando la operatividad deseada se incrementa, hasta no tener una respuesta, el incremento del esfuerzo causa que se acelere el deterioro del sistema o máquina, minimizando así su vida útil (p.20).

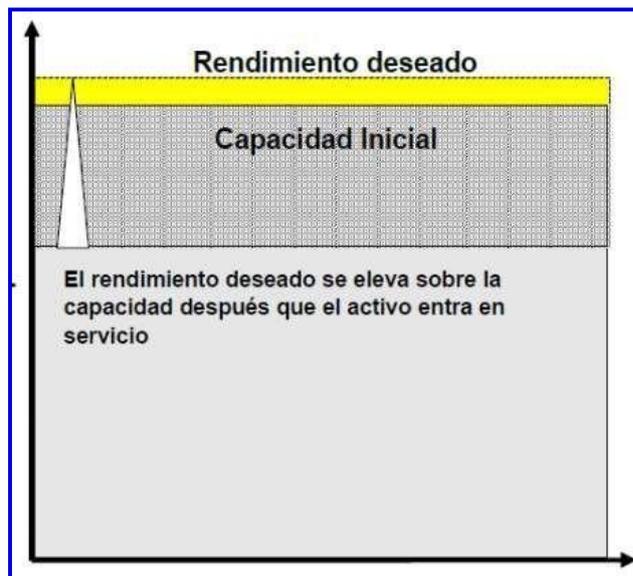


Figura 6: Capacidad por sobre la operatividad requerida
Fuente: (Soto, 2016)

- **Capacidad por debajo de la operatividad requerida**

En la siguiente figura se muestra el modo de falla, que surge cuando la capacidad está por debajo de la operatividad requerida, generando deterioro, fallas y un mal funcionamiento (p.20).

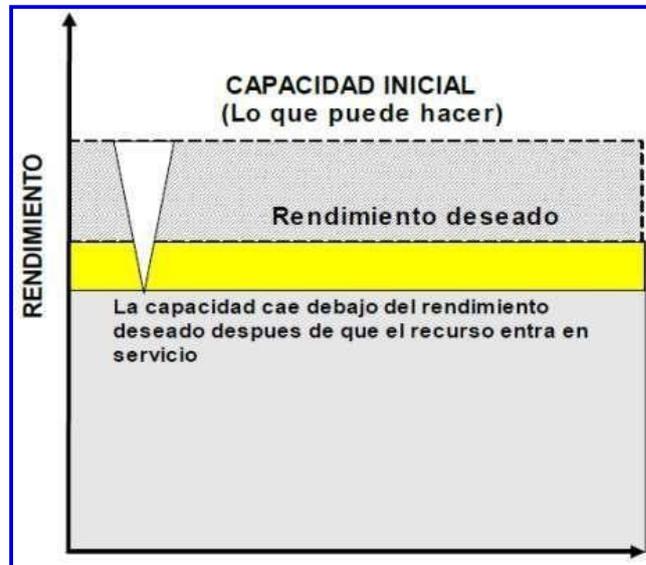


Figura 7: Capacidad por debajo de la operatividad requerida
Fuente: (Soto, 2016)

B. Análisis de falla

Según PROPYMES (2014) cada vez que ocurre una falla que cause la interrupción de un proceso operativo, se requiere las siguientes acciones: (p.14)

- Restablecer las condiciones operativas
- Entender qué produjo la avería.

Como lo indica PROPYMES (2014) existen métodos o herramientas recomendadas para la resolución de problemas que se complementan con el hecho de registrar adecuadamente los eventos. Esto nos permite: (p.14)

- Organizar la historia clínica del equipo
- Determinar la frecuencia de los eventos
- Identificar potenciales causas
- Planificar las tareas asociadas

Cabe señalar que la realimentación es importante en todo sistema de gestión, destacándose así la implementación del ciclo de Deming: (PROPYMES, 2014, p.14)



Figura 8: Ciclo Deming
Fuente: (PROPYMES, 2014)

Un análisis de fallas debe: (PROPYMES, 2014, p.15)

- Resolver la causa raíz: Preguntar cinco veces por qué.
- Mejorar la planificación de tareas del equipo en cuestión
- Realimentar la formación del grupo técnico
- Estandarizar la solución a otras áreas de interés

Según PROPYMES (2014) para el análisis de falla, se suelen utilizar principios sencillos de fácil interpretación, normalmente relacionados a un formato particular que permite eximir toda la información importante al evento (p.15).

PROPYMES (2014) señala que para cumplir con estos requerimientos es necesario establecer el árbol de equipos, en un subconjunto o elementos que han fallado y cruzarlo con otros, con la finalidad de determinar la causa raíz de la falla y poder anticipar y evitar fallas similares o iguales (p.16).

En la siguiente tabla se muestra las preguntas a establecer en el análisis de fallas. (PROPYMES, 2014, p.15)

Tabla 2: Análisis de fallas

	Detallar
¿Cuándo ocurrió?	<ul style="list-style-type: none"> • Fechas • Turno • Horario • Duración de la avería
¿Dónde ocurrió?	<ul style="list-style-type: none"> • Área • Línea • Equipo
¿Qué pasó?	Detalle sencillo del evento
¿Por qué pasó?	Posibles causas conocidas
¿Qué se hizo?	Detalle de la intervención de emergencia
Medidas correctivas	Propuesta del análisis del evento
Medidas preventivas	Si son de aplicación a otros equipos

Fuente: (PROPYMES, 2014)

C. Efectos de las fallas

Según Soto (2016), en el proceso RCM se vincula una lista de los efectos de las fallas. A continuación, se muestra lo que incluyen en estas descripciones, por medio de las preguntas a realizar para la evaluación de las consecuencias de la falla: (p.21)

- ¿Qué evidencia hay, que la falla ha ocurrido?
- ¿De qué manera representa una amenaza a la seguridad o al medio ambiente?
- ¿De qué manera afecta la producción o la operación?
- ¿Qué daño físico es causado por la falla?
- ¿Qué debe hacerse para reparar la falla?

1.1.3.3 Consecuencias de las fallas

Según Moubray (2009) un análisis detallado de una empresa industrial promedio, tiende a arrojar entre tres y diez mil posibles modos de fallas. Cada una de estas fallas afectan a la organización en alguna escala, pero en cada caso los efectos son diferentes. Pueden afectar la operatividad. También pueden afectar la calidad del producto, servicio al cliente, seguridad del medioambiente. Todas significaran el gasto de tiempo y dinero para repararlas (p.14).

Para Moubray (2009) son esas consecuencias las que ejercen la mayor influencia para que tratemos de prevenir cada falla. En otras palabras, si una falla trae consecuencias serias, tenderemos a hacer todo lo posible para tratar de evitarla. Por otro lado, si esta no afecta o afecta en un grado mínimo, entonces quizás decidamos no hacer un mantenimiento de rutina que vaya más allá de la limpieza y lubricación (p.14).

Como lo indica Moubray (2009) uno de los puntos fuertes de RCM es que este reconoce que las consecuencias de las fallas son mucho más importantes que sus características técnicas, en realidad reconoce que la única razón de hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es para evitar las fallas en sí, sino evitar o al menos reducir las consecuencias que estas traen. El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en los siguientes cuatro grupos: (p.14)

A. Fallas ocultas

Según Moubray (2009) las fallas ocultas no causan un impacto directo, pero exponen a la empresa a fallas múltiples, con consecuencias serias y frecuentemente catastróficas. (La mayoría de estas fallas están asociadas con sistemas de protección no libres de fallas) (p.14).

B. Medioambientales y de seguridad

Moubray (2009) señala que una falla trae consecuencias de seguridad si potencialmente puede dañar o causar la muerte. Tiene consecuencias medioambientales si provoca la violación de cualquier norma medioambiental corporativa, regional, nacional o internacional (p.14).

C. Operativas

Según Moubray (2009) una falla trae consecuencias operativas cuando afecta la producción (rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente o costos operativos, además del costo directo de reparación) (p.14).

D. No operativas

Para Moubray (2009) las fallas evidentes que conforman esta categoría, no tienen consecuencias ni de seguridad, ni de protección, de modo que solo implican el costo de reparación (p.14).

1.1.3.4 Mantenimiento Proactivo 1: Tareas preventivas

Moubray (2009) señala que las tareas proactivas se realizan antes de que ocurra una falla, para prevenir que el ítem entre en estado fallido. Abarcan lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento “preventivo” y “predictivo” (p.120).

Según Soto (2016), si el mantenimiento RCM se empleara para desarrollar un nuevo sistema de mantenimiento preventivo, el efecto será, que la carga de trabajo programado será mucho menor, que, si el sistema se hubiera desarrollado por medios normales, incluso, consiguiendo la confiabilidad requerida para los equipos (p.16).

- **Edad y deterioro**

Moubray (2009) señala que todo bien físico que tiene como objetivo cumplir una función que lo pone en contacto con el mundo real está sujeto a una variedad de esfuerzos. Estos esfuerzos causan el deterioro del bien, disminuyendo su resistencia a las sobrecargas. Eventualmente esta resistencia disminuye a un punto en el que el bien no puede lograr más el desempeño deseado, en otras palabras, falla (p.122).

Según Moubray (2009) la exposición a este esfuerzo se mide de diversos modos, incluyendo el rendimiento, distancias recorridas, ciclos operativos, tiempo calendarios y corrientes. Estas unidades están relacionadas a tiempo, de modo que es común referirse a la total exposición como Edad del bien. Esta conexión entre esfuerzo y tiempo sugiere que debe haber una relación directa entre el grado de deterioro, y la edad del ítem. Si esto es así, concluimos que el punto en que la falla ocurre también debería depender de la edad del ítem; lo descrito se observa en la siguiente figura (p.122).



Figura 9: Deterioro a falla
Fuente: (Moubray, 2009)

Para Moubray (2009) si esto fuera cierto para todos los bienes, podríamos predecir la vida de los equipos con gran precisión. La visión clásica del mantenimiento preventivo sugiere que esto es posible, todo lo que necesitamos es suficiente información acerca de las fallas. En la siguiente figura se muestra la predictibilidad absoluta.

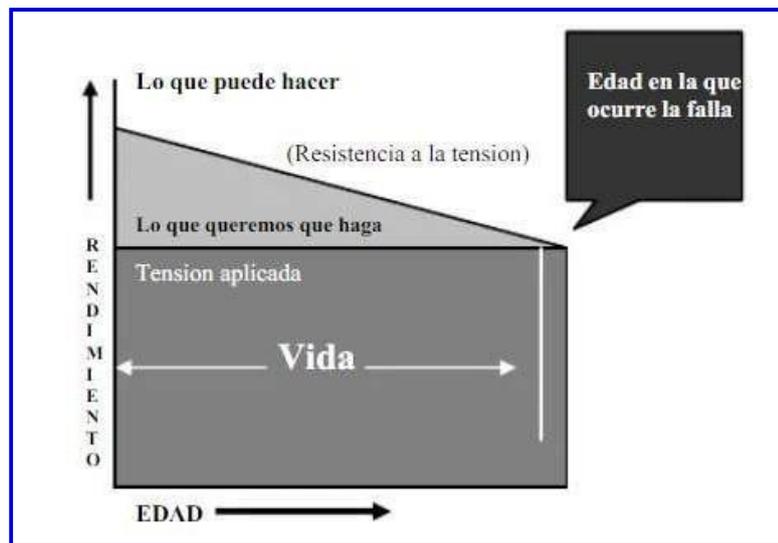


Figura 10: Predictibilidad absoluta
Fuente: (Moubray, 2009)

- **Restauración Programada y Descarte Programado**

Según Moubray (2009) la restauración programada implica restaurar la capacidad inicial de un ítem o componente existente a o antes una edad límite especificada, sin tener en cuenta su condición aparente en ese momento. Las tareas de restauración programada solían ser conocidas como tareas programadas de recuperación. Ellas incluyen reparaciones o cambrones completos que se llevan a cabo en intervalos preestablecidos para prevenir los modos de falla relacionados con la edad (p.126).

Moubray (2009) señala que el descarte programado implica descartar un ítem o componente a, o antes del límite de edad especificado, sin tener en cuenta su condición en ese momento. Tener en cuenta que los términos restauración y descarte programados pueden ser

aplicados a exactamente la misma tarea, y que termino es el apropiado es una función del nivel al que se está llevando a cabo el análisis (p.126).

En la siguiente figura se muestra el ciclo de vida útil de los equipos.

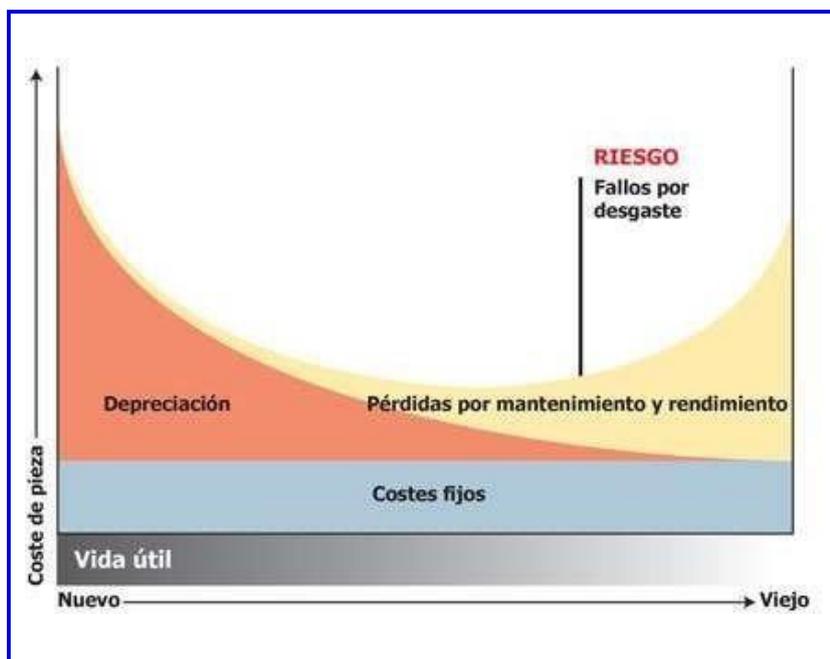


Figura 11: Ciclo de vida de los equipos
Fuente: (Moubray, 2009)

1.1.3.5 Mantenimiento Proactivo 2: Tareas predictivas

Según Moubray (2009) a pesar de que muchas fallas no están relacionadas con la edad, la mayoría de ellas dan algún tipo de advertencia de que están por o en proceso de ocurrir. Si se puede encontrar evidencia de que algo está en las etapas finales de fallas, puede ser posible tomar acción para prevenir que falle completamente o para evitar sus consecuencias (p.135).

Moubray (2009) señala que el punto del proceso de falla en el que es posible detectar si la falla está ocurriendo o por ocurrir se conoce como falla potencial. Una falla potencial es

Moubray (2009) señala que el intervalo P-F establece la cantidad de tiempo disponible para llevar a cabo la acción que necesaria para reducir o eliminar las consecuencias de la falla. Dependiendo del contexto operativo del bien, la advertencia de fallas incipientes permite al usuario reducir o evitar las consecuencias de las siguientes maneras:

- Tiempo de inactividad
- Costo de reparación
- Seguridad

1.2 Definición de Términos Básicos

- Condiciones de operación: Son las condiciones en las que se espera que el equipo funcione y constituye el cuarto elemento relevante de la definición básica de la confiabilidad, incluyen factores como ubicación geográfica donde se espera que el equipo opere, el medio ambiente, vibraciones, transporte, etc. (Barreda, 2018)
- Confiabilidad: Se puede definir como la probabilidad de que un equipo no falle durante un periodo de tiempo especificado y bajo un contexto operacional. (Barreda, 2018)
- Defecto: Desperfecto en un componente o sistema que puede causar que el componente o sistema falle en desempeñar las funciones requeridas.
- Error: Acción humana que produce un resultado incorrecto. (Soto, 2016)
- Falla: Manifestación física o funcional de un defecto. Terminación de la capacidad del equipo para realizar la función requerida. (Arredondo, Morillo, Sandoval, & Yáñez, 2016)
- Inspección: El proceso de medir, examinar, probar, calibrar o detectar de alguna otra forma cualquier desviación con respecto a las especificaciones. (Jiménez, 2017)
- Parada: Situación de un ítem cuando no está en operación porque no se necesita o porque no se encuentra en condición de utilización. (Pacheco, 2018)

- Reparación: Es el restablecimiento o restauración de un equipo a una combinación aceptable mediante la renovación, reemplazo o reparación general de piezas dañadas o desgastadas. (Pacheco, 2018)
- Tiempo promedio entre fallas: Es la variable aleatoria de la definición de confiabilidad y se refiere a la duración del funcionamiento o duración de vida, que se puede ser medido en horas, días y semanas mediante instrumentos de precisión. (Moubray, 2009)

CAPITULO II

METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL

2.1 Delimitación temporal y espacial del trabajo

2.1.1 Delimitación temporal

El proyecto al cual se hace referencia en este trabajo de suficiencia profesional, relacionada con la propuesta de un plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, con el propósito de reducir el número de fallas de los Cargadores Frontales Caterpillar 950L, en la Unidad Minera Pampahuay, Oyón, se desarrolló durante los meses enero a febrero de 2020.

2.1.2 Delimitación espacial

El proyecto relacionado con el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para los cargadores Frontales Caterpillar 950L, se desarrolló para la Unidad Minera Pampahuay OCIMIN SAC; esta mina es un yacimiento carbonífero, y que se encuentra ubicada en un área despoblada del paraje Pampahuay a una altitud aproximada de 3,900 m.s.n.m., a unos 10 Km. de la ciudad de Oyón, distrito y provincia de Oyón, región Lima.

2.2 Determinación y análisis del problema

La unidad Minera Pampahuay OCIMIN S.A.C; es una mina de yacimiento carbonífero, el cual cuenta con un área de mantenimiento de equipos de carga pesada, que se encarga de realizar mantenimiento preventivo y correctivo según un plan establecido; sin embargo, el problema se centra principalmente en esta área, ya que no tiene un plan de mantenimiento preventivo y correctivo estructurado ni basado en algún tipo de metodología; solo responden a check list y cartillas de mantenimiento.

Pero estos tipos de plan de mantenimiento no resultaron ser suficiente para garantizar altos niveles de indicadores de mantenimiento; que, según reportes de la misma unidad minera, durante el año 2019, presentó en promedio 53%, 60% y 64% de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, respectivamente.

Es relevante el resaltar que el indicador de mantenimiento de menor valor, resulta ser la confiabilidad, y es que aquí resulta evidente que no existe un análisis previo respecto a la criticidad de ciertos componentes asociados a cargadores Frontales Caterpillar 950L, que son parte del análisis de estudio; lo que deriva en que se afecte la función del equipo dentro del proceso productivo; aumentando el número de fallas del equipo.

En ese sentido se pretende desarrollar una propuesta de un plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, con el propósito de reducir el número de fallas de los Cargadores Frontales Caterpillar 950L, en la Unidad Minera Pampahuay, Oyón.

2.3 Modelo de solución Propuesto

Con la finalidad de realizar el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad debemos tener en claro los componentes y sistemas que conforman al equipo; ya que forman parte del desarrollo de la metodología y tienen un papel importante en la toma de decisiones. Ante lo descrito en la siguiente figura el diagrama de entradas y salidas del proceso de operación de los cargadores frontales 950L.



Figura 13: Diagrama de entradas y salidas del proceso de operación de los cargadores frontales 950L
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la información técnica de los Cargadores Frontales 950L, estos datos son extraídos del manual de operación.

Tabla 3: Especificación técnica de los cargadores frontales 950L

CARGADOR FRONTAL 950L -CATERPILLAR



MOTOR

Potencia neta: ISO 9249	185 kW
Potencia bruta nominal: 2.000 rpm: ISO 14396: métrica	195 kW (265 hp)
Potencia neta máxima: 2.000 rpm: ISO 9249: métrica	185 kW (252 hp)
Par bruto máximo: 1.400 rpm: ISO 14396	1050 N·m
Cilindrada	7.01 L
Modelo de motor	C7.1 Cat
Par neto máximo: 1.400 rpm	984 N·m

PESOS

Peso en orden de trabajo	18136 kg
--------------------------	----------

CUCHARONES

Capacidad de los cucharones	2,7 a 4,4 m ³ (3,5 a 5,8 yd ³)
-----------------------------	---

ESPECIFICACIONES DE OPERACIÓN

Carga de equilibrio estático: giro máximo de 40°, con deflexión del neumático	10926 kg
Fuerza de desprendimiento	152 kN
Carga de equilibrio estático: giro máximo de 40°, sin deflexión del neumático	11624 kg

SISTEMA HIDRÁULICO

Tipo de bomba del implemento	Pistón axial variable
Sistema del implemento: rendimiento máximo de la bomba a 2.340 rpm	245 L/min
Sistema de implementos: presión de operación máxima	27900 kPa
Tiempo de ciclo hidráulico: total	9.5 s

CAPACIDADES DE LLENADO DE SERVICIO

Sistema de enfriamiento	54 L
Diferencial: mandos finales: traseros	43 L
Diferencial: mandos finales: delanteros	43 L
Tanque de combustible	275 L
Cárter	20 L
Transmisión	43 L
Tanque hidráulico	125 L

CAPACIDADES DEL CUCHARÓN

Gama del cucharón	2,7 a 4,4 m ³ (3,5 a 5,8 yd ³)
-------------------	---

Fuente: https://www.cat.com/es_ES.html

Los Cargadores Frontales 950L se componen de varios sistemas que son: sistema motriz, sistema hidráulico, sistema de enfriamiento, sistema de dirección, sistema de frenos, sistema eléctrico y electrónico, sistema de lubricación, sistema de engrase, sistema de giro y sistema estructural.

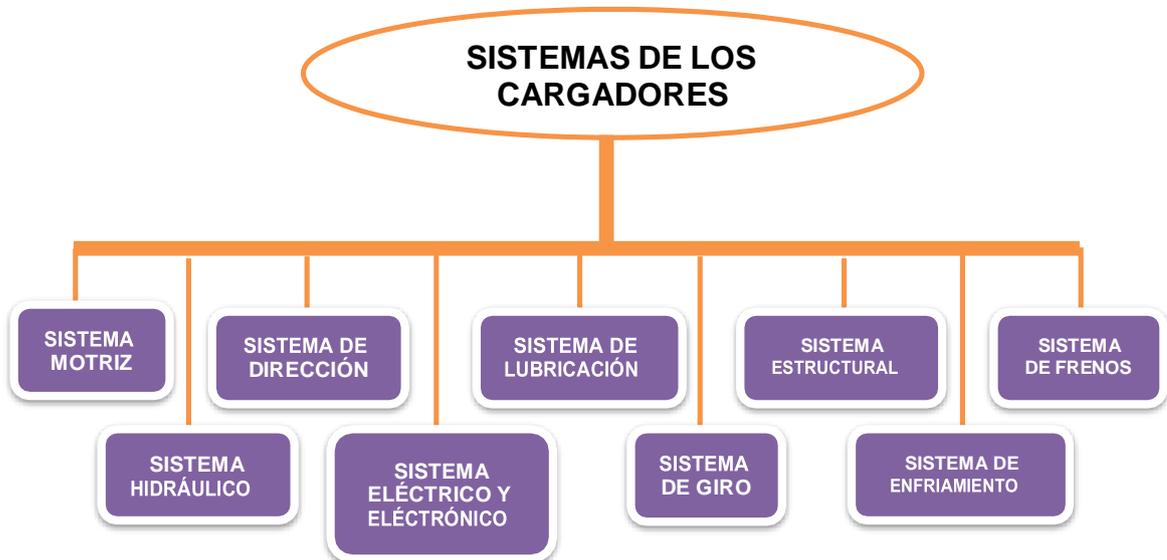


Figura 14: Sistemas de los cargadores frontales 950L
Fuente: Elaboración propia

Ante lo descrito, se realiza la metodología para desarrollar el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, ello con la finalidad de reducir las fallas de los cargadores frontales Caterpillar 950L, que conllevará a optimizar los costos de mantenimiento; en ese sentido la propuesta se desarrolla mediante la siguiente estructura.



Figura 15: Estructura para el desarrollo del mantenimiento
Fuente: Elaboración propia

A. Recursos humanos

Como parte del plan de mantenimiento, inicialmente se muestra los recursos humanos que forman parte del área de mantenimiento de la Unidad Minera Pampahuay; por medio del organigrama se observa la estructura que posee el área de mantenimiento.

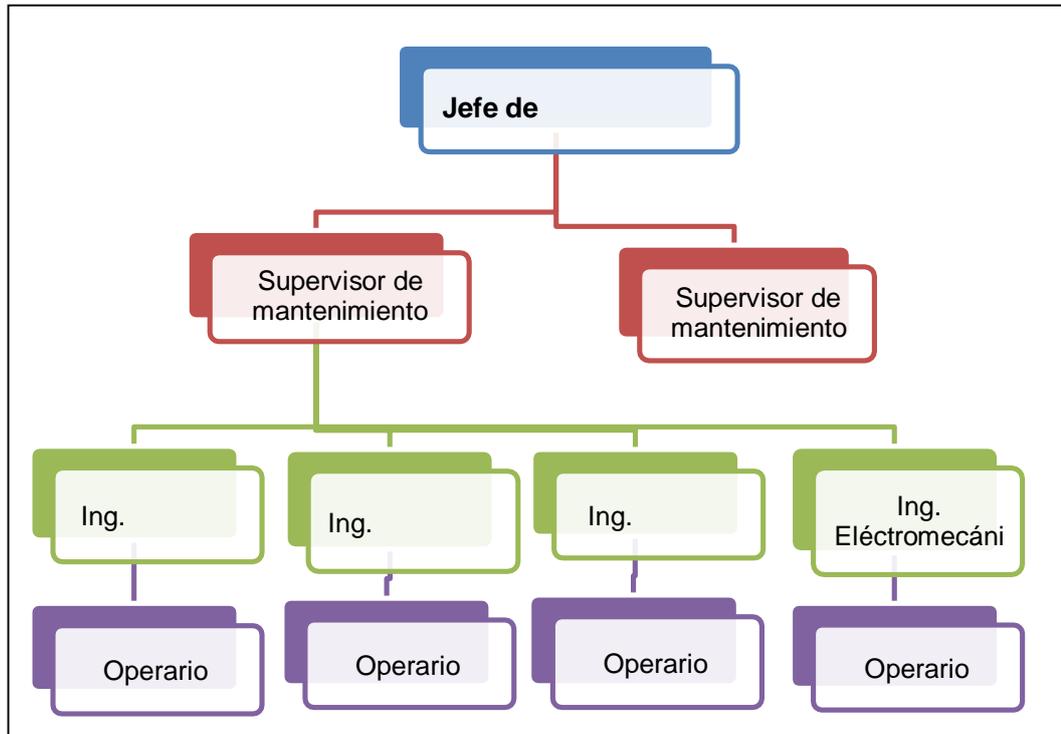


Figura 16: Organigrama del área de mantenimiento
Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Es importante señalar que todo el personal debe estar capacitado según la rama en la que se encuentra asignado. Asimismo, para incrementar el desempeño y las destrezas en el área de mantenimiento se sugiere que se imparta capacitaciones; referente a las actualizaciones tecnológicas en los sistemas de maquinarias y equipo, a normas de seguridad industrial y primeros auxilios.

Seguidamente se detalla la distribución del área de mantenimiento en la Unidad Minera Pampahuay, la cual se estableció para permitir que las operaciones se realicen de manera eficiente y rápida.

Tabla 4: Personal requerido para las labores de mantenimiento

CARGO	NÚMERO
Jefe de Mantenimiento	1
Supervisor	2
Ingeniero Mecánico	5
Ingeniero Automotriz	1
Ingeniero Eléctrico	1
Ingeniero Electromecánico	1
Operarios de Mecánica	5
Operarios	8
Soldador	3
Personal de limpieza de máquinas	5
TOTAL	32

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

B. Selección de máquinas y componentes críticos

En este punto, se realizará el análisis de criticidad de los sistemas principales que afectan la confiabilidad de los Cargadores Frontales 950L, a partir de los reportes de mantenimiento realizado, en la Unidad Minera Pampahuay, ubicada en Oyón.

El análisis de criticidad, seguirá una metodología donde se establece de manera jerárquica, es decir, en un orden de prioridades, los sistemas principales de los Cargadores Frontales 950L, creando una estructura o herramienta de ayuda, donde se pueda visualizar los aspectos más importantes y los que se necesiten mejorar, con la finalidad de tomar decisiones, esta herramienta debe ser fácil de manejar y controlar.

En la siguiente figura se muestra, la herramienta elaborada para determinar los criterios de ponderación de la criticidad.

Tabla 5: Criterios para determinar la confiabilidad

CRITERIOS PARA DETERMINAR LA CONFIABILIDAD		
ÍTEM	VARIABLES	PUNTAJE
1	Frecuencia de Falla (FF)	
	< 10 falla/año	1
	10 - 19 fallas/año	2
	20 - 49 fallas/año	3
	50 ≤ fallas/año	4
2	Impacto Operacional (IO)	
	No afecta significativamente a las operaciones	1
	Genera costos de operación adicional	2
	Influye en la producción o calidad	4
	Paro de una línea de producción de la Unidad Minera	6
	Paro total de la Unidad Minera	10
3	Flexibilidad del equipo en el sistema (FES)	
	Probabilidad de repuesto	1
	Opción de By pass del equipo	2
	No hay probabilidad de recuperarlo	4
4	Costo de Mantenimiento (CM)	
	≤ \$7,821.90	1
	\$7,821.90 ≤	2
5	Impacto en la Seguridad Humana y Ambiental (IS)	
	Se genera un impacto ambiental pero no se incumple con las normas ambientales	1
	Provoca daños al operario leves pero recuperables	2
	Provoca daños severos al operario pero recuperables	4
	Se genera un impacto ambiental con daños irreversibles, incumpliendo las normas ambientales	8
	Provoca daños severos al operario irreversibles	10

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Establecido los criterios para determinar el grado de criticidad, en la siguiente tabla se muestra la escala de referencia.

Tabla 6: Escala de referencia de criticidad

ESCALA DE REFERENCIA		
A	Altamente crítico	15 <
B	Medianamente crítico	8 a 15
C	No es crítico	0 a 7

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Seguidamente, se determina la criticidad de los sistemas que afectan la confiabilidad de los Cargadores Frontales 950L.

Tabla 7: Criticidad de los sistemas de los Cargadores Frontales 950L

SISTEMAS	CRITERIOS					TOTAL	NIVEL DE CRITICIDAD
	FF	IO	FES	CM	IS		
Sistema motriz	2	6	4	2	4	18	Altamente crítico
Sistema Hidráulico	3	6	2	2	4	17	Altamente crítico
Sistema de enfriamiento	3	6	2	2	4	17	Altamente crítico
Sistema de dirección	2	6	2	2	10	22	Altamente crítico
Sistema de engrase	3	6	1	1	4	15	Medianamente crítico
Sistema de lubricación	2	6	2	2	4	16	Altamente crítico
Sistema de giro	2	6	2	2	4	16	Altamente crítico
Sistema de Frenos	2	6	4	1	10	23	Medianamente crítico
Sistema estructural	2	6	4	1	2	15	Altamente crítico
Sistema eléctrico y electrónico	3	6	4	2	4	19	Altamente crítico

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

C. Preguntas RCM

En el siguiente diagrama se muestran las siete preguntas establecidas para realizar el RCM, sus respuestas son estrategias para realizar en el mantenimiento y para evitar que la falla vuelve a ocurrir.

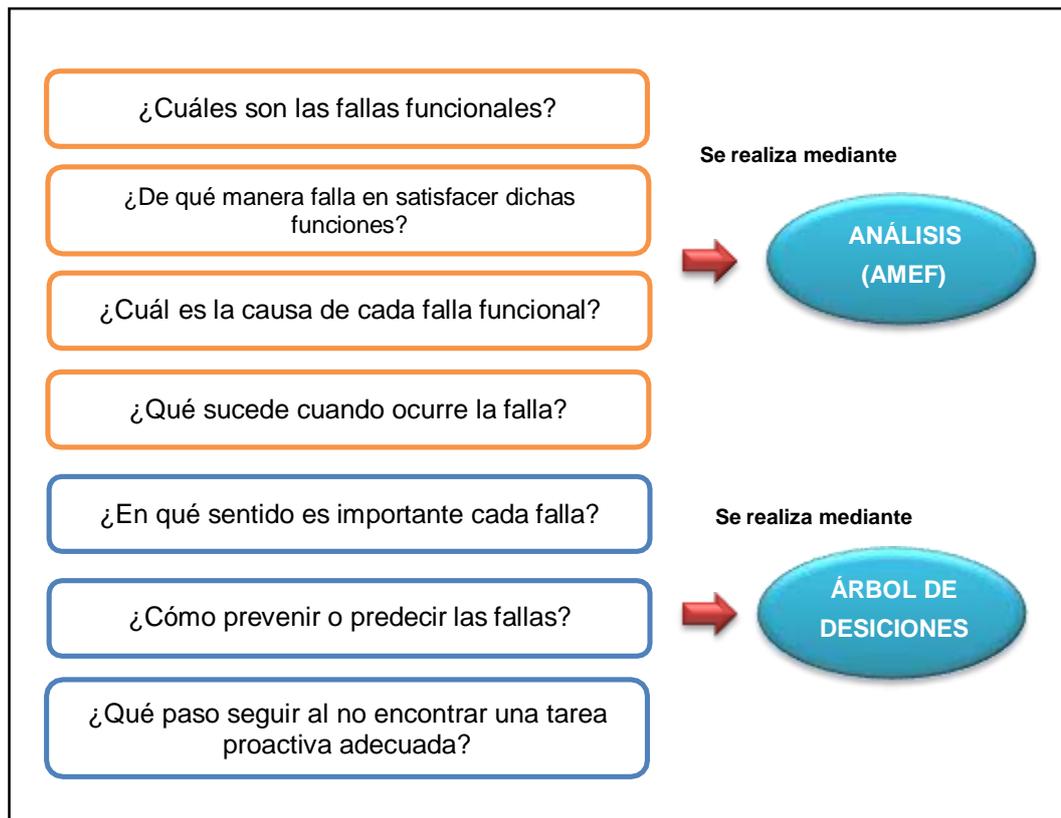


Figura 17: Preguntas RCM
Fuente: Unidad Minera Pampahuay

D. Análisis (AMEF)

En este punto se realiza el análisis de la función, de la falla funcional, la causa de la falla y efecto, que ocasionarían que los componentes de los cargadores frontales 950L, no operen de manera correcta.

Para ello se establece la siguiente nomenclatura:

- F: Función
- FF: Falla Funcional
- MF: Modo de Falla
- 1 (F): Ítem del número de la función
- A (FF): Ítem en letras de la falla funcional
- 1 (FM): Ítem en número de los modos de falla

A continuación, en la siguiente tabla se muestra el análisis modo y efectos de falla, de los principales componentes de los cargadores frontales 950L.

Tabla 8: Análisis de modo y efectos de fallas de los componentes del cargador frontal 950L

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLA							
EQUIPO:	Cargador frontal 950L		FECHA:	REALIZADO POR:	REVISADO POR:		
COMPONENTES	FUNCIÓN DE COMPONENTES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLAS			
Bomba de aceite de la transmisión	1	Genera la presión adecuada para el sistema por medio del suministro del flujo de aceite al sistema hidráulico de la transmisión	A	No puede suministrar flujo de aceite al sistema	1	Desgaste de componentes internos de la bomba por horas de servicio	Calentamiento de la transmisión, pérdida de tracción del equipo, patinaje de embragues
					2	Deterioro prematuro de la bomba de transmisión por presencia de contaminantes en el aceite de transmisión	
Válvula de control de la transmisión	2	Regula la presión máxima de activación de los embragues	A	No es capaz de regular la presión de activación	1	Válvula de alivio atascada en la posición abierta	Baja presión de la bomba de la transmisión, patinaje de embragues de la transmisión, aumento de temperatura de transmisión
					2	Válvula de alivio atascada en la posición cerrada	Aumento de la presión de la bomba de transmisión, daños en los sellos de los paquetes de la transmisión
Válvula moduladora de la transmisión	3	Controla la activación y desactivación de los paquetes de embragues	A	No permite la activación y desactivación de los paquetes de embrague de la transmisión	1	Fuga interna en la válvula moduladora de un paquete de la transmisión	Pérdida de tracción, baja presión de activación, patinaje de paquete de embrague, deterioro del paquete de embrague
					2	Atascamiento o funcionamiento brusco de la parte mecánica de la válvula moduladora de la transmisión	Golpeteos en los cambios de marcha de la transmisión, baja presión de la activación de los paquetes de embrague

Embragues	4	Acoplan y desacoplan el conjunto de engranajes para las distintas combinaciones de marcha	A	No permite los cambios de marcha	1	Desgaste de los forros de guarnición de los paquetes de embrague de la transmisión	Pérdida de tracción en uno o más cambios de marcha, calentamiento del aceite, llenado insuficiente de los paquetes de transmisión
					2	Desgaste o deterioro de sellos de los paquetes de embragues de la transmisión	
Engranaje planetario	5	Conectan mecánicamente el eje central a la corona dentada; generando diferentes combinaciones y relaciones de transmisión	A	Incapaz de transmitir movimiento	1	Rotura y barrido frágil de sus dientes de engranaje	Perdida de tracción, pérdida de fuerza del equipo, golpeteos en la transmisión
Válvula de control principal	6	Recibe el flujo de aceite de la bomba de implementos para redireccionar a los cilindros de levante y volteo según lo requerido por las palancas de control	A	Incapaz de generar movimiento a los cilindros de levante y volteo	1	Atascamiento de carrete de control de válvulas	Implementos no responden, movimientos lentos
					2	Fisura interna del control de válvulas, o picadura de conducto de carrete	Corrida de los cilindros hidráulicos, funcionamiento lentos de los implementos
Válvula de alivio principal	7	Limita la presión máxima del sistema	A	Incapaz de limitar la presión máxima del sistema	1	Válvula de alivio principal trabada en posición abierta o resorte rendido	Baja presión de la bomba, calentamiento del aceite hidráulico
					2	Válvula de alivio principal trabada en posición cerrada o apertura incompleta	Alta presión de la bomba, colapso súbito de las mangueras hidráulicas
Cilindros hidráulicos de levante	8	Transforman la energía del flujo hidráulico para realizar movimientos ascendentes o descendentes.	A	No permite el desplazamiento ascendente y descendente del castillo	1	Fuga interna del cilindro de levante	Aumento de la temperatura del aceite hidráulico, aumento de la temperatura del cilindro afectado

Cilindros hidráulicos de volteo	9	Transforman la energía del flujo hidráulico para la carga y descarga del bucket	A	No permite el desplazamiento carga y descarga del cucharón		2	Fuga externa del cilindro de levante	Perdida de aceite hidráulico, disminución del nivel de aceite hidráulico, ingreso de contaminantes al cilindro hidráulico
						1	Fuga interna del cilindro de volteo	Aumento de la temperatura del aceite hidráulico, aumento de la temperatura del cilindro afectado
						2	Fuga externa del cilindro de volteo	Perdida de aceite hidráulico, disminución del nivel de aceite hidráulico, ingreso de contaminantes al cilindro hidráulico
Control de válvulas de dirección	10	Proporcionan el movimiento y dirección de la válvula piloto	A	No permite el pase de aceite hacia los cilindros que genere el movimiento proporcional de la máquina		1	Rotura del resorte centrador del carrete direccional	Movimiento brusco en un sentido de giro
						2	Válvula de alivio en mal estado, resorte rendido	Funcionamiento lento de los cilindros de dirección, baja presión de la bomba de dirección
Paquete de embrague de frenos	11	Se encarga de ofrecer resistencia al giro de los semiejes disminuyendo de esta manera la velocidad de las ruedas hasta logra su detección o disminuir su velocidad	A	No permite el frenado de las ruedas		1	Fuga interna por sello de los paquetes de frenos	Patinaje de frenos, baja presión de accionamiento de los frenos, aumento del nivel de aceite del diferencial

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Realizado el análisis (AMEF), que corresponden a las cuatro primeras preguntas del RCM, se realiza el diagrama de árbol de decisión que abarca las 3 últimas preguntas del RCM; este diagrama permite identificar el tipo de mantenimiento a ejecutar, que puede ser correctivo, preventivo o predictivo; según el análisis de las consecuencias de cada falla y en función a las respuestas de cada pregunta se registra la frecuencia y el responsable de la ejecución.

La nomenclatura de las fallas, establecida para este diagrama es la siguiente:

- H1, S1, O1, N1 = Tareas predictivas para prevenir la falla
- H2, S2, O2, N2 = Tareas de reacondicionamiento para prevenir la falla
- H3, S3, O3, N3 = Tareas de sustitución cíclica para prevenir la falla.
- H4 = Tarea de búsqueda de falla
- H5 = La falla afecta la seguridad o medio ambiente
- S4 = Factibilidad de realizar combinación de tarea

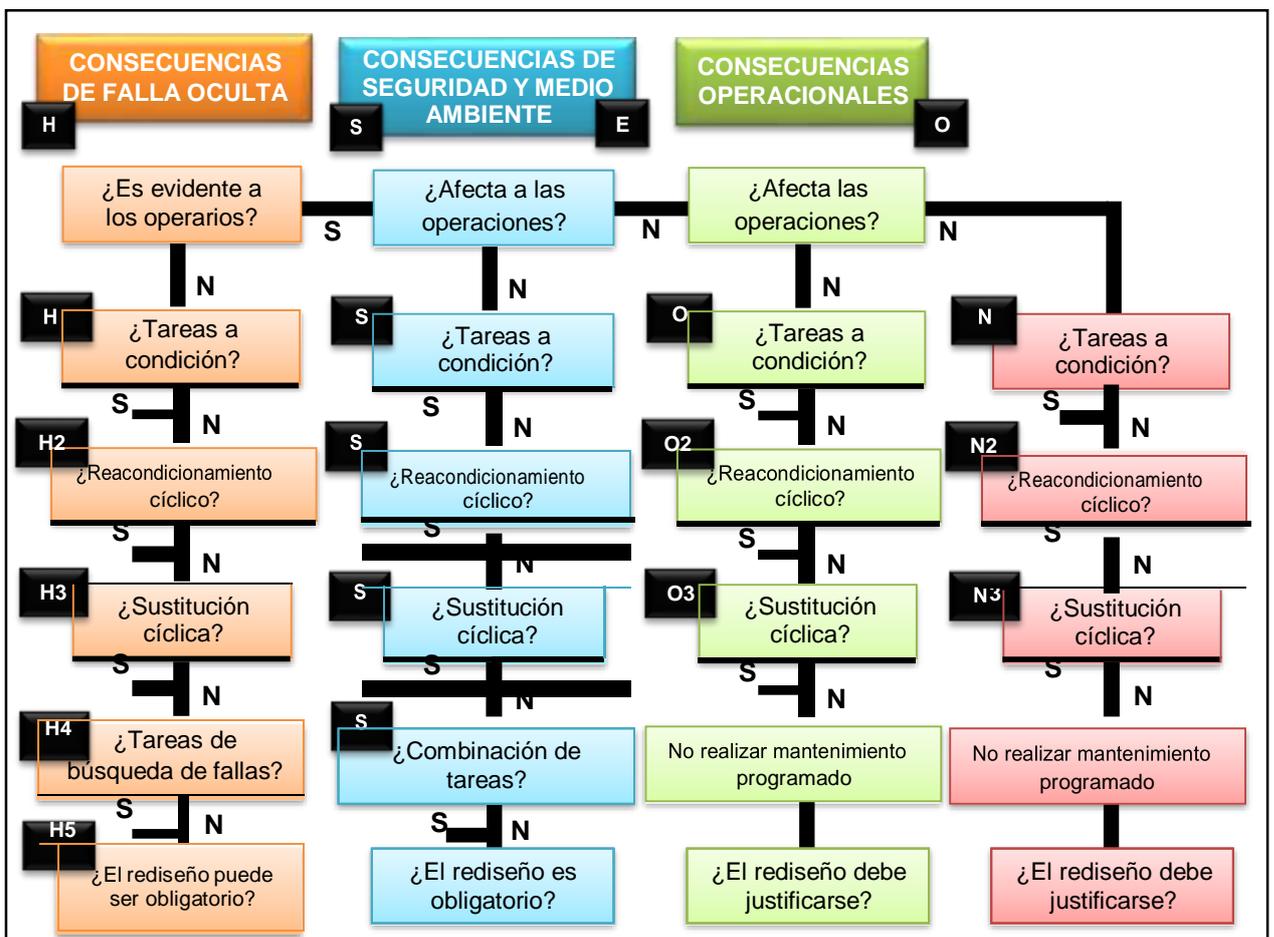


Figura 18: Diagrama de árbol de decisiones
Fuente: Moubray (2009)

Tabla 9: Hoja de decisión RCM del sistema motriz

HOJA DE DECISIÓN RCM													N° FORMATO 00012432				
CARGADORES FRONTALES 950L																	
SISTEMA MOTRIZ			N°	950L-1			REVISADO POR:	ÁREA DE MANTENIMIENTO	FECHA DE INICIO: 2/02/2020	FECHA DE FIN: 2/05/2020							
REFERENCIA INFORMACIÓN			EVALUACIÓN CONSECUENCIAS				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	TAREAS "A FALTA DE"				TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA	A REALIZAR POR	OBSERVACIÓN
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4					
12	A	1											Ver análisis del sistema eléctrico				
12	A	2											Ver análisis del combustible				
12	A	3											Ver análisis del sistema de engrase				
12	A	4											Ver análisis del sistema de lubricación				
13	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo				
13	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo				
13	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo			Averiguar si las propiedades del refrigerante indican existencia de corrosión de algunas de las partes del motor	
13	A	4	S	N	N	S	N	N	S				Ningún mantenimiento preventivo				
14	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Ningún mantenimiento preventivo				

14	A	2	S	N	N	S	N	N	N	Ningún mantenimiento preventivo			
14	A	3	S	N	N	S	N	N	N	Ningún mantenimiento preventivo			
14	A	4	S	N	N	S	N	N	N	Ningún mantenimiento preventivo			
12	B	1	S	N	N	S	S			Hacer análisis del aceite del motor, programar reparación del motor	250 horas	Laboratorio	
12	B	2	S	N	N	S	N	N	N	Ningún mantenimiento preventivo			
12	B	3	S	N	N	S	N	N	N	Ningún mantenimiento preventivo			
12	B	4	S	N	N	S	N	N	N	Ningún mantenimiento preventivo			
13	B	1	S	N	N	S	N	N	N	Ningún mantenimiento preventivo			
13	B	2	S	N	N	S	N	N	N	Ningún mantenimiento preventivo			
13	B	3	S	N	N	S	S			Hacer prueba de calado del motor	1000 horas	Mecánico de mantenimiento	
13	B	4	S	N	N	S	N	S		Realizar calibración de válvulas	8000 horas	Mecánico de mantenimiento	Escribir procedimiento, si existe la herramienta para la calibración de válvulas
14	B	1	S	N	N	S	N	N	N	Ningún mantenimiento preventivo			
14	B	2	S	N	N	S	N	N	N	Ningún mantenimiento preventivo			
14	B	3	S	N	N	S	N	N	N	Ningún mantenimiento preventivo			
14	B	4	S	N	N	S	N	N	N	Ningún mantenimiento preventivo			

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

E. Programación del mantenimiento

En este punto se toma en cuenta los parámetros generales para el desarrollo del programa de mantenimiento para cada una de las máquinas de la Unidad Minera Pampahuay; en este caso nos centraremos en la programación de los Cargadores Frontales 950L.

Tabla 10: Nomenclatura de las actividades del programa de mantenimiento

NOMENCLATURA	ACTIVIDAD
B	Cambiar
Z	Reemplazar
A	Ajustar
D	Drenar
R	Rearmar
I	Inspeccionar
M	Comprobar
L	Lubricar
P	Limpiar
V	Revisar
LL	Llenar
C	Cebar
PO	Probar
O	Obtener
Ñ	Añadir

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Como se observa en las siguientes tablas, se especifica cada nomenclatura de las actividades para cada componente de los cargadores frontales 950L; la programación se realizó según las horas de servicio; esta fue diseñada de acuerdo, a lo establecido en el manual de operación de los cargadores; motivo por el cual, cabe señalar que cada máquina perteneciente a la unidad minera Pampahuay, tendrá diferente programación.

Tabla 11: Actividades de programación de los Cargadores Frontales 950L cada vez que sea necesario y cada 10 horas de servicio

COMPONENTES	INTERVALO	REALIZAR (HORAS)												
		5	10	50	100	250	500	1000	2000	3000	5000	6000	12000	
Tanque de grasa de la lubricación automática	CADA VEZ QUE SEA NECEARIO	LL	LL	LL	LL	LL	LL	LL	LL	LL	LL	LL	LL	
Elemento del filtro de aire		P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z
Antefiltro de aire del motor		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Compartimento del motor		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Cilindro del auxiliar de arranque con éter		Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
Sistema de combustible		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Agua y sedimentos del tanque de combustible		D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Fusibles y disyuntores		Z/R	Z/R	Z/R	Z/R	Z/R	Z/R	Z/R	Z/R	Z/R	Z/R	Z/R	Z/R	Z/R
Filtro de aceite		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Núcleo del radiador		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Acumulador de control de amortiguación		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Depósito del lavaparabrisas		LL	LL	LL	LL	LL	LL	LL	LL	LL	LL	LL	LL	LL
Ventanas		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Alarma de retroceso		CADA 10 HORAS DE SERVICIO		PO	PO	PO	PO	PO	PO	PO	PO	PO	PO	PO
Nivel de refrigerante del sistema de enfriamiento			M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Nivel de aceite del motor			M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Nivel del aceite del sistema hidráulico			M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Controles de anulación de la máquina			V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Cinturón de seguridad			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Nivel de aceite de la transmisión			M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Herramienta de trabajo			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Herramienta		L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Tabla 12: Actividades de programación de los Cargadores Frontales 950L cada 50, 100 y 250 horas de servicio

COMPONENTES	INTERVALO	REALIZAR (HORAS)											
		5	10	50	100	250	500	1000	2000	3000	5000	6000	12000
Cojinetes del pivote inferior del cucharón	CADA 50 HORAS DE SERVICIO			L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
Filtro de aire de la cabina				P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z	P/Z
Filtro primario del sistema de combustible (Separador de agua)				D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Inflado de los neumáticos				M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Cojinetes de oscilación del eje	CADA 100 HORAS DE SERVICIO				L	L	L	L	L	L	L	L	L
Articulación del chucharon y cojinetes del cilindro cargador					L	L	L	L	L	L	L	L	L
Dirección secundaria					PO	PO	PO	PO	PO	PO	PO	PO	PO
Cojinetes del cilindro de dirección					L	L	L	L	L	L	L	L	L
Acumular del freno	CADA 250 HORAS DE SERVICIO					M	M	M	M	M	M	M	M
Sistemas de frenos						PO	PO	PO	PO	PO	PO	PO	PO
Nivel del aceite del diferencial y manos finales						M	M	M	M	M	M	M	M
Estrías del eje motriz (de centro)						L	L	L	L	L	L	L	L
Cojinete de soporte del eje motriz						L	L	L	L	L	L	L	L
Muestra de aceite del motor						O	O	O	O	O	O	O	O
Aceite y filtro del motor					B	B	B	B	B	B	B	B	

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Tabla 13: Actividades de programación de los Cargadores Frontales 950L cada 500 y 1000 horas de servicio

COMPONENTES	INTERVALO	REALIZAR (HORAS)											
		5	10	50	100	250	500	1000	2000	3000	5000	6000	12000
Filtro del tubo de llenado de lubricación automática	CADA 500 HORAS DE SERVICIO						P	P	P	P	P	P	P
Correa							I/A/Z						
Muestra de refrigerante del sistema de enfriamiento							O	O	O	O	O	O	O
Muestra de aceite del diferencial y mando final							O	O	O	O	O	O	O
Filtro primario del sistema de combustible							Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
Filtro secundario del sistema de combustible							Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
Colocador del tanque de combustible							P	P	P	P	P	P	P
Filtros de aceite del sistema hidráulico							Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
Muestra de aceite del sistema hidráulico							O	O	O	O	O	O	O
Muestra de aceite de la transmisión							O	O	O	O	O	O	O
Cojinetes de la articulación	CADA 1000 HORAS DE SERVICIO							L	L	L	L	L	L
Juntas Universales del eje motriz								L	L	L	L	L	L
Estructura de protección contra vuelcos (ROPS)								I	I	I	I	I	I

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Tabla 14: Actividades de programación de los Cargadores Frontales 950L cada 2000, 3000, 5000, 6000 y 12000 horas de servicio

COMPONENTES	INTERVALO	REALIZAR (HORAS)												
		5	10	50	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10000	12000	
Batería o cable de batería						Z		Z		Z	Z	Z	Z	
Aceite del diferencial y de los mandos finales						B		B		B	B	B	B	
Filtro de la tapa del tanque de combustible						Z		Z		Z	Z	Z	Z	
Respiradero del tanque hidráulico	CADA 2000 HORAS DE SERVICIO					Z		Z		Z	Z	Z	Z	
Abrir el filtro de desecho de vapores de la ventilación del cárter						Z		Z		Z	Z	Z	Z	
Indicador de desgaste del freno de servicio						M		M		M	M	M	M	
Aceite de la transmisión						B		B		B	B	B	B	
Filtro de aceite de la transmisión						Z		Z		Z	Z	Z	Z	
Aceite del sistema hidráulico	CADA 3000 HORAS DE SERVICIO							B		B			B	
Estrías de la columna de dirección								L		L			L	
Cinturón									Z		Z			Z
Receptor – Secador (Refrigerante)	CADA 5000									Z		Z		
Prolongador de refrigerante de larga duración (ELC)	CADA 6000											Ñ		Ñ
Refrigerante del sistema de enfriamiento	CADA 12000													B

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

F. Formatos para realizar el mantenimiento

- **Formato para el mantenimiento rutinario**

Se establece un formato para realizar el programa de mantenimiento rutinario, para llevar a cabo un mejor control diario de la maquinaria.

FORMATO PARA EL MANTENIMIENTO RUTINARIO							
				N° de ficha			
CÓDIGO:	Máquina:		Modelo:				
	Marca:		Tipo de Motor:				
Ubicación de la máquina:			Hora:	Fecha:			
Actividades	Estado		Actividades				Observación
	Óptimo estado	Mal estado	Ajustar	Limpiar	Reemplazar	Lubricar	
Verificar nivel de aceite del motor							
Verificar que no existan ruidos anormales en el motor							
Verificar fugas del motor							
Verificar extintores manuales							
Verificar el filtro de aire							
Verificar sistema de alumbrado							
Verificar el nivel de combustible							
Verificar estado de frenos							
Verificar estado de los neumáticos							
Verificar las conexiones de la batería y los niveles de fluido							
Verificar las tuercas y pernos en las llantas							
Verificar el nivel del líquido del refrigerante							
REVISADO POR:							
TIEMPO DE DURACIÓN DEL MANTENIMIENTO:							
MATERIALES EMPLEADOS:							
OBSERVACIONES:							

Figura 20: Formato para el mantenimiento rutinario
Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Realizada la inspección diaria de la maquinaria, el encargado debe firmarla y entregarla a la persona indicada para que procese la información en un registro creado en la computadora.

- **Orden de trabajo (OT)**

Asimismo, se muestra la orden de trabajo empleada en el área de mantenimiento, la cual será llenada por el encargado del taller, dicho documento será entregado al responsable de realizar el mantenimiento.

ORDEN DE TRABAJO		R-011-MANT. REV: J. MANT. APROB: J. MANT. VER: 01-19/10/2020
NUMERO DE OT: AREA: EQUIPO: COMPONENTE: TIPO MANT.: MANTENIMIENTO DESCRIPCION: MANTENIMIENTO	PROGRAMADO FECHA INICIO: FECHA FINAL: INICIO (HR): TERMINO (HR): FRECUENCIA:	REAL ___ / ___ / ___ ___ / ___ / ___ ___ : ___ ___ : ___
PROBLEMAS O DAÑOS		
0 0 0 0		
ACTIVIDADES A REALIZAR		
* * * * * * *		
NOTA: USAR IMPLEMENTO DE SEGURIDAD PERSONAL (EPP)		
REPUESTOS		
HERRAMIENTAS		
PERSONAL		
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES		
.....		
RESPONSABLE DEL MANTENIMIENTO	JEFE DE AREA	

Figura 21: Orden de trabajo (OT)
 Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Ante lo establecido, se muestra el modelo del plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, que tiene la finalidad de reducir el número de fallas de los Cargadores Frontales 950L, durante su operación, en la Unidad Minera Pampahuay, ubicado en Oyón, será el siguiente.

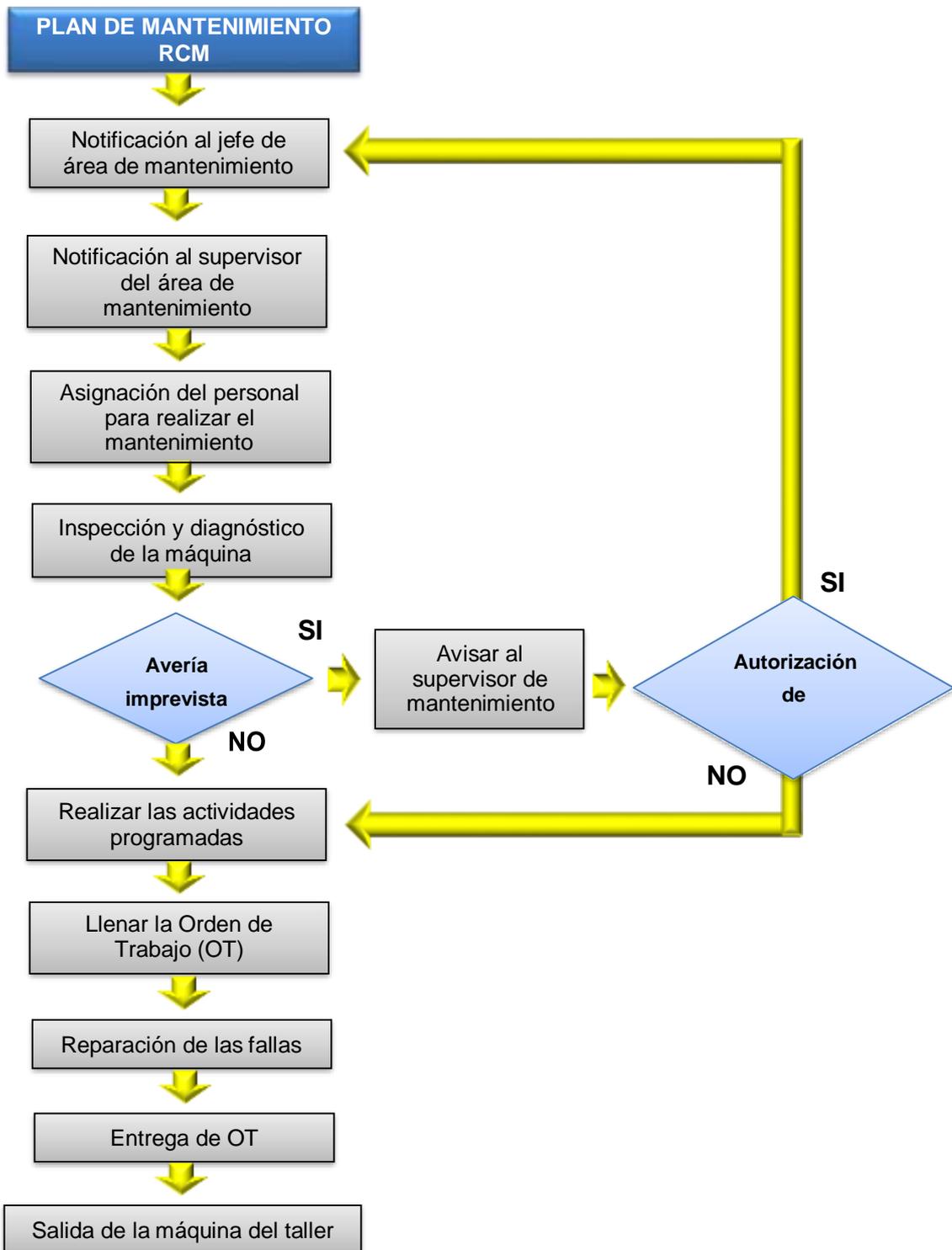


Figura 24: Modelo del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad
Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Haciendo uso del modelo del plan de mantenimiento en la siguiente figura se muestra, una orden de trabajo realizada en el mes de febrero del año 2020, una vez implementado el RCM; ella fue empleada para realizar un mantenimiento correctivo al filtro primario del sistema de combustible, que como se estableció en la tabla 12 la frecuencia para realizar un mantenimiento es por cada 50 horas de servicio.

ORDEN DE TRABAJO		R-011-M ANT. REV: J. M ANT. APROB : J. M ANT. VER: 19/01/2020
NUMERO DE OT:	5359	REAL 10/02/2020
AREA:	MANTENIMIENTO	FECHA INICIO: 10/02/2020
EQUIPO:	CARGADOR FRONTAL 950L	FECHA FINAL: 10/02/2020
COMPONENTE :	FILTRO PRIMARIO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE	INICIO (HR): 17:50
TIPO MANT.:	CORRECTIVO	TERMINO (HR): 18:30
DESCRIPCION :	MANTENIMIENTO	FRECUENCIA CADA 50 HORAS DE SERVICIO
PROBLEMAS O DAÑOS		
MANGUERA CRISTALIZADA A CAUSA DE LIMPIEZA ATASCO DE MANGUERA		
ACTIVIDADES A REALIZAR		
SE RETIRA LA MANGUERA PARA REALIZAR LIMPIEZA SE REALIZA CAMBIO DE LOS FILTROS SE REALIZA EL MONTAJE DE LOS COMPONENTES		
NOTA: USAR IMPLEMENTO DE SEGURIDAD PERSONAL (EPP)		
REPUESTOS		
FILTRO DE AIRE PRIMARIO		
HERRAMIENTAS		
LLAVE PARA TUERCAS DENTADAS HERRAMIENTAS DE SERVICIO MANUAL		
PERSONAL		
Reyes Diaz, Terry		
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES		
Carlos Pachas	Ivan Dominguez	
RESPONSABLE DEL MANTENIMIENTO	JEFE DE AREA	

Figura 25: Orden de trabajo del filtro de aire primario en el mes de febrero 2020
Fuente: Unidad Minera Pampahuay.

2.4 Resultados

Para determinar la mejora de los indicadores de mantenimiento, se realiza un análisis comparativo de los resultados del año 2019 cuando aún no se había implementado el mantenimiento RCM y del año 2020 cuando se aplicó la propuesta de mantenimiento centrado en la confiabilidad, en los cargadores frontales 950L, en las siguientes tablas se muestran los resultados.

INDICADORES DE MANTENIMIENTO DEL AÑO 2019						
ID EQUIPO	MARCA	MODELO	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD (%)	FECHA
950L-1	CATERPILLAR	950L	59	53	52.68	Ene-19
950L-1	CATERPILLAR	950L	81	10	89.01	Feb-19
950L-1	CATERPILLAR	950L	23	52	30.67	Mar-19
950L-1	CATERPILLAR	950L	50	7	87.72	Abr-19
950L-1	CATERPILLAR	950L	59	53	52.68	May-19
950L-1	CATERPILLAR	950L	40	13.3	75.05	Jun-19
950L-1	CATERPILLAR	950L	20.6	50.3	29.06	Jul-19
950L-1	CATERPILLAR	950L	40	13.3	75.05	Ago-19
950L-1	CATERPILLAR	950L	52.9	17.1	75.57	Set-19
950L-1	CATERPILLAR	950L	60	17.7	77.22	Oct-19
950L-1	CATERPILLAR	950L	54.4	16.4	76.84	Nov-19
950L-1	CATERPILLAR	950L	22.6	8.4	72.90	Dic-19
950L-2	CATERPILLAR	950L	15	65	18.75	Ene-19
950L-2	CATERPILLAR	950L	81	10	89.01	Feb-19
950L-2	CATERPILLAR	950L	59	53	52.68	Mar-19
950L-2	CATERPILLAR	950L	54.4	16.4	76.84	Abr-19
950L-2	CATERPILLAR	950L	22.6	8.4	72.90	May-19
950L-2	CATERPILLAR	950L	20.6	50.3	29.06	Jun-19
950L-2	CATERPILLAR	950L	51	10	83.61	Jul-19
950L-2	CATERPILLAR	950L	59	53	52.68	Ago-19
950L-2	CATERPILLAR	950L	27	88	23.48	Set-19
950L-2	CATERPILLAR	950L	27	88	23.48	Oct-19
950L-2	CATERPILLAR	950L	50	7	87.72	Nov-19
950L-2	CATERPILLAR	950L	15	67	18.29	Dic-19
950L-3	CATERPILLAR	950L	40	13.3	75.05	Ene-19
950L-3	CATERPILLAR	950L	67	3.7	94.77	Feb-19
950L-3	CATERPILLAR	950L	55	4.5	92.44	Mar-19
950L-3	CATERPILLAR	950L	22.6	8.4	72.90	Abr-19
950L-3	CATERPILLAR	950L	59	53	52.68	May-19
950L-3	CATERPILLAR	950L	52	89	36.88	Jun-19
950L-3	CATERPILLAR	950L	59	53	52.68	Jul-19
950L-3	CATERPILLAR	950L	40	13.3	75.05	Ago-19
950L-3	CATERPILLAR	950L	60	17.7	77.22	Set-19
950L-3	CATERPILLAR	950L	27	88	23.48	Oct-19
950L-3	CATERPILLAR	950L	22.6	8.4	72.90	Nov-19
950L-3	CATERPILLAR	950L	59	53	52.68	Dic-19
950L-4	CATERPILLAR	950L	22.6	8.4	72.90	Ene-19
950L-4	CATERPILLAR	950L	22.6	8.4	72.90	Feb-19
950L-4	CATERPILLAR	950L	50	7	87.72	Mar-19
950L-4	CATERPILLAR	950L	23	52	30.67	Abr-19
950L-4	CATERPILLAR	950L	22.6	8.4	72.90	May-19
950L-4	CATERPILLAR	950L	56	4.5	92.56	Jun-19
950L-4	CATERPILLAR	950L	60	17.7	77.22	Jul-19
950L-4	CATERPILLAR	950L	54.4	16.4	76.84	Ago-19
950L-4	CATERPILLAR	950L	53	3.7	93.47	Set-19
950L-4	CATERPILLAR	950L	22.6	8.4	72.90	Oct-19
950L-4	CATERPILLAR	950L	50	7	87.72	Nov-19
950L-4	CATERPILLAR	950L	59	53	52.68	Dic-19
PROMEDIO			43.81	29.74	64.42	

Figura 26: Resultados de los indicadores de mantenimiento del año 2019

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

INDICADORES DE MANTENIMIENTO DEL AÑO 2020						
ID EQUIPO	MARCA	MODELO	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD (%)	FECHA
950L-1	CATERPILLAR	950L	89	6	93.68	Ene-20
950L-1	CATERPILLAR	950L	98	6	94.23	Feb-20
950L-1	CATERPILLAR	950L	99	2	98.02	Mar-20
950L-1	CATERPILLAR	950L	133	3	97.79	Abr-20
950L-1	CATERPILLAR	950L	89	3	96.74	May-20
950L-1	CATERPILLAR	950L	89	3	96.74	Jun-20
950L-1	CATERPILLAR	950L	150	6	96.15	Jul-20
950L-1	CATERPILLAR	950L	100	3	97.09	Ago-20
950L-1	CATERPILLAR	950L	116	4	96.67	Set-20
950L-2	CATERPILLAR	950L	109	2	98.20	Ene-20
950L-2	CATERPILLAR	950L	132	6	95.65	Feb-20
950L-2	CATERPILLAR	950L	145	5	96.67	Mar-20
950L-2	CATERPILLAR	950L	145	2	98.64	Abr-20
950L-2	CATERPILLAR	950L	123	3	97.62	May-20
950L-2	CATERPILLAR	950L	189	4	97.93	Jun-20
950L-2	CATERPILLAR	950L	165	6	96.49	Jul-20
950L-2	CATERPILLAR	950L	142	4	97.26	Ago-20
950L-2	CATERPILLAR	950L	133	3	97.79	Set-20
950L-3	CATERPILLAR	950L	100	3	97.09	Ene-20
950L-3	CATERPILLAR	950L	96	4	96.00	Feb-20
950L-3	CATERPILLAR	950L	86	5	94.51	Mar-20
950L-3	CATERPILLAR	950L	109	2	98.20	Abr-20
950L-3	CATERPILLAR	950L	98	6	94.23	May-20
950L-3	CATERPILLAR	950L	99	2	98.02	Jun-20
950L-3	CATERPILLAR	950L	133	3	97.79	Jul-20
950L-3	CATERPILLAR	950L	89	3	96.74	Ago-20
950L-3	CATERPILLAR	950L	89	3	96.74	Set-20
950L-4	CATERPILLAR	950L	100	6	94.34	Ene-20
950L-4	CATERPILLAR	950L	124	6	95.38	Feb-20
950L-4	CATERPILLAR	950L	142	4	97.26	Mar-20
950L-4	CATERPILLAR	950L	124	5	96.12	Abr-20
950L-4	CATERPILLAR	950L	121	1	99.18	May-20
950L-4	CATERPILLAR	950L	87	3	96.67	Jun-20
950L-4	CATERPILLAR	950L	116	4	96.67	Jul-20
950L-4	CATERPILLAR	950L	100	3	97.09	Ago-20
950L-4	CATERPILLAR	950L	99	3	97.06	Set-20
PROMEDIO			115.5	3.8	96.73	

Figura 27: Resultados de los indicadores de mantenimiento del año 2020
Fuente: Unidad Minera Pampahuay

En las figuras anteriores se muestran los 3 principales indicadores de mantenimiento, que son el Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF) que está relacionado a la confiabilidad de la máquina, el Tiempo Promedio para la Reparación (MTTR) que está relacionado con la mantenibilidad y el porcentaje de Disponibilidad de la máquina, de los 4 cargadores frontales 950L los cuales están codificados de la siguiente manera (950L-1, 950L-2, 950L-3 y 950L-4); estos resultados se obtuvieron tanto del año 2019 cuando aún no era implementado el mantenimiento RCM y del año 2020 cuando fue

implementado el mantenimiento; ello con el fin de visualizar el cambio de los indicadores.

En relación a la disponibilidad, en el año 2019 antes de implementar el RCM, se observa en la figura 25 valores altamente críticos del porcentaje de disponibilidad, resaltados en rojo que están muy por debajo del 70%, el cual es el valor mínimo ofrecido por la empresa contratista. Además, se observa valores de hasta el 18.75% de disponibilidad, ello se traduce, que, en algunos meses, del total de 4 cargadores frontales 450L, se tuvo por lo menos un cargador frontal en estado de inoperatividad, escenario que perjudica la productividad de la unidad minera Pampahuay.

Otro escenario, sin duda se observa luego de aplicar el RCM en el año 2020, tal como se observa en la figura 26; los índices del mantenimiento se encuentran por encima del 90%, dentro de lo establecido por los indicadores de clase mundial y especificaciones de Caterpillar.

Tal como se puede observar en la figura 26, el porcentaje de disponibilidad aumento significativamente una vez aplicado el mantenimiento RCM a los cargadores frontales 950L; según los reportes de la unidad minera, en el año 2019 se presentó un promedio de disponibilidad de 64.42%, mientras que, en el año 2020, de lo que va a la fecha este indicador aumento a 96.73%.

Es importante indicar, que la disponibilidad es una función que permite evaluar el porcentaje de tiempo total en que la máquina está disponible para cumplir correctamente su función para lo cual fue diseñada. La disponibilidad se ha calculado mediante la siguiente formula:

$$\text{Disponibilidad (\%)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \dots (1)$$

Donde:

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTR: Tiempo medio para reparar

Tomando como ejemplo los índices de MTBF Y MTTR, del equipo ID 950L-1, del mes de enero, de la figura 25, se procede a calcular la disponibilidad con la fórmula 1.

$$Disponibilidad (\%) = \frac{59}{59 + 53} \times 100$$

$$Disponibilidad (\%) = 52.68\%$$

Según los resultados del porcentaje de disponibilidad, del cargador frontal ID 950L-1; se muestra en la siguiente gráfica la optimización de este indicador; estos datos corresponden a los meses de enero y setiembre, tanto del año 2019 y 2020, antes y después de aplicación del RCM, respectivamente.

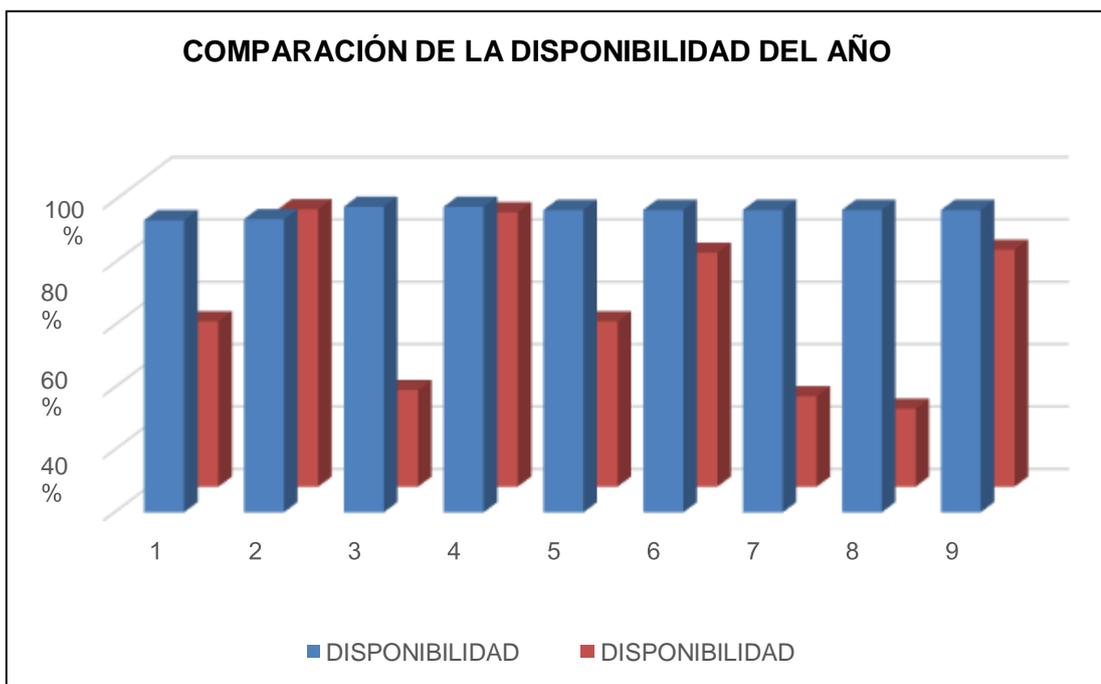


Figura 28: Comparación de la disponibilidad antes y después de la aplicación del mantenimiento
Fuente: Elaboración propia

En relación al Tiempo Promedio para la Reparación (MTTR) que es un indicador de la mantenibilidad, se observa en las figuras 25 y 26, que el indicador disminuyó notablemente una vez aplicado en el año 2020 el mantenimiento RCM a los cargadores frontales 950L; según los reportes de la unidad minera, en el año 2019 antes de la aplicación del RCM, se presentó un tiempo promedio para restaurar la función de la máquina de 24.74 horas,

Mientras que, lo que va del año 2020 este indicador disminuyo a 3.80 horas en promedio, cumpliendo con la normativa de las 6 horas máximas que el técnico debe emplear para dejar la máquina operativa.

Cabe señalar que el valor del MTTR, que es el tiempo promedio para restaurar la función de la maquina; se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo para restaurar por máquina}}{\text{Número de fallas totales por máquina}} \dots (2)$$

En la siguiente tabla, se detalla el tiempo para reparar y el número de fallas totales para cada máquina, estos datos son obtenidos de los reportes de fallas; este análisis se realizará para el mes de enero 2019, debido a que los demás meses siguen el mismo procedimiento y se realizará para los 4 cargadores frontales 950L-1, 950L-2, 950L-3 y 950L-4. La data de los indicadores mensuales (TTR y número de fallas por máquina) de manera detalla se muestra en el Anexo 2.

Tabla 15: Tiempo medio para restaurar (MTTR) del mes de enero 2019

TIPO DE MÁQUINA	TIEMPO PARA RESTAURAR - TTR (horas)	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	TIEMPO MEDIO PARA RESTAURAR - MTTR (horas)
CARGADOR			
FRONTAL 950L-1	212	4	53
CARGADOR			
FRONTAL 950L-2	325	5	65
CARGADOR			
FRONTAL 950L-3	40	3	13.3
CARGADOR			
FRONTAL 950L-4	16.8	2	8.4

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Según los resultados del MTTR, del cargador frontal ID 950L-1; se muestra en la siguiente gráfica la optimización del tiempo promedio mensual para la reparación; estos datos corresponden a los meses de enero y setiembre, tanto del año 2019 y 2020, antes y después de aplicación del RCM,

respectivamente.

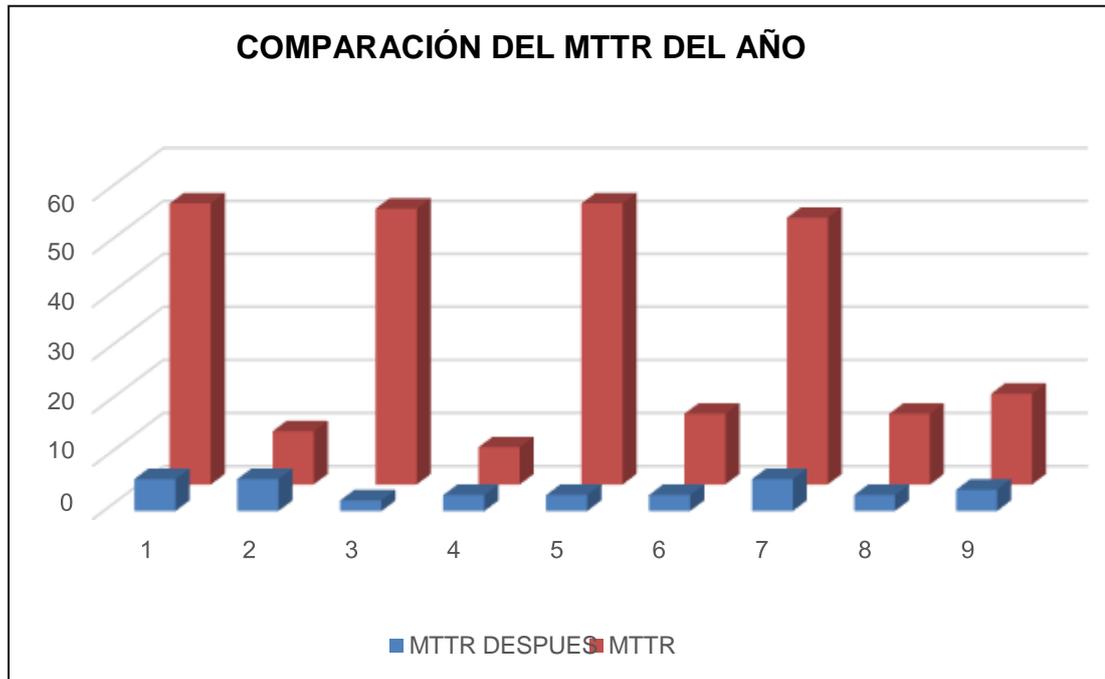


Figura 29: Comparación del MTTR antes y después de la aplicación del mantenimiento
Fuente: Elaboración propia

En relación, al Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF) que es un indicador de la confiabilidad, se observa mediante las figuras 25 y 26, que el índice aumento significativamente una vez aplicado el mantenimiento RCM a los cargadores frontales 950L; según los reportes de la unidad minera, en el año 2019 se presentó un tiempo promedio en que la máquina cumple su función sin interrupción de 43.81 horas, mientras que, de lo que va del año 2020 este indicador aumento a 115.5 horas en promedio, generando así un aumento en la productividad de la máquina.

El valor del MTBF, que es el tiempo promedio que la máquina cumpla su función sin interrupción debido a una falla funcional; se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación por máquina}}{\text{Número de fallas totales por máquina}} \dots (3)$$

En la siguiente tabla, se detalla el tiempo promedio entre fallas, estos datos son obtenidos de los reportes de fallas; de igual manera este análisis se realizará para el mes de enero 2019, debido a que los demás meses siguen

el mismo procedimiento y se realizará para los 4 cargadores frontales 950L-1, 950L-2, 950L-3 y 950L-4. La data de los indicadores mensuales (TTO y número de fallas por máquina) de manera detalla se muestra en el Anexo 2.

Tabla 16: Tiempo promedio entre fallas (MTBF) del mes de enero 2019

TIPO DE MÁQUINA	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN - TTO (horas)	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)
CARGADOR FRONTAL 950L-1	236	4	59
CARGADOR FRONTAL 950L-2	75	5	15
CARGADOR FRONTAL 950L-3	120	3	40
CARGADOR FRONTAL 950L-4	45.2	2	22.6

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Según los resultados del MTBF, del cargador frontal ID 950L-1; se muestra en la siguiente gráfica la optimización del tiempo promedio entre fallas; estos datos corresponden a los meses de enero y setiembre, tanto del año 2019 y 2020, antes y después de aplicación del RCM, respectivamente.

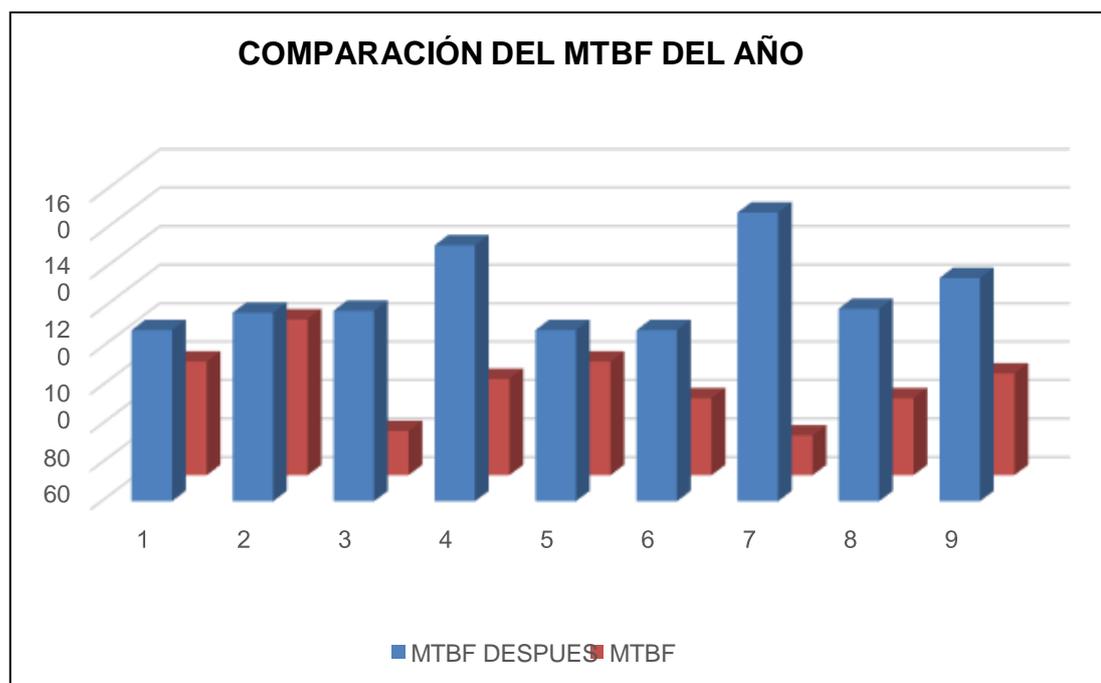


Figura 30: Comparación del MTBF antes y después de la aplicación del mantenimiento
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los resultados obtenidos de la disponibilidad, MTTR y MTBF, del año 2019 y 2020, estos resultados corresponden a los 4 cargadores frontales de la Unidad Minera Pampahuay, cuyo detalle se muestra en la figura 25 y 26.

Tabla 17: Resultados del antes y después de los indicadores de mantenimiento

	DISPONIBILIDAD	MTTR	MTBF
Antes de aplicación del RCM (2019)	64.42%	29.74	43.81
Después de la aplicación del RCM (2020)	96.73%	3.80	115.50

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Asimismo, el resumen de los resultados obtenidos de la disponibilidad, MTTR y MTBF, del año 2019 y 2020, se puede representar de gráficamente de la siguiente manera.

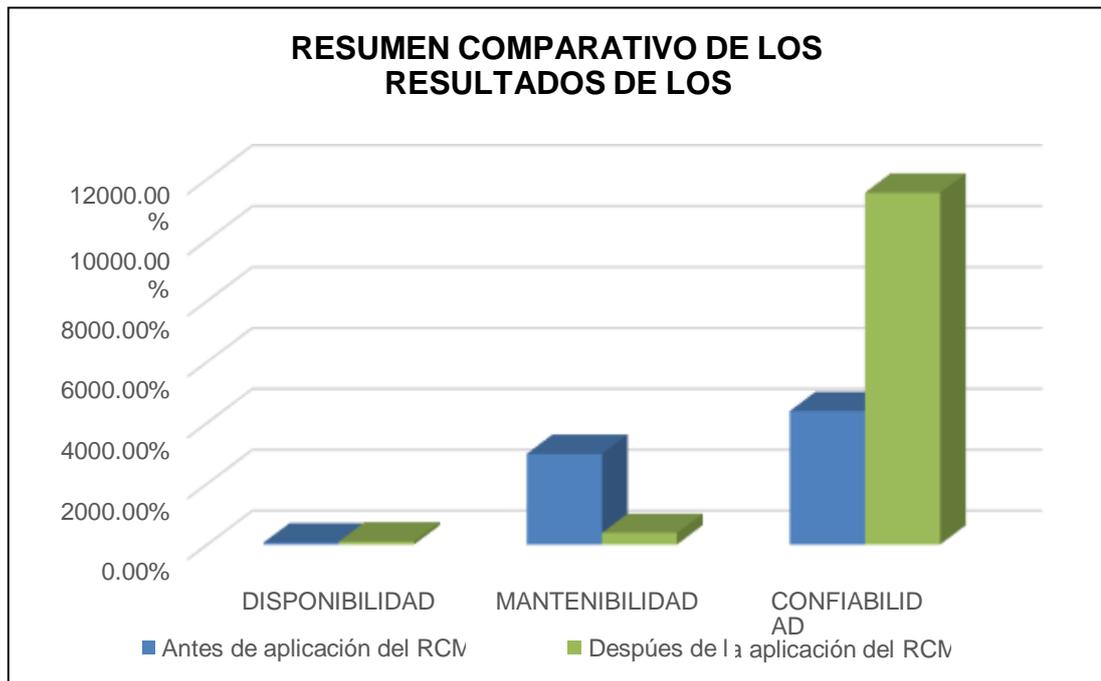


Figura 31: Comparación de los resultados de los indicadores de mantenimiento del año 2019 y 2020
Fuente: Elaboración propia

Como se señaló en la descripción del problema, la confiabilidad es uno de los indicadores que más afectaba a la producción, debido a que es la probabilidad de que los cargadores frontales cumplan, su función en el tiempo y según las especificaciones establecidas. La confiabilidad está relacionada a las fallas

de las máquinas, motivo por el cual al no existir anteriormente un análisis previo respecto a la criticidad de ciertos componentes asociados a los cargadores Frontales Caterpillar 950L, ello afectaba a la función del equipo dentro del proceso productivo, aumentándose de esta manera el número de fallas del equipo.

Para evidenciar la reducción de fallas que están relacionadas a la confiabilidad, se realizará el análisis comparativo; estos resultados se obtuvieron por los reportes de fallas en los sistemas de los cuatro cargadores frontales 950L, proporcionados por la unidad minera Pampahuay. Cabe señalar que, la data del número de fallas detallada mensualmente, se muestra en el Anexo 2.

Tabla 18: Número total de fallas de los cargadores frontales 950L en el año 2019

SISTEMAS	NÚMERO DE PARALIZACIONES 2019				TOTAL
	950L-1	950L-2	950L-3	950L-4	
Sistema motriz	2	3	1	2	8
Sistema Hidráulico	2	4	2	3	11
Sistema de enfriamiento	2	3	2	1	8
Sistema de dirección	2	2	3	2	9
Sistema de engrase	1	0	1	0	2
Sistema de lubricación	3	3	2	4	12
Sistema de giro	2	3	2	1	8
Sistema de Frenos	0	1	1	1	3
Sistema estructural	3	2	3	3	11
Sistema eléctrico y electrónico	3	3	4	3	13
SUB TOTAL DE FALLAS	20	24	21	20	85

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Tal como se observa en la tabla anterior en el año 2019 se presentaron un total de 85 paralizaciones por fallas, en los cuatro cargadores frontales 950L, estando el mayor número de fallas en el sistema de enfriamiento, sistema de lubricación y el sistema eléctrico y electrónico de los cargadores frontales, motivo por el cual en el análisis de criticidad se establece que estos sistemas presentan componentes altamente críticos que afectan a la operación minera; concordando con ello que el sistema de frenos y el de engrase presentan una criticidad media, tal como se muestra también son los que presentan un menor número de fallas.

Ahora se muestra el número de fallas presentes en los sistemas de los cargadores frontales 950L, una vez aplicado el mantenimiento centrado en la confiabilidad. La data del número de fallas detallada mensualmente, se muestra en el Anexo 2.

Tabla 19: Número total de fallas de los cargadores frontales 950L en el año 2020

SISTEMAS	NÚMERO DE PARALIZACIONES 2020				TOTAL
	950L-1	950L-2	950L-3	950L-4	
Sistema motriz	1	1	1	0	3
Sistema Hidráulico	1	2	2	2	7
Sistema de enfriamiento	0	2	1	1	4
Sistema de dirección	1	1	0	1	3
Sistema de engrase	0	0	0	1	1
Sistema de lubricación	3	1	2	3	9
Sistema de giro	0	1	0	0	1
Sistema de Frenos	0	2	1	1	4
Sistema estructural	1	0	0	0	1
Sistema eléctrico y electrónico	2	1	2	1	6
SUB TOTAL DE FALLAS	9	11	9	10	39

Fuente: Unidad Minera Pampahuay

Como se observa en la tabla anterior en el año 2020, una vez aplicado el mantenimiento centrado en la confiabilidad se ha presentado a la fecha un total de 39 paralizaciones por fallas, durante su operación de los cuatro cargadores frontales 950L; reduciendo significativamente el número de fallas que afectan a la operación minera en comparación al año 2019; en la siguiente figura se muestra el resumen y representación de los resultados.

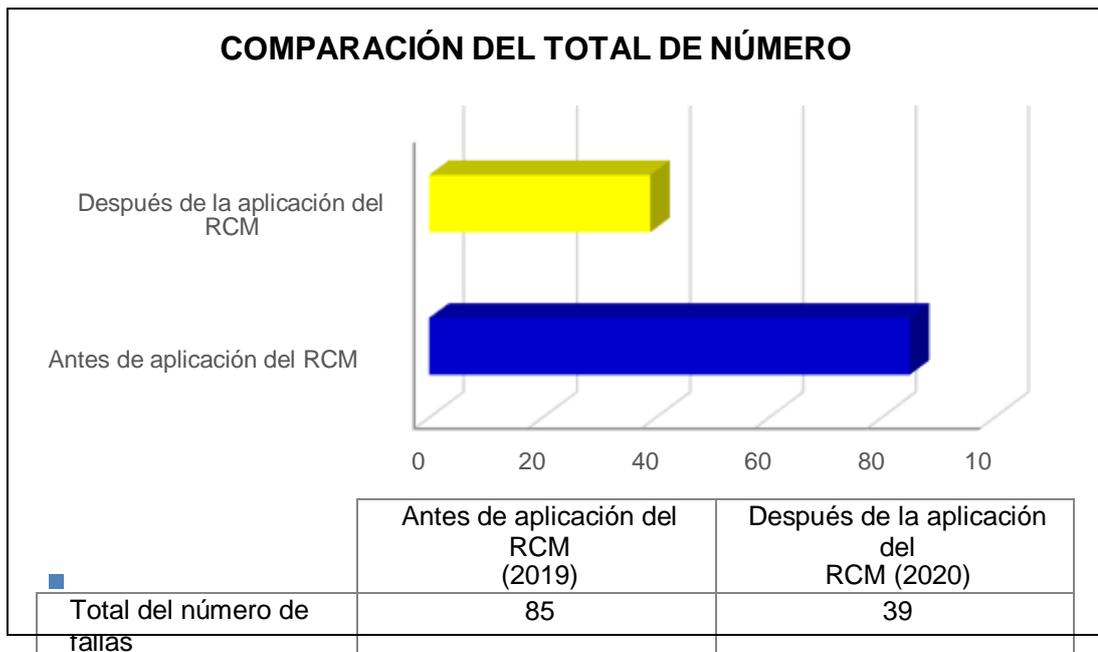


Figura 32: Comparación de la disminución del número de fallas
Fuente: Elaboración propia

Realizada la evaluación de la confiabilidad obtenida luego de la aplicación de la propuesta del plan de mantenimiento, se evidencia que se redujo el número de fallas de los Cargadores Frontales 950L, en un 54.11%, la mejora de la operatividad, trae consigo el aumento de la productividad del equipo y por ende la reducción de costos por mantenimiento en la Unidad Minera Pampahuay ubicada en Oyón.

CONCLUSIONES

- Se desarrolló una propuesta de un plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, el cual tiene la siguiente estructura: conformación de recursos humanos, selección de sistemas críticos, preguntas RCM, análisis AMEF, programación del mantenimiento y formatos de mantenimiento; con el cual se logró reducir en un 54.11% el número de fallas de los Cargadores Frontales 950L, durante su operación, en la Unidad Minera Pampahuay, Oyón.
- Se realizó el análisis de criticidad de los sistemas que afectan la confiabilidad de los Cargadores Frontales 950L, a partir de los reportes de mantenimiento realizados, en la Unidad Minera Pampahuay, Oyón; mediante la tabla de criterios de confiabilidad, se estableció que, de los 9 sistemas, 7 presentan una criticidad alta y 2 presentan una mediana criticidad.
- Se determinó el modelo del plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, el cual sigue los siguientes pasos: notificación al jefe del área de mantenimiento y al supervisor, asignación del personal a realizar el mantenimiento, inspección y diagnóstico de la máquina, realización de las actividades programadas, empleo de los formatos de mantenimiento, reparación de fallas, entrega de la orden de trabajo y salida de la máquina del taller; con este procedimiento se logró reducir el número de fallas de los Cargadores Frontales 950L, durante su operación, en la Unidad Minera Pampahuay, Oyón - 2020.
- Se logró evaluar la confiabilidad obtenida luego de la aplicación de la propuesta del plan de mantenimiento, evidenciando por medio del reporte de paralizaciones la reducción del número de fallas de 85 a 39, de los sistemas de los Cargadores Frontales 950L, durante su operación, en la Unidad Minera Pampahuay, Oyón.

RECOMENDACIONES

- En relación al plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, se recomienda, realizar el seguimiento y supervisión de cada actividad establecida en la programación y plan de mantenimiento, con la finalidad de cumplir a cabalidad las actividades de manera eficiente.
- En relación a los sistemas que afectan la confiabilidad de los Cargadores Frontales 950L, se recomienda, impartir cursos al personal de mantenimiento, con la finalidad de mantener un alto nivel técnico de conocimiento, y conservar en buen estado los sistemas de las máquinas, obteniendo así su máximo rendimiento operacional.
- En relación al modelo del plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, se recomienda, implementar una política con aspectos técnicos y económicos, que faciliten la administración del mantenimiento, la compra y el inventario de repuestos, con la finalidad de reducir de manera significativa los costos de mantenimiento y de producción.
- En relación a la confiabilidad obtenida por el plan de mantenimiento, se recomienda, realizar capacitaciones de cada una de las maquinas a todos los involucrados del área de mantenimiento, con la finalidad de realizar de manera correcta las actividades correctivas y preventivas de las máquinas, así aumentar la productividad de las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alavedra, C., Gastelu, Y., Méndez, G., Minaya, L., Pineda, B., Prieto, K., . . . Moreno, C. (2016). Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013. *Ingeniería Industrial*, 11-26.
- Arredondo, D., Morillo, L., Sandoval, Y., & Yáñez, N. (2016). *Fallas definición, análisis del sistema parcial, intermitente completos o instantaneos y catastróficos*. Venezuela: Universidad Politécnica Territorial "José Antonio Anzoátegui".
- Barreda, S. (2018). Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (R.C.M.) en la EDAR de Nules - Vilavella. (*Tesis de pregrado*). Universidad Jaime I, Valencia, España.
- Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & Tolentino, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Instituto Politécnico Nacional*, 1-19.
- Castro, M. (2017). "Método basado en RCM, para la gestión de mantenimiento en tractores agrícolas: Caso municipalidad distrital de Colquepata. (*Tesis de posgrado*). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Diestra, J., Esquiviel, L., & Guevara, R. (2017). "Programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad. *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 4(1), 1-10.
- Guerra-López, E., & Oca-Risco, A. (2019). Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 45-60.
- Jiménez, P. (2017). Elaboración de un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para el área de Bunchado en planta Electrocables de la ciudad de Guayaquil. (*Tesis de pregrado*). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Mescua, R., & Gálvez, C. (2016). Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en

- una mina de tajo abierto. (*Tesis de pregrado*). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Moubray, J. (2009). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. España: Industrial Press Inc.
- Olarte, W., Botero, M., & Cañon, B. (2010). Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción. *Scientia Et Technica*, 354- 356.
- Pacheco, L. (2018). Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM para la reducción de fallas de la maquinaria de la empresa Hydro Pátapo S.A.C. (*Tesis de pregrado*). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú.
- PROPYMES. (2014). *PROGRAMA: GESTION DEL MANTENIMIENTO*. Argentina: CECMA.
- Siguas, A. (2018). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad de cargadores frontales 980h Caterpillar. (*Tesis de pregrado*). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Soto, J. (2016). Mantenimiento basado en la Confiabilidad para el mejoramiento de la disponibilidad mecánica de los volquetes FAW en GYM S.A. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Ticlavilca, J. (2016). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad mecánica del equipo ALPHA20 de la empresa Robocon SAC. (*Tesis de pregrado*). UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, Huancayo, Perú.
- Uzcátegui, M. (2017). Gestión del mantenimiento de la maquinaria pesada del proceso de carga y transporte de la empresa “Construcciones Asfalto Andes, C.A”. (*Tesis de pregrado*). Instituto Superior Minero Metalúrgico de MOA, Mérida, Cuba.
- Vásquez, J. (2019). Implementación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a excavadoras Caterpillar 336D2L. (*Tesis de pregrado*). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Zegarra, M. (2015). Gestión moderna del mantenimiento de equipos pesados. *Journal Systems*, 15-23.

ANEXOS

ANEXO 1 – REGISTRO DEL MANTENIMIENTO EN LA BASE DE DATOS

REGISTRO DE ÓRDENES DE MANTENIMIENTO		Codigo: Elaborado: Revisado: Aprobado: Fecha: Rev:
N° SOLICITUD	<input type="text" value="OT-1678"/>	REGISTRAR
N° REPORTE	<input type="text"/>	
PERSONAL	<input type="text" value="Gavino Carrillo, Juan Carlos"/> ▼	
FECHA	<input type="text" value="16/01/2015"/>	
TIPO	<input type="text" value="PREVENTIVO"/> ▼ ▼	
MAQUINA	<input type="text"/> ▼	
HOROMETRO	<input type="text"/>	
REPUESTOS E INSUMOS	<input type="text"/>	
MODO DE FALLA	<input type="text" value="PROGRAMADA"/> ▼	
CAUSA DE FALLA	<input type="text" value="PREVENTIVO"/> ▼	
FRECUENCIA	<input type="text" value="PROGRAMADA"/> ▼	
DESCRIPCION	<input type="text"/>	
TAREA RECOMENDADA	<input type="text"/>	
HORA DE INICIO	<input type="text" value="9:00:00"/>	
HORA DE TERMINO	<input type="text" value="15:30:00"/>	
HORAS MAQUINA PARADA	<input type="text" value="6:30:00"/>	
N° DE PADIF	<input type="text"/>	
AREA RESPONSABLE	<input type="text"/> ▼	
HORA DE INICIO PADIF	<input type="text"/>	
HORA DE TERMINO PADIF	<input type="text"/>	
HORAS MAQUINA PARADA PADIF	<input type="text"/>	
FECHA PADIF	<input type="text"/>	
FIRMA PRODUCCION	<input type="text"/> ▼	

ANEXO 2 – DATA DE LOS INDICADORES

MTTR - 2019

ID EQUIPO	MTTR CARGADOR FRONTAL (AÑO 2019)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	NÚMERO TOTAL DE FALLAS
950L-1	TIEMPO PARA RESTAURAR - TTR(horas)	212	10	52	7	106	26.6	50.3	13.3	34.2	35.4	32.8	8.4	20
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	4	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	53	10	52	7	53	13.3	50.3	13.3	17.1	17.7	16.4	8.4	
950L-2	TIEMPO PARA RESTAURAR - TTR(horas)	325	10	106	16.4	25.2	50.3	20	159	88	176	7	134	24
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	5	1	2	1	3	1	2	3	1	2	1	2	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	65	10	53	16.4	8.4	50.3	10	53	88	88	7	67	
950L-3	TIEMPO PARA RESTAURAR - TTR(horas)	39.9	3.7	4.5	25.2	53	178	53	13.3	53.1	264	8.4	53	21
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	3	1	1	3	1	2	1	1	3	3	1	1	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	13.3	3.7	4.5	8.4	53	89	53	13.3	17.7	88	8.4	53	
950L-4	TIEMPO PARA RESTAURAR - TTR(horas)	16.8	8.4	14	104	16.8	4.5	53.1	16.4	3.7	8.4	14	106	20
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	2	1	2	2	2	1	3	1	1	1	2	2	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	8.4	8.4	7	52	8.4	4.5	17.7	16.4	3.7	8.4	7	53	
TOTAL		34.925	8.025	29.125	20.95	30.7	39.275	32.75	24	31.625	50.525	9.7	45.35	85

MTTR - 2020

ID EQUIPO	MTTR CARGADOR FRONTAL (AÑO 2020)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	NÚMERO TOTAL DE FALLAS
950L-1	TIEMPO PARA RESTAURAR - TTR(horas)	6	6	2	3	3	3	6	3	4	9
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	6	6	2	3	3	3	6	3	4	
950L-2	TIEMPO PARA RESTAURAR - TTR(horas)	2	6	10	2	3	4	12	4	3	11
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	1	1	2	1	1	1	2	1	1	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	2	6	5	2	3	4	6	4	3	
950L-3	TIEMPO PARA RESTAURAR - TTR(horas)	3	4	5	2	6	2	3	3	3	9
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	3	4	5	2	6	2	3	3	3	
950L-4	TIEMPO PARA RESTAURAR - TTR(horas)	6	6	4	10	1	3	4	3	3	10
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	1	1	1	2	1	1	1	1	1	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	6	6	4	5	1	3	4	3	3	
TOTAL		4.25	5.5	4	3	3.25	3	4.75	3.25	3.25	39

MTBF - 2019

IDEQUIPO	MTBF CARGADOR FRONTAL (AÑO 2019)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	NÚMERO TOTAL DE FALLAS
950L-1	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN - TTO (horas)	236	81	23	50	118	80	20.6	40	105.8	120	108.8	22.6	20
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	4	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	59	81	23	50	59	40	20.6	40	52.9	60	54.4	22.6	
950L-2	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN - TTO (horas)	75	81	118	54.4	67.8	20.6	102	177	27	54	50	30	24
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	5	1	2	1	3	1	2	3	1	2	1	2	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	15	81	59	54.4	22.6	20.6	51	59	27	27	50	15	
950L-3	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN - TTO (horas)	120	67	55	67.8	59	104	59	40	180	81	22.6	59	21
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	3	1	1	3	1	2	1	1	3	3	1	1	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	40	67	55	22.6	59	52	59	40	60	27	22.6	59	
950L-4	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN - TTO (horas)	45.2	22.6	100	46	45.2	56	180	54.4	53	22.6	100	118	20
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	2	1	2	2	2	1	3	1	1	1	2	2	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	22.6	22.6	50	23	22.6	56	60	54.4	53	22.6	50	59	
TOTAL		34.15	62.9	46.75	37.5	40.8	42.15	47.65	48.35	48.225	34.15	44.25	38.9	85

MTBF - 2020

ID EQUIPO	MTBF CARGADOR FRONTAL (AÑO 2020)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	NÚMERO TOTAL DE FALLAS
950L-1	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN - TTO (horas)	89	98	99	133	89	89	150	100	116	9
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	89	98	99	133	89	89	150	100	116	
950L-2	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN - TTO (horas)	109	132	290	145	123	189	330	142	133	11
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	1	1	2	1	1	1	2	1	1	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	109	132	145	145	123	189	165	142	133	
950L-3	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN - TTO (horas)	100	96	86	109	98	99	133	89	89	9
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	100	96	86	109	98	99	133	89	89	
950L-4	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN - TTO (horas)	100	124	142	248	121	87	116	100	99	10
	NÚMERO DE FALLAS POR MÁQUINA	1	1	1	2	1	1	1	1	1	
	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS - MTBF (horas)	100	124	142	124	121	87	116	100	99	
TOTAL		99.5	112.5	118	127.75	107.75	116	141	107.75	109.25	39

ANEXO 4 - INTERVALO DE CAMBIO DE ACEITE SEGÚN FABRICANTE

Intervalo de cambio de aceite ⁽¹⁾		
Tipo de aceite multigrado	Condiciones de operación	
	Normal	Aplicación de servicio severo
Cat DEO-ULS	500 hs.	250 horas
Aceite que cumple con los requisitos de la Especificación Cat ECF-3 o la clasificación API CJ-4 8 mínimo NBT Recomendados	500 hs.	250 horas
Aceite que cumple con los requisitos de la Especificación ACEA C9/E6 NBT por debajo de 10,4	500 hs.	250 horas

⁽¹⁾ El intervalo estándar de cambio de aceite en este motor es de 500 horas, si se cumplen las condiciones de operación y los tipos de aceite recomendados que se indican en esta tabla. Si el tiempo y la calidad del aceite y las condiciones de operación no cumplen con ciertas normas, se deben disminuir los intervalos de cambio de aceite a 250 horas. Consulte la Publicación Especial, PSHJ0192, Optimización de los Intervalos de Cambio de Aceite para determinar si el intervalo de cambio de aceite se debe reducir a 250 horas.

ANEXO 5 – ESPECIFICACIONES DEL CARGADOR FRONTAL 950L

CARGADORES DE RUEDAS
950L



POTENCIA NETA: ISO 9249
185 kW

PESO EN ORDEN DE TRABAJO
18136 kg

CAPACIDAD DE LOS CUCHARONES
2,7 a 4,4 m³ (3,5 a 5,8 yd³)

TRANSMISIÓN	
Avance - 4	25.7 km/h
Retroceso - 1	6.9 km/h
Retroceso - 2	12 km/h
Retroceso - 3	25.7 km/h
Avance - 3	19.3 km/h
Avance - 1	6.9 km/h
Avance - 2	12 km/h
Nota	Velocidad de desplazamiento máxima en vehículo estándar con cucharón vacío y neumáticos L3 estándar con radio de rodadura de 787 mm.
Avance - 5	39.5 km/h

RUIDO	
Con la velocidad del ventilador de enfriamiento al máximo valor: nivel de presión acústica del operador (ISO 6396:2008)	72 dB(A)
Con la velocidad del ventilador de enfriamiento al máximo valor: nivel de potencia acústica exterior (SAE J88:2013)	75 dB (A)*
Con la velocidad del ventilador de enfriamiento al máximo valor: nivel de potencia acústica exterior (ISO 6395:2008)	107 dB(A)
Con la velocidad del ventilador de enfriamiento al 70 % del máximo valor: nivel de potencia acústica exterior (ISO 6395:2008)**	104 LWA***
Con la velocidad del ventilador de enfriamiento al 70 % del máximo valor: nivel de presión acústica del operador (ISO 6396:2008)**	69 dB(A)
Nota (3)	***Directiva de la Unión Europea 2000/14/EC?, según lo enmendado en 2005/88/EC.?
Nota (1)	*Distancia de 15 m avanzando en una relación de segunda marcha.

PESOS	
Peso en orden de trabajo	18136 kg
Nota	Peso basado en la configuración de una máquina con neumáticos radiales Michelin 23.5R25 XHA2 L3, depósitos de fluidos llenos, operador, contrapeso estándar, arranque en frío, guardabarros de desplazamiento por carretera, Product Link™, ejes diferenciales abiertos/abiertos (delanteros/traseros), protector del tren de fuerza, dirección secundaria, insonorización y cucharón de uso general de 3,1 m³ con BOCE.

DIMENSIONES: LEVANTAMIENTO ESTÁNDAR

Desde la línea central del eje trasero al extremo del contrapeso	2083 mm
Longitud total: sin cucharón	6939 mm
Altura del pasador de articulación en levantamiento máximo	3995 mm
Espacio libre sobre el suelo	368 mm
Altura del pasador de articulación en altura de acarreo	663 mm
Altura: parte superior de la ROPS	3446 mm
Ancho de la banda de rodadura	2140 mm
Inclinación hacia atrás: altura de acarreo	49°
Altura: parte superior del capó	2697 mm
Nota	Todas las dimensiones son aproximadas y se basan en neumáticos radiales Michelin 23.5R25 XHA2 L3.
Inclinación hacia atrás: levantamiento máximo	60°
Distancia entre ejes	3350 mm
Inclinación hacia atrás en el suelo	41°
Ancho máximo: sobre los neumáticos: cargado	2822 mm
Desde la línea central del eje trasero hasta el enganche	1675 mm
Espacio libre del brazo de levantamiento en levantamiento máximo	3410 mm
Altura: parte superior del tubo de escape	3415 mm