



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**PROPUESTA DE MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE
FLOTA DE EQUIPOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA EN UNA
EMPRESA DE ALQUILER DE MAQUINARIA BASADO EN RCM**

TESIS

PRESENTADA POR:

MIGUEL BRYAN PÉREZ ENRÍQUEZ

GARY WILSON RAMOS OSNAYO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

PROPUESTA DE MEJORA DEL PLAN DE
MANTENIMIENTO DE FLOTA DE EQUIPO
S DE MOVIMIENTO DE TIERRA EN UNA E
MPRESA DE ALQUILER DE MAQUINARIA
BASADO EN RCM

AUTOR

MIGUEL BRYAN PÉREZ ENRÍQUEZ GARY
WILSON RAMOS OSNAYO

RECuento DE PALABRAS

22920 Words

RECuento DE CARACTERES

128017 Characters

RECuento DE PÁGINAS

149 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.2MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 23, 2024 8:38 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 23, 2024 8:40 PM GMT-5


● 12% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


M.S. Marcos José Villanueva Guejo
DNI 40485179
CJP. 96153
DSESOR.


Dr. Ing. Henry Iván Condon Alejo
CIP: 56684
Dr. Emerson Flores
V.S.

Resumen



DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada principalmente a Dios, quien me ha otorgado salud, buenos padres y la oportunidad de estudiar y concluir mi carrera. Además, con profundo cariño, dedico este logro a mis padres, Miguel y Emperatriz, quienes me guiaron a lo largo de todo el camino, y a mi hermano Hugo, que estuvo a mi lado. Quiero dedicarle a toda mi familia, en particular a mis abuelos Hugo y Rosa, quienes desde el cielo han velado por mí y deben sentirse felices por lo que he conseguido.

Miguel Bryan Pérez Enríquez



DEDICATORIA

Deseo expresar mi gratitud a mis padres, Raúl y Ester, quienes han brindado un apoyo incondicional en todo momento. Agradezco sus sabios consejos, los valores que me han inculcado y la constante motivación que ha contribuido a mi formación como persona. Pero, sobre todo, agradezco su inmenso amor.

Gary Wilson Ramos Osnayo



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa con éxito y salud, y a mi familia por su constante apoyo. También, quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de diversas formas y nos brindaron ánimo para llevar a cabo y completar este proyecto. Este logro refleja un gran esfuerzo, trabajo y dedicación.

Agradecer a mi asesor de tesis, Marcos José Villanueva Cornejo, por su orientación, paciencia y apoyo constante a lo largo de todo el proceso de investigación. Sus valiosas sugerencias y comentarios han sido fundamentales para lograr los objetivos propuestos.

Miguel Bryan Pérez Enríquez
Gary Wilson Ramos Osnayo



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.2.1 Problema general	21
1.2.2 Problemas específicos	21
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	21
1.3.1 Justificación técnica	22
1.3.2 Justificación económica	22
1.3.3 Justificación medioambiental.....	22
1.3.4 Justificación social	22
1.4 OBJETIVOS	23
1.4.1 Objetivo General	23
1.4.2 Objetivos específicos	23



1.5	HIPÓTESIS	23
1.5.1	Hipótesis general	23
1.5.2	Hipótesis específicas	23
1.6	VARIABLES	24

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	25
2.1.1	Antecedentes locales	25
2.1.2	Antecedentes Nacionales	28
2.1.3	Antecedentes Internacionales	32
2.2	MARCO TEÓRICO	34
2.2.1	Mantenimiento	34
2.2.2	Indicadores del mantenimiento.	37
2.2.2.1	Tiempo medio de reparaciones (MTTR)	38
2.2.2.2	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	38
2.2.2.3	Disponibilidad	39
2.2.2.4	Mantenibilidad	39
2.2.2.5	Tasa de fallo:	39
2.2.3	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	41
2.2.3.1	Proceso de implementar un plan de mantenimiento RCM.	43
2.2.3.2	Jerarquización de activos	48
2.2.3.3	Análisis de Pareto	49
2.2.3.4	Análisis de modos y efecto de fallas (AMEF)	50
2.2.4	Equipos de movimiento de tierras	51
2.2.4.1	Excavadora Hidráulica sobre oruga – PC 350-8M0	53



2.2.4.2	Cargador frontal Komatsu WA380.6	59
2.2.4.3	Retroexcavadora WB97R-5E0.....	64

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	TIPO, ALCANCE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	71
3.1.1	Investigación tipo aplicada.....	71
3.1.2	Alcance Explicativo	71
3.1.3	Diseño no experimental	71
3.2	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	72
3.2.1	Población.....	72
3.2.2	Muestra.....	72
3.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	73
3.3.1	Entrevistas	73
3.3.2	Documental	73
3.3.3	Manuales	74
3.3.4	Fichas técnicas	74
3.4	PROCEDIMIENTO	74
3.4.1	Diagnóstico inicial	74
3.4.2	Formación del equipo de trabajo.....	75
3.4.3	Criticidad	75
3.4.4	Taxonomía del activo crítico.	77
3.4.5	Número de prioridad de riesgo (NPR)	77
3.4.6	Aplicación de la matriz AMEF	79
3.4.7	Árbol de decisiones	81
3.4.8	Hoja de decisión RCM.....	83



3.4.9	Desarrollo del plan de mantenimiento	84
-------	--	----

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	DIAGNÓSTICO INICIAL	85
4.1.1	Descripción de la empresa	85
4.1.1.1	Misión.	85
4.1.1.2	Visión.	86
4.1.2	Organigrama	86
4.1.3	Descripción del área de servicios:	87
4.1.4	Flujograma del mantenimiento	88
4.1.5	Descripción del flujograma	89
4.1.6	Flota de equipos de movimientos de tierras	89
4.1.7	Ingresos	90
4.1.8	Pérdidas económicas	91
4.1.9	Disponibilidad por flota de equipos.	93
4.1.10	Disponibilidad de la flota de excavadoras.	94
4.2	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM.....	96
4.2.1	Propuesta del equipo de trabajo	96
4.2.2	Selección de activo crítico	97
4.2.2.1	Selección de la muestra.	99
4.2.2.2	Taxonomía de la excavadora	100
4.2.2.3	Análisis por Pareto	102
4.2.3	Análisis de modos y efectos de fallo	103
4.2.3.1	AMEF Sistema hidráulico	104
4.2.3.2	AMEF Tren de potencia – tren de rodaje.....	105



4.2.3.3	AMEF Tren de potencia motor	106
4.2.3.4	AMEF Sistema eléctrico e implementos.....	107
4.2.3.5	Análisis de criticidad de modos de falla (NPR).....	108
4.2.3.6	Hoja de decisión del RCM	110
4.3	DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	112
V.	CONCLUSIONES	114
VII.	RECOMENDACIONES	117
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
ANEXOS	122

ÁREA: Ingeniería Mecánica

TEMA: Mantenimiento

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 30 de enero de 2024



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1	Estrategias del mantenimiento 37
Figura 2	Programa de mejora de la disponibilidad – Key issues..... 40
Figura 3	Modelo de grupo de revisión RCM..... 45
Figura 4	Desarrollo de un programa de mantenimiento basado en RCM 47
Figura 5	Matriz de Criticidad 48
Figura 6	Diagrama de Pareto de tiempo de falla de equipos 49
Figura 7	Cuadro referencial de AMEF de fallas de camión 51
Figura 8	Excavadora Hidráulica sobre oruga – PC 350-8M0 54
Figura 9	Especificaciones del sistema de potencia de la excavadora..... 55
Figura 10	Especificaciones del sistema hidráulico de la excavadora PC350-8M0 . 56
Figura 11	Interruptor Hidráulico 57
Figura 12	Trituradora..... 57
Figura 13	Dimensiones de la excavadora PC350-8M0 58
Figura 14	Capacidades de levantamiento de la excavadora PC350-8M0 58
Figura 15	Cargador frontal Komatsu WA380.6 60
Figura 16	Chasis de cargador frontal..... 61
Figura 17	Partes de la transmisión..... 61
Figura 18	Sistema hidráulico 62
Figura 19	Herramienta de trabajo 63
Figura 20	Dimensiones del cargador frontal WA380-6 63
Figura 21	Especificaciones técnicas de los baldes 64
Figura 22	Retroexcavadora WB97R-5E0..... 65
Figura 23	Muestreo..... 73



Figura 24	Frecuencia vs Consecuencia	76
Figura 25	Fórmula de criticidad	76
Figura 26	Taxonomía del activo crítico.....	77
Figura 27	Formato NPR	79
Figura 28	Hoja de información AMEF	80
Figura 29	Árbol lógico	82
Figura 30	Hoja de decisión RCM.....	84
Figura 31	Organigrama referencial.....	86
Figura 32	Flujograma de mantenimiento.....	88
Figura 33	Cantidad de equipos de movimiento de tierras	90
Figura 34	Ingresos equipos de movimientos de tierras 2021	91
Figura 35	Disponibilidad de flota de equipos periodo 2021.	93
Figura 36	Disponibilidad de la flota de excavadoras.	94
Figura 37	MTBF de la flota de excavadoras.	95
Figura 38	MTTR de la flota de excavadoras.	96
Figura 39	Criticidad de equipos de movimiento de tierra.	98
Figura 40	Criticidad de equipos de movimientos de tierra.....	98
Figura 41	Pareto de horas acumuladas	102
Figura 42	Frecuencia de paradas por sistemas	102
Figura 43	Plan de mantenimiento propuesto	114



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Operacionalización de Variables..... 24
Tabla 2	Tipos de mantenimiento 36
Tabla 3	Especificaciones técnicas generales excavadora PC350-8M0..... 55
Tabla 4	Especificaciones del motor de la retroexcavadora WB97R-5E0 67
Tabla 5	Especificaciones del sistema hidráulico de la retroexcavadora 68
Tabla 6	Especificaciones de la transmisión retroexcavadora WB97R-5E0..... 69
Tabla 7	Especificaciones de la excavadora – retroexcavadora WB97R-5E0 69
Tabla 8	Especificaciones del cargador de la retroexcavadora WB97R-5E0..... 70
Tabla 9	Flota de Equipos de movimiento de tierra 72
Tabla 10	Ponderación para criticidad..... 75
Tabla 11	Rango de criticidad 76
Tabla 12	Clasificación de la gravedad 77
Tabla 13	Clasificación por ocurrencia 78
Tabla 14	Clasificación detección 78
Tabla 15	Parámetros de criticidad..... 78
Tabla 16	Flota de equipos 89
Tabla 17	Descuento en las valorizaciones 2021..... 92
Tabla 18	Indicadores de la flota de excavadoras periodo 2021. 94
Tabla 19	Muestra de excavadoras 99
Tabla 20	Taxonomía de la excavadora hidráulica..... 100
Tabla 21	AMEF del sistema hidráulico..... 104
Tabla 22	AMEF del tren de potencia del tren de rodaje. 105
Tabla 23	AMEF del tren de potencia 106



Tabla 24	AMEF del sistema eléctrico y electrónico	107
Tabla 25	Matriz del NPR	109
Tabla 26	Hoja de decisión RCM.....	110
Tabla 27	Actividades de mantenimiento basado en la metodología AMEF	113



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: Historial de mantenimiento de flota de la muestra	122
ANEXO 2: Panel fotográfico excavadora hidráulica.....	126
ANEXO 3: Informe de la bomba hidráulica de la excavadora	142
ANEXO 4: Acta de despacho	143
ANEXO 5: Diagrama Gantt de implementación de RCM.....	144
ANEXO 6: Formato de diagnóstico y/o evaluación	145
ANEXO 7: Formato de mantenimiento preventivo	146
ANEXO 8: Formato de Inspección de tren de rodamiento.....	147
ANEXO 9: Declaración jurada de autenticidad de tesis	148
ANEXO 10: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional ...	149



ACRÓNIMOS

RCM:	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
AMEF:	Análisis de Modos y Efectos de Fallo
Hr:	Horas
MTTR:	Tiempo Medio de Reparaciones
MTBF:	Tiempo Promedio entre fallos
NPR:	Número de prioridad de riesgo
S:	Severidad
O:	Ocurrencia
D:	Detección
PM:	Plan de Mantenimiento



RESUMEN

La presente investigación aborda el problema de la baja disponibilidad y deficiente gestión de la flota de equipos de movimientos de tierra de una empresa de alquiler de maquinaria ubicada al sur del Perú. La presente investigación resulta importante por el aporte en la mejora de las frecuencias de mantenimiento y análisis técnico en la criticidad de los componentes, con ello genera valor para la empresa para proceso de mantenimiento, garantizando la disponibilidad en la renta de los equipos. Como objetivo principal desarrollar un de plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para la flota de equipos de movimientos de tierra. Para cumplir con dicho objetivo se aplicó la metodología RCM (Mantenimiento basado en la confiabilidad) la cual presenta los siguientes pasos; identificar los activos críticos; analizar los modos y efectos de falla y aplicar la lógica RCM para generar nuevas frecuencias y actividades. Se determinó el estado general de la flota de 156 equipos cuyos parámetros que influyen en el estado de mantenimiento son: extracciones sin un debido control, mala aplicación frecuente del mantenimiento preventivo, lo cual concluye en una gestión deficiente para los equipos de movimiento de tierras. Además, se determinó al equipo crítico, con una criticidad de 140 puntos según criterios de ponderación, siendo la excavadora con una disponibilidad de 92% de flota, con un 3% inferior a la disponibilidad óptima de flota requerido de 95 %. Se consigue desarrollar un plan de mantenimiento con sus respectivos formatos dependiendo del tipo de mantenimiento preventivo o predictivo mediante la metodología RCM.

Palabras Clave: AMEF, Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenimiento preventivo, RCM.



ABSTRACT

This research addresses the problem of low availability and poor management of the earthmoving equipment fleet of a machinery rental company located in southern Peru. This research is important for the contribution in the improvement of maintenance frequencies and technical analysis in the criticality of the components, thereby generating value for the company for the maintenance process, ensuring the availability in the rental of equipment. The main objective was to develop a maintenance plan based on reliability for the fleet of earthmoving equipment. To meet this objective, the RCM (Reliability Based Maintenance) methodology was applied, which presents the following steps: identify critical equipment, analyze failure modes and effects, and apply RCM logic to generate new frequencies and activities. The general condition of the fleet of 156 pieces of equipment was determined, whose parameters that influence the state of maintenance are: extractions without proper control, poor application of frequent preventive maintenance, which results in poor management of earthmoving equipment. In addition, the critical equipment was determined, with a criticality of 140 points according to weighting criteria, being the excavator with an availability of 92% of the fleet, 3% below the required optimal fleet availability of 95%. A maintenance plan was developed with its respective formats depending on the type of preventive or predictive maintenance using the RCM methodology.

Key words: AMEF, Availability, Preventive maintenance, Reliability, RCM.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La metodología de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) se destaca por optimizar las actividades de mantenimiento preventivo, eliminando aquellas tareas rutinarias o innecesarias. En este contexto, el objetivo principal de la presente investigación radica en proponer mejoras para el plan de mantenimiento de la flota de equipos de movimiento de tierra perteneciente a una empresa líder en alquiler de maquinaria, específicamente en la zona sur. Los objetivos específicos incluyen el diagnóstico del estado actual de los indicadores de mantenimiento de la flota, la identificación de activos críticos, la elaboración de un árbol jerárquico de sistemas y subsistemas para detectar fallas catastróficas o recurrentes no controladas por el mantenimiento preventivo, y la aplicación de la herramienta de Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF). Este último paso implica definir las funciones específicas de sistemas y subsistemas, determinar los fallos funcionales en función de sus efectos o magnitud, identificar los modos de falla y, finalmente, analizar la importancia de dichos modos de falla. En última instancia, se busca garantizar el mantenimiento efectivo de la flota de equipos de movimiento de tierra mediante la implementación de nuevas tareas de mantenimiento y medidas destinadas a minimizar los efectos de posibles fallos, entre otros aspectos.

La investigación se llevará a cabo en la región sur de Arequipa, específicamente en el distrito de Cerro Colorado, en la avenida Primavera, dentro de una zona industrial con coordenadas geográficas aproximadas de $14^{\circ}16'16''$ de latitud sur y $71^{\circ}13'44''$ de longitud oeste. La altitud de esta área se sitúa a 2335 metros sobre el nivel del mar.

Para la presente investigación se presenta 4 capítulos detallados como



Capítulo I: Se ha realizado el planteamiento de la investigación identificando el problema principal, estructurando los objetivos, justificación y limitaciones orientado a la propuesta del plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM.

Capítulo II: Se ha realizado la investigación bibliográfica, presentando 10 antecedentes y desarrollando las bases teóricas.

Capítulo III: Para este capítulo se desarrolla la metodología con la cual se ha procedido para la síntesis de información definiendo también el alcance, nivel y enfoque.

Capítulo IV: Para el capítulo se presenta ya la síntesis de la investigación cumpliendo uno a uno cada objetivo planteado.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las empresas de alquiler de maquinaria pesada y semipesada en la ciudad presentan alta demanda debido a los factores de crecimiento en el rubro minero y de construcción anteriormente mencionados, es por ello que es importante mejorar las prestaciones del servicio desde área de la disponibilidad del activo como base del modelo de negocio. En ese sentido la empresa, está dedicada al alquiler de grupos electrógenos, y equipos de movimiento de tierras a diferentes sectores. Los problemas identificados en el área de mantenimiento son que la organización no tiene un software en donde se almacene todos los servicios ofrecidos, los procedimientos de mantenimiento de equipos no están definidos y los que se tienen no están claros, además no se capacita al personal de esta área. Por otro lado, en cuanto al activo se suelen hacer extracciones de componentes, pero estos no se controlan de una manera eficiente ya que priorizan el servicio y suelen ocurrir muchas descoordinaciones para nuevos alquileres por activos incompletos, y lo más resaltante que el mantenimiento preventivo, tipo de mantenimiento modelo en la empresa, no se gestiona de una manera optimizada. Es por ello que surge la



necesidad de realizar la optimización del mantenimiento preventivo en la empresa líder de alquiler de máquinas.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

- ¿Cómo la propuesta del mantenimiento basado en el RCM garantizará una mejora en el mantenimiento de la flota de equipos de movimiento de tierra?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo se encontrará el estado situacional referente a los indicadores de mantenimiento de la flota de equipos de movimiento de tierra?
- ¿Cómo determinar los activos críticos de la flota de equipos de movimiento de tierra?
- ¿Cómo analizar las fallas de la flota de equipos de movimiento de tierra?

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Según (Montes & Montes, 2014). La justificación en una investigación implica abordar la pregunta fundamental de por qué se elige llevar a cabo esa investigación específica en lugar de otra. En este sentido, el investigador presenta una serie de razones que pueden estar fundamentadas en aspectos científicos, sociales, políticos, académicos, personales o profesionales. Estas razones reflejan la motivación y los objetivos detrás de la investigación propuesta, estableciendo una base sólida para su relevancia y contribución al conocimiento existente en el campo de estudio.



1.3.1 Justificación técnica

La presente investigación resulta importante por el aporte en la mejora de las frecuencias de mantenimiento y análisis técnico en la criticidad de los componentes, con ello generará valor para la empresa para el proceso de mantenimiento, garantizando la disponibilidad en la renta de los equipos.

1.3.2 Justificación económica

La relevancia de esta investigación radica en la comprensión del impacto económico derivado de los costos totales asociados al mantenimiento. Para obtener una evaluación precisa de los costos, especialmente aquellos vinculados a las fallas, es esencial analizar detenidamente la duración y la frecuencia de las actividades de mantenimiento. Este enfoque busca mitigar tanto el riesgo como los costos asociados.

1.3.3 Justificación medioambiental

En la presente investigación mediante la mejora del plan de mantenimiento, también es importante y necesario considerar el manejo de los residuos como aceites y grasas, además un correcto almacenamiento, y un correcto desecho de componentes e insumos.

1.3.4 Justificación social

Poder investigar cómo mejorar la disponibilidad de una maquina es posible que impacte en el cuerpo humano del área de mantenimiento, debido que al contar con mejores prácticas de mantenimiento es posible incrementar el conocimiento técnico global del área.



1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Proponer el plan de mantenimiento de la flota de equipos de movimiento de tierra basado en la metodología RCM.

1.4.2 Objetivos específicos

- Examinar el estado situacional referente a los indicadores de mantenimiento de la flota de equipos de movimiento de tierra.
- Identificar los activos críticos de la flota de equipos de movimiento de tierra.
- Analizar las fallas mediante modo y efecto de falla (AMEF) de la flota de equipos de movimiento de tierra.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis general

- Mediante la metodología RCM es posible elaborar un plan de mantenimiento para la flota de equipos de movimiento de tierra de una empresa de alquiler de maquinaria.

1.5.2 Hipótesis específicas

- El estado situacional inicial del mantenimiento de la flota de equipos de movimiento de tierra establece la necesidad de aplicar RCM.
- Es justificado aplicar el análisis de criticidad de la flota de equipos de movimiento de tierra.



- Es necesario establecer los modos de falla y sus efectos mediante la herramienta AMEF.

1.6 VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de Variables

	VARIABLES	Definición	Indicadores
Variable independiente	Plan de Mantenimiento de la flota de equipos de movimiento de tierra	Actividades y frecuencias para el mantenimiento preventivo en base al RCM	Disponibilidad (Und)
Variable dependiente	Estado de los activos	Referente al estado mecánico y preservación de la máquina para cumplir con los objetivos del servicio	Disponibilidad (Und)

Elaborado por el equipo de trabajo



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes locales

(Velásquez Limachi, 2021). En la investigación llevada a cabo, se persiguió la comparación de la eficacia entre la aplicación del Mantenimiento Productivo Total (MPT) y el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) en los volquetes FMX pertenecientes a la cooperativa Santiago de Ananea LTD. Se emplearon tanto técnicas documentales como de campo para recabar información, abarcando la revisión y actualización exhaustiva de todos los procedimientos, matrices, instrumentos y formatos del sistema integrado de gestión. Durante el análisis, se aplicaron métodos como el análisis de causa-efecto y la elaboración del diagrama de Pareto con el fin de identificar fallos y proponer mejoras en el sistema de mantenimiento. Adicionalmente, se llevó a cabo el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMFE), y se procedió al cálculo del Índice de Prioridad de Riesgos (NPR). Los resultados obtenidos revelaron que tanto la implementación del Mantenimiento Productivo Total como del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad generaron mejoras significativas en el rendimiento de los volquetes FMX pertenecientes a la cooperativa minera Santiago. En detalle, mediante el Mantenimiento Productivo Total se logró una mejora de hasta el 86%, con una eficacia del 24%. Por otro lado, con el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, la mejora alcanzó el 84%, con una eficacia del 20%. Es esencial destacar que la participación activa de los mecánicos y operarios desempeñó un



papel fundamental en la obtención de mejoras notables en la eficiencia, logrando un aumento del rendimiento del 54% al 88%.

En la investigación (Salas, 2021). El objetivo primordial de la investigación fue desarrollar un PM basado en metodologías como PMO y RCM para el conjunto de tractores oruga, específicamente los Caterpillar D11T, en la minera del departamento de Tacna el área de Mantenimiento. Se llevó a cabo un análisis exhaustivo del plan de mantenimiento existente, enfocándose especialmente en la confiabilidad operacional de los activos. La aplicación de las metodologías PMO y RCM permitió identificar los factores que inciden directamente en la confiabilidad operacional de los tractores de orugas.

La implementación de este nuevo plan de mantenimiento se orientó principalmente a garantizar que estos activos mantuvieran una eficiencia óptima en sus funciones y cumplieran con los estándares exigidos en el proceso productivo. Esto implicó la determinación de políticas de mantenimiento óptimas. A lo largo del estudio, se examinaron minuciosamente los componentes del PM existente, evaluando su efectividad y eficiencia en términos de confiabilidad operacional. Se llevaron a cabo análisis detallados para identificar y comprender los factores que impactaban directamente en la confiabilidad, proponiendo mejoras fundamentadas en las metodologías PMO y RCM. La esencia de esta investigación radicó en analizar y perfeccionar el plan de mantenimiento mediante las metodologías PMO y RCM, con el objetivo final de asegurar que los tractores de orugas Caterpillar D11T se mantuvieran en óptimas condiciones de funcionamiento y cumplieran con las expectativas de rendimiento en el proceso productivo de una manera única y eficaz.



En la presente tesis (Morgan, 2022), La investigación se desarrolló en una unidad minera situada en la región sur del país, abarcando el período entre 2017 y 2019. Se excluyó el año 2020 debido a las complicaciones derivadas de la pandemia de COVID-19, las cuales afectaron el funcionamiento normal de las empresas mineras, incluyendo la disminución de la producción y diversas restricciones en los procesos mineros. El estudio adopta un enfoque descriptivo al basarse en hechos reales y ofrecer una interpretación precisa de la situación del nivel de servicio de la flota 797. Además, se presenta como un estudio explicativo, que se centra en la identificación de las razones detrás del deficiente nivel de servicio por parte de la empresa contratista responsable del mantenimiento de la flota de camiones, así como en la determinación de las circunstancias que contribuyen a estos inconvenientes. Su categorización como una investigación cuantitativa se sustenta en la intención de descubrir las causas que explican la naturaleza del objeto de estudio a través de la observación, la verificación y la experiencia. La justificación de este enfoque se deriva de la necesidad imperante de mantener de manera constante en funcionamiento las flotas de camiones estudiadas, las cuales desempeñan un papel crucial en la producción minera. Durante la ejecución del estudio, se recopiló información a partir de informes, registros de detenciones, historiales de fallos y reportes generados por el sistema de producción de equipos. Estos datos posibilitaron un diagnóstico inicial que reveló la no optimización del nivel de servicio y la presencia de una baja confiabilidad. En este contexto, se propusieron diversas estrategias inspiradas en el enfoque RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) con el propósito de sugerir e implementar mejoras en las estrategias de mantenimiento, buscando así



elevar el nivel de servicio de la empresa contratista en relación con la flota 797F de manera única y efectiva.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

(Labra Quispe, 2018), La investigación tuvo como objetivo principal desarrollar un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las maquinarias pesadas. Se llevó a cabo un exhaustivo diagnóstico de los sistemas y elementos, evaluando su funcionalidad y revisando el historial de fallas. Los componentes más críticos identificados incluyeron el cargador frontal CAT 938C, el tractor CAT D7C, la motoniveladora NEW HOLLAND RG 200 y la excavadora Komatsu PC 350L. La evaluación se basó en la matriz de criticidad para visualizar los tipos de fallas y sus modos correspondientes. Con la información recopilada, se formuló un plan de mantenimiento con el propósito de incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. Al concluir la investigación, se propuso un plan específico para los subsistemas críticos de las maquinarias pesadas mencionadas, contribuyendo así a la optimización de su rendimiento de manera efectiva.

(Medina, 2021), La investigación se enfocó en mejorar la gestión del mantenimiento mediante el análisis de modos y efectos de falla (AMEF) en la maquinaria pesada de la empresa Corporación Consulting Edsur S.A.C. en Huamachuco, La Libertad. Se empleó la herramienta principal del RCM en la flota de maquinaria pesada. Se aplicó la metodología correlacional para establecer relaciones entre variables y se recopilaron datos de la gestión de mantenimiento desde 2020 para realizar un análisis de costos. La identificación de equipos críticos se llevó a cabo mediante un diagrama de Pareto, destacando aquellos que



generaban costos elevados. La conclusión subrayó que el uso del AMEF permitió evaluar el estado de la flota y anticipar posibles riesgos en el funcionamiento de componentes como motores, cajas de velocidades y diferenciales. Este enfoque preventivo posibilitó la anticipación de mantenimientos mayores, evitando reparaciones costosas y previniendo daños ambientales, accidentes y otros inconvenientes.

(Narváez y Palza, 2020), En la investigación, se buscó mejorar los índices de mantenimiento de una flota de camiones Komatsu 730E. Se aplicaron los 7 pasos recomendados por la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) específicamente al sistema del motor mecánico Diesel. Este procedimiento implicó identificar las funciones principales del motor, analizar las fallas funcionales, determinar los modos de falla y sus efectos mediante el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF), evaluar las consecuencias de las fallas y, finalmente, establecer las tareas necesarias utilizando el diagrama de decisión de RCM. Estas acciones resultaron en mejoras significativas en los indicadores clave de la flota, superando las metas establecidas por la empresa en cuanto a disponibilidad, tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR).

(Meza, 2020). En el transcurso de la investigación, se centró en la eficiente implementación de un plan de mantenimiento preventivo respaldado por la metodología RCM. Se utilizaron diversos instrumentos, como cuestionarios, encuestas y fichas de reporte diario, para recopilar datos de la población estudiada, que incluyó maquinarias pesadas, con enfoque específico en la Excavadora CAT 336 perteneciente a la Compañía Minera Raura S.A. durante el año 2019. La muestra seleccionada comprendió 10 maquinarias pesadas operando en un solo



turno dentro de la empresa mencionada. Para analizar y procesar los datos recopilados, se empleó el paquete estadístico SPSS. Al concluir la investigación, se determinó que la implementación exitosa del plan de mantenimiento preventivo respaldado por la metodología RCM tuvo un impacto significativo en la mejora del rendimiento de la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada, en particular, la Excavadora CAT 336.

(Pravia, 2020), Se planteó realizar un análisis de la información histórica de los grupos electrógenos en una empresa ubicada en el sur de Perú, con el objetivo de cuantificar índices de mantenimiento relevantes y llevar a cabo una evaluación crítica del sistema de estos grupos electrógenos. Se empleó el método de Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMEF) para examinar el sistema, identificar posibles fallos y evaluar su impacto. Los resultados revelaron una disminución del 47% en la tasa de falla en comparación con el año 2017, así como una reducción del 93% en el tiempo no disponible, obtenida mediante el análisis y evaluación de los sistemas críticos de los grupos electrógenos. La aplicación del enfoque de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad permitió la identificación de posibles fallos y la revisión de los procedimientos de mantenimiento, generando mejoras significativas en la disponibilidad del plan de prueba (análisis de G.E.). En conclusión, se recomienda extender la aplicación de este método a todos los grupos electrógenos de RD RENTAL, destacando su eficacia en la identificación de fallos potenciales y la optimización de los procedimientos de mantenimiento.

(Alvarado & Jaime, 2019), Se propuso examinar la implementación de un sistema de mantenimiento basado en el RCM en una empresa dedicada al alquiler de maquinaria pesada para el sector minero. Para este fin, se emplearon las



metodologías de Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF) y árbol de decisiones, ampliamente utilizadas en este tipo de estudios. La investigación adoptó un enfoque aplicado con un diseño no experimental. Como conclusión, se resaltó la necesidad crítica de que las empresas posean competencias específicas, técnicos capacitados y un equipo en óptimas condiciones para establecer alianzas estratégicas con sus clientes. El éxito de estas empresas se fundamenta en la consolidación de la disponibilidad y calidad de sus equipos, asegurando así el cumplimiento de plazos y la operatividad efectiva en las instalaciones de los clientes. Además, se enfatizó la importancia de contar con recursos técnicos y alianzas estratégicas para garantizar la efectividad en la implementación del sistema de mantenimiento basado en el RCM.

(Chuquimango Morocho, 2018), Se propuso la creación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) específicamente dirigido a la flota de retroexcavadoras hidráulicas 336DL, con el objetivo de reducir los costos asociados a las reparaciones en Coansa del Perú Ingenieros S.A.C. En la fase inicial del proyecto, se realizó un diagnóstico minucioso de las áreas de mantenimiento para identificar los elementos que contribuyen a las demoras y los costos relacionados con las reparaciones de las retroexcavadoras. Luego, se evaluaron los indicadores de mantenimiento con la intención de minimizar los costos operativos y se implementó una estrategia de mejora continua para garantizar la confiabilidad de los equipos. Los resultados derivados de la aplicación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad indicaron mejoras sustanciales en la disponibilidad y operatividad de los equipos, acompañadas de una disminución en la frecuencia de fallas, los costos de



mantenimiento y los costos de indisponibilidad por fallo. Además, la evaluación financiera señaló que el proyecto es económicamente viable.

2.1.3 Antecedentes Internacionales

(Morales & Alberto, 2016), Se abordó la necesidad de construir una vía alternativa para la población de Amojileca, conectando con el pueblo de Omiltemi debido a un derrumbe en los kilómetros KM 5+800 al 7+200 de dicho lugar. En este contexto, se consideró crucial implementar un plan de mantenimiento para la maquinaria pesada con el propósito de reducir el tiempo de inactividad y aumentar la productividad de las empresas involucradas. Para la planificación, se aseguró contar con los recursos óptimos necesarios para satisfacer la carga de mantenimiento proyectada, utilizando la ruta crítica para el desarrollo y control del proyecto. Como conclusión, se resaltó que la planificación del mantenimiento incide directamente en la reducción de la inactividad generada por paros no programados de maquinaria. La elección adecuada de actividades y el uso eficiente de equipos para prevenir fallas mecánicas contribuyen a garantizar el rendimiento óptimo de la maquinaria, subrayando así la importancia de una planificación de mantenimiento efectiva.

(Torres & Sebastián, 2018), En su investigación, el enfoque fue el desarrollo de un plan de mantenimiento específicamente destinado a los equipos de pavimentos y movimientos de tierras en la empresa JMS. El proceso metodológico se inició con la recopilación de datos y una evaluación exhaustiva del mantenimiento practicado en la empresa. La formulación del plan de mantenimiento adaptado se basó en la experiencia técnica y la información proveniente del manual del fabricante, teniendo en cuenta el horómetro de las



máquinas o las horas de trabajo acumuladas. Se implementó un enfoque de mantenimiento basado en la confiabilidad, aprovechando la información recopilada para lograr una mayor eficacia en la reducción de costos y mejorar la disponibilidad de las máquinas. Al concluir la investigación, se diseñó e implementó el plan de mantenimiento, logrando un mayor control sobre las máquinas mediante análisis estadísticos que abarcaron desde el inicio hasta la conclusión del estudio. Este enfoque holístico permitió una gestión más efectiva de los equipos, contribuyendo significativamente a la optimización de los procesos de mantenimiento en la empresa JMS.

(Diaz, 2021), En la investigación, el enfoque central fue la optimización de un plan de mantenimiento basado en L-RCM para los equipos de la flota de tractores orugas de la empresa Carbones del Cerrejón Limited. La problemática principal residía en la baja confiabilidad y disponibilidad de los equipos tractor oruga CAT D9T. Para abordar estos desafíos, se implementó la metodología de RCM viviente (L-RCM) a través de varias fases. En una primera etapa, se procedió a la actualización del análisis de RCM de la flota de tractores, documentando dicha información en el Software RCM Costa. Se codificaron los análisis RCM de los diferentes sistemas, componentes y partes, considerando funciones, fallas funcionales y causas definidas en el análisis RCM. La evaluación de criticidad destacó que el subsistema de combustible, cilindro de brazo, bomba hidráulica y lubricación eran sistemas críticos. Al concluir la investigación, se enfatizó la importancia de llevar a cabo el mantenimiento centrado en la confiabilidad (L-RCM) de manera colaborativa con el personal de producción. Esta colaboración se reveló como crucial para alcanzar indicadores sólidos de confiabilidad y disponibilidad en los tractores, subrayando así la necesidad de una



implementación participativa y coordinada de la metodología L-RCM en el entorno operativo.

(Flores & Molina, 2021), En este estudio, el objetivo primordial fue implementar un plan de mantenimiento basado en RCM para la flota de camiones de la empresa pública EMMAI-PC, encargada de la recolección de residuos sólidos en la comuna de Biblián, Cañar, Suscal y Cañar. El proceso se inició con la recopilación de información e historiales de mantenimiento proporcionados por el departamento de mantenimiento automotriz de la empresa, los cuales fueron ordenados y analizados. Para focalizar el enfoque del estudio, se aplicó la teoría de Pareto, que facilitó la identificación del 80% de los elementos responsables de diversas fallas y permitió concentrar los esfuerzos en su resolución. Este enfoque se reveló esencial para priorizar las áreas críticas y mejorar la eficiencia del plan de mantenimiento implementado. Al finalizar la investigación, se obtuvieron conclusiones específicas sobre las mejoras logradas en la confiabilidad y rendimiento de la flota de camiones, lo cual contribuyó de manera significativa a la gestión efectiva de los residuos sólidos en las áreas mencionadas.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Mantenimiento

Según (BSG institute, 2022), indica para un mejor entendimiento del mantenimiento se apoya de diversos autores, organismos, normas, etc. (párr. 3).

- En la Norma Francesa AFNOR NF X 60-010, el término mantenimiento se define como "el conjunto de acciones destinadas a conservar o restaurar un bien a un estado especificado o a una condición que le permita proporcionar un servicio específico."



- Según la Norma Británica BS 3811, el mantenimiento se describe como un conjunto de acciones técnicas y administrativas orientadas a preservar un objeto o restaurarlo a un estado que le permita cumplir con la función deseada. La función deseada puede definirse en términos de una condición previamente establecida.
- Según la Organización Europea de Mantenimiento, se describe el mantenimiento como la actividad empresarial encargada de la constante supervisión de las instalaciones. Además, abarca el conjunto de labores de reparación y revisión indispensables para asegurar el funcionamiento regular y el adecuado estado de conservación de las instalaciones productivas, servicios e instrumentación presentes en los establecimientos.
- Según (González, 2005), el mantenimiento industrial es una función estratégica esencial en las operaciones empresariales, reconocida y respaldada por todos los niveles de gestión. Sin embargo, en ocasiones se descuida o se relega a un segundo plano, tratándolo simplemente como un gasto necesario que los directivos deben asumir.
- Según (García , 2003), Se pueden identificar tres categorías de mantenimiento, las cuales se distinguen entre sí por la naturaleza de las actividades que involucran. Cada una de estas clasificaciones aborda aspectos específicos en el ámbito del mantenimiento:



Tabla 2

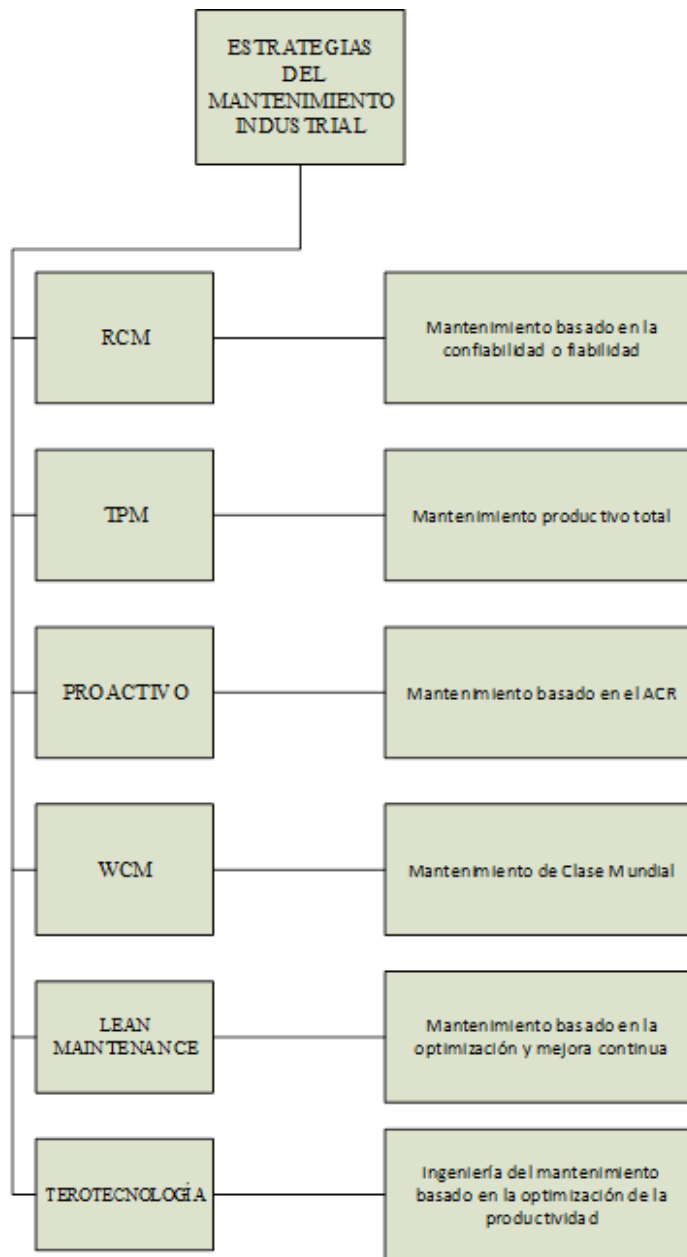
Tipos de mantenimiento

Tipos de Mantenimiento	Definición
Mantenimiento Preventivo	Su propósito fundamental radica en garantizar un nivel de servicio específico, el cual varía según los equipos, mediante la planificación de intervenciones en sus áreas susceptibles en el momento más adecuado. Este enfoque proactivo busca anticiparse a posibles fallos y optimizar la eficiencia operativa, contribuyendo así a la continuidad y rendimiento óptimo de los equipos involucrados.
Mantenimiento Predictivo	Se encarga de evaluar de manera continua y comunicar de manera constante la condición y funcionamiento de las instalaciones, utilizando información derivada de valores específicos de variables que son indicativas de su estado y operatividad. Esta práctica facilita una supervisión constante y proporciona información esencial para tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y la gestión eficiente de las instalaciones.
Mantenimiento correctivo	Son labores orientadas a subsanar los fallos que surgen en diversos equipos, los cuales son notificados por los usuarios afectados.

Fuente: (Santiago García Garrido,2003)

Figura 1

Estrategias del mantenimiento



Fuente: reproducido de Carcél (2014)

2.2.2 Indicadores del mantenimiento.

Los indicadores de mantenimiento constituyen estadísticas o métricas de gran relevancia al evaluar el estado de los activos en una empresa. Entre los indicadores fundamentales, se encuentran según (Rey, 1996):

2.2.2.1 Tiempo medio de reparaciones (MTTR)

Se refiere al tiempo promedio que se requiere para reparar un equipo o sistema después de que ha ocurrido una falla. Representa el tiempo que lleva desde que se detecta la falla hasta que el equipo vuelve a estar en funcionamiento. Un MTTR bajo indica que el equipo puede ser reparado rápidamente, lo que contribuye a una mayor disponibilidad y tiempo de funcionamiento. (Moubray, 2005)

El tiempo promedio de restauración, denominado MTTR, representa una medida destinada a cuantificar el período promedio necesario para restablecer la funcionalidad normal de la planta o del componente de equipo en el evento de una falla. (Smith & Hinchcliffe, 2003)

$$MTTR = \frac{\text{Suma de los tiempos de paradas}}{\text{suma del número de paradas}}$$

2.2.2.2 Tiempo medio entre fallas (MTBF)

El tiempo promedio entre fallas, conocido como MTBF, constituye una métrica que evalúa la duración promedio durante la cual una planta industrial (o un componente individual del equipo) operará según las especificaciones establecidas antes de que se presente una falla imprevista. (Smith & Hinchcliffe, 2003)

Según el autor Moubray (2005) en su libro. Dentro del marco de la "Confiabilidad Centrada en el Mantenimiento" (RCM2), el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) constituye un concepto fundamental en la gestión de mantenimiento y en la evaluación de la confiabilidad de equipos y sistemas industriales. Este término se emplea para evaluar y analizar el rendimiento y la

disponibilidad de activos industriales y representa el lapso promedio entre dos fallos consecutivos en un equipo o sistema. En otras palabras, se trata del tiempo promedio durante el cual un componente o sistema opera sin experimentar una falla. El cálculo del MTBF implica dividir el tiempo total de operación entre el número de fallos que ocurren durante ese periodo. Este indicador proporciona una medida de la confiabilidad de un equipo y se utiliza para valorar la probabilidad de que experimente fallas con frecuencia.

$$MTBF = \frac{\text{Suma de tiempos de buen funcionamiento}}{\text{suma del número de paradas}} (\text{minutos})$$

2.2.2.3 Disponibilidad

Es una medida que analiza la eficiencia de los componentes que desempeñan una tarea específica en un momento y período determinados, basándose en criterios de fiabilidad, capacidad de mantenimiento y apoyo para el mantenimiento de los equipos.

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} (\text{minutos})$$

2.2.2.4 Mantenibilidad

Es la probabilidad de que un sistema industrial cumpla sus funciones después de una avería.

$$U = \text{tasa de mantenibilidad} = 1/MTTR (\text{minutos})$$

2.2.2.5 Tasa de fallo:

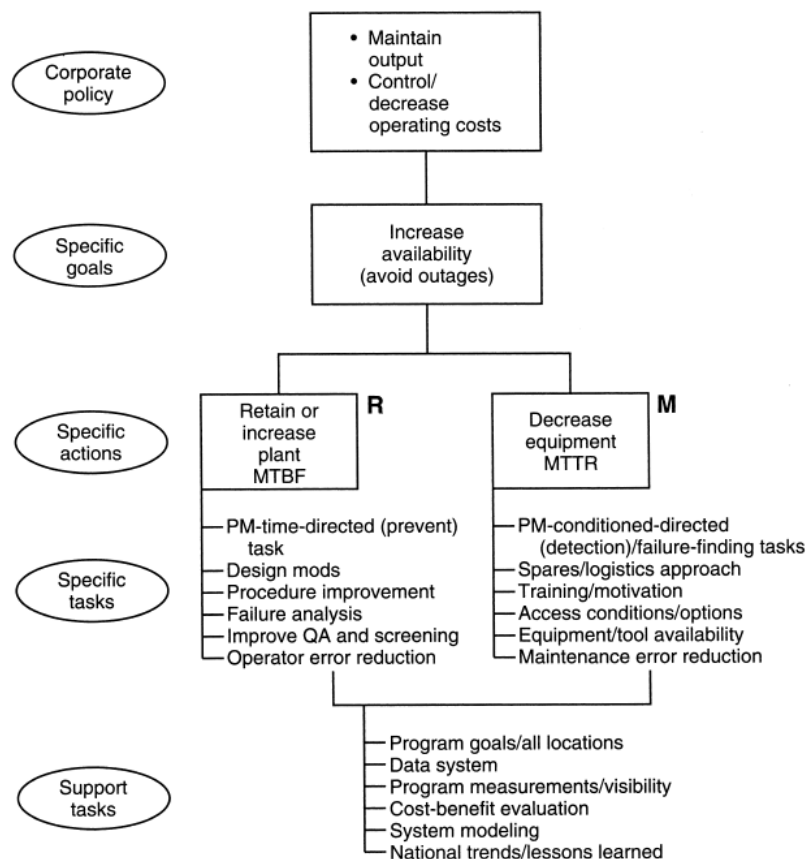
Es la relación entre el número de fallos y número de piezas producidas o minutos de producción.

$$\Lambda = 1/ \text{MTBF (minutos)}$$

Los parámetros a ser tomados en cuenta abarcan la optimización del valor del MTBF, a través de la reducción de las ocurrencias de interrupciones, mediante la implementación de un diseño sólido, una ejecución de construcción adecuada, un montaje preciso y, por supuesto, la aplicación efectiva de las prácticas de mantenimiento preventivo. En lo que concierne al MTTR, desde la perspectiva de la ingeniería, el enfoque reside en su reducción mediante la mejora de los lapsos de intervención durante los períodos de inactividad planificada. De este modo, se amplía la disponibilidad de los equipos y se favorece la factibilidad de las operaciones de mantenimiento.

Figura 2

Programa de mejora de la disponibilidad – Key issues



Fuente: (Smith & Hinchcliffe, 2003)



2.2.3 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Según (ALTMANN, s. f.), El experto en confiabilidad de flotas destaca la importancia de que la alta dirección se involucre de manera total en liderar los procesos de formación, motivación y estímulo de los equipos de trabajo. Asimismo, subraya la necesidad de impulsar la adopción de nuevas actitudes, asegurar la seguridad, fomentar el desarrollo personal y profesional, y reconocer los éxitos alcanzados. Estas acciones tienen como propósito generar una participación activa y comprometida de los empleados en la organización.

El enfoque del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) asegura que el equipo desempeñe eficazmente las funciones para las cuales fue incorporado en un proceso productivo. En otras palabras, el RCM se orienta a garantizar que un proceso o equipo no experimente fallos durante su operación.(Montilla, 2007, p.273)

Según (Fore & Msipha, 2010) , explica que el RCM es una forma más estructurada de utilizar los mejores métodos y disciplinas, así mismo el RCM rige la política de mantenimiento a nivel de planta o tipo de equipo. Una de las ventajas de la implementación del RCM en los procesos / equipos es la planificación más robustas y efectivas de los programas de mantenimiento, incluso en situaciones que no se tiene acceso a la información.

La filosofía RCM propone la priorización del mantenimiento de los componentes identificados como críticos para el funcionamiento adecuado de la instalación, permitiendo que los componentes no críticos operen hasta su fallo, momento en el cual se implementaría el mantenimiento correctivo correspondiente. (Cárcel, 2014, p.133).



Según (García Garrido, 2003), indica los beneficios del RCM:

- Mejor percepción de del funcionamiento de los equipos
- Análisis de los posibles fallos de un equipo, con una comprensión de los mecanismos que tratan de evitarla, ya sea por parte operacional o propio del equipo.
- Las operaciones van a tener planes que garanticen a los equipos. Estos planes van a englobar, planes de mantenimiento, procedimientos, modificaciones para la mejora continua, control del stock de los repuestos más recurrentes.

Las fases que se deben considerar después del análisis de criticidad de los equipos son:

- Definir los fallos funcionales y técnicos de los sistemas que componen cada uno de los equipos
- Definir los modos de fallo, tanto técnicos como funcional
- Definir las medidas preventivas para evitar los efectos de fallos o que se amortigüen.
- Determinación de las tareas a cada sistema y ajuste a su modelo de mantenimiento.
- Especificar la frecuencia óptima de cada tarea.
- Elaboración de un PM inicial y agrupar la tarea en rutas y gamas.
- Puesta en marcha las rutas, gamas y corrección al plan inicial.



2.2.3.1 Proceso de implementar un plan de mantenimiento RCM.

Según Moubray (2005), El autor señala que, previo a asignar un proceso con el fin de determinar las acciones necesarias para que cualquier activo físico siga cumpliendo con las expectativas del usuario, es esencial llevar a cabo dos pasos fundamentales. En primer lugar, se requiere identificar y comprender las funciones y objetivos específicos que el usuario espera del activo. En segundo lugar, es necesario evaluar y comprender las posibles maneras en que el activo puede fallar en el desempeño de dichas funciones, así como las consecuencias asociadas a esos fallos. Estos pasos son cruciales para establecer un enfoque de mantenimiento efectivo y orientado a la confiabilidad:

- Determinar qué es lo que su usuario quiere que haga.
- Asegurar que el activo físico sea capaz de realizar lo que el usuario quiere que haga.

Por tal motivo se debe definir las funciones y parámetros de cada activo en su contexto operacional. Para ello las capacidades de los activos se puede dividir en dos categorías:

- Las funciones primarias se encargan de condensar el propósito detrás de las adquisiciones, abordando aspectos significativos como la velocidad, la producción y la capacidad de almacenamiento, entre otros elementos cruciales. Estas funciones esenciales actúan como pilares fundamentales que definen la razón de ser de los activos dentro de una empresa.
- Las funciones secundarias, por otro lado, implican la expectativa de que el activo aporte más allá de sus funciones designadas inicialmente. Este



aspecto se relaciona con diversos elementos, como la seguridad, el confort, la economía y otros aspectos relevantes. Estas funciones adicionales se consideran como un valor añadido que va más allá de las tareas fundamentales del activo, contribuyendo a aspectos clave de operatividad y eficiencia en diversos contextos.

El usuario del activo físico debe estar involucrado en el proceso del RCM desde el comienzo, ya que es el mismo que evalúa las contribuciones del activo hacia la organización como un todo.

Antes de implementar el RCM se tiene el conocimiento de las funcionalidades del activo físico de igual forma a cuál de ello será sometido a la revisión de RCM. Para ello se debe contar con un registro de planta que se adecua para este análisis.

A) Lineamientos

Según Moubray (2005), indica que el éxito del RCM está en el planeamiento y preparación, los principales elementos del planeamiento son:

- Definir cuál de los activos se beneficiará más y de igual manera el cómo se dará.
- Evaluación de los recursos requeridos.
- Decidir personal adecuado con las responsabilidades de auditorías.
- Asegurar el entendimiento de los activos físicos en su operacionalización.

B) Grupos de revisión

En el contexto del proceso RCM, comúnmente, el personal de mantenimiento se enfrenta a la limitación de no poder responder todas las preguntas por sí solo. Muchas de las respuestas y conocimientos necesarios residen en el personal de producción u operación. Por esta razón, es imperativo que los requerimientos de mantenimiento sean abordados en pequeños grupos, en los cuales participen tanto el personal de operaciones como el de producción. La *Figura 3*, ilustra un modelo de grupo diseñado para la revisión del RCM.

Figura 3

Modelo de grupo de revisión RCM



Fuente: Moubray (2005)

El empleo de estos grupos no solo permite la gerencia del conocimiento del proceso sistemático y de la experiencia del personal, sino también del entrenamiento de cada uno de ellos.

C) Facilitador.

Los facilitadores son los especialistas del RCM que trabajan conjuntamente con el grupo de revisión, los facilitadores tienen las funciones de:

- Definición de los límites de los sistemas, revisión del ítem y el análisis del RCM se lleve a cabo en el nivel correcto.



- Difusión y entendimiento de los miembros de los equipos.
- Llevar al grupo de trabajo a un consenso rápido y ordenado, manteniendo el entusiasmo de los miembros de forma individual.
- El proceso se realice de una forma ágil.

D) Resultados de un análisis de RCM

Moubray (2005), indica que aplicando lo anteriormente descrito se tiene los siguientes resultados tangibles.

- Planes de mantenimiento que el departamento puede implementar.
- Detallada enumeración de modificaciones en el diseño del activo físico o en la forma en que opera.
- Procedimientos de operación destinados a los operadores del activo.

Después de examinar y aprobar las sugerencias propuestas, se avanza hacia la ejecución de los planes de mantenimiento destinados a los sistemas de control y a la modificación en los procedimientos operativos estándar de los activos físicos. Este paso marca la fase práctica donde las recomendaciones se traducen en acciones concretas, ajustando los procesos operativos para optimizar el rendimiento y la gestión de los activos.

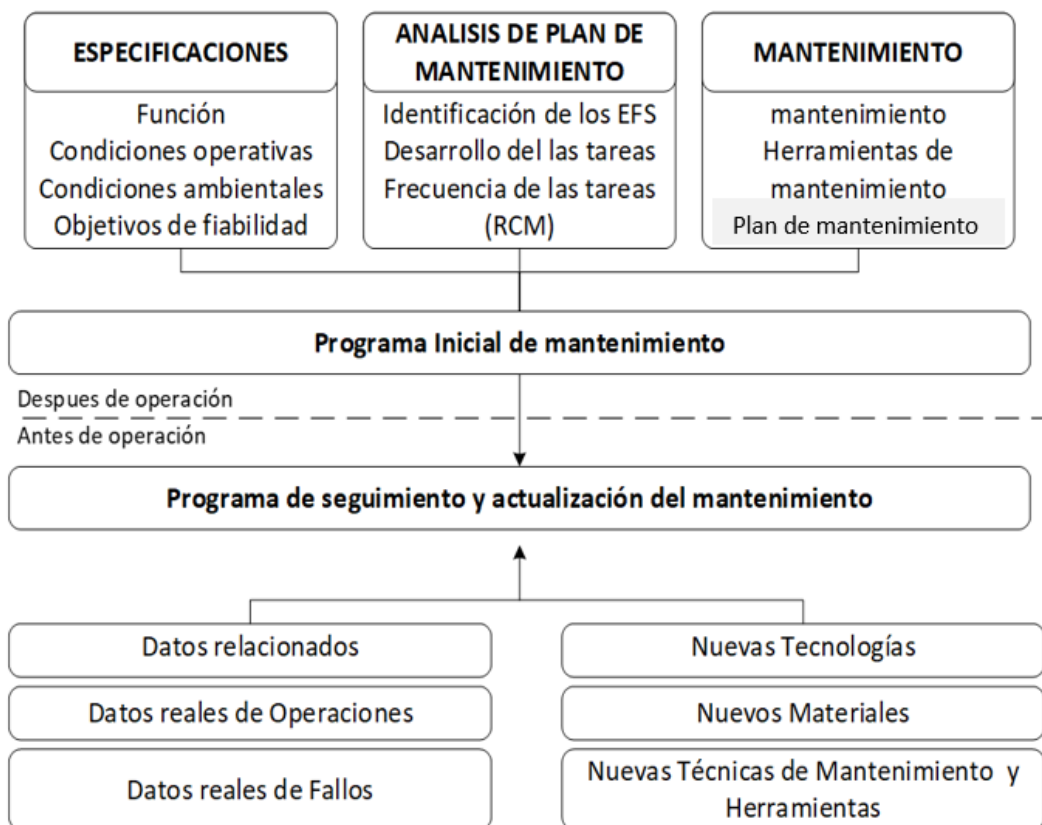
En el proceso de implementación de un plan de mantenimiento RCM se debe considerar los siguientes pasos:

- Elección del sistema y su correspondiente documentación.
- Establecimiento de los límites del sistema.

- Creación de un diagrama funcional del sistema.
- Reconocimiento de funciones y fallas funcionales.
- Desarrollo de un análisis nodal de fallos y efectos.
- Creación de un árbol lógico de decisiones.
- Identificación de las tareas de mantenimiento pertinentes.
- Aplicación de recomendaciones y supervisión de los resultados.

Figura 4

Desarrollo de un programa de mantenimiento basado en RCM



Fuente: (UNE 200001-3-11:2003 Gestión de la confiabilidad. Parte 3-11: .2015.)

2.2.3.2 Jerarquización de activos

Según (Medina, 2021), La clasificación jerárquica se utiliza con el fin de otorgar relevancia a los equipos que generan costos significativos para la empresa, dividiéndolos en categorías críticos (C), semi-críticos (SC) y no críticos (NC). En este contexto, la evaluación de la criticidad de los equipos se posiciona como la piedra angular para mejorar la gestión de mantenimiento de los equipos más destacados en la empresa. Factores esenciales como producción, costos operativos y de mantenimiento, índice de fallos y tiempo de reparación son tomados en cuenta para determinar la criticidad de los equipos. De acuerdo con la metodología propuesta por John Moubray, la creación de una matriz de criticidad implica asignar ponderaciones y valores específicos a cada criterio, ajustándolos según las particularidades de cada equipo. Este enfoque facilita la clasificación de los sistemas de acuerdo con su nivel de criticidad, permitiendo una gestión más eficiente y focalizada en los aspectos que requieren mayor atención.

Figura 5

Matriz de Criticidad

F R E C U E N C I A	N · · · · · 3 2 1	SC	SC	C	C	C	C	C
		SC	SC	SC	C	C	C	C
		NC	SC	SC	SC	C	C	C
		NC	NC	SC	SC	SC	C	C
		NC	NC	NC	SC	SC	C	C
		1	2	3	·	·	·	M
		IMPACTO						

Fuente: Matriz de criticidad adaptado de reliability centered maintenance por John Moubray

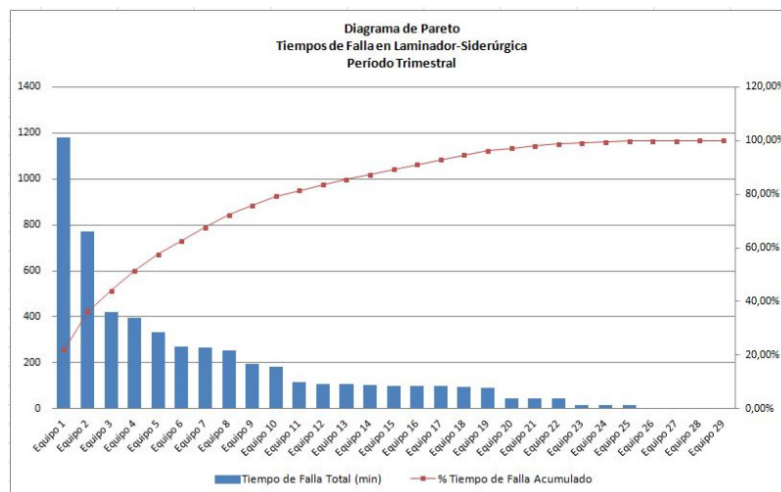
La evaluación se fundamenta en análisis probabilísticos de riesgo, mediante la obtención de índices de riesgo del activo (PRA y PRN). La información necesaria para este análisis puede extraerse de los registros históricos de cada equipo.

2.2.3.3 Análisis de Pareto

La norma de Pareto plantea que aproximadamente el 80% de las consecuencias derivan de alrededor del 20% de las causas, aunque estas cifras no son precisas y se consideran basadas en observaciones empíricas. Este principio, también conocido como la regla 80-20 o "pocos vitales y muchos triviales", puede ser aplicado mediante diagramas de Pareto en entornos industriales para detectar anomalías, identificar áreas de mejora y desarrollar estrategias para prevenir pérdidas económicas debido a fallas o averías en los activos fijos.

Figura 6

Diagrama de Pareto de tiempo de falla de equipos



Fuente: Siderúrgica CAP acero



2.2.3.4 Análisis de modos y efecto de fallas (AMEF)

Se presenta como una herramienta sistemática destinada a evaluar los modos de fallos y sus causas asociadas en los procesos de diseño y fabricación de un nuevo producto. En este procedimiento, se genera un detallado listado de los posibles modos de fallo para cada componente o sub-ensamblaje, asignándoles a cada uno una calificación numérica en relación con la frecuencia de ocurrencia, la importancia crítica y la probabilidad de detección. Concluyentemente, estas tres calificaciones se multiplican para obtener el número de prioridad de riesgo (NPR), un indicador que orienta la atención hacia los problemas más críticos en el diseño. Los casos que exhiben los valores más altos de NPR son abordados prioritariamente, con el propósito de recomendar acciones específicas para mitigar los niveles de severidad, ocurrencia y/o detección. Esta estrategia busca mejorar la calidad y fiabilidad del producto en desarrollo, centrándose en los aspectos que requieren intervención prioritaria. (Maldonado & Graziani, 2007)

La evaluación de modos y efectos potenciales (AMEF) constituye un procedimiento sistemático destinado a descubrir posibles fallos en el diseño de un producto o proceso antes de que se materialicen. (Martínez, 2004).

El AMEF está diseñado para:

- Reconocer y evaluar las posibles causas de fallas en el proceso de fabricación o servicio que puedan resultar en la disminución de la ocurrencia de la falla.
- Identificar y evaluar la posible falla de un proceso o producto.

- Identificar las acciones necesarias para disminuir la probabilidad de que la falla se produzca.

El FMEA (Análisis de Modos y Efectos de Fallas, por sus siglas en inglés) es un enfoque analítico estructurado que se emplea para prever y detectar posibles fallas en el proceso de desarrollo de un producto o sistema, con el propósito de evitar su ocurrencia durante la fase de ingeniería.

Figura 7

Cuadro referencial de AMEF de fallas de camión

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA							
ANALISTAS:	CACERES MARCHENA REYNALDO LIZANDRO			PLANTA:	TRUCK SHOP		
FECHA:	LEÓN YATACO ALEX LESTER			ÁREA:	TALLER MANTENIMIENTO CAMIONES		
TIPO OPERACIÓN:	martes, 15 de diciembre de 2015			FALLA FUNCIONAL N°:	001		
	MINERA DE TAJO ABIERTO			FALLA FUNCIONAL TÍTULO:	FALLAS EN EL SISTEMA COMBUSTIBLE Y BLOCK CULATA		
SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE LAFALLA	EFECTO DE LAFALLA	CONSECUENCIA DE LA FALLA	ACCIONES RECOMENDADAS
COMBUSTIBLE	BOMBA DE CEBADO	La bomba de cebado es utilizada para cebar (llenar de líquido) el sistema combustible cuando este ha sido puesta en servicio.	No se está funcionando correctamente la bomba de cebado.	No se está purgando el sistema combustible	Se llena de bolsas de aire en el interior.	Operacional	Programar un ajuste periódico para purgar el sistema combustible en cada mantenimiento preventivo.
	CIGÜEÑAL	Sirve para girar el pistón, el cual comprime la mezcla aire combustible pulverizado por los inyectores.	El cigüeñal no entrega el torque requerido.	Los cojinetes del eje cigüeñal están desgastados.	Hay muy poca o casi nada de grasa en los rodamientos	Operacional	Se debe realizar una inspección más minuciosa dentro de los mantenimientos preventivos.
				El RPM es demasiado bajo	Mala combustión de la mezcla aire combustible, fuga de aire o combustible antes de llegar a la cámara.	Operacional	
				El cigüeñal esta desalineado	Desgaste del soporte del cigüeñal.	Operacional	
	BALANCINES	Transmiten el movimiento de la leva, bien directamente o desde los empujadores, a las válvulas	La presión producida en la cámara de combustión es muy baja.	Balancines trabados.	Se quebró un resorte por excesivo ajuste	Operacional	Hacer una revisión por lo menos una vez a la semana para observar si los resortes de encuentran en buen estado de lo contrario hacer el cambio inmediatamente.
				Obstrucción en la línea de aire	Ingreso de impurezas ya que el filtro no está cumpliendo su función.	Operacional	Hacer revisiones periódicas y/o cambiar filtro de aire si es necesario.

Fuente: Tesis Cáceres Marchena

2.2.4 Equipos de movimiento de tierras

Dentro del contenido presentado en la investigación de Portal Arribasplata (2016) se enfatiza que el Movimiento de Tierras engloba una serie de operaciones llevadas a cabo en terrenos naturales con el propósito de alterar sus formaciones originales y prepararlos para el depósito o transporte de materiales en la construcción de infraestructuras de envergadura, como carreteras, vías férreas, túneles, proyectos civiles y sistemas hidráulicos.



En este contexto, la maquinaria concebida para el Movimiento de Tierras ha sido meticulosamente diseñada para desempeñar diversas funciones, que incluyen las siguientes:

- Excavación.
- Carguío.
- Transporte.
- Descarga.
- Extensión y compactación.

Esta variedad de tareas es ejecutada mediante el empleo de equipos especializados, entre los cuales se pueden mencionar:

- **Excavadora:** Este dispositivo es fundamental para la ejecución de tareas de corte y modelado de pendientes, excavación de zanjas para la disposición de tuberías, cables y sistemas de drenaje, así como la creación de rampas. Además, esta máquina se destaca por su capacidad de corte y carga.
- **Tractores:** Comúnmente identificados como bulldozer, estos vehículos, a menudo equipados con cadenas para su desplazamiento, son esenciales para la remoción y el empuje de tierra mediante su lámina frontal.
- **Motoniveladoras:** Estos equipos tienen un papel primordial en la homogeneización de materiales durante la conformación de vías y carreteras, contribuyendo así a la calidad de las estructuras en desarrollo.



- **Rodillo Compactador:** Caracterizado por su mecanismo vibratorio, este dispositivo se utiliza para conferir el acabado definitivo a plataformas y superficies viales, asegurando una compactación adecuada.
- **Cargador frontal:** Con su funcionalidad centrada en el manejo de material suelto, este equipo desempeña un papel crucial en las tareas de carga y transporte en el ámbito del Movimiento de Tierras.

2.2.4.1 Excavadora Hidráulica sobre oruga – PC 350-8M0

Para lograr un rendimiento óptimo de una excavadora, es esencial elegir el equipo adecuado, ya que estas máquinas son herramientas fuertes y versátiles que destacan en diversas operaciones.(IPESA, 2020)

A) Características

- Motor SAA6D114E reduce la emisión de NOx en un 33% comparado con el PC350-7. El motor tiene una equivalencia a la norma de emisión en U.S. EPA Tier 3 y EU Etapa 3A
- Sistema de operación con bajo ruido, diseñado con un motor de bajo ruido y métodos para cortar el ruido en la fuente.
- Economizador de energía, equipada con el medidor ECO de fácil visión.
- La Excavadora está equipada en seis modos de trabajo (P, E, L, B, ATT/P y ATT/E modo) todos coinciden referente a las velocidades del motor.
- Mangueras de retorno mejorado para suavizar la carga.

- Dos modos de configuración para el aguilón, un modo suave (colectar rocas) y modo potencia (excavaciones)
- Fuerza máxima de barra de tiro de 264 kN (26900 Kg)
- Protector térmico y de ventilación.

Figura 8

Excavadora Hidráulica sobre oruga – PC 350-8M0



Fuente: Komatsu Mitsui (2016)

Tabla 3

Especificaciones técnicas generales excavadora PC350-8M0

Característica	Especificación	Característica	Especificación
Peso	34.35t	Longitud de transporte	11.285 m
Anchura transporte	3.19 m	Altura de transporte	3.45 m
Capacidad cuchara	2.4m3	Mecanismo de dirección	LC
Anchura orugas	600 mm	Pluma	MB
Max. Alcance lateral	10.535 m	Profundidad de excavación	6.745 m
Fuerza de rotura	200kN	Ancho de cuchara	1.474 m
Fab. Del motor	Komatsu	Modelo de motor	SAA6D114E-3
Rendimiento de motor	194KW	Cilindrada	8.27 l
Revoluciones	1950rpm		


Fuente: Komatsu Mitsui (2016)

B) Especificaciones de Partes principales

Dentro de las especificaciones principales tenemos las siguientes:

Figura 9


Especificaciones del sistema de potencia de la excavadora

 MOTOR DIESEL	
Modelo	Komatsu SAA6D114E-3
Tipo.....	Enfriado por líquido refrigerante, 4 ciclos, inyección directa
Aspiración	Turboalimentado y postenfriado
Número de cilindros.....	6
Diámetro.....	114 mm 4.49"
Carrera.....	135 mm 5.31"
Desplazamiento del pistón	8.27 ltr 505 plg ³
Potencia neta	
SAE J1995.....	Bruta 260 HP
ISO 9249 / SAE J1349	Neta 250 HP
Rpm nominales.....	1950 rpm
Tipo de impulsor del ventilador	Mecánico
Gobernador.....	Controla todas las velocidades, electrónico
Torque.....	1109N.m(SAE J1349/ISO9249 a 1450 rpm
Cumple con EPA Tier 3, y las regulaciones sobre emisión de EU etapa 3A.	

Fuente: Especificaciones del catálogo excavadora, por Komatsu Mitsui (2016)

Figura 10

Especificaciones del sistema hidráulico de la excavadora PC350-8M0

 SISTEMA HIDRÁULICO	
Tipo	Sistema Hydraumind (Nuevo Diseño de Inteligencia Hidraulicomecánica) de Centro Cerrado con válvulas sensoras de carga y válvulas compensadoras de presión
Número de modos de trabajo seleccionable	5
Bomba principal:	
Tipo	Tipo pistón de desplazamiento variable
Bombas para	Circuitos del aguilón, brazo, cucharón, giro y traslado
Flujo máximo	535 ltr/min 141 U.S. gal/min
Suministro para el circuito de control	Válvula auto-reductora
Motores hidráulicos:	
Marcha	2 x motor de pistones axiales con freno de estacionamiento
Giro	1 x motor de pistones axiales con freno de retención
Regulación de válvulas de alivio:	
Circuito de implementos	MPa 380 kg/cm² 5,400 psi
Circuito de traslado	MPa 380 kg/cm² 5,400 psi
Circuito de giro	27.9 MPa 285 kg/cm² 4,050 psi
Circuito piloto	3.2 MPa 33 kg/cm² 470 psi
Cilindros hidráulicos:	
Número de cilindros—diámetro x carrera x diámetro de vástago	
Aguilón . . .	2 – 140 mm x 1480 mm x 100 mm 5.5" x 58.3" x 3.9"
Brazo	1 – 160 mm x 1825 mm x 110 mm 6.3" x 71.9" x 4.3"
Cucharón	para Brazos de 3.2 m 10'5" y 4.0 m 13'2"
	1-140 mm x 1285 mm x 100 mm 5.5" x 50.6" x 3.9"
	Para el brazo 2.54 m 8'4"
	1-150 mm x 1285 mm x 110 mm 5.9" x 50.6" x 4.3"

Fuente: Especificaciones del catálogo-excavadora, por Komatsu Mitsui (2016)

C) Sistema de mandos controles e indicadores

- **Interruptor hidráulico:** Es una herramienta de fijación, se utiliza para romper lechos de rocas y superficies pavimentadas, demoliendo estructuras de hormigón, etc. La gran cámara de gas, la relación de gas ideal y el pistón de gas con una potencia fuerza de impacto FUR, dado que la unidad de interruptor no requiere un acumulador, el número de piezas que tiene se ha reducido, lo cual es de menor costo de mantenimiento.

Figura 11

Interruptor Hidráulico



Fuente: Komatsu Mitsui (2016)

- **Trituradora:** Se utiliza para demoler concreto, mecanismo de bajo ruido y de baja vibracionalidad, es adecuado para el trabajo en áreas urbanas. La apertura está equipada con una válvula de aceleración para aumentar la velocidad de trabajo.

Figura 12

Trituradora



Fuente: Komatsu Mitsui (2016)

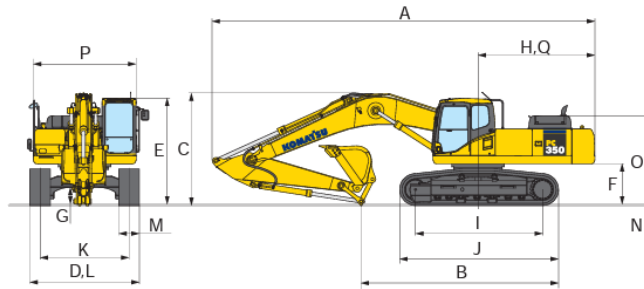
D) Diseño

Las dimensiones de la excavadora hidráulica y capacidades de levante de carga respectivas son las siguientes:

Figura 13

Dimensiones de la excavadora PC350-8M0

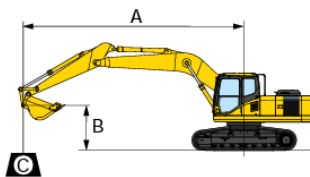
	Longitud del brazo	2540 mm 8'4"	3185 mm 10'5"	4020 mm 13'2"
A	Longitud Total	11180 mm 36'8"	11140 mm 36'7"	11170 mm 36'8"
B	Largo en el suelo (transporte):	6760 mm 22'2"	5930 mm 19'5"	5475 mm 18'0"
C	Altura total (sobre el aguilón)	3410 mm 11'2"	3280 mm 10'9"	3760 mm 12'4"
D	Ancho total	3440 mm 11'4"		
E	Altura total (sobre la cabina)	3130 mm 10'3"		
F	Altura libre sobre el suelo, contrapeso	1185 mm 3'11"		
G	Altura libre sobre el suelo, (mínimo)	500 mm 1'8"		
H	Radio de giro de la cola	3450 mm 11'4"		
I	Longitud de la oruga sobre el suelo	4030 mm 13'3"		
J	Longitud de la oruga	4955 mm 16'3"		
K	Trocha de la oruga	2590 mm 8'6"		
L	Ancho de orugas	3440 mm 11'4"		
M	Ancho de la zapata	850 mm 33.5"		
N	Altura de la Garra	36 mm 1.4"		
O	Altura de máquina por cabina	2580 mm 8'6"		
P	Ancho de máquina por cabina	2995 mm 9'10"		
Q	Distancia, centro de giro a cola	3405 mm 11'2"		



Fuente: (<https://www.komatsulatioamerica.com/mexico>, s. f.)

Figura 14

Capacidades de levantamiento de la excavadora PC350-8M0



A: Alcance desde el centro de giro
 B: Altura del gancho del cucharón
 C: Capacidad de levantamiento
 Cf: Capacidad nominal sobre el frente
 Cs: Capacidad nominal sobre el lado
 : Capacidad nominal al máximo alcance

Condiciones:
 • Brazo: **4020 mm 13'2"**
 • Largo del aguilón: **6500 mm 21'3"**
 • Cucharón: **1.4 m³ 1.83 yd³** (SAE colmado)
 –Peso del cucharón: **1014 kg 2,235 lb**

PC350LC-8 Zapata 700 mm 28"		Unidad: kg/lb																							
A	MÁX	1.5 m 5'		3.0 m 10'		4.6 m 15'		6.1 m 20'		7.6 m 25'		9.1 m 30'		MÁX.											
		Cf	Cs	Cf	Cs	Cf	Cs	Cf	Cs	Cf	Cs	Cf	Cs												
7.6 m 25'	8.8 m 29'													*4150	*4150										
														*9,200	*9,200										
6.1 m 20'	9.6 m 31'													*5850	4950	*4050	*4050								
														*12,900	10,900	*9,000	*9,000								
4.6 m 15'	10.1 m 33'													*7000	6700	*6450	4850	*4100	3950						
														*15,500	14,800	*14,200	10,700	*9,100	8,800						
3.0 m 10'	10.4 m 34'													*12600	*12600	*9450	9100	*7900	6350	*4300	3700				
														*27,800	*27,800	*20,900	20,100	*17,400	14,100	*15,100	10,300	*9,500	8,100		
1.5 m 5'	10.4 m 34'													*15550	13200	*10950	8550	*8650	6050	7150	4500	*4650	3550		
														*34,300	29,100	*24,200	18,800	*19,100	13,300	15,800	9,900	*10,200	7,800		
0 m 0'	10.2 m 34'													*6100	*6100	*16850	12400	*11950	8050	*9250	5750	7000	4300	*5150	3600
														*13,400	*13,400	*37,200	27,300	*26,400	17,800	*20,400	12,700	15,400	9,500	*11,400	7,900
-1.5 m -5'	9.8 m 32'	*7000	*7000	*10000	*10000	*16900	12000	*12250	7800	9100	5550	6900	4200	5550	4200	6000	3800	6000	3800	6000	3800				
		*15,400	*15,400	*22,100	*22,100	*37,300	26,500	*27,000	17,100	20,000	12,300	15,200	9,300	15,200	9,300	*13,200	8,400	*13,200	8,400	*13,200	8,400				
-3.0 m -10'	9.1 m 30'	*10100	*10100	*15900	*15900	*16050	12000	*11900	7700	9000	5500	6850	4200	6850	4200	6950	4250	6950	4250	6950	4250				
		*22,200	*22,200	*35,100	*35,100	*35,400	26,400	*26,200	17,000	19,900	12,200	15,200	9,300	15,200	9,300	*15,300	9,400	*15,300	9,400	*15,300	9,400				
-4.6 m -15'	8.0 m 26'	*15200	*15200	*19500	*19500	*14100	12200	*10600	7800	*7850	5600	6850	4200	6850	4200	*6950	5200	*6950	5200	*6950	5200				
		*33,500	*33,500	*43,000	*43,000	*31,100	26,900	*23,300	17,200	*17,400	12,400					*15,300	11,400	*15,300	11,400	*15,300	11,400				
-6.1 m -20'	6.4 m 21'													*14000	*10550	*10550	*7850	*7850							
														*30,900	*30,900	*23,300	*23,300	*16,900	*16,900						

Fuente: (<https://www.komatsulatioamerica.com/mexico>, s. f.)



2.2.4.2 Cargador frontal Komatsu WA380.6

Se trata de un equipo altamente eficiente y económico en cuanto al consumo de combustible, ya que incorpora un sistema de selección de potencia de motor con modo de trabajo dual. Cada componente, desde el motor hasta el convertidor de torque, la transmisión, las unidades hidráulicas, las piezas eléctricas e incluso los pernos de esta cargadora sobre ruedas, se fabrica mediante un sistema de producción integrado que sigue rigurosos estándares de calidad, asegurando así una mayor confiabilidad del equipo. Además, dispone de un sistema de monitoreo para gestionar el mantenimiento de manera eficiente.

A) Características

- Motor de alto rendimiento SAA6D107E-1; equipado con un sistema de inyección de combustible de riel común diseñado para aplicaciones exigentes, asegurando una combustión eficiente del combustible.
- Alcance máximo y altura de descarga: el diseño del pantógrafo de amplias dimensiones permite una elevada altura de volteo de 2.885 mm y un alcance de descarga de 1.210 mm.
- Frenos hidráulicos totalmente sellados con discos múltiples bañados en aceite: ofrecen una reducción en los requisitos de mantenimiento y una mayor confiabilidad en su funcionamiento.
- Sistema de refrigeración de fácil acceso, ventilador automático con función reversible.
- EMMS (Sistema de Monitoreo y Gestión de Equipos).

- Transmisión automática con válvulas de modulación de control electrónico (ECMV): selecciona automáticamente la marcha más adecuada según la velocidad, la carga del motor y otras condiciones.
- Sistema de corte de la transmisión automática: permite al operador ajustar la presión del pedal del freno según sus preferencias mediante un interruptor.
- Diseño de bajo nivel de ruido: ofrece un confort acústico con un nivel de ruido para el operador de 72 dB y un ruido dinámico (exterior) de 108 dB.

Figura 15

Cargador frontal Komatsu WA380.6



Fuente: Komatsu Latinoamérica (2022)

B) Partes principales

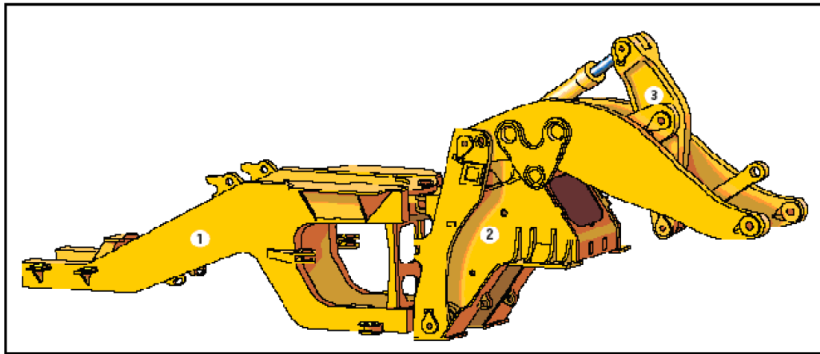
Las partes más importantes del cargador frontal a ruedas (Maquinaria Pesada, 2019):

- **El bastidor o chasis:** Está formado por dos semichasis uno delantero y un trasero y está articulado con un doble eje vertical. El semichasis delantero con una forma triangular, el semichasis trasero, tiene una forma rectangular, donde soporta el peso del motor, cabina y los mandos de operación. El chasis está

construido con acero de alta resistencia para soportar tanto como torsión y flexión, el equilibrio de la maquina se basa en la distribución de pesos.

Figura 16

Chasis de cargador frontal



Fuente: Maquinaria Pesada (2019)

- **Transmisión:** La mayoría de los cargadores frontales cuentan con componentes como el convertidor de par, transmisión servo planetaria, árbol de transmisión y juntas universales, diferencial, así como ejes delanteros y traseros.

Figura 17

Partes de la transmisión



Fuente: Maquinaria Pesada (2019)

–**Sistema hidráulico:** Al igual que cualquier otra maquinaria pesada, posee un sistema hidráulico compuesto por circuitos de inclinación, levante y dirección. Es esencial mantener una presión de aceite adecuada para el control eficiente del cargador, y esta función se logra mediante la acción de la bomba que impulsa los cilindros de articulación.

Figura 18

Sistema hidráulico



Fuente: Maquinaria Pesada (2019)

– **Herramientas de trabajo:** Está compuesto por una estructura principal y los mecanismos que permiten el levantamiento e inclinación del brazo del cargador frontal. La resistencia de la estructura principal es notable, ya que está unida por un puente que confiere solidez al conjunto. Esta estructura se conecta al brazo mediante dos cilindros hidráulicos de levante, que funcionan como puntos de articulación para el levantamiento y la inclinación. Debido a estas funciones de bisagra en los movimientos de elevación y basculamiento, es esencial aplicar lubricación de manera regular.

Figura 19

Herramienta de trabajo

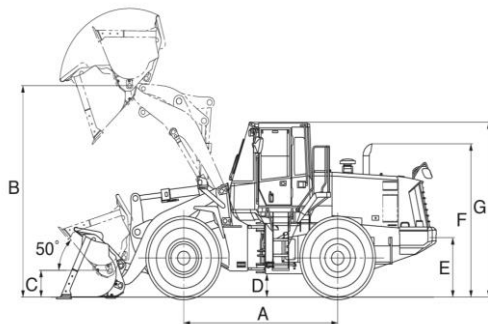


Fuente: Maquinaria Pesada (2019)

- **Diseño:** La configuración del cargador frontal se ha concebido de manera tal que facilita una distribución óptima durante los ciclos ascendentes y descendentes del cucharón. En adición, merced a la específica geometría del sistema de varillaje, se ha logrado una significativa disminución en la cantidad de puntos de lubricación requeridos.

Figura 20

Dimensiones del cargador frontal WA380-6



Banda de rodadura	2.160 mm	7'1"
Ancho sobre neumáticos	2.695 mm	8'10"
A Distancia entre ejes	3.300 mm	10'10"
B Altura máx. del pasador de bisagra	4.030 mm	13'3"
C Altura del pasador de la articulación, posición de transporte	520 mm	1'8"
D Distancia al suelo	390 mm	1'3"
E Altura de enganche	1.085 mm	3'7"
F Altura total, parte superior de la pila	2.910 mm	9'7"
G Altura total de la cabina ROPS	3.325 mm	10'11"

Fuente: (<https://www.komatsulatinoamerica.com/peru>, s. f.)

Figura 21

Especificaciones técnicas de los baldes

	Baldes para uso general		Baldes para excavación			Balde para material liviano
	B. O. C.	Dientes	B. O. C.	Dientes y segmentos	Dientes	B. O. C.
Capacidad del balde: colmado	3,3 m³ 4,3 yd ³	3,1 m³ 4,1 yd ³	2,9 m³ 3,8 yd ³	2,9 m³ 3,8 yd ³	2,7 m³ 3,5 yd ³	4,0 m³ 5,2 yd ³
a ras	2,9 m³ 3,8 yd ³	2,7 m³ 3,5 yd ³	2,4 m³ 3,1 yd ³	2,4 m³ 3,1 yd ³	2,3 m³ 3,0 yd ³	3,4 m³ 4,4 yd ³
Ancho del balde	2.905 mm 9'6"	2.925 mm 9'7"	2.905 mm 9'6"	2.925 mm 9'7"	2.925 mm 9'7"	2.905 mm 9'6"
Peso del balde	1.620 kg 3.570 lb	1.540 kg 3.395 lb	1.720 kg 3.790 lb	1.765 kg 3.890 lb	1.645 kg 3.625 lb	1.835 kg 4.045 lb
Altura de descarga, altura máxima y ángulo de descarga de 45°*	2.885 mm 9'6"	2.755 mm 9'0"	2.960 mm 9'9"	2.840 mm 9'4"	2.840 mm 9'4"	2.790 mm 9'2"
Alcance a altura máx. y ángulo de descarga de 45°*	1.210 mm 4'0"	1.305 mm 4'3"	1.125 mm 3'8"	1.225 mm 4'0"	1.225 mm 4'0"	1.295 mm 4'3"
Alcance a una distancia de 2.130 mm (7') máx. y ángulo de descarga de 45°	1.760 mm 5'9"	1.790 mm 5'10"	1.720 mm 5'8"	1.755 mm 5'9"	1.755 mm 5'9"	1.800 mm 5'11"
Alcance con brazo horizontal y balde nivelado	2.650 mm 8'8"	2.810 mm 9'3"	2.510 mm 8'3"	2.680 mm 8'10"	2.680 mm 8'10"	2.775 mm 9'1"
Altura operativa (Totalmente elevado)	5.535 mm 18'2"	5.535 mm 18'2"	5.420 mm 17'9"	5.420 mm 17'9"	5.420 mm 17'9"	5.670 mm 18'7"
Longitud total	8.195 mm 26'11"	8.365 mm 27'5"	8.055 mm 26'5"	8.225 mm 27'0"	8.225 mm 27'0"	8.320 mm 27'4"
Radio de giro del cargador (Balde al acarrear, esquina externa del balde)	14.440 mm 47'5"	14.550 mm 47'9"	14.370 mm 47'2"	14.480 mm 47'6"	14.480 mm 47'6"	14.500 mm 47'7"
Profundidad de excavación: 0°	125 mm 4'9"	140 mm 5'5"	125 mm 4'9"	140 mm 5'5"	140 mm 5'5"	125 mm 4'9"
10°	360 mm 1'2"	400 mm 1'4"	335 mm 1'1"	380 mm 1'3"	380 mm 1'3"	380 mm 1'3"
Carga estática de vuelco: recto	13.880 kg 30.600 lb	13.970 kg 30.800 lb	13.780 kg 30.380 lb	13.710 kg 30.230 lb	13.870 kg 30.580 lb	13.640 kg 30.070 lb
40° giro completo	12.000 kg 26.460 lb	12.100 kg 26.680 lb	11.900 kg 26.230 lb	11.840 kg 26.100 lb	12.000 kg 26.460 lb	11.770 kg 25.950 lb
Fuerza de ruptura	158 kN 16.100 kgf 35.495 lb	170 kN 17.300 kgf 38.140 lb	176 kN 18.000 kgf 39.680 lb	183 kN 18.700 kgf 41.225 lb	191 kN 19.500 kgf 42.990 lb	144 kN 14.700 kgf 35.405 lb
Peso operativo	16.610 kg 36.620 lb	16.540 kg 36.460 lb	16.720 kg 36.860 lb	16.760 kg 36.950 lb	16.650 kg 36.710 lb	16.850 kg 37.150 lb

Fuente: (<https://www.komatsulatioamerica.com/peru>, s. f.)

2.2.4.3 Retroexcavadora WB97R-5E0

La retroexcavadora Komatsu WB97R-5E0 se destaca por su potencia de arranque mejorada y capacidad de elevación superior. Su sistema hidráulico centralizado CLSS ofrece eficiencia con modos de trabajo seleccionables para potencia máxima o mínimo consumo. El diseño del cargador frontal asegura una elevación paralela óptima y una visibilidad mejorada. La estructura renovada presenta líneas limpias y funcionales con tuberías integradas. Con un aguilón en perfil S y brazo telescópico, la máquina ofrece versatilidad y rendimiento excepcionales. (Komatsu, 2016, p. 4).

Figura 22

Retroexcavadora WB97R-5E0



Fuente: Retroexcavadora WB97R-5E0 - Komatsu (2016)

A) Partes.

Según (Sagasti, 2017) las partes principales son:

- **Tractor:** El tractor es base y soporte de las herramientas de trabajo, este lleva un contrapeso en la cual ayuda a las funciones de equilibrar, en los momentos de operaciones, generados por la carga, que suelen mover la máquina y desestabilizarla.
- **Pluma:** Es un elemento acodado de sección variable articulado, que va en la parte delantera del tractor, la pluma puede constar de una o dos piezas, la diferencia entre ellos es que la distancia de una de ellas es constante, mientras la otra se tiene 03 alternativas para modificar su longitud.
- **Brazo:** Se refiere a una parte con sección variable, conectada en un extremo a la parte superior de la pluma y en el otro extremo al cucharón. La palanca de descarga tiene la tarea de rotar el cucharón y está compuesta por dos componentes que simplifican el proceso de llenado o vaciado del cucharón.



- **Cilindros de elevación:** Dos cilindros hidráulicos, ubicados en la parte trasera del tractor y enlazados al codo de la pluma, tienen la responsabilidad de elevar o descender la pluma. Por otro lado, el cilindro del brazo, un componente hidráulico que se apoya en la pluma y se conecta en el extremo frontal del brazo, se encarga de coordinar los movimientos de este último. Estos elementos hidráulicos son esenciales para la manipulación y control preciso de la pluma y el brazo, garantizando un funcionamiento eficiente del equipo.
- **Cilindro de descarga:** Se trata de un cilindro hidráulico respaldado en el brazo y vinculado al vértice de la palanca de descarga, siendo su función principal la regulación de los desplazamientos del cucharón. Este componente es esencial para gestionar con precisión los movimientos del implemento, contribuyendo de manera significativa a la eficiencia y control operativo de la maquinaria.
- **Cucharón:** Se trata del contenedor destinado a albergar el material excavado, equipado con dientes en su borde para facilitar la extracción de los materiales. Este receptáculo desempeña un papel crucial en el proceso de excavación al permitir el manejo eficiente y seguro de los materiales extraídos. Su diseño con elementos dentados añade una funcionalidad adicional al facilitar el inicio del proceso de excavación, contribuyendo así a la eficacia y rendimiento general de la maquinaria.
- **Sistema Hidráulico:** Se refiere al conjunto de circuitos hidráulicos encargados de regular y dirigir los movimientos de los cilindros previamente mencionados. Este sistema hidráulico desempeña un papel integral al coordinar la operación de los diversos cilindros, asegurando un control preciso y eficiente de los movimientos de la maquinaria. Su función es esencial para sincronizar las

acciones de los componentes hidráulicos, contribuyendo a la coordinación armoniosa de la maquinaria y a la optimización de su rendimiento operativo.

B) Especificaciones técnicas

El motor del modelo WB97R-5E0 cuenta con la siguiente especificación:

Tabla 4

Especificaciones del motor de la retroexcavadora WB97R-5E0

Característica	Especificación
Modelo	Komatsu SAA4D104E-1
Tipo	Motor enfriado por agua, de 4 tiempos y con inyección directa.
Aspiración	Turbo alimentado y posenfriado.
Nro. De Cilindros	4
Relación De Compresión	17.5:1
Diámetro	104 mm. / 4,09"
Carrera	132 mm. / 5,2"
Cilindrada	4,49 L. / 274 plg3
Potencia Neta Sae J1349	Neta: 74 kW / 99,2 hp
Torque/Velocidad Max del Motor	430 Nm / 1.250 rpm. / 309,7 lb.
Velocidad Nominal Rpm	2.200 rpm.
Tipo de impulsor de ventilador	Mecánico.
Sistema De Arranque	Sistema eléctrico con precalentamiento de aire diseñado para facilitar arranques en condiciones de baja temperatura.
Filtro De Aire	Seco con elemento de seguridad, indicador de saturación.
Enfriamiento	Líquido refrigerante.

Fuente: Especificaciones del motor, adaptada de catálogo-retroexcavadora, por Komatsu (2016)

- **Sistema Hidráulico:** El SyncroSystem, o sistema de sincronización, concede al operador la habilidad de realizar movimientos simultáneos con gran precisión. Este sistema presenta dos modos operativos diferentes: Power (Potencia) y Economy (Ahorro). Además, integra una función avanzada en el sistema hidráulico denominada "Speed Up" (Aceleración), que posibilita incrementar la velocidad de los movimientos del cargador frontal mediante el

botón ubicado en el joystick. La versatilidad de este sistema brinda al operador opciones flexibles para adaptarse a las necesidades específicas de la tarea, mejorando la eficiencia y control operativo de la maquinaria.

Tabla 5

Especificaciones del sistema hidráulico de la retroexcavadora

Característica	Especificación
Sistema	Syncro System (sistema de sincronización)
Tipo	CLSS (sistema detector de carga con centro cerrado)
Número de Modos de Trabajo Seleccionables	2
Tipo de Bomba	Tipo pistón de desplazamiento variable.
Sistema de Control de Bombas	Sensor de carga.
Máximo Caudal	165 litros/min - 43 galones EE. UU./min.
Válvula Principal	LIFD (divisor de flujo independiente de la carga) de tipo modular.
Presión Máxima	250 bar.

Fuente: Especificaciones del sistema hidráulico, adaptada de catálogo-retroexcavadora, por Komatsu (2016)

- **Transmisión:** La transmisión Powershift completamente servomecánica, equipada con control electrónico de tracción en las cuatro ruedas, destaca por su operación automática. La selección de traslado se realiza de manera automática mediante una palanca, y para la elección de velocidades, se utiliza un dial ubicado en el extremo de la misma palanca. Este sistema garantiza un control preciso y eficiente, sin comprometer la tracción, ofreciendo un manejo fluido y cómodo para el operador.

Tabla 6

Especificaciones de la transmisión retroexcavadora WB97R-5E0

Velocidad	Adelante	Atrás
1ra	6,5 km/h	6,5 km/h
2da	11 km/h	11 km/h
3ra	23 km/h	23 km/h
4ta	40 km/h	40 km/h

Fuente: Especificaciones de la transmisión, adaptada de catálogo-retroexcavadora, por Komatsu (2016)

- **Excavadora:** El brazo de elevación presenta una estructura fortificada que facilita una rotación completa de 180 grados, manteniendo simultáneamente un nivel de torsión substancial. Los componentes del soporte de pivote y las terminaciones del brazo han sido fundidos, garantizando una notable resistencia frente a la fatiga estructural. Para optimizar la estabilidad, se han incorporado estabilizadores hidráulicos posteriores en la configuración de tipo X, respaldados por almohadillas de goma reversibles, junto con una válvula de seguridad para asegurar un funcionamiento seguro y controlado.

Tabla 7

Especificaciones de la excavadora – retroexcavadora WB97R-5E0

Característica	Especificación
Ancho Del Balde Estándar	600 mm. (1'11")
Fuerza De Arranque Del Balde (ISO 6015)	6,100 kg (13,448 lb)
Fuerza De Arranque Del Brazo (ISO 6015)	4,000 kg (8,819 lb)

Fuente: Especificaciones de la excavadora, adaptada de catálogo-retroexcavadora, por Komatsu (2016)

- **Cargador:** El diseño inherente al cargador frontal posibilita una distribución altamente efectiva tanto al elevar como al descender el cucharón. Asimismo,



en virtud de la configuración geométrica del sistema de enlace, se ha procedido a la disminución de la cantidad de puntos de lubricación requeridos.

Tabla 8

Especificaciones del cargador de la retroexcavadora WB97R-5E0

Característica	Especificación
Ancho del balde estándar	2,320 mm (7'7")
Capacidad del balde estándar (ISO 7546)	1.03 m ³ (1.34 yd ³)
Peso del balde estándar	430 kg (948 lb)
Capacidad de elevación a altura máxima	3,900 kg (8,598 lb)
Cap. De elevación al nivel del suelo	5,300 kg (11,684 lb)
Fuerza de arranque del balde (ISO 14397)	6,500 kg (14,330 lb)

Fuente: Especificaciones del cargador frontal, adaptada de catálogo-retroexcavadora, por Komatsu (2016)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO, ALCANCE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Investigación tipo aplicada

Según (Salinas, 2012), Este enfoque de investigación se clasifica como básico o puro, ya que se fundamenta principalmente en la teoría para abordar y resolver problemas prácticos. El énfasis recae en la exploración y la generación de conocimiento teórico, sin un objetivo inmediato de aplicación práctica.

3.1.2 Alcance Explicativo

Según (Espinoza, 2010), El propósito de este enfoque es investigar las relaciones de causa y efecto entre las variables del tema de estudio. En algunos casos, se establecerá la correlación entre variables sin identificar una relación causal. En este tipo de investigación, el investigador no interviene ni manipula las variables. El alcance se limita a la propuesta de un plan de mantenimiento utilizando la metodología RCM, sin llevar a cabo la manipulación directa de las variables involucradas (p. 45).

3.1.3 Diseño no experimental

Según (Arias, 2020), este diseño se caracteriza ya que no habrá manipulación de variables, pero se hará su medición y análisis a partir del diagnóstico inicial y recolección de información como los planes de mantenimiento e historiales de falla.

3.2 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.2.1 Población

Está constituida por la flota de los siguientes equipos:

Tabla 9

Flota de Equipos de movimiento de tierra

Ítems	Descripción	Cantidad de equipos
1	Auto hormigoneras	7
2	Cargador Frontal	5
3	Dumpers	11
4	Excavadora	20
5	Manipuladores Telescópicos	2
6	Minicargadores	29
7	Motoniveladora	15
8	Montacargas	1
9	Retroexcavadora	24
10	Rodillos vibrantes Liso	25
11	Rodillos vibrante tándem	19
12	Tractor sobre Oruga	1
TOTAL, GENERAL		159

Elaborado por el equipo de trabajo

3.2.2 Muestra

El método para elegir la muestra consiste en aplicar el análisis de criticidad a la totalidad de los equipos de movimiento de tierras. Una vez identificado el tipo de equipo considerado crítico, se procede a seleccionar aquellos equipos cuya disponibilidad se sitúe por debajo del nivel óptimo establecido para la flota. Este enfoque asegura la inclusión de los equipos más cruciales y con menor disponibilidad, permitiendo un análisis detallado y orientado a la mejora de aquellos activos que presentan mayores desafíos en términos de rendimiento y confiabilidad.

Figura 23

Muestreo



Elaborado por el equipo de trabajo

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los instrumentos utilizados para recolección de información son:

3.3.1 Entrevistas

Un elemento esencial para la presente investigación es la herramienta de recolección de datos, que posibilita la recopilación de información sobre las causas recurrentes de fallas en las excavadoras. En este contexto, se llevaron a cabo entrevistas con los operadores y el jefe de mantenimiento, utilizando guías y formatos no estructurados a fin de obtener la información necesaria para la investigación.

3.3.2 Documental

Se utiliza para obtener información sobre fallas, acciones de mantenimiento correctivo y preventivo realizadas en períodos anteriores, a través de la revisión de los siguientes documentos:

- **Histórico de mantenimiento de fallas:** Es el conjunto de datos donde se informa las horas destinadas a mantenimiento preventivo – programado, correctivo – programado, correctivo no programado, también se registran



las fechas en las que se realiza el mantenimiento con una descripción breve de la tarea.

- **Registro de disponibilidad de los equipos:** Ofrece datos acerca de la disponibilidad inicial de la maquinaria antes de la aplicación del estudio y, una vez implementado el plan de mantenimiento, contribuye a mejorar la disponibilidad final de los equipos.

3.3.3 Manuales

Se trata de documentos que condensan las pautas, normativas y secuencia de operaciones, junto con la asignación de recursos relacionados con las labores de mantenimiento. Estos documentos sirven como guías comprensivas que delinear los procedimientos a seguir, las regulaciones a cumplir y la gestión de los recursos necesarios para llevar a cabo las tareas de mantenimiento de manera eficiente y efectiva.

3.3.4 Fichas técnicas

Sirve para saber cuáles son las condiciones de trabajo, recomendaciones de mantenimiento de los fabricantes y características técnicas de cada equipo.

3.4 PROCEDIMIENTO

3.4.1 Diagnóstico inicial

Al comenzar la investigación, se recopila información sobre las disponibilidades de la flota de equipos de movimiento de tierras, los registros de fallos durante un periodo de un año para el tipo de activo crítico. Además, se llevan a cabo entrevistas y se consulta manuales y fichas técnicas.

3.4.2 Formación del equipo de trabajo

Para el inicio del procedimiento RCM se determina y conforma el equipo de trabajo, el cual se determina luego de analizar la disponibilidad y funciones de los principales gestores del mantenimiento que se encargan de velar por la productividad del modelo de negocio.

3.4.3 Criticidad

A través de la evaluación de la criticidad, se selecciona el activo crítico de la flota de equipos de movimiento de tierras, utilizando los criterios detallados en la tabla 10.

Tabla 10

Ponderación para criticidad

Tipo	Orden	Criterio	Peso
Frecuencia de falla	1	Mayor a 20 fallos al año	5
	2	Entre 15 a 20 fallos al año	4
	3	Entre 10 a 15 fallos al año	3
	4	Entre 5 a 10 fallos al año	2
	5	Menor de 5 fallos al año	1
Costos de mantenimiento	1	Mayores a 50,000.00 dólares / al año	5
	2	Entre 30,000.00 y 50,000/00 dólares / al año	4
	3	Entre 10,000.00 y 30,000.00 dólares / al año	3
	4	Entre 5000.00 y 10.000 dólares. / al año	2
	5	Menores a 5000.00 dólares / al año	1
Impacto operacional	1	Pérdidas de producción superiores al 75% (no hay unidades de reserva)	5
	2	Pérdidas de producción entre el 50% y el 74% (unidades de reserva parcial)	4
	3	Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%	3
	4	Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%	2
	5	Pérdidas de producción menor al 10%	1
Impacto a la seguridad	1	Riesgo de muerte inminente	5
	2	Produce daños muy graves que dejan secuela	4
	3	Produce daños graves que desaparecen con tratamiento	3
	4	Produce daños leves, que desaparecen con tratamiento	2
	5	No existe riesgo para las personas	1
Impacto ambiental	1	Afecta el medio ambiente produciendo daños irreversibles	5
	2	Afecta el medio ambiente produciendo daños reversibles	4
	3	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto viola las normas ambientales	3
	4	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	2
	5	No origina ningún efecto	1
Tiempo promedio de reparación	1	No existe stock, tiempos reparación altos	5
	2	Stock parcial, procedimiento reparación complejo	4
	3	Stock parcial, procedimiento reparación sencillo	3
	4	Stock Suficiente, procedimiento reparación complejo	2
	5	Stock suficiente, tiempos reparación bajos	1

Elaborado por el equipo de trabajo

Según la ponderación alcanzada la (figura 24) muestra la frecuencia por consecuencia y la (Tabla 11) muestra el rango de criticidad.

Figura 24

Frecuencia vs Consecuencia

5	16	50	90	140	200
4	16	40	72	112	160
3	12	30	54	84	120
2	8	20	36	56	80
1	4	10	18	28	40
	4	10	18	28	40

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 11

Rango de criticidad

RANGO	NIVEL	CÓDIGO
05 - 39	Baja Criticidad	NC
40 - 89	Media Criticidad	SC
90 - 200	Alta Criticidad	C

Elaborado por el equipo de trabajo

Para encontrar la criticidad se sigue la siguiente fórmula explicada en la figura 25, cuya fórmula está basado en PDVSA E & P Occidente 2002.

Figura 25

Fórmula de criticidad

CRITICIDAD = FRECUENCIA DE FALLA X CONSECUENCIA
CONSECUENCIA = A+B
A = Costo de mantenimiento + impacto de seguridad + impacto ambiental
B = Impacto operacional X tiempo promedio de reparación

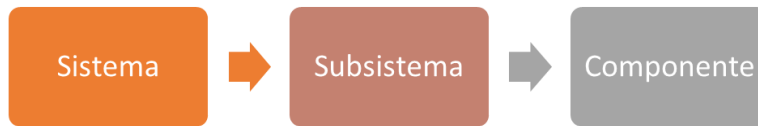
Elaborado por el equipo de trabajo en base a la investigación realizada

3.4.4 Taxonomía del activo crítico.

Posteriormente, luego de determinar el tipo de activo crítico, se desarrolla la taxonomía de este activo por sistema, subsistema y componente.

Figura 26

Taxonomía del activo crítico



Elaborado por el equipo de trabajo

3.4.5 Número de prioridad de riesgo (NPR)

Se realiza la criticidad de modos de fallo mediante los criterios de Jaime, Camacho-Gavilanes1*; Gabriel, Orquera-Noboa “2021” en las tablas siguientes se muestra los criterios y ponderaciones:

Tabla 12

Clasificación de la gravedad

Duración del servicio interrupción	Criterio de severidad	Valor
8h	Muy catastrófica	8
7h	Catastrófica	7
6h	muy serio	6
5h	Grave	5
4h	Medio	4
3h	Significativo	3
2h	Menor	2
1h	Muy menor	1
30 min	Pequeña	0.6
<30min	Muy pequeña	0.2

Fuente: Yssaad, 2014

Tabla 13

Clasificación por ocurrencia

Possible tasa de ocurrencia	Criterio de severidad	Valor
Una vez cada 12 años	Falla cerca de cero o nulo	1
Una vez cada 10 años	Muy bajo, aislamiento de la falla raramente	2
Una vez cada 8 años	Bajo, a menudo falla	3
Una vez cada 6 años		4
Una vez cada 4 años		5
Una vez cada 2 años	Promedio, fallas ocasionales	6
Una vez al año		7
Una vez cada 6 meses	Alta, falla frecuente	8
Una vez al mes		9
Una vez cada semana	Muy alto	10

Fuente: Yssaad, 2014

Tabla 14

Clasificación detección

Nivel de detección	Criterio de detección	Valor
No detectable	Imposible	10
Difíciles de detectar	Muy difícil	9
	Muy tarde	8
Detectar al azar (improbable)	No es seguro	7
	Ocasional	6
Posible detección	Bajo	5
	Tarde	4
Detección confiable	Fácil	3
	Inmediato	2
Detección permanente	Acción correctivo inmediata	1

Fuente: Yssaad, 2014

Tabla 15

Parámetros de criticidad

Valor	Grado de criticidad	Riesgo
0 -70	Menor	Aceptable
71 - 130	Medio	Poco Aceptable
131 - 170	Alto	Tolerable
171 - 252	Muy Alto	Inaceptable
253 - 324	Crítico	Inaceptable
>324	Muy Critico	Inaceptable

Fuente: Yssaad, 2014

Figura 27

Formato NPR

Sistema	Función (F)	Falla Funcional (FF)	Modo de Falla (MF)	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	NPR
Sistema Hidráulico							

Elaborado por el equipo de trabajo

3.4.6 Aplicación de la matriz AMEF

Mediante la aplicación de la metodología RCM, se utiliza la matriz AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla) con el propósito de identificar los modos de falla y sus respectivas consecuencias relacionadas con cada falla funcional. En el registro detallado presente en la hoja de información, se documentan minuciosamente todas las fallas funcionales, así como los modos de falla asociados y los efectos directos que afectan la funcionalidad de nuestro activo. Este enfoque sistemático proporciona una visión integral de los posibles escenarios de falla y sus impactos, permitiendo una gestión proactiva del mantenimiento para prevenir y mitigar estos eventos.

Figura 28

Hoja de información AMEF

HOJA DE INFORMACIÓN RCMII © 1998 ALADON LTD		SISTEMA Turbina a gas de 5MW		SISTEMA N° 216 - 05	Facilitador: N Smith	Fecha 07 - 07 - 1998	Hoja N° 1
		SUBSISTEMA Sistema de Escape		SUBSISTEMA N° 216 - 05 - 11	Auditor: P Jones	Fecha 07 - 08 - 1998	de 3
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de función)	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)			
1	Conducir sin restricciones todos los gases calientes de la turbina hasta un punto fijado a 10 metros encima del techo de la sala de turbinas.	A Incapaz de canalizar los gases B Flujo de gases restringido C No puede contener los gases	1 Montantes del silenciador corridos 1 Se desprende parte del silenciador por fatiga 1 Se agujerea la junta flexible por corrosión	El ensamble del silenciador oxepasa y cae al fondo del conducto. La contrapresión hace que la turbina se acelere volutamente y separe a una alta temperatura de escape. Tiempo de parada de máquina para reemplazar el silenciador, hasta cuatro semanas. Según la naturaleza del escape, la temperatura de escape puede subir hasta parar la turbina. Partículas de deshecho sueltas podrían dañar partes de la turbina. Tiempo de parada de máquina para reparar el silenciador, 4 semanas. La junta flexible está dentro de la campana de la turbina, de modo que la mayor parte de la fuga de los gases de escape sería evacuada por el sistema de extracción de la campana. No es probable que los mecanismos existentes de detección de incendio y gases dentro de la campana detecten una fuga de gases de escape, y es improbable que la temperatura suba lo suficiente como para hacer disparar la alarma detectora de fuego. Una pérdida grave puede hacer que se sobrecaliente el separador de partículas sólidas y líquidas en los gases, así como fundir la alarma de control situada cerca de la fuga, con consecuencias imprevisibles. Los equilibrios de presión dentro de la campana son tales que es probable que poco, o ningún, gas pueda escapar por una fuga pequeña, de manera que es posible que no se detecte una fuga pequeña por el olfateo o el oído. Tiempo de parada de máquina para reemplazar la junta, hasta 3 días. Los gases se fugan al interior de la sala de turbinas y la temperatura ambiente sube. El sistema de ventilación de la sala de turbinas evacuaría los gases a través de las rejillas a la atmósfera, por lo cual se considera poco probable que la concentración de gases de escape alcance niveles nocivos. Una fuga pequeña en este punto puede ser audible. Tiempo de parada de máquina para reparar, hasta 4 días. Los fuelles superiores están situados fuera de la sala de turbinas, de manera que los gases procedentes de una fuga aquí se dispersarían a la atmósfera. Puede que suba el nivel de ruido del ambiente. Tiempo de parada de máquina para reparar, hasta 1 semana. Probablemente la chimenea comience a inclinarse, y sea sostenida por los cables de anclaje por un tiempo, antes de demurrarse. Si cayera, existe una gran posibilidad de que dañe una estructura ocupada por personas. Tiempo de parada de máquina para reparar, entre varios días y varias semanas. La estructura del conducto está diseñada para soportar vientos de hasta 350 Km/h, por lo que sólo tiene posibilidades de caerse durante una tormenta si los cables de anclaje han sido debilitados, quizá por corrosión. De ocurrir, podría caer sobre un módulo de viviendas. Tiempo de parada de máquina para reparar, hasta varias semanas. La mayoría del material se volaría hacia afuera, pero es posible que parte de él caiga al fondo del conducto y obstruya la salida de la turbina, causando una alta temperatura de gases de escape y posible interrupción en el servicio de la turbina. Los niveles de ruido subirían progresivamente. Tiempo de parada de máquina para reparar, alrededor de 2 semanas. ..., etc.			
2	Reducir el nivel de ruido del escape a Nivel de Ruido 30 de ISO, a 50 metros	D No puede transportar los gases a un punto situado a 10 metros encima del techo A El nivel de ruido excede el Nivel de Ruido 30 de ISO, a 50 metros	2 Junta del conducto colocada incorrectamente 3 Fuelle superior agujereado por corrosión 1 Bulones de montaje de la chimenea de escape cortadas por oxidación 2 Chimenea de escape derribada por vientos fuertes 1 Malla de retención de material del silenciador corroida 2 Fugas del conducto fuera de la sala de turbinas				

Fuente: Adaptado de Mantenimiento basado en la confiabilidad por John Moubray



3.4.7 Árbol de decisiones

Mediante el empleo del árbol de decisiones, se lleva a cabo la selección de las tareas de mantenimiento más idóneas para prevenir cada modo de falla, partiendo de la identificación de las consecuencias derivadas de dichos modos de falla. Las columnas etiquetadas como H, S, E, O y N son utilizadas para consignar las respuestas a las preguntas relacionadas con las consecuencias asociadas a cada modo de falla.

En el ámbito de las tareas proactivas

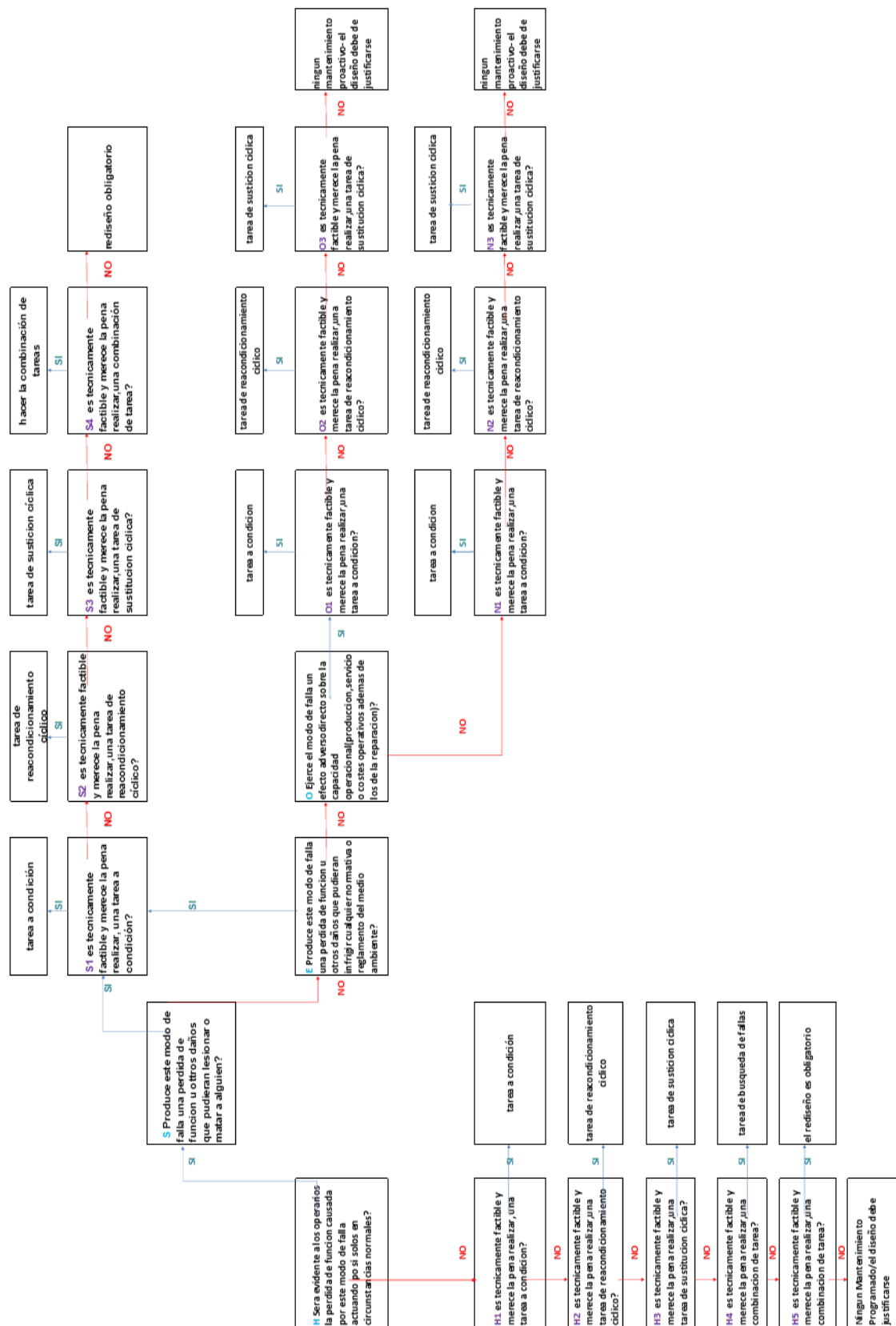
Las columnas de la octava a la décima sirven para registrar la presencia de tareas específicas, de la siguiente manera:

- La columna titulada H1/S1/01/N1 se utiliza para indicar si se ha identificado una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla y evitar sus consecuencias.
- La columna titulada H2/S2/02/N2 se utiliza para consignar la existencia de una tarea de reacondicionamiento programado apropiada para prevenir las fallas.
- La columna titulada H3/S3/03/N3 se emplea para indicar la presencia de una tarea de sustitución cíclica como medida preventiva ante las fallas.

Este enfoque detallado facilita la toma de decisiones informadas en el diseño de estrategias de mantenimiento proactivo.

Figura 29

Árbol lógico



Fuente: Adaptado de Moubray (2004)



3.4.8 Hoja de decisión RCM

Según (Moubray, 2004), En la pestaña de decisión, se documentan la función (F), la falla funcional (FF) y el modo de falla (FM). Las columnas subsecuentes (H, S, E, O) capturan las respuestas a las interrogantes relacionadas con las consecuencias de cada modo de falla. En las columnas siguientes (H1, H2, H3), se indica si se ha identificado alguna tarea proactiva y su categoría correspondiente. En situaciones donde no se haya identificado una tarea proactiva, se debe consignar en las columnas H4, H5 o S4, proporcionando respuesta a la pregunta "en ausencia de". Este procedimiento asegura una evaluación detallada de los posibles modos de falla y sus efectos en la función del equipo, facilitando así la toma de decisiones fundamentadas en el diseño de estrategias de mantenimiento proactivo.

Las últimas tres columnas permiten documentar las tareas consideradas para cada modo de falla, el intervalo de realización y la persona encargada de llevar a cabo dicha tarea.

Figura 30

Hoja de decisión RCM

HOJA DE DECISIÓN RCMII © 1990 ALADON LTD										SISTEMA		Sistema N°	Facilitador:	Fecha	Hoja N°	
										SUBSISTEMA		Subsistema N°	Auditor:	Fecha	de	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por				
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3				H4	H5	S4	

Fuente: Adaptado de Mantenimiento basado en la confiabilidad por John Moubray

3.4.9 Desarrollo del plan de mantenimiento

Mediante los análisis llevados a cabo a través de la metodología RCM, se ha confeccionado un plan de mantenimiento que busca optimizar el rendimiento de los equipos de movimiento de tierras. Este plan se presenta como una estrategia elaborada, compuesta por frecuencias y actividades diseñadas meticulosamente con el fin de garantizar la confiabilidad y eficiencia operativa de la flota de equipos. La aplicación cuidadosa de la metodología RCM ha posibilitado la identificación de acciones preventivas y predictivas más apropiadas, orientadas a maximizar tanto la disponibilidad como la vida útil de los equipos, en última instancia, contribuyendo de manera significativa a la eficacia operacional de toda la flota.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DIAGNÓSTICO INICIAL

4.1.1 Descripción de la empresa

La empresa peruana especializada en el alquiler de maquinaria, con más de 28 años de sólida trayectoria y crecimiento continuo, se ha posicionado como un referente en el ámbito empresarial. Su enfoque principal radica en proporcionar servicios de alquiler de maquinaria y equipos que abarcan una amplia gama de sectores económicos, abarcando sectores diversos como construcción, minería, industria, comercio, servicios, agroindustria, energía, turismo, telecomunicaciones, salud, entre otros.

Gracias a su extensa experiencia, la empresa ha logrado consolidar un equipo humano altamente capacitado, lo que contribuye significativamente a su éxito en el mercado. Su flota de máquinas y equipos para alquiler, que supera las 1,200 unidades, refleja su compromiso con la provisión de servicios especializados y de calidad. La sede principal de la compañía se encuentra en Lima, y su presencia se ha expandido con sucursales estratégicas en Chiclayo, Arequipa y Piura.

4.1.1.1 Misión.

Ofrecer servicios de alquiler de maquinaria y equipos con profesionalismo, compromiso y excelencia.

4.1.1.2 Visión.

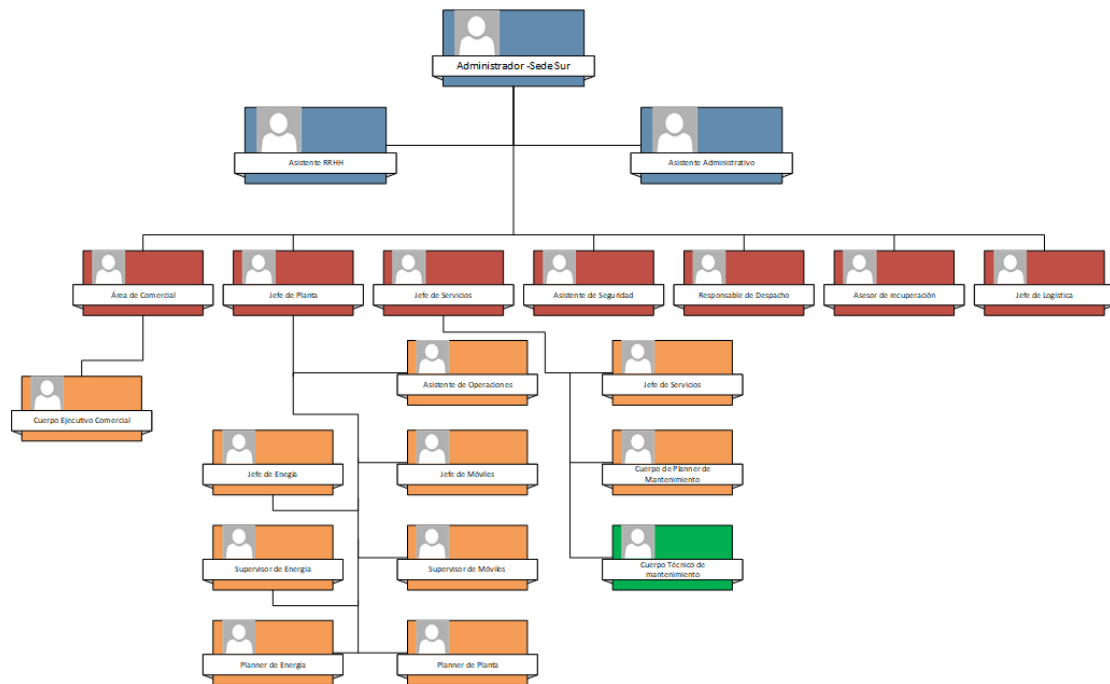
Encabezar con perspectiva global como colaborador en proyectos de inversión tanto pequeños como grandes en el país.

4.1.2 Organigrama

Según la Figura 31, se muestra la organización de la empresa de alquiler de maquinaria de referencia.

Figura 31

Organigrama referencial



Elaborado por el equipo de trabajo



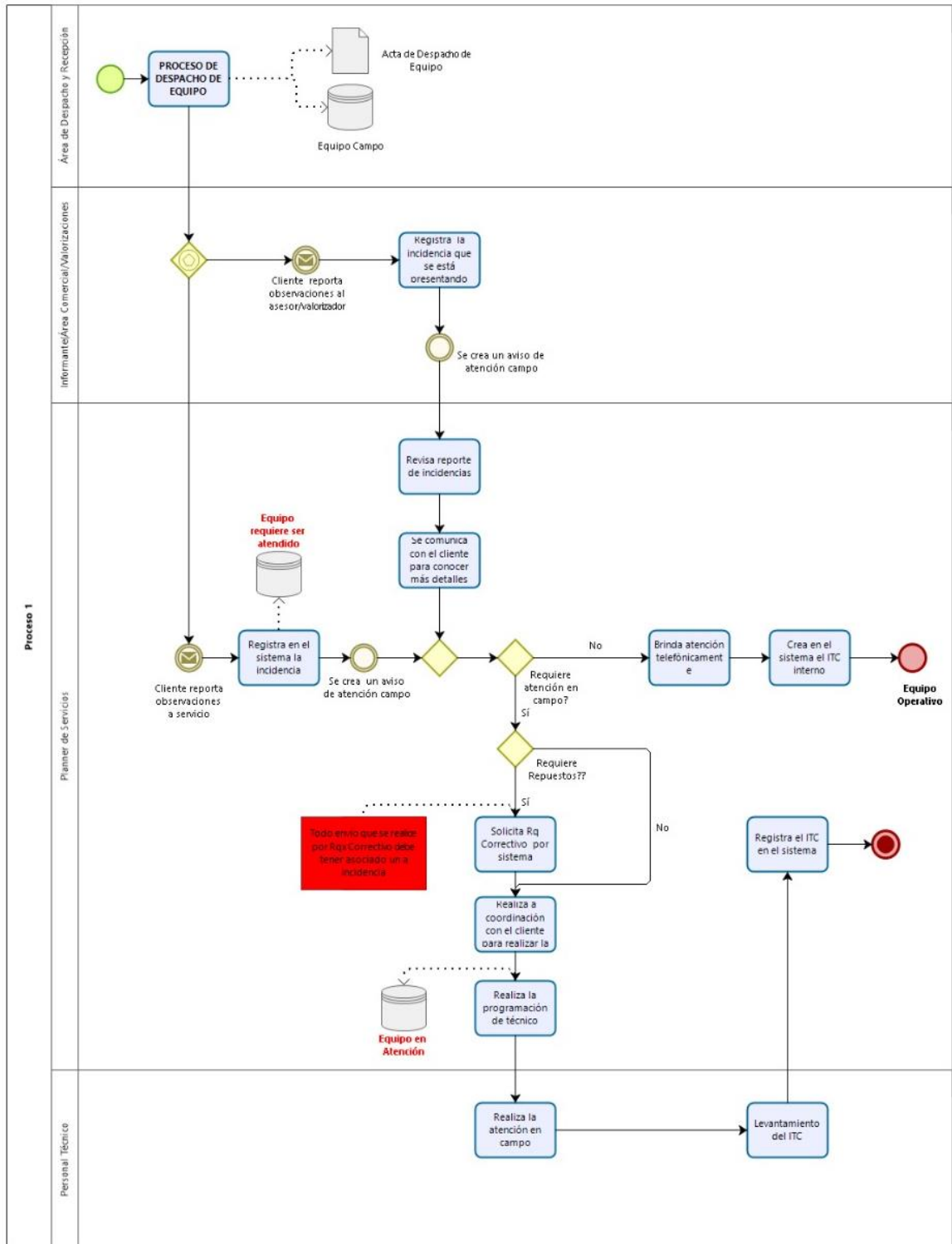
4.1.3 Descripción del área de servicios:

- **Jefe de servicio:** Es el responsable de asignar, delegar, resolver y priorizar tareas de planeamiento del mantenimiento garantizando el servicio mediante la mantenibilidad del activo. Así mismo es el que reparte la carga a los planner de mantenimiento por cliente y asigna a los técnicos encargados para el mantenimiento por activo y zona.
- **Asistente de Operaciones:** El asistente de operaciones es el encargado de dar soporte a planeamiento referente a la habilitación de personal técnico de los diferentes proyectos. Así mismo da soporte en el control de gastos del personal.
- **Planner de mantenimiento:** El planner de mantenimiento es el encargado de la resolución directa de fallos de activos, en coordinación con los técnicos asignados y con el cliente, se resuelve las inoperatividades, además de controlar, registrar al personal técnico.
- **Técnico mecánico:** El técnico mecánico es el trabajador asignado al punto de trabajo o enviado a resolver las fallas en el punto de trabajo.

4.1.4 Flujograma del mantenimiento

Figura 32

Flujograma de mantenimiento



Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.5 Descripción del flujograma

Según el flujograma, cuando inicia un servicio el equipo del área de mantenimiento tanto el área de operaciones, taller mecánico como el área comercial y así como gerencia coordinan para entregar el equipo al cliente actualizando el historial de mantenimiento, entregando el plan de mantenimiento y coordinando en caso sea al operador de la máquina de los mantenimientos preventivos y correctivos, en caso contrario son designados al cliente, en este caso la empresa de alquiler de maquinaria envía los kits de mantenimiento y atiende las inoperatividades desde la sede Arequipa a los diferentes proyectos de la zona sur.

4.1.6 Flota de equipos de movimientos de tierras

La flota de equipos de alquiler de la empresa de referencia está compuesta de diez tipos de máquinas tal como se describe en la (Tabla 16).

Tabla 16

Flota de equipos

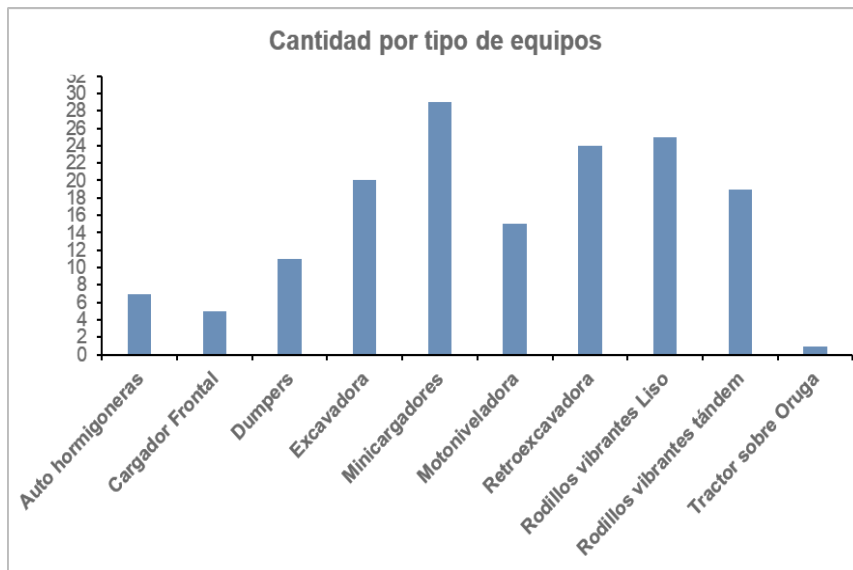
Ítem	Descripción	Cantidad de equipos	%Cantidad equivalente
1	Auto hormigoneras	7	4.49%
2	Cargador Frontal	5	3.21%
3	Dumpers	11	7.05%
4	Excavadora	20	12.82%
5	Minicargadores	29	18.59%
6	Motoniveladora	15	9.62%
7	Retroexcavadora	24	15.38%
8	Rodillos vibrantes Liso	25	16.03%
9	Rodillos vibrantes tándem	19	12.18%
10	Tractor sobre Oruga	1	0.64%
Total		156	100%

Elaborado por el equipo de trabajo

Se observa que la mayor cantidad de equipos de movimiento de tierra que actualmente tiene la empresa son los siguientes: 18.59% (Minicargadores), 16.03% (Rodillo vibrante liso), 15.38% (Retroexcavadoras), 12.82% (Excavadoras), 12.26% (Rodillos tándem) y 9.68 % (Motoniveladoras).

Figura 33

Cantidad de equipos de movimiento de tierras



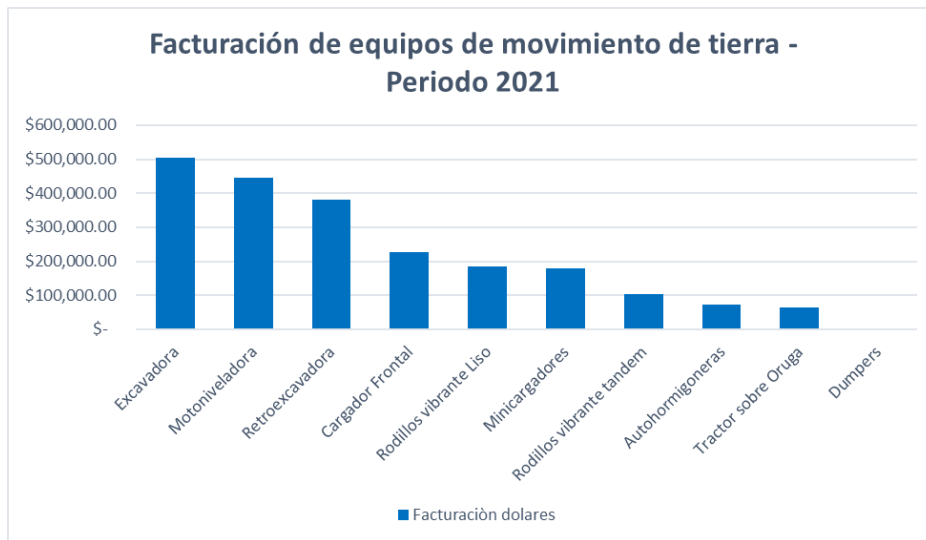
Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.7 Ingresos

Para el año 2021 se registraron importantes ingresos

Figura 34

Ingresos equipos de movimientos de tierras 2021



Elaborado por el equipo de trabajo

Como se puede observar en la figura 34, los mayores ingresos generados por los equipos de movimientos de tierra en el periodo 2021 fueron las excavadoras por tal razón es que se debe velar por la operatividad de esta flota para que la empresa de alquiler de maquinaria pueda generar mayores ingresos.

4.1.8 Pérdidas económicas

La tabla siguiente presenta la totalidad de las reducciones en la valoración de los equipos de movimiento de tierra a lo largo del año 2021.

Tabla 17*Descuento en las valorizaciones 2021*

Ítem	Descripción	Pérdidas económicas (\$)
1	Excavadora	94,334.55
2	Motoniveladora	61,400.34
3	Retroexcavadora	44,142.42
4	Cargador Frontal	34,843.98
5	Rodillos vibrante Liso	29,357.74
6	Auto hormigoneras	20,174.65
7	Rodillos vibrante tándem	14,312.80
8	Minicargadores	13,939.14
9	Tractor sobre Oruga	2,770.50
10	Dumpers	-
Total		315,276.13

Elaborado por el equipo de trabajo, descuentos en las valorizaciones

Como se observa en la tabla 17 las mayores pérdidas económicas con un total de \$/94,334.55 en el periodo 2021 fueron causadas por la flota de excavadoras, esto debido a la baja disponibilidad de estos equipos, así como también debido una descoordinación entre el planeamiento y taller, en la parte de la gestión no siempre se realizan los mantenimientos preventivos correctamente principalmente por la distancia al punto de trabajo del cliente que usualmente son en diferentes unidades mineras de difícil acceso. Además, se realizan extracciones de diferentes componentes de activos sin alquilar, para aumentar la disponibilidad para activos alquilados priorizando el servicio, sin embargo, esto trae como consecuencias pérdidas para la empresa, dificultando el servicio para nuevos equipos sin alquilar bajando la disponibilidad en general de la flota de los equipos de movimiento de tierras.

4.1.9 Disponibilidad por flota de equipos.

En la siguiente figura se muestra la disponibilidad por flota de equipos para el período 2021, tiene como objetivo informar la disponibilidad de toda la familia de equipos de la empresa de alquiler de maquinaria, teniendo en cuenta que la empresa debe garantizar una disponibilidad del 95% para ser competitivo a nivel nacional.

Figura 35

Disponibilidad de flota de equipos periodo 2021.



Elaborado por el equipo de trabajo en base a la investigación realizada

De la figura 35, se observa que no se cumple con la disponibilidad mínima requerida del 95% por la flota de excavadoras, es por ello que nace la necesidad de mejorar el plan de mantenimiento actual que nos permita mejorar la disponibilidad de las excavadoras dado que es el activo que mayores ingresos genera a la empresa de alquiler de maquinaria.

4.1.10 Disponibilidad de la flota de excavadoras.

En la siguiente tabla se muestra la disponibilidad, MTBF y MTTR de la flota de excavadoras durante el periodo 2021.

Tabla 18

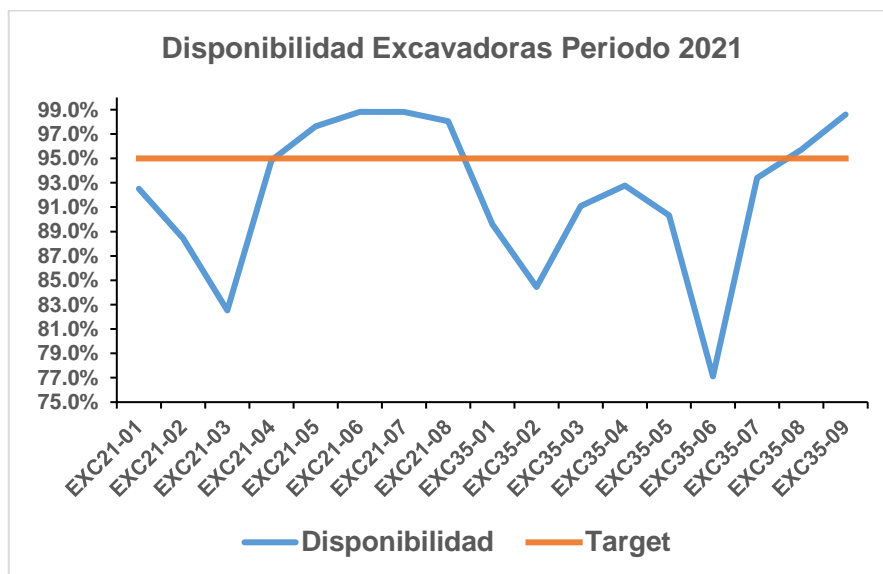
Indicadores de la flota de excavadoras periodo 2021.

Ítem	Código	Equipo	Horas Operación	N.º de Fallas	Horas Falla	MTBF	MTTR	Disponibilidad	Target
1	EXC21-01	Excavadora	1535.1	14	124.5	109.7	8.9	92.5%	95%
2	EXC21-02	Excavadora	1567	16	205	97.9	12.8	88.4%	95%
3	EXC21-03	Excavadora	648.2	13	137.3	49.9	10.6	82.5%	95%
4	EXC21-04	Excavadora	1527	8	83.85	190.9	10.4	94.8%	95%
5	EXC21-05	Excavadora	988	6	24	164.7	4.0	97.6%	95%
6	EXC21-06	Excavadora	1757	9	21	195.2	2.3	98.8%	95%
7	EXC21-07	Excavadora	1208.5	12	14.5	100.7	1.2	98.8%	95%
8	EXC21-08	Excavadora	865.6	7	17.25	123.7	2.5	98.0%	95%
9	EXC35-01	Excavadora	766.9	12	88.95	63.9	7.4	89.6%	95%
10	EXC35-02	Excavadora	731.8	16	134.8	45.7	8.4	84.4%	95%
11	EXC35-03	Excavadora	1941.2	27	190	71.9	7.0	91.1%	95%
12	EXC35-04	Excavadora	2507	37	195.2	67.8	5.3	92.8%	95%
13	EXC35-05	Excavadora	1124.9	17	120.5	66.2	7.1	90.3%	95%
14	EXC35-06	Excavadora	107.8	2	32	53.9	16.0	77.1%	95%
15	EXC35-07	Excavadora	1579.8	10	111.6	158.0	11.2	93.4%	95%
16	EXC35-08	Excavadora	1198.6	8	53.7	149.8	6.7	95.7%	95%
17	EXC35-09	Excavadora	1346.3	8	19.2	168.3	2.4	98.6%	95%
Prom. Anual			1258.86	13.06	92.5	110.47	7.3	92%	95%

Elaborado por el equipo de trabajo en base a la investigación realizada

Figura 36

Disponibilidad de la flota de excavadoras.

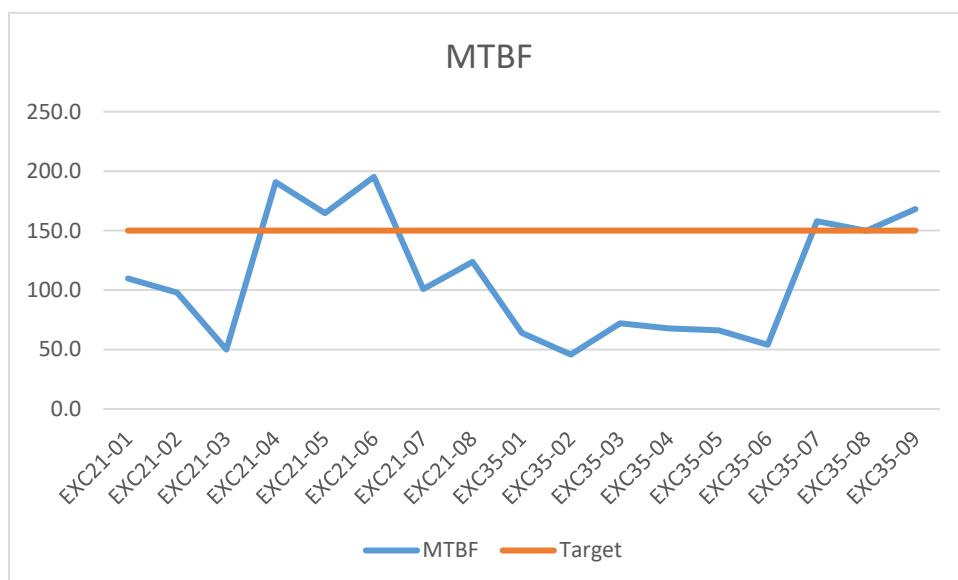


Elaborado por el equipo de trabajo.

De acuerdo a los datos obtenidos de la figura 36, de disponibilidad de excavadoras, se observa que solo 6 excavadoras cumplen con la disponibilidad requerida, el promedio anual de disponibilidad de la flota de excavadoras es de 92% muy por debajo de lo requerido por la empresa de alquiler de maquinaria, afectando así las valorizaciones de ingresos obtenidos por la empresa y dando una mala imagen con nuestros clientes.

Figura 37

MTBF de la flota de excavadoras.



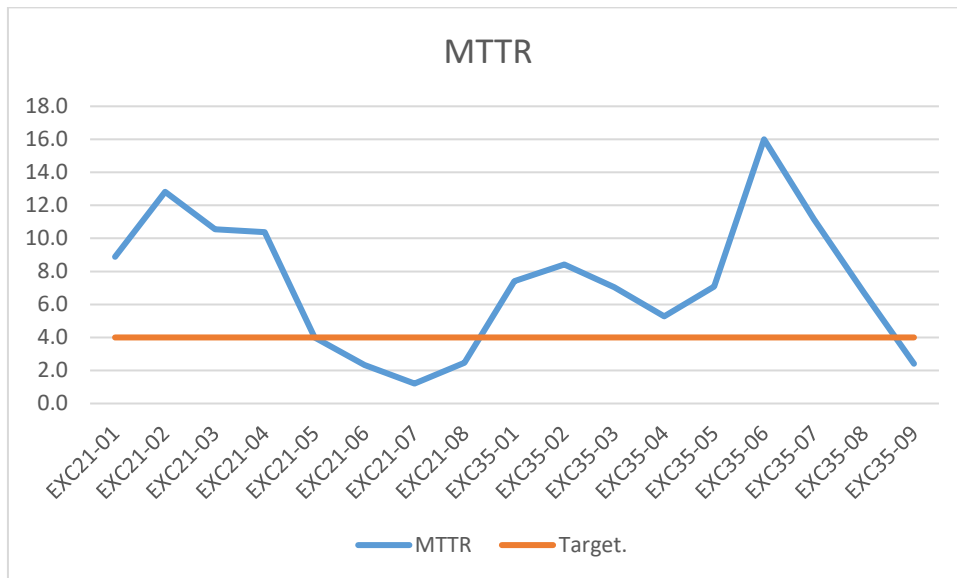
Elaborado por el equipo de trabajo.

De acuerdo a los datos obtenidos de la figura 37 de MTFB de la flota de excavadoras, se observa que solo las excavadoras: EXC21-04, EXC21-05, EXC21-06, EXC35-07, EXC35-09 cumplen superar la meta del benchmarking de la empresa de alquiler que es de 250 horas/falla,

El promedio MTBF de la flota de excavadoras es de 110.47 horas/falla muy por debajo de lo requerido por la empresa de alquiler de maquinaria, esto es crítico dado que nos indica que tenemos por lo menos 01 falla en menos de 150 horas de operación de las excavadoras.

Figura 38

MTTR de la flota de excavadoras.



Elaborado por el equipo de trabajo.

De acuerdo a los datos obtenidos de MTTR de la flota de excavadoras, se observa en la figura 38 que solo las excavadoras: EXC21-06, EXC21-07, EXC21-08 y EXC35-09, cumplen superar la meta del benchmarking de la empresa de alquiler que es de 4 horas/falla,

El promedio MTTR de la flota de excavadoras es de 7.30 horas/falla muy superior de lo requerido por la empresa de alquiler de maquinaria, esto es crucial ya que nos señala que enfrentamos un considerable tiempo dedicado a la reparación de los equipos, lo que impacta directamente en la disponibilidad de los mismos.

4.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM

4.2.1 Propuesta del equipo de trabajo

Como indica la metodología RCM según Moubray, descrito en el capítulo 3, para la ejecución del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad se debe



formar un equipo de revisión el cual estará formado por personal de mantenimiento y producción, para lo cual se propone según la organización : Operador (al operador de excavadoras de mayor experiencia en la sede sur) , supervisión de producción (Jefe de operaciones sede sur), técnico de taller (técnico mecánico con mayor experiencia de la sede sur), supervisor de ingeniería (jefe de taller mecánico), Facilitador (Planner de mantenimiento).

Primero se procederá a elegir al facilitador el cual liderará la formación del primer plan basado en el RCM, posteriormente se presentará el plan el cual será evaluado anualmente para su mejora y corrección.

Los demás miembros del equipo deberán acatar las actividades dispuestas por el facilitador con el fin de cuantificar los resultados.

4.2.2 Selección de activo crítico

Las ponderaciones desempeñan un papel crucial en la evaluación de la criticidad de la flota de maquinaria pesada, dividiendo la clasificación según el tipo de activo. Los resultados derivados de este análisis y los criterios previamente definidos en el capítulo III se presentan en la figura 39.

Figura 39

Criticidad de equipos de movimiento de tierra.

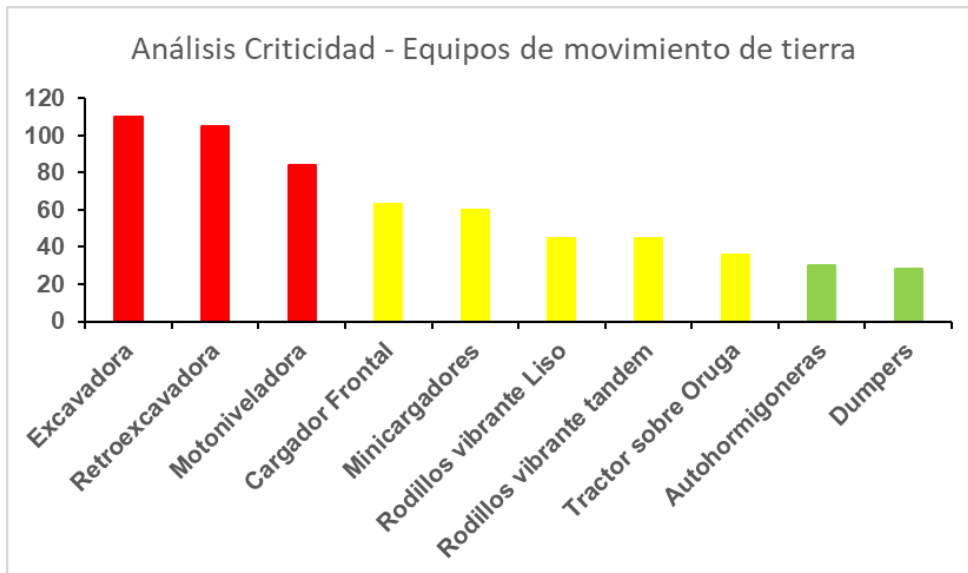
Nº	EQUIPOS	Frecuencia de Fallas	Tiempo promedio	CONSECUENCIA DE FALLAS				Total de Consecuencias	Criticidad Total	Jerarquización
				Impacto Operacional	Costo de Mantto	Impacto Ambiental	Impacto Seguridad			
1	Autohormigoneras	2	2	3	2	3	3	14	28	NC
2	Cargador Frontal	3	3	5	4	4	4	27	81	SC
3	Dumpers	2	2	2	1	3	3	11	22	NC
4	Excavadora	5	3	5	5	4	4	28	140	C
5	Minicargadores	4	3	3	3	3	3	18	72	SC
6	Motoniveladora	4	3	4	5	4	4	25	100	C
7	Retroexcavadora	5	3	4	5	4	4	25	125	C
8	Rodillos vibrante Liso	3	2	3	3	3	3	15	45	SC
9	Rodillos vibrante tandem	3	2	3	3	3	3	15	45	SC
10	Tractor sobre Oruga	2	3	4	1	4	3	20	40	SC

Elaborado por el equipo de trabajo

Con un total de 28 de consecuencias y una criticidad total de 140 de criticidad se determina a la flota de excavadora como la más crítica de la flota de movimiento de tierras.

Figura 40

Criticidad de equipos de movimientos de tierra



Elaborado por el equipo de trabajo

Como se evidencia en la figura 40; la flota de excavadoras, retroexcavadoras y motoniveladoras son las que mayor criticidad presentan,

siendo la flota de excavadoras la que mayor criticidad presenta con un total de 140 de criticidad total, el presente estudio se realizará en base a este equipo.

4.2.2.1 Selección de la muestra.

Según la tabla 19; observamos 11 equipos con una disponibilidad inferior al 95% según el Benchmark, dando como resultado 92.64% como disponibilidad de flota de los 20 equipos Komatsu, siendo 3% inferior.

Tabla 19

Muestra de excavadoras

Ítem	Código	Equipo	Disponibilidad	Disponibilidad óptima
1	EXC21-01	Excavadora	92.5%	95%
2	EXC21-02	Excavadora	88.4%	95%
3	EXC21-03	Excavadora	82.5%	95%
4	EXC21-04	Excavadora	94.8%	95%
5	EXC21-05	Excavadora	97.6%	95%
6	EXC21-06	Excavadora	98.8%	95%
7	EXC21-07	Excavadora	98.8%	95%
8	EXC21-08	Excavadora	98.0%	95%
9	EXC35-01	Excavadora	89.6%	95%
10	EXC35-02	Excavadora	84.4%	95%
11	EXC35-03	Excavadora	91.1%	95%
12	EXC35-04	Excavadora	92.8%	95%
13	EXC35-05	Excavadora	90.3%	95%
14	EXC35-06	Excavadora	77.1%	95%
15	EXC35-07	Excavadora	93.4%	95%
16	EXC35-08	Excavadora	95.7%	95%
17	EXC35-09	Excavadora	98.6%	95%

Elaborado por el equipo de trabajo

4.2.2.2 Taxonomía de la excavadora

A continuación, se realiza la taxonomía del modelo de excavadora:

Sistemas y sub sistemas:

Tabla 20

Taxonomía de la excavadora hidráulica

Sistema Hidráulico			
Subsistema	Componente	Subsistema	Componente
sistema de enfriamiento	Ventilador	válvulas de control	válvula de diferencia de presión
	tanque hidráulico		válvula de control de flujo
	Radiador		válvula piloto
	Respiradero		válvula rotatoria
	válvula hidráulica de alivio		válvulas de control direccional
	de alivio		válvula de alivio
	placa deflectora		válvula reductora de presión
	mirilla		válvula de división de flujo
	salida de la bomba		válvula de carrete
	tapón de drenaje		válvula de caída
	tubería retorno		válvula compensadora
	visor		válvula de retención
	filtros internos		válvula selectora
	anillo de desgaste del pistón		válvula de alivio
	sello del vástago		rejilla de retorno
tubo de llenado	Tanque presurizado	drenaje	
tubo del cilindro		retorno y salida de la bomba	
Cáncamo de cabezal		tapa de llenado	
Cáncamo de vástago		Basculante	
Cilindro	tapa de cilindro	Motor de pistones	tambor
	Pistón		eje
	Puntos de conexión		cabeza
	tuerca del pistón		pistones
	sello amortiguador		Paletas
	sello de pistón		rotor
	sello limpiador		cojinete
	vástago		anillo resorte
Líneas hidráulicas	cañerías	Bomba de paletas	sellos
	mangueras		cartucho
	conectores roscados		plancha
	Bridas		cabeza
	juntas conexionadas		eje
Bomba de engranajes	Caja	Bomba de pistones	pistones
	Engranaje de mando		plancha
	dientes de engranajes		tambor
	engranaje loco		rueda
	planchas		basculante



(Continuación...)

Sistema: Tren de potencia			
Subsistema	Componente	Subsistema	Componente
MCI	monoblock	Mandos finales	tapa lateral
	Carter		solares
	bloque de cilindros		semi ejes
	múltiple de admisión y escape		engranajes planetarios
	filtros de aire, combustible, aceite		rodamiento planetario
	cigüeñal		porta planetario
	bielas		codo corona
	válvula de admisión y escape		sello dúo
	volante		tuerca precarga
	árbol de levas		rodamiento cónico
	camisas de cilindros		eje planetario
	pistones		eslabón de cadena
	cajas de engranajes		pasador y buges
	bomba de combustible		zapata de cadena
	inyectores		segmento de rueda motriz
Bomba y motor	cabeza	Tren de rodaje	conjunto de la rueda
	caja		rodillos superiores
	Eje		rodillos inferiores
	Pistón		rueda grúa
	Plancha		protector de rodillos
	Tambor		
	Basculante		
	rueda guía		
Sistema: Eléctrico / Electrónico			
Subsistema	Componente	Subsistema	Componente
Control	Solenoide	sistema de giro	bomba hidráulica
	Regulador		circulo de tornamesa
	Caja de rele		sección de tornamesa
	Monitor		arrancador
Sistema de implementos de trabajo	Control electronico	lógica cableada	alarma
	Pluma		iluminación
	Brazo		alternador
	Cuchara		dinamo
cables			
Cabina y aditamentos			

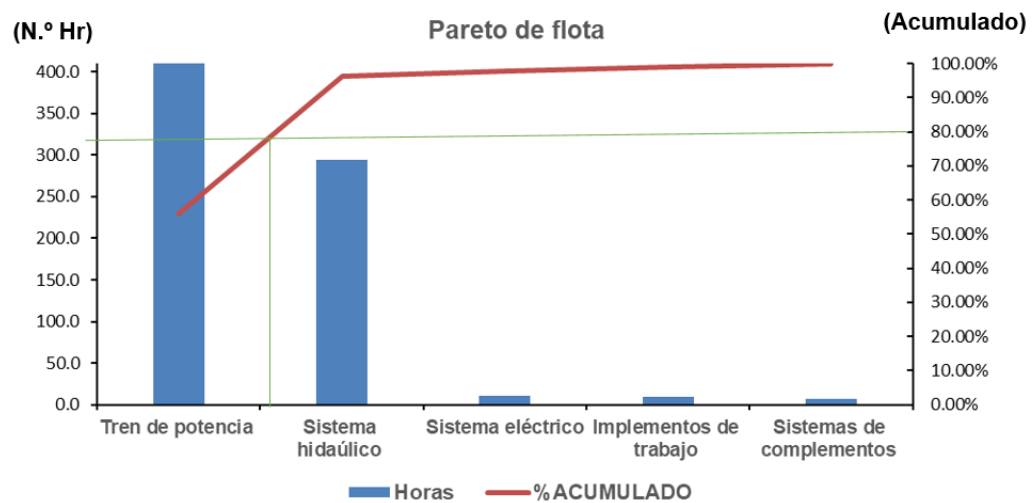
Elaborado por el equipo de trabajo

4.2.2.3 Análisis por Pareto

Para el análisis de fallas es necesario realizar Pareto para poder determinar los sistemas que causan mayor cantidad y horas de paradas en la flota de excavadoras, según la (Figura 41)

Figura 41

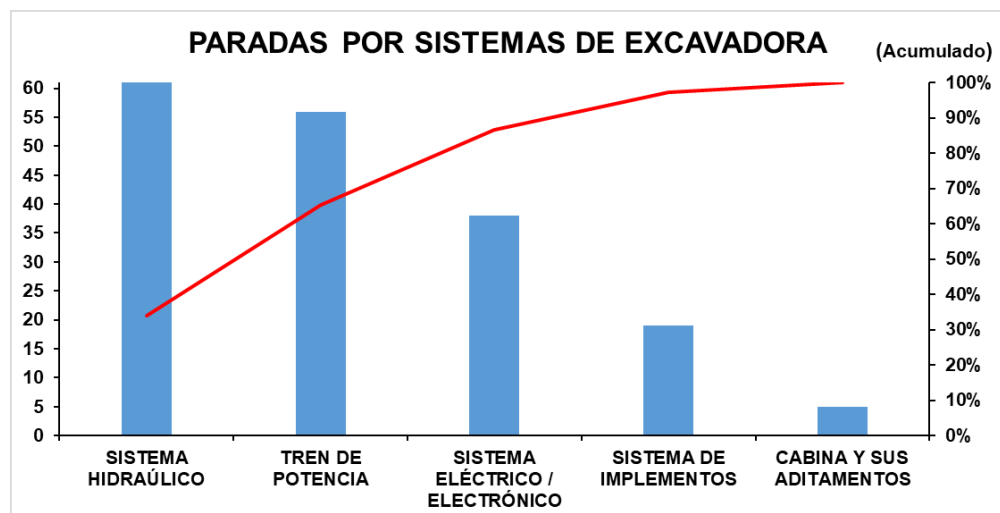
Pareto de horas acumuladas



Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 42

Frecuencia de paradas por sistemas



Elaborado por el equipo de trabajo



Como se muestra en el diagrama de Pareto en el periodo 2021 los sistemas que generan un mayor tiempo de paradas en las excavadoras son el tren de potencia y el sistema hidráulico que equivalen al 80% de las fallas totales de la excavadora, por lo tanto, se realiza un análisis de estos sistemas dado que el PM actualmente para estos sistemas no cuentan con tareas específicas, con esto se podrá disminuir las horas de parada de los equipos incrementando la disponibilidad.

4.2.3 Análisis de modos y efectos de fallo

Para el análisis de modo y efectos de falla (AMEF), planteado por Moubray, está constituido por la hoja de información que se elabora a partir del Árbol Lógico y la hoja de decisiones, en la que se clasifican el tipo de consecuencia que tiene la falla cuyos criterios son por defectibilidad, seguridad, medio ambiente y Los resultados siguientes establecidos en los cuadros a continuación:

4.2.3.1 AMEF Sistema hidráulico

Tabla 21

AMEF del sistema hidráulico

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA - FLOTA						
Sist.	Componente y subsistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Consecuencia de la falla	
Sistema Hidráulico	Válvula Check de línea de retorno	1 Regular el paso fluido	A Incapaz de regular el fluido de aceite hidráulico en la línea de retorno	1 Desgaste de componentes internos por contaminación.	Brazo pierde fuerza y velocidad en momento de excavación. Equipo queda inoperativo.	
	Cilindro hidráulico de brazo.	2 Transmisión de movimiento del brazo	A Incapaz de transmitir correctamente e el movimiento del brazo.	1 El vástago presenta ralladuras	Pérdida fuerza para mover el brazo, requiere acciones correctivas. Equipo inoperativo.	
				2 Sellos en mal estados.	El cilindro presenta fuga de aceite.	
	Cilindro hidráulico de la pluma.	3 Transmite movimiento para subir y bajar la pluma	A Incapaz de transmitir el movimiento a la pluma.	1 El vástago presenta ralladuras	Pérdida fuerza para mover la pluma, requiere mantenimiento correctivo. Equipo inoperativo	
				2 Sellos en mal estado.	Fuga de aceite hidráulico. Requiere acciones correctivas	
	Cilindro hidráulico del cucharón.	4 Transmite movimiento de excavado, balanceado, cargado, extendido y retorno	A Incapaz de transmitir el movimiento al cucharón	1 Ralladura del Vástago	Pérdida fuerza para mover el cucharón, requiere mantenimiento correctivo. Equipo inoperativo	
				2 Desgaste de sellos	Pérdida fuerza para mover el Bucket, requiere mantenimiento correctivo, equipo queda inoperativo	
	Bomba hidráulica	5 Convertir la rotación del motor transmitida a su eje en presión de aceite y descarga el aceite presurizado de acuerdo con la carga.	A No proporciona la presión adecuada,	1 Desgaste interno de componentes	Pérdida de potencia, requiere acciones correctivas. Equipo queda inoperativo	
	Válvula reguladora de presión	6 Regulación de presión en sistema hidráulico	A no regula la presión del fluido	1 Desgaste interno	Pérdida de presión y caudal.	
				3 Orings internos dañados	Fuga de aceite hidráulico, pérdida de presión y caudal.	
Manguera hidráulica de la pluma.	7 Transportar el fluido a la bomba hidráulica	A No transporta fluido hidráulico a la bomba	1 Abrasión	Fuga de aceite hidráulico. Equipo inoperativo		
Manguera hidráulica del Cucharón	8 Transporte de aceite hidráulico al cilindro del cucharón.	A Incapaz de transportar fluido hidráulico al cilindro del cucharón.	1 Abrasión	Fuga de aceite hidráulico. Equipo inoperativo		
Manguera hidráulica del brazo.	9 Transporte aceite hidráulico al cilindro del brazo.	A no transporta fluido hidráulico	1 Abrasión	Fuga de aceite hidráulico. Equipo inoperativo		

Elaborado por el equipo de trabajo

4.2.3.2 AMEF Tren de potencia – tren de rodaje.

Tabla 22

AMEF del tren de potencia del tren de rodaje.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA - FLOTA								
Sist.	Componente y subsistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Consecuencia de la falla			
Tren de Potencia de Rodaje	Zapata	1	Sostener el peso del equipo y permite la estabilidad	A	Incapaz de sostener al equipo y brindar estabilidad y movilidad	1	Rotura y/o fisura de zapata	Descarrilamiento del equipo, operador detiene el equipo. Equipo inoperativo.
	Eslabón	2	Proveer un riel para que la maquina avance sobre los rodillos	A	Incapaz de proveer un riel para que la maquina avance sobre los rodillos	1	Desgaste de eslabón	Genera que se abra la cadena, operador detiene el equipo. Equipo inoperativo.
	Pin master	3	Permitir el acople y desacople de cadena de transmisión	A	Incorrecto acople de cadena	1	Pin master desgastado	Juego excesivo en sistema de carrilería.
	Pin	4	Permite mantener la sección de la cadena unida	A	unión inadecuada entre eslabones	1	desgaste	Juego excesivo en sistema de carrilería.
	Rodillos superiores	5	Transporte de cadena	A	Incapaz de transportar la cadena	1	Desgaste	Juego excesivo en sistema de carrilería.
						2	Fuga de aceite interno.	Contaminación y disminuye la vida útil del componente.
	Rodillos inferiores	6	Soporte de peso de la máquina y guía transporte de cadena	A	Incapaz de movilizar la cadena	1	Desgaste	Juego excesivo en sistema de carrilería.
						2	Fuga de aceite interno.	Contaminación y disminuye la vida útil del componente.
Rueda guía.	7	Guiar la cadena por dentro y fuera de los rodillos inferiores.	A	Incapaz de guiar la cadena	1	Desgaste de rueda guía	Descarrilamiento del equipo, operador detiene el equipo. Equipo inoperativo.	
Rueda motriz.	8	Transferir las fuerzas motrices desde el mando final a la cadena través de los bujes.	A	Incapaz de transferir las fuerzas motrices desde el mando final hacia la cadena	1	Desgaste de rueda motriz	Juego excesivo de tren de carrilería, ocasionando el desgaste prematuro de los componentes.	

Elaborado por el equipo de trabajo

4.2.3.3 AMEF Tren de potencia motor

Tabla 23

AMEF del tren de potencia

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA - FLOTA						
Sist.	Componente y subsistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Consecuencia de la falla	
Tren de potencia del motor	Radiador	enfriamiento de motor	A enfriamiento inadecuado	1	Radiador obstruido externamente por contaminación	Recalentamiento de motor, aparece la alarma de temperatura. Equipo inoperativo
				2	Radiador obstruido internamente por contaminación	Recalentamiento de motor, aparece la alarma de temperatura. Equipo inoperativo
				3	Fuga de refrigerante por celdas de radiador.	Pérdida de refrigerante lo cual ocasiona recalentamiento de motor. Equipo inoperativo.
	Turbocompresor	Compresión de aire hacia el cilindro del motor	A Inadecuada compresión de aire	1	Eje, bujes con desgaste	Pérdida de potencia del equipo.
				2	sellos o retenes desgastados	Pérdida de potencia del equipo.
	Inyectores	Pulverizar y suministrar combustible al cilindro de motor	A Inadecuado suministro de combustible por baja presión	1	Toberas desgastadas, fuga por reten	Pérdida de potencia del equipo.
	Filtro de aire	Atrapar las partículas grandes y limpiar el aire de polvo, basura	A al estar obstruido no filtraba correctamente	1	filtro obstruido por exceso de polvo	Pérdida de potencia del equipo.
	Filtro de combustible	Impide el paso de impurezas y cuerpos extraños en la línea de combustible	A al estar obstruido no filtraba correctamente	1	filtro obstruido por exceso de impurezas	Pérdida de potencia del equipo.

Elaborado por el equipo de trabajo

4.2.3.4 AMEF Sistema eléctrico e implementos

Tabla 24

AMEF del sistema eléctrico y electrónico

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA - FLOTA								
Sist.	Componente y subsistema	Función	Falla funcional		Modo de falla	Consecuencia de la falla		
Sistema eléctrico / electrónico	Alternador	1	Convierte la energía mecánica en eléctrica para el sistema eléctrico y electrónico de la excavadora	A	Incapaz de convertir energía mecánica en eléctrica para flujo eléctrico, electrónico.	1	Carbones desgastados.	El equipo deja de funcionar. Equipo inoperativo.
						Regulador de voltaje dañado	2	El equipo deja de funcionar. Equipo inoperativo.
	Arrancador	2	Convertir la energía eléctrica de la batería en energía mecánica giratoria para arrancar el motor.	A	Incapaz de convertir la energía eléctrica de la batería en energía mecánica giratoria para arrancar el motor.	1	Carbones desgastados.	Equipo no arranca. Equipo inoperativo.
	Baterías.	3	Suministrar la energía eléctrica suficiente para posibilitar el arranque del equipo.		Incapaz de suministrar la energía eléctrica para posibilitar el arranque del equipo.		Falso contacto.	Equipo no arranca. Equipo inoperativo.
	Ramal de sensores	4	censado de parámetros de funcionamiento	A	sin registro de parámetros	1	falla de conectores	El equipo deja de funcionar. Equipo inoperativo.
Implementos	Bucket	1	Excavado de tierra	A	No permite excavar	1	Pernos desajustados, Pernos rotos	El operador reporta la falla, el equipo queda inoperativo.
	Cableado de luces	5	Permite el flujo de corriente para luces mediante una correcta lógica cableada	A	No permite el paso de flujo de corriente	1	Falso contacto, defectos de aislamiento	Equipo no enciende las luces, operador reporta y se programa el mantenimiento correctivo. Equipo operativo con observación.

Elaborado por el equipo de trabajo



4.2.3.5 Análisis de criticidad de modos de falla (NPR)

En esta sección, se llevará a cabo la evaluación de criticidad de los modos de falla, conforme a la norma IEC 60812, con el propósito de asignar una jerarquía a cada falla, considerando su gravedad, probabilidad de ocurrencia y capacidad de detección.

Es fundamental señalar que esta clasificación se efectuó en colaboración con el supervisor y el personal técnico, asegurando una valoración precisa para obtener el número de prioridad de riesgo adecuado.

Tabla 25

Matriz del NPR

Sistema	F	FF	MF	S	O	D	NPR	Riesgo
Sistema Hidráulico	1	A	1	8	1	8	64	Aceptable
	2	A	1	8	3	3	72	Poco Aceptable
			2	4	6	3	72	Poco Aceptable
	3	A	1	8	3	3	72	Poco Aceptable
			2	4	6	3	72	Poco Aceptable
	4	A	1	8	3	3	72	Poco Aceptable
			2	4	6	3	72	Poco Aceptable
	5	A	1	8	3	8	192	Inaceptable
	6	A	1	8	1	8	64	Aceptable
			2	8	1	8	64	Aceptable
7	A	1	8	6	3	144	Tolerable	
8	A	1	8	6	3	144	Tolerable	
9	A	1	8	6	3	144	Tolerable	
Tren de potencia - transmisión	1	A	1	8	5	4	160	Tolerable
	2	A	1	8	4	5	160	Tolerable
	3	A	1	8	5	4	160	Tolerable
	4	A	1	8	5	4	160	Tolerable
	5	A	1	7	5	4	140	Tolerable
			2	5	4	5	100	Tolerable
	6	A	1	7	5	4	140	Tolerable
			2	5	4	5	100	Tolerable
7	A	1	8	4	5	160	Tolerable	
8	A	1	8	4	5	160	Tolerable	
Tren de potencia - Motor	1	A	1	7	6	3	126	Poco Aceptable
			2	7	5	4	140	Tolerable
			3	9	4	3	108	Tolerable
	2	A	1	7	4	5	140	Tolerable
			2	7	4	5	140	Tolerable
	3	A	1	7	3	8	168	Tolerable
	4	A	1	6	5	4	120	Poco Aceptable
5	A	1	6	5	4	120	Poco Aceptable	
Sistema eléctrico /electrónico	1	A	1	6	5	4	120	Poco Aceptable
			2	7	5	4	140	Tolerable
	2	A	1	7	5	4	140	Tolerable
	3	A	1	6	6	4	144	Tolerable
	4	A	1	6	3	3	54	Aceptable
5	A	1	4	5	5	100	Poco Aceptable	

Elaborado por el equipo de trabajo

4.2.3.6 Hoja de decisión del RCM

En este análisis debemos de clasificar los modos de falla y de acuerdo a eso podemos realizar tareas de mantenimiento basadas en condiciones y ciclos además de dar una contramedida ya sea el plan de mantenimiento o actividades rutinarias.

Tabla 26

Hoja de decisión RCM

	Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"	Tareas propuestas	Frecuencia inicial (Horas)	A realizar por
								S1	S2	S3				
	F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3				
Sistema hidráulico	1	A	1	S	N	N	S	N	N	S	Mantenimiento preventivo para la programación, cambio de repuesto	5000	Técnico Mecánico	
	2	A	1	S	N	N	S	S	N	S	Inspección del cilindro hidráulico.	2000	Técnico Mecánico	
			2	S	N	S		S	N	N	Inspección de sellos del cilindro.	2000	Técnico Mecánico	
	3	A	1	S	N	N	S	S	N	N	Inspección del cilindro hidráulico.	2000	Técnico Mecánico	
			2	S	N	S		S	N	N	Inspección de sellos del cilindro.	2000	Técnico Mecánico	
	4	A	1	S	N	N	S	S	N	N	Inspección del cilindro hidráulico.	2000	Técnico Mecánico	
			2	S	N	S		S	N	N	Inspección de sellos del cilindro.	2000	Técnico Mecánico	
	5	A	1	S	N	S		S			Monitoreo de análisis de aceite hidráulico	1000	Técnico Mecánico	
	6	A	1	N				N	N	S		Cambio de válvula reguladora.	5000	Técnico Mecánico
			2	N				N	N	S		Inspección visual de la válvula reguladora.	2000	Técnico Mecánico
7	A	1	S	N	S		S			Inspección visual de las mangueras hidráulicas.	1000	Técnico Mecánico		
8	A	1	S	N	S		S			Inspección visual de las mangueras hidráulicas.	1000	Técnico Mecánico		
9	A	1	S	N	S		S			Inspección visual de las mangueras hidráulicas.	1000	Técnico Mecánico		
Tren de rodaje.	1	A	1	S	N	N	S	S			Medición de tren de rodaje	500	Técnico Mecánico	
	2	A	1	S	N	N	S	S			Medición de tren de rodaje	500	Técnico Mecánico	
	3	A	1	S	N	N	S	S			Medición de tren de rodaje	500	Técnico Mecánico	
	4	A	1	S	N	N	S	S			Medición de tren de rodaje	500	Técnico Mecánico	
	5	A	1	S	N	N	S	S			Medición de tren de rodaje	500	Técnico Mecánico	



Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 H2 H3			Tareas "a falta de"				Tareas propuestas	Frecuencia inicial (Horas)	A realizar por
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
		2	S	N	S		S						Limpieza / Inspección visual	500	Técnico Mecánico	
6	A	1	S	N	N	S	S						Medición de tren de rodaje	500	Técnico Mecánico	
		2	S	N	S		S						Limpieza / Inspección visual	500	Técnico Mecánico	
7	A	1	S	N	N	S	S						Medición de tren de rodaje	500	Técnico Mecánico	
8	A	1	S	N	N	S	S						Medición de tren de rodaje	500	Técnico Mecánico	
Motor	1	A	1	S	N	N	S	N	S				Limpieza exterior de radiador	1000	Técnico Mecánico	
			2	S	N	N	S	N	S				Sondeo de radiador	5000	Técnico Mecánico	
			3	S	N	N	S	N	S				Inspección visual de fugas.	500	Técnico Mecánico	
	2	A	1	S	N	N	S	N	S				Mantenimiento de turbocompresor	5000	Técnico Mecánico	
			2	S	N	N	S	N	S				Inspección de Turbocompresor	1000	Técnico Mecánico	
	1	A	1	S	N	N	S	N	S				Mantenimiento de Inyectores.	5000	Técnico Mecánico	
	1	A	1	S	N	N	S	N	S				Cambio de filtro de aire	250	Técnico Mecánico	
	1	A	1	S	N	N	S	N	S				Cambio de filtro de combustible	250	Técnico Mecánico	
	Sistema eléctrico /electrónico	1	A	1	S	N	N	S	S					Inspección y limpieza del alternador.	1000	Técnico Mecánico
				2	S	N	N	S	N	S				Mantenimiento del alternador.	2000	Técnico Mecánico
2		A	1	S	N	N	S	S				Inspección y limpieza del arrancador.	1000	Técnico Mecánico		
3		A	1	S	N	N	S	S				Inspección de voltaje / electrolito	500	Técnico Mecánico		
4		A	1	S	N	N	S	N	N	S			Cambio de sensor una vez que falle	CORRECTIVO	Técnico Mecánico	
5	A	1	S	N	N	S	N	N	S			Inspección y limpieza del sistema de luces.	500	Técnico Mecánico		

Elaborado por el equipo de trabajo



4.3 DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Para la creación del nuevo PM utilizamos la matriz AMEF y la hoja de decisiones en relación a la situación real de los equipos, a la hora de organizar cualquier mantenimiento se intenta aprovechar el tiempo muerto en cada PM para poder realizar tareas preventivas y predictivas para no afectar la producción de los equipos, el cronograma por horómetros se realizará de acuerdo a la siguiente tabla 27.

Tabla 27

Actividades de mantenimiento basado en la metodología AMEF

Sistema	Componente	Tarea propuesta	Programa PM (Horas)					
			250	500	1000	1500	2000	5000
Sistema Hidráulico	Cilindro Hidráulico de brazo	Inspección de cilindro hidráulico						X
	Cilindro Hidráulico de pluma	Inspección de cilindro hidráulico						X
	Cilindro Hidráulico de cucharón	Inspección de cilindro hidráulico						X
	Manguera hidráulica de pluma	Inspección visual de la manguera hidráulica			X			
	Manguera hidráulica cucharón	Inspección visual de la manguera hidráulica			X			
	Manguera hidráulica	Inspección visual de las mangueras hidráulicas			X			
	Bomba Hidráulica	Mantenimiento de bomba hidráulica						X
		Monitoreo de análisis de aceite hidráulico			X			
Tren de potencia - Tren de rodaje	Zapata	Medición de tren de rodaje		X				
	Eslabón	Medición de tren de rodaje		X				
	Pin master	Medición de tren de rodaje		X				
	Pin	Medición de tren de rodaje		X				
	Rodillos superiores	Inspección visual / Medición		X				
	Rodillos inferiores	Inspección visual / Medición		X				
	Rueda guía.	Medición de tren de rodaje		X				
	Rueda motriz.	Medición de tren de rodaje		X				
Tren de potencia - Motor	Radiador	Limpieza de radiador			X			
	Turbocompresor	Medición de juego axial y radial						X
	Inyectores	Mantenimiento de Inyectores						X
	Filtro de aire	Cambio de filtro de aire	X					
	Filtro de combustible	Cambio de filtro de combustible	X					
Sistema eléctrico / Electrónico.	Alternador	Mantenimiento de alternador					X	
	Arrancador	Mantenimiento de arrancador					X	
	Baterías.	Mantenimiento de baterías		X				
	Ramal de sensores	Procedimiento de fabrica						
	Cableado de luces	Inspección visual de cables		X				

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 43

Plan de mantenimiento propuesto

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA (HRS.)	CO_REPUESTO	CANT	UNIDAD MEDIDA	COSTO UNIT. \$	PROGRAMA PM (HORAS)				
							250	500	1000	2000	5000
General											
020-1	Inspección del Nivel de aceite de motor de giro de tornamesa (añadir de ser necesario)	Diario					X				
020-2	Inspección del Nivel de aceite de mandos finales (añadir de ser necesario)	Diario					X				
020-3	Engrase general del equipo	Diario					X				
020-4	Inspección del Nivel de aceite de motor (añadir de ser necesario)	Diario					X				
020-5	Inspección del Nivel de aceite de hidráulico (añadir de ser necesario)	Diario					X				
020-6	Inspeccionar cinturón de seguridad	Diario					X				
020-7	Lavado General de equipo	Diario					X				
Sistema de motor											
023-1	Cambio de Aceite de Motor	250	15W40-R4X	10	Galones	12.47	X	X	X	X	X
023-2	Cambio de Filtro de Aceite	250	LF9009	1	Unidad	17.56	X	X	X	X	X
023-3	Cambio de Filtro de Aire Primario	250	P537876	1	Unidad	42.52	X	X	X	X	X
023-4	Cambio de Filtro de Combustible	250	P550774	1	Unidad	6.52	X	X	X	X	X
023-5	Cambio de Filtro Separador de Agua	250	FS19732	1	Unidad	21.34	X	X	X	X	X
023-6	Cambio de Filtro de Combustible Racor	250	P552040	1	Unidad	9.07	X	X	X	X	X
023-7	Ajuste del tensado de faja de alternador y compresor	250					X	X	X	X	X
023-8	Cambio de Filtro de Aire Secundario	500	P537877	1	Unidad	26.79		X	X	X	X
023-9	Inspección visual de fugas de radiador	500						X	X	X	X
023-10	Revisión y Evaluación de Turbocompresor	1000							X	X	X
023-11	Calibración de Válvulas	1000							X	X	X
023-12	Limpieza exterior de radiador, enfriador de aceite, postenfriador, enfriador de combustible y condensador A/C	1000							X	X	X
023-13	Lavado de Tanque de Combustible	500						X	X	X	X
023-16	Inspección de Bomba de Agua	1000							X	X	X
023-19	Cambio de Refrigerante	2000	20110011426	8.2	Galones	8.37				X	
023-20	Cambio de Faja de Alternador (cod original)	2000								X	
023-21	Mtto Turbocompresor	5000									X
023-22	Mantenimiento de Inyectores	5000									X
023-23	Sondeo de Radiador	5000									X
Sistema Hidráulico											
023-24	Cambio de Filtro Hidráulico	1000	207-60-71183	1	Unidad	64.86			X	X	X
023-25	Cambio de Filtro Hidráulico (equipo con martillo)	1000	207-970-5121	1	Unidad	170.42			X	X	X
023-26	Cambio de Respiradero del Tanque Hidráulico	1000	421-60-35170	1	Unidad	15.7			X	X	X
023-27	Cambio de Filtro de elemento Hidráulico	1000	20Y-62-51691	1	Unidad	14.36			X	X	X
023-28	Cambio de Oring(1) Filtro Hidráulico (equipo con martillo)	1000	07000-12011	1	Unidad	1.27			X	X	X
023-29	Cambio de Oring (2) Filtro Hidráulico (equipo con martillo)	1000	07000-12125	1	Unidad	5.72			X	X	X
023-30	Cambio de Oring de Filtro Hidráulico	1000	07000-15195	1	Unidad	12.6			X	X	X
023-31	Cambio de Oring Filtro Piloto	1000	706-76-71390	1	Unidad	21.53			X	X	X
023-32	Análisis de aceite Hidráulico	1000							X	X	X
023-33	Inspección de mangueras hidráulicas de stick, boom y bucket.	1000							X	X	X
023-34	Cambio de Aceite Hidráulico	2000	S4-CX-10W	50	Galones	12.21				X	
023-35	Inspección de cilindros hidráulico de boom, stick y bucket	2000								X	
023-36	Inspección de los sellos de los cilindros hidráulicos	2000								X	
Tren de rodaje											
023-37	Tensado de cadena de Orugas (de ser necesario)	250					X	X	X	X	X
023-38	Torqueo de los pernos de la zapata de orugas (ambos lados)	250					X	X	X	X	X
023-39	Inspección y Medición de la carrilería	500						X	X	X	X
023-40	Limpieza e inspección visual de rodillos superiores e inferiores	500						X	X	X	X
023-41	Cambio de Aceite de Mandos Finales	1000	S4-CX-30	5	Galones	14.75			X		
023-42	Cambio de Aceite de Caja de Giro de Tornamesa	1000	S4-CX-30	4.5	Galones	14.75			X		
023-43	Cambio de aceite de la Caja del Amortiguador	2000	S4-CX-30	0.4							X
Sistema eléctrico											
023-44	Mantenimiento de Batería	500						X	X	X	X
023-45	Inspección de luces	500						X	X	X	X
023-46	Inspección y Limpieza de Arrancador (Visual)	1000							X	X	X
023-47	Inspección y Limpieza de Alternador (Visual)	1000							X	X	X
023-48	Mtto. Arrancador	2000								X	
023-49	Mtto. Alternador	2000								X	
Cabina y sus aditamentos											
023-50	Limpieza del filtro de aire acondicionado (cabina y externo)	500						X	X	X	X
023-51	Cambio de Filtro de Aire Acondicionado (Externo)	2000	FA-24297	1	Unidad	8.01				X	
023-52	Cambio de Filtro de Aire Acondicionado (Cabina)	2000	2A5-979-1551	1	Unidad	6.19				X	
023-53	Cambio de Faja de Aire Acondicionado	2000	04120-21761	1	Unidad					X	
023-54	Medición de presión de gas del aire acondicionado	2000								X	
023-55	Mantenimiento de Compresor de A/C	5000									X

Elaborado por el equipo de trabajo



V. CONCLUSIONES

- Se consigue desarrollar un plan de mantenimiento basado en la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM); donde la principal herramienta es el Análisis de Modos y Efectos de Fallo (AMEF) y la principal herramienta de construcción del plan es el árbol de decisiones el cual ayudó a determinar tareas y nuevas frecuencias garantizando la confiabilidad de la flota estudiada, así mismo se complementó con formatos de seguimiento para la ejecución del mantenimiento preventivo y predictivo.
- Se determinó el estado general de la flota de 156 equipos, donde las mayores pérdidas económicas son un total de \$/94,334.55 en el periodo 2021 las cuales fueron causadas por la flota de excavadoras, esto debido a la baja disponibilidad de estos equipos, a causa de la mala aplicación del mantenimiento preventivo, lo cual concluye en una gestión deficiente para los equipos de movimiento de tierras.
- Se determinó al equipo crítico, con una criticidad de 140 puntos según criterios de ponderación es la excavadora, con una disponibilidad de 92% de flota, con un 3% inferior a la disponibilidad óptima de flota de 95 %.
- Se determinó que los sistemas que ocasionan mayor número de paradas son el sistema hidráulico y el tren de potencia, en el análisis de Número de Prioridad de Riesgos (NPR) del sistema hidráulico, el componente, bomba hidráulica, alcanza una puntuación de 216, para el sistema tren de fuerza -transmisión el puntaje NPR es de 160 para casi todos los modos de fallo, respecto al NPR para el sistema tren de fuerza-motor se alcanza una puntuación de 216 para el componente radiador. Finalmente se aplicó el árbol de decisiones RCM el cual incluye en su mayoría en acciones



preventivas y predictivas para todos los modos de falla, por lo cual se concluye que se aplicó debidamente la metodología RCM para la flota de excavadoras.



VI. RECOMENDACIONES

- Capacitación al personal de mantenimiento para el uso correcto de los nuevos equipos para la reparación de excavadoras y reducir el tiempo de mantenimiento.
- La correcta operación también es otro factor que influye, por lo que se recomienda capacitar al personal nuevo, con el fin de ampliar el tiempo de vida de la maquinaria.
- Complementariamente se recomienda establecer un plan de mejora continua de la gestión de mantenimiento para los equipos de movimientos de tierras.
- Para la adquisición de equipos nuevos se recomienda un arranque desde cero con registros e historiales para conocer los modos de falla y usar la matriz de Análisis de Modos y Efectos de Fallo (AMEF) que ayudará en su clasificación y medida de control.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTMANN, C. (s. f.). *El Análisis de Causa Raíz, como herramienta en la mejora de la Confiabilidad*.
- Arias, J. L. (2020). *Proyecto de tesis guía para la elaboración* (Primera). José Luis Arias Gonzales. www.agogocursos.com
- BSG institute, B. S. G. (2022, febrero 18). *Definiciones de Mantenimiento en las Normas*. BSG Institute. <http://bsginstitute.com/bs-campus/blog/Definiciones-de-Mantenimiento-en-las-Normas-11>
- Carcél Carrasco, francisco J. (2014). *La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industria*.
- Cárcel Carrasco, J. (2014). *La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial*. OmniaScience.
- Chuquimango Morocho, Y. (2018). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la flota de excavadoras hidráulicas 336DL para reducir costos de reparación en la empresa Coansa del Perú Ingenieros S. A. C. Cajamarca 2017*. Universidad Privada del Norte.
- Diaz, H. A. (2021). Optimización del plan de mantenimiento usando la metodología de Mantenimiento centrado en confiabilidad viviente (L-RCM) para los equipos de la flota de tractores orugas de Carbones del Cerrejón Limited. *instname:Universidad Antonio Nariño*. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/5736>
- Espinoza. (2010). *Metodología de investigación tecnológica* (primera, Vol. 1).
- Flores, D., & Molina, D. (2021). *Elaboración de un plan de mantenimiento basado en RCM para la flota vehicular de la empresa pública EMMAIPC-EP* [Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. <file:///D:/2023/descargas/UPS-CT009196.pdf>



- Fore, S., & Msipha, A. (2010). PREVENTIVE MAINTENANCE USING RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE (RCM): A CASE STUDY OF A FERROCHROME MANUFACTURING COMPANY. *The South African Journal of Industrial Engineering*, 21(1), Article 1. <https://doi.org/10.7166/21-1-78>
- García Garrido, S. (2003). *Organizacion y gestion integral de mantenimiento*.
- García Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. <https://es.b-ok.lat/ireader/5248388>
- González, Fr. (2005). *Teoría y Práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Fundación Confemetal. https://books.google.com.pe/books?id=OzwXOAKv_QAC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false
- <https://www.komatsulatioamerica.com/mexico>. (s. f.). *PC350LC-8 | Komatsu México*. México. Recuperado 14 de agosto de 2023, de <https://www.komatsulatioamerica.com/mexico/arriendos/pc350lc-8>
- <https://www.komatsulatioamerica.com/peru>. (s. f.). *WA380-6 | Komatsu Perú*. Perú. Recuperado 14 de agosto de 2023, de <https://www.komatsulatioamerica.com/peru/productos/wa380-6>
- IPESA. (2020, agosto 19). *Retroexcavadora*. IPESA. <https://www.ipesa.com.pe/blog/retroexcavadora-guia-basica/>
- komatsu latinoamerica. (2022). *WA380-6 | Komatsu Perú*. Perú. <https://www.komatsulatioamerica.com/peru/productos/wa380-6>
- Labra Quispe, E. (2018). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para la maquinaria pesada para movimiento de tierra, de la Municipalidad Provincial de Canchis—Cuzco. *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9824>
- Maquinaria Pesada. (2019). *Operacion de Maquinaria Pesada*. <https://www.maquinariaspesadas.org/blog/6577-curso-operacion-mantenimiento-cargadores-frontales-tipos-estructura>



- Martinez, C. (2004). *Implementación de un análisis de modo y efecto de falla en una línea de manufactura para juguetes*. Universidad Autonoma de Nuevo Mexico.
- Montes, Á., & Montes, A. (2014). *Guía para proyectos de investigación*. 37.
- Montilla, C. (2007). Caso de aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad rcm, previa existencia de mantenimiento preventivo. *Scientia et Technica Año XIII*.
- Morgan, F. (2022). *APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) A LA FLOTA DE CAMIONES 797F EN UNA EMPRESA MINERA PARA MEJORAR EL NIVEL DE SERVICIO, AREQUIPA 2019* [Tesis Pregrado].
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/11578/44.0778.II.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moubray, J. (2005). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Reliability-Centred Maintenance) | John Moubray |*. <https://es.b-ok.lat/book/11660242/5d2845>
- Portal Arribasplata, E. (2016). *Propuesta de implementación de mantenimiento productivo total (TPM) en la gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad operativa de los equipos de movimiento de tierras en la empresa Multiservicios Punre S.R.L., Cajamarca 2016*.
- Rey. (1996). *Hacia la excelencia en mantenimiento* (primera).
- Sagasti, B. (2017). *RETROEXCAVADORA. GRUPOB0*.
<https://fimegrupob0.blogspot.com/>
- Salas, P. (2021). *PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO PMO Y RCM PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE TRACTORES DE ORUGAS CATERPILLAR D11T EN UNA EMPRESA MINERA DE TACNA* [Tesis Maestría, Universidad Nacional de San Agustín].
<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f4d9f3f9-42aa-447b-9c20-443fa6ffcbab/content>
- Salinas, P. (2012). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA*.
http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/34398/metodologia_invest



igacion.pdf;jsessionid=3754D64021A16DFBEC3B4A47BA0811B2?sequence=1

Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2003). *RCM--Gateway to World Class Maintenance*. Elsevier.

Torres, L., & Sebastian, J. (2018). *Desarrollo e implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para equipos de pavimentación y movimiento de tierra pertenecientes a la Empresa JMS Ingeniería SAS*. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13411>

UNE 200001-3-11:2003 *Gestión de la confiabilidad. Parte 3-11: ...* (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2022, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0029993>

Velasquez Limachi, W. B. (2021). Comparación del mantenimiento productivo total y mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la efectividad en volquetes FMX en la Cooperativa Minera Santiago de Ananea LTDA, 2020. *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/16085>

Yssaad, B. Khiat, M., & Chaker A. (2014). Relibity centered maintenance optimization or power distribution systems. *International Journal of Electrical Power and energy systems*. <http://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.08.025>



ANEXOS

ANEXO 1: Historial de mantenimiento de flota de la muestra

Excavadora hidráulica 21-03										
Documentación	Código	Horómetro	Hora inicial	Horas O.	PARADAS(X)	HORAS INOP.	CORRECTIVO (X)	MP(X)	FECHA	Observación
ORDEN DE TRABAJO(OTROS)	031-0003308	5,018.20	5,018.20	0.00		0			07/12/2021	
(ACTA) EQUIPOS DE COMPACTACIÓN Y EQUIPOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA	032-0001266	5,018.20	5,016.80	1.40		0			04/11/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	031-0006267	5,016.80	5,016.80	0.00					04/11/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	031-0017134	5,016.80	5,013.00	3.80	X	32	X		30/10/2021	BOMBA HIDRÁULICA PRESENTA BAJA DE PRESIÓN
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	031-0016331	5,013.00	4,977.00	36.00	X	14	X		28/10/2021	RODILLO SUPERIOR DESCARRILADO
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	031-0016327	4,977.00	4,895.00	82.00	X	8	X		21/10/2021	FUGA DE ACEITE HIDRÁULICO POR MANGUERA DE RETORNO AL TANQUE HIDRÁULICO
HOJA DE SERVICIO	031-0011280	4,895.00	4,857.00	38.00	X	2		X	04/10/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	031-0005911	4,857.00	4,729.00	128.00					18/09/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	031-0005634	4,729.00	4,708.00	21.00					28/08/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	031-0015829	4,708.00	4,694.70	13.30	X	1.25	X		24/08/2021	CANTONERA DEL CUCHARON SUELTA
LECTURA DE HORÓMETRO	031-0005526	4,694.70	4,676.00	18.70					17/08/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	031-0016010	4,676.00	4,673.70	2.30	X	12	X		22/07/2021	EL RODILLO INFERIOR DE LA ORUGA PRESENTA FUGA
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	031-0016074	4,673.70	4,672.40	1.30	X	10	X		07/07/2021	MANGUERAS HIDRÁULICAS DE MANDOS FINALES DAÑADAS
GR ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS (AREQUIPA)	030-0003374	4,672.40	4,672.40	0.00					24/06/2021	
ORDEN DE TRABAJO(PREVENTIVO)	031-0003002	4,672.40	4,658.50	13.90	X	6		X	24/06/2021	
(ACTA) EQUIPOS DE COMPACTACIÓN Y EQUIPOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA	032-0001059	4,658.50	4,635.00	23.50					16/04/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	031-0014194	4,635.00	4,587.00	48.00	X	8	X		06/04/2021	MANGUERA HIDRÁULICA DE MOTOR DE GIRO DAÑADO
LECTURA DE HORÓMETRO	031-0004388	4,587.00	4,585.00	2.00					26/03/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	031-0014184	4,585.00	4,571.00	14.00	X	0.15	X		24/03/2021	FILTRO DE AIRE OBSTRUIDO
LECTURA DE HORÓMETRO	031-0004292	4,571.00	4,571.00	0.00					19/03/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	031-0004228	4,571.00	4,565.50	5.50					19/03/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	031-0014175	4,565.50	4,532.20	33.30	X	2.5	X		17/03/2021	FOCO QUEMADO DE FARO DELANTERO LADO DERECHO E IZQUIERDO SE ENCONTRÓ FUSIBLE QUEMADO
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	031-0015266	4,532.20	4,532.20	0.00	X	48	X		15/03/2021	RODILLOS SUPERIORES DE LA ORUGA ROTO DEL LADO IZQUIERDO Y PRESENTA FUGA DE ACEITE
LECTURA DE HORÓMETRO	031-0004173	4,532.20	4,532.20	0.00					05/03/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	031-0015261	4,532.20	4,478.00	54.20	X		X		04/03/2021	



Excavadora hidráulica 21-03										
Documentación	Código	Horómetro	Hora inicial	Horas O.	PARADAS(X)	HORAS INOP.	CORRECTIVO (X)	MP(X)	FECHA	Observación
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	031-0014597	4,478.00	4,455.00	23.00	X	24	X		10/02/2021	MANGUERA HIDRÁULICA DE STICK ROTA
HOJA DE SERVICIO	031-0010153	4,455.00	4,436.80	18.20	X	2		X	05/02/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	031-0014586	4,436.80	4,436.80	0.00	X	0.45	X		26/01/2021	PERDIDA DE POTENCIA EN EL SISTEMA HIDRÁULICO
LECTURA DE HORÓMETRO	031-0003702	4,436.80	4,401.00	35.80					26/01/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	031-0003623	4,401.00	4,370.00	31.00					13/01/2021	
				648.20	16	170.35	13	3		

Excavadora hidráulica 21-04										
Documentación	Código	Horómetro	Hora inicial	Horas O.	PARADAS(X)	HORAS INOP.	CORRECTIVO(X)	MP(X)	FECHA	Observaciones
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0011976	6,662.00	6,610.00	52.00					20/12/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0011837	6,610.00	6,539.80	70.20					13/12/2021	
HOJA DE SERVICIO	001-0018829	6,539.80	6,510.00	29.80	X	12		X	28/11/2021	RODILLO SUPERIOR DE CADENA EN MAL ESTADO.
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0011565	6,510.00	6,477.00	33.00					24/11/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0011517	6,477.00	6,385.00	92.00					18/11/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	001-0031150	6,385.00	6,350.00	35.00	X	3.5	X		02/11/2021	PINES DE BUCKET DESGASTADOS
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0011294	6,350.00	6,280.20	69.80					26/10/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0011133	6,280.20	6,273.20	7.00					14/10/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	001-0030932	6,273.20	6,234.00	39.20	X	0.85	X		12/10/2021	PUNTAS DE CUCHARON CON DESGASTE.
HOJA DE SERVICIO	001-0018791	6,234.00	6,226.00	8.00	X	2		X	05/10/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0010978	6,226.00	6,147.60	78.40					02/10/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0010810	6,147.60	5,973.10	174.50					20/09/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	001-0030616	5,973.10	5,973.10	0.00	X	3	X		23/08/2021	PRESENTA CADENA LADO IZQUIERDO DESTEMPLADO
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0010409	5,973.10	5,906.20	66.90					23/08/2021	
GUÍA DE REMISIÓN	012-0015164	5,906.20	5,906.20	0.00					06/08/2021	
ORDEN DE TRABAJO(PINTURA)	001-0021869	5,906.20	5,906.20	0.00					06/08/2021	
ORDEN DE TRABAJO(PREVENTIVO)	001-0021341	5,906.20	5,891.50	14.70	x	6		x	06/08/2021	
CONTROL DE EXTRACCIONES	001-0000055	5,891.50	5,891.50	0.00					11/06/2021	
CONTROL DE EXTRACCIONES	001-0003039	5,891.50	5,891.50	0.00					22/05/2021	
(ACTA) EQUIPOS DE COMPACTACIÓN Y EQUIPOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA	002-0003086	5,891.50	5,890.70	0.80					10/05/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0009264	5,890.70	5,770.20	120.50					05/05/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0008937	5,770.20	5,705.70	64.50					18/03/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	001-0029299	5,705.70	5,669.00	36.70	X	24	X		04/03/2021	VASTAGO DE CILINDRO CUCHARON PRESENTA RAJADURA



Excavadora hidráulica 21-04										
Documentación	Código	Horómetro	Hora inicial	Horas O.	PARADAS(X)	HORAS INOP.	CORRECTIVO O(X)	MP(X)	FECHA	Observaciones
HOJA DE SERVICIO	001-0016295	5,669.00	5,668.80	0.20	X	2		X	25/02/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	001-0029270	5,668.80	5,633.00	35.80	X	2.5	X		25/02/2021	PINES Y BOCINAS DE CUCHARON DESGASTE
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0008705	5,633.00	5,496.60	136.40					22/02/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0008552	5,496.60	5,353.00	143.60					05/02/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0008486	5,353.00	5,352.60	0.40					29/01/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	001-0008383	5,352.60	5,267.00	85.60					18/01/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	001-0028917	5,267.00	5,263.00	4.00	X	24	X		07/01/2021	RODILLOS SUPERIORES Y INFERIORES DE ORUGA DESGASTADOS
HOJA DE SERVICIO	001-0018077	5,263.00	5,135.00	128.00	X	2		X	06/01/2021	
				1,527.00	11	81.85	6	5		

Excavadora Hidraulica21-02										
Documentación	Código	Horómetro	Hora inicial	Horas O.	PARADAS(X)	HORAS INOP.	CORRECTIVO (X)	MP(X)	FECHA	Observación
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	041-0019702	8,024.0	8,012.6	11.40	X	24	X		07/12/2021	TREN DE CARRILERA CON DESGASTE EXCESIVO.
EQUIPOS DESMOBILIZADOS EN OBRA	041-0000199	8,012.6	7,965.0	47.60					04/11/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	041-0019896	7,965.0	7,943.9	21.10	X	14	X		22/10/2021	PRESENTA PERDIDA DE FUERZA
HOJA DE SERVICIO	021-0012443	7,943.9	7,943.9	0.00	X	2		X	18/10/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	041-0001476	7,943.9	7,943.9	0.00					18/10/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	041-0016430	7,943.9	7,815.0	128.90	X	14	X		15/10/2021	ESLABÓN Y PIN MASTER DE ORUGA DE LADO IZQUIERDO DESGASTADO
LECTURA DE HORÓMETRO	041-0001316	7,815.0	7,784.3	30.70					27/09/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	041-0018301	7,784.3	7,708.3	76.00	X	16	X		15/09/2021	PERDIDA DE POTENCIA DE MOTOR
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	041-0018002	7,708.3	7,623.4	84.90	X	12	X		02/09/2021	FUGA DE ACEITE DE MOTOR, FUGA POR RETEN DE INYECTOR N°2 DE MOTOR DE COMBUSTIÓN
HOJA DE SERVICIO	041-0010261	7,623.4	7,623.4	0.00	X	2		X	21/08/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	041-0000969	7,623.4	7,475.0	148.40					21/08/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	041-0016189	7,475.0	7,423.0	52.00	X	14	X		01/08/2021	RODILLO INFERIOR DE ORUGA IZQUIERDA DAÑADA
LECTURA DE HORÓMETRO	041-0000785	7,423.0	7,395.0	28.00					23/07/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	041-0018760	7,395.0	7,347.0	48.00	X	8	X		17/07/2021	RODILLOS SUPERIOR DESGASTADO
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	021-0016066	7,347.0	7,336.0	11.00	X	2.5	X		06/07/2021	SELLO DE CAÑERÍA DE INYECTOR AVERIADO
LECTURA DE HORÓMETRO	041-0000661	7,336.0	7,245.0	91.00					05/07/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	041-0015804	7,245.0	7,230.0	15.00	X	0.45	X		26/06/2021	MANGUERAS DEL SISTEMA DE AIRE DESAJUSTADAS.
HOJA DE SERVICIO INTERNA	042-0000005	7,230.0	7,230.0	0.00	X	2		X	17/06/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	041-0014436	7,230.0	7,230.0	0.00	X	64	X		17/06/2021	PROBLEMAS EN SISTEMA

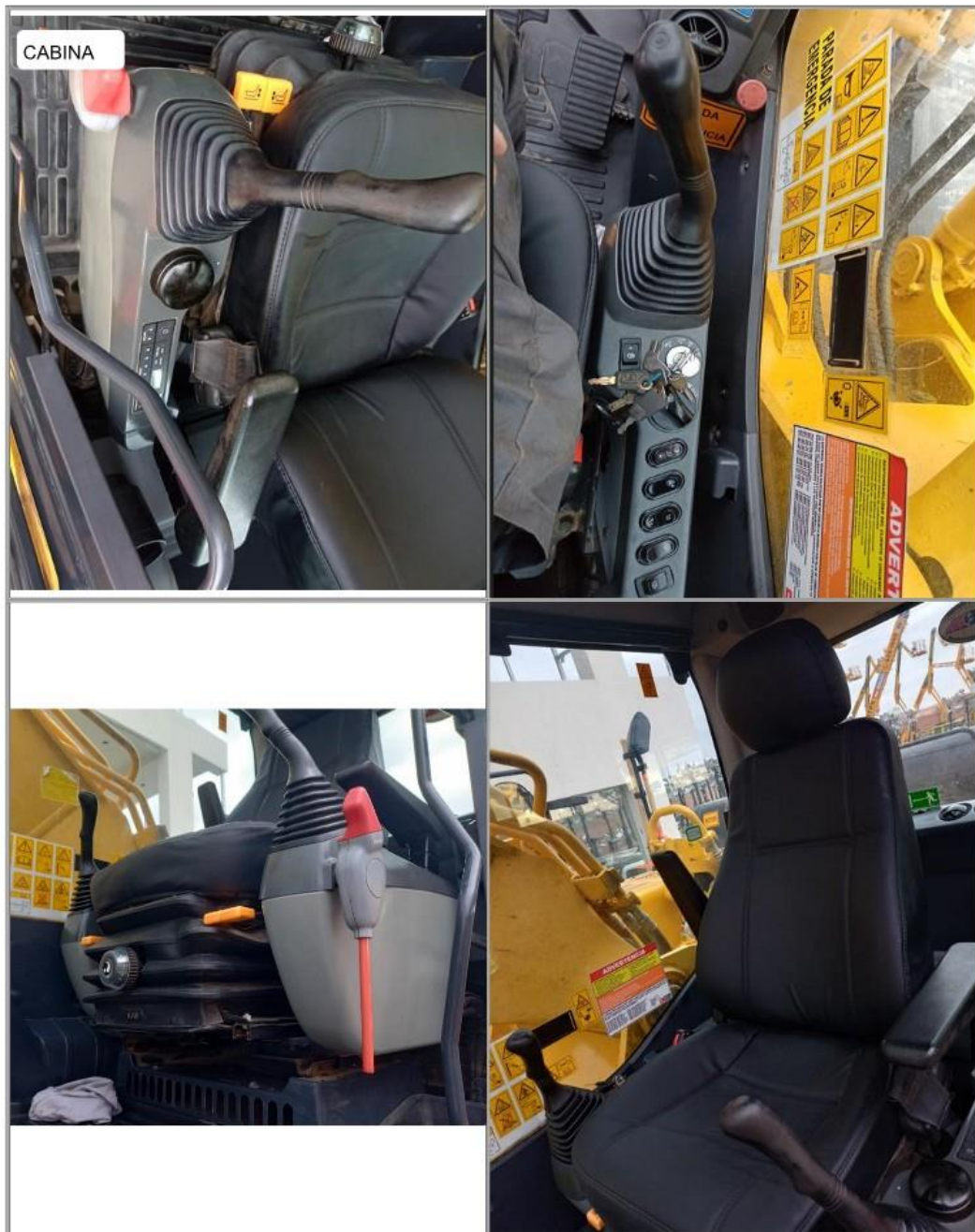


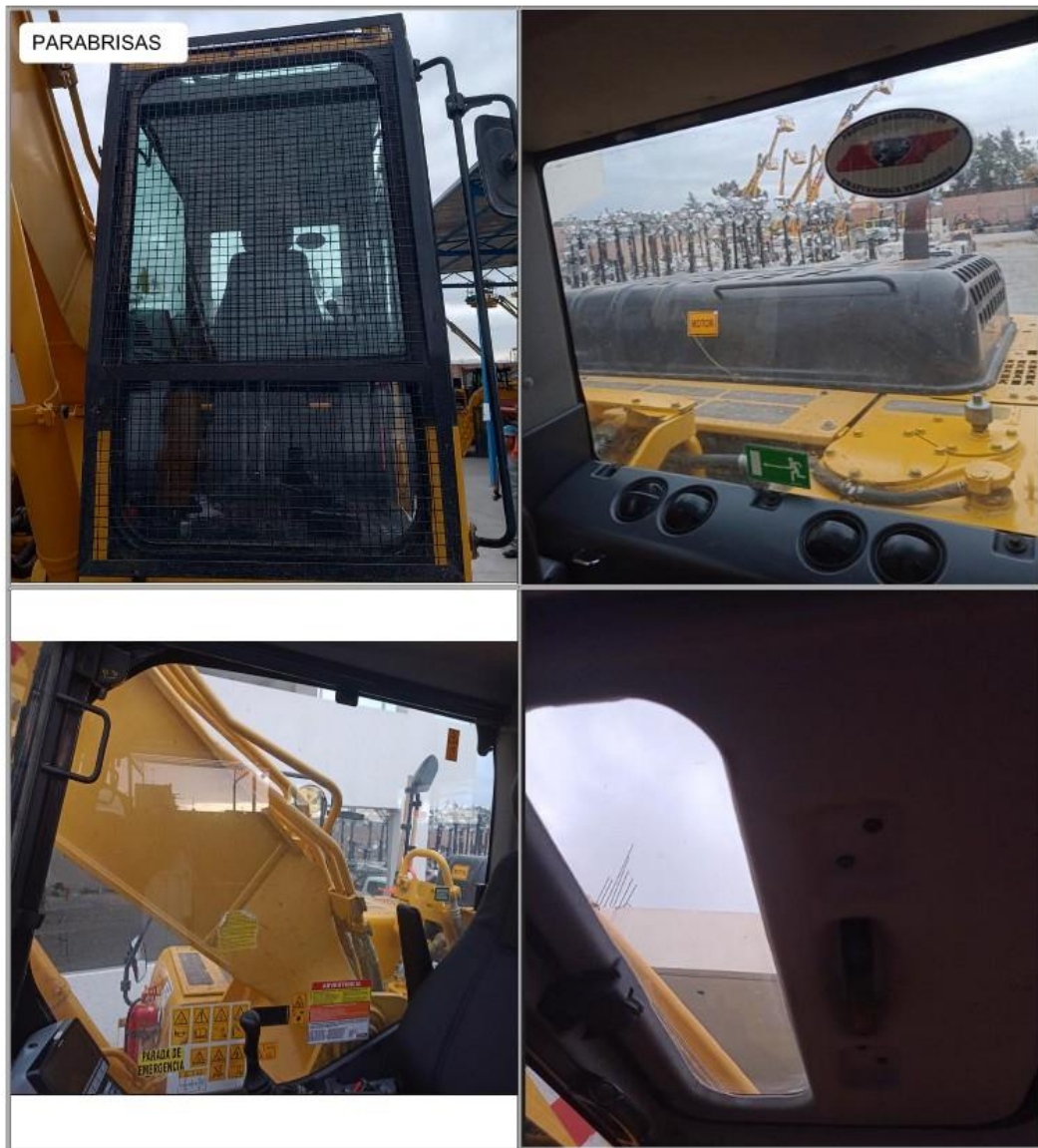
Excavadora Hidraulica21-02										
Documentación	Código	Horómetro	Hora inicial	Horas O.	PARADAS(X)	HORAS INOP.	CORRECTIVO (X)	MP(X)	FECHA	Observación
										COMMON RAIL E INYECTORES
HOJA DE SERVICIO	041-0009489	7,230.0	7,214.0	16.00	X	2		X	15/06/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	041-0000419	7,214.0	7,125.4	88.60					08/06/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	041-0014269	7,125.4	7,048.0	77.40	X	0.85	X		28/05/2021	O RING DE FILTRO RACORD AVERIADO - FUGA DE COMBUSTIBLE
LECTURA DE HORÓMETRO	041-0000228	7,048.0	7,048.0	0.00					18/05/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	041-0014435	7,048.0	7,010.7	37.30	X	12	X		17/05/2021	RODILLO INFERIOR DE ORUGA LADO IZQUIERDO EN MAL ESTADO
HOJA DE SERVICIO	041-0008812	7,010.7	6,893.8	116.90	X	2		X	11/05/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	021-0014266	6,893.8	6,739.5	154.30	X	2.5	X		18/04/2021	PIN DE MASTER DE ORUGAS DESGASTADO
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	021-0014474	6,739.5	6,672.8	66.70	X	8	X		23/03/2021	ALTERNADOR DAÑADO
GR ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS (CHICLAYO)	020-0004435	6,672.8	6,657.8	15.00					26/02/2021	
ORDEN DE TRABAJO(PREVENTIVO)	021-0004184	6,657.8	6,657.8	0.00	x	6		x	26/02/2021	
(ACTA) EQUIPOS DE COMPACTACIÓN Y EQUIPOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA	002-0003113	6,657.8	6,637.1	20.70					04/02/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	021-0014914	6,637.1	6,604.0	33.10	X	4.5	X		01/02/2021	O 'RING ROTO DE CAÑERÍA HIDRÁULICA, PROVOCANDO LA FUGA DE ACEITE.
HOJA DE SERVICIO	021-0009214	6,604.0	6,559.1	44.90	X	2		X	25/01/2021	
LECTURA DE HORÓMETRO	021-0001599	6,559.1	6,476.2	82.90					18/01/2021	
INFORME TÉCNICO DE CAMPO	021-0014755	6,476.2	6,457.0	19.20	X	1.5	X		04/01/2021	FUGA DE ACEITE POR CAÑERÍA DEL BUCKET
				1,567.00	23	216.3	16	7		

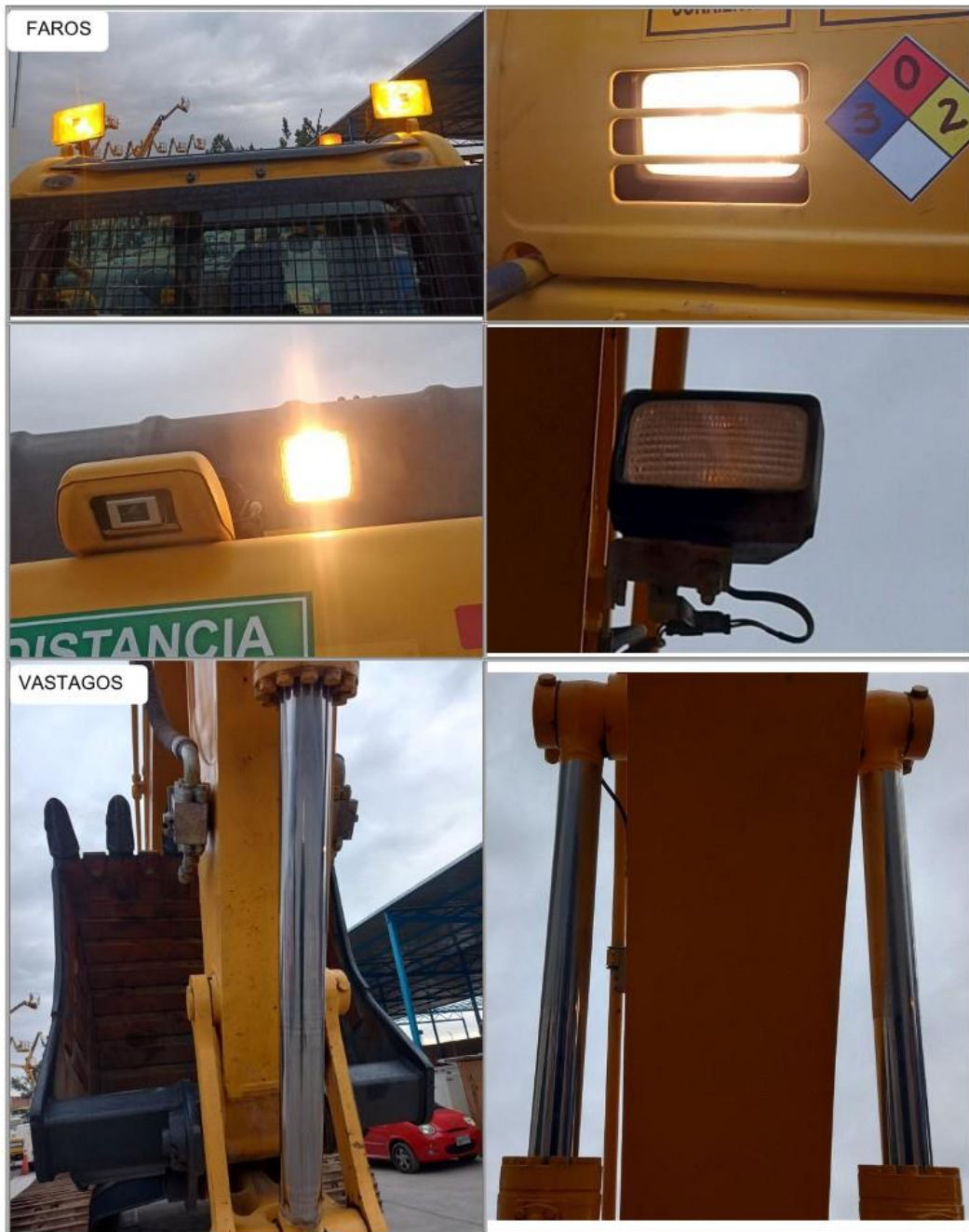
ANEXO 2: Panel fotográfico excavadora hidráulica











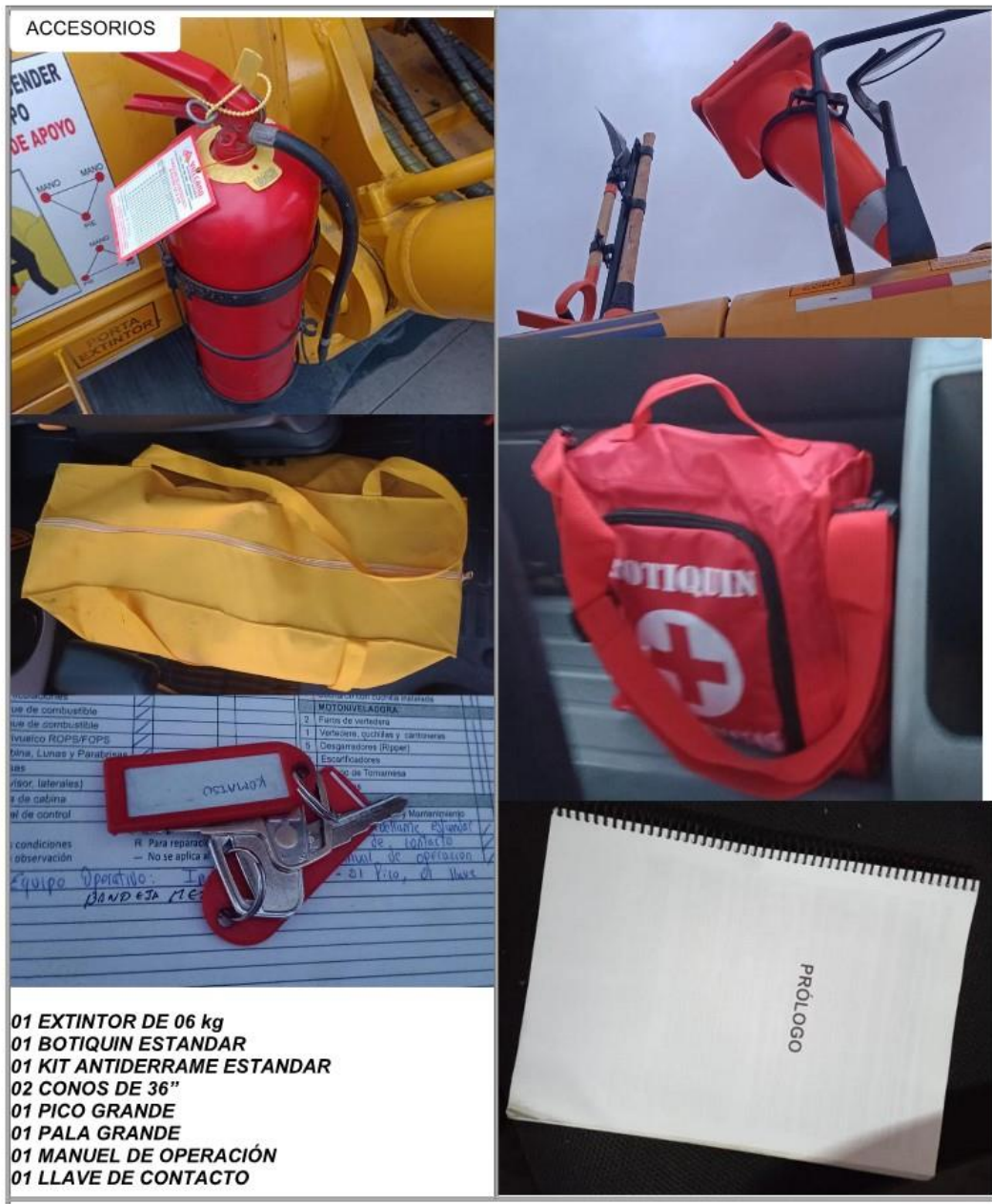


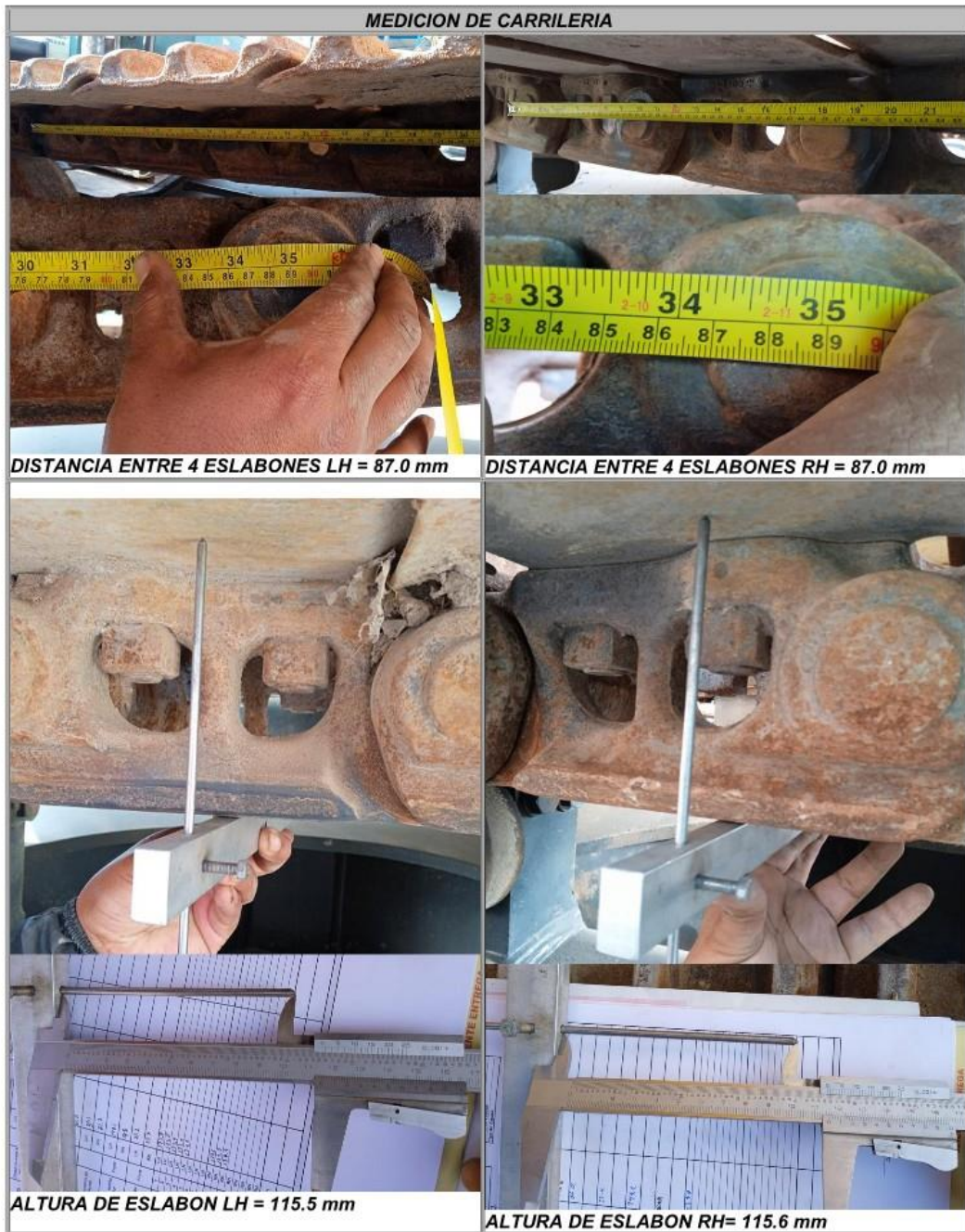


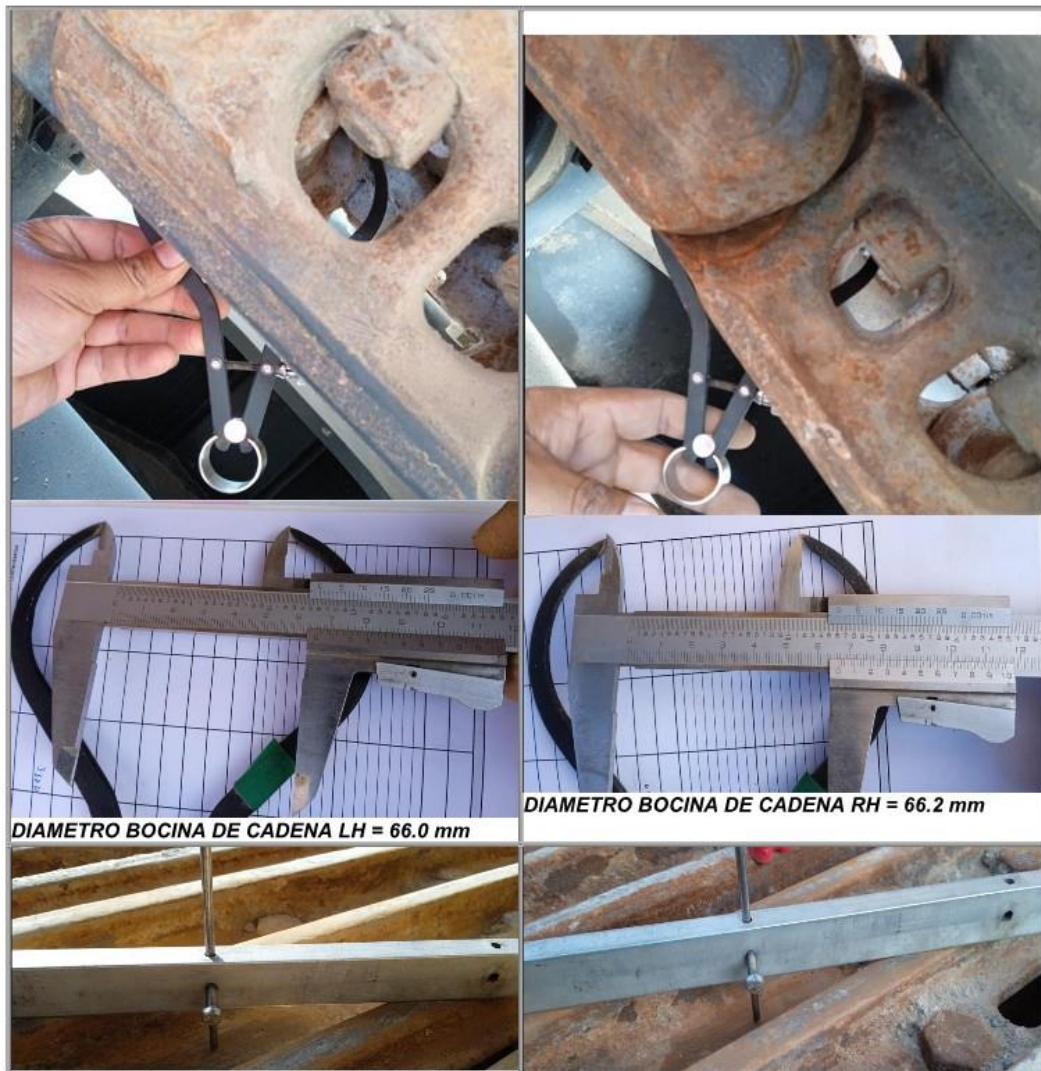


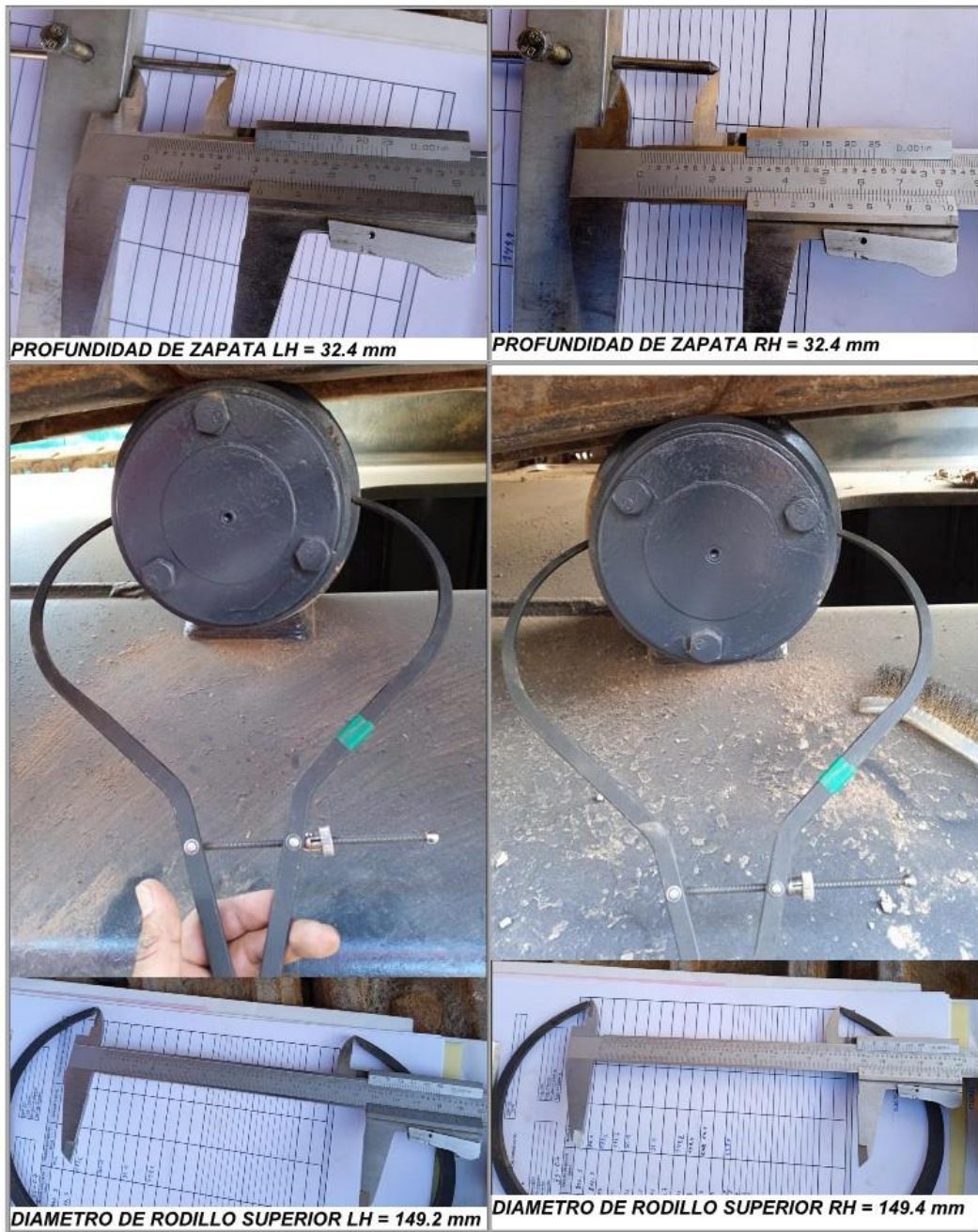




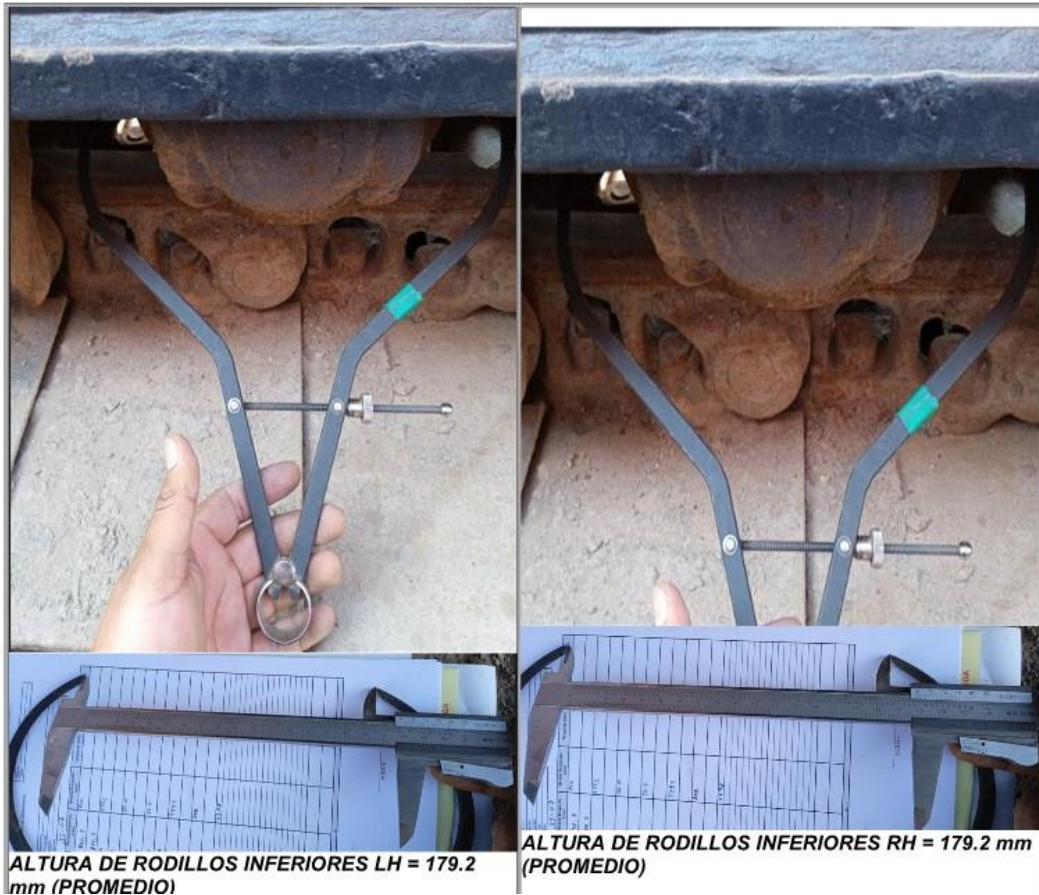












ANEXO 3: Informe de la bomba hidráulica de la excavadora

INFORME DE LA BOMBA HIDRÁULICA DE LA EXCAVADORA



ANTECEDENTES:
El cliente entregó la bomba hidráulica para su respectiva evaluación.

BOMBA 1:

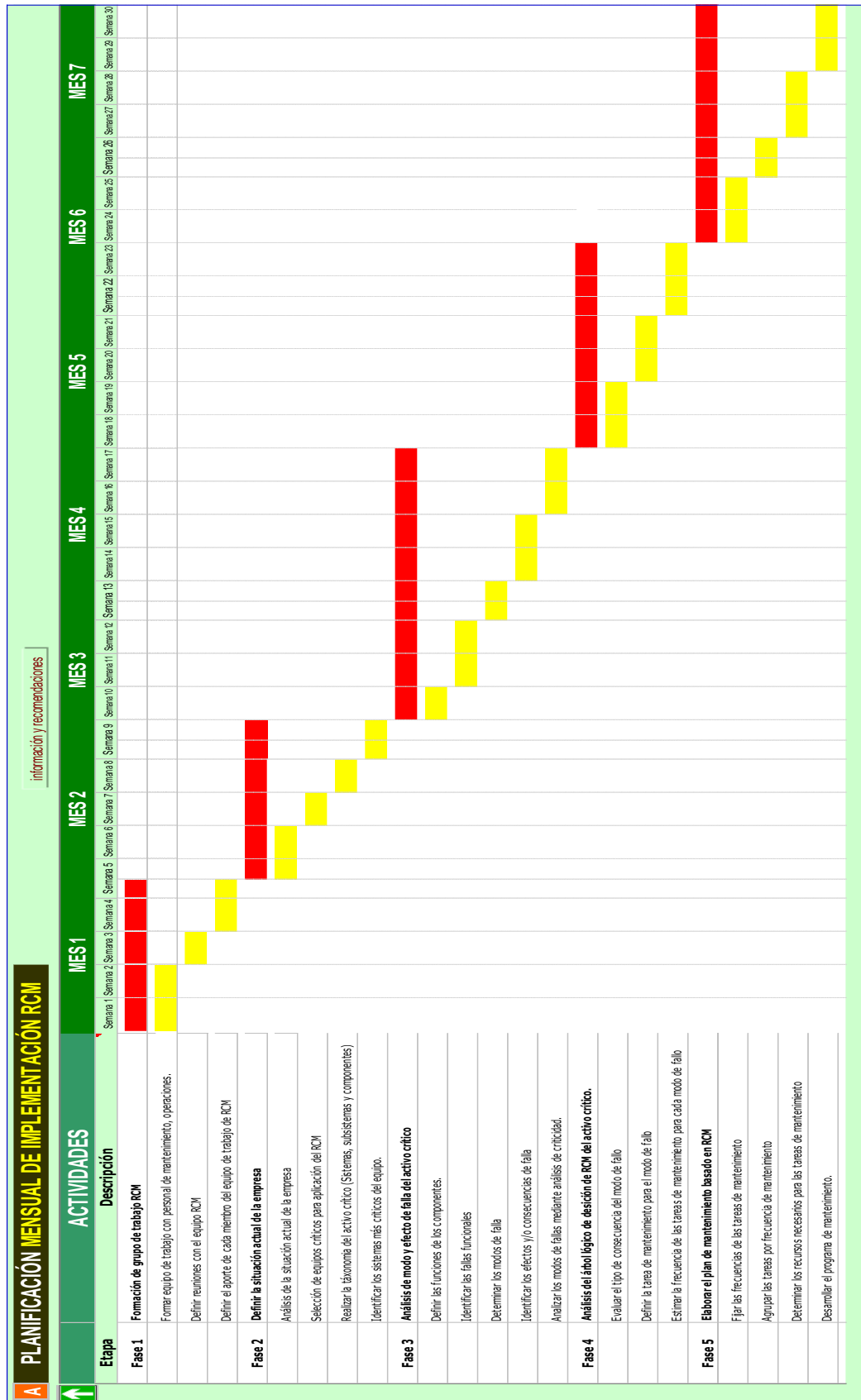
		
		
		



ANEXO 4: Acta de despacho

ACTA DE DESPACHO							
TARE DE ENTREGA Y RECEPCIÓN DE EQUIPO				032- Nº 001556			
Equipa / Teléfonos: (054) 808053 (054) 808052 Ale - Lima - Lima / Teléfonos: 828-1960 / 828-1991				EQUIPO DE COMPACTACIÓN EQUIPO DE MOV. DE TIERRA			
Datos del ARRENDATARIO: CUMBRA PERU S.A.C				RUC:			
Datos de la OBRA: SAN GABRIEL				N° Contrato arrendamiento:			
Datos del EQUIPO: EXCAVADOR DE 35 TN				Código: EX-35-07/CEX-14			
Lugar de Entrega: Planta DQP			Lugar de Recepción:				
Fecha de Entrega: 18 / 01 / 23			Fecha de Recepción:				
Horómetro de Entrega:			Horómetro de Recepción:				
Cd	Descripción	ENTREGA Condición	RECEPCIÓN Condición	Cd	Descripción	ENTREGA Condición	RECEPCIÓN Condición
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA							
1	Batería / Soporte de batería	/	/	1	Mandos / Palancas de control	/	/
2	Cables de batería (+/-)	/	/	1	Armazón de mando / Timón	/	/
1	Llave de contacto de batería	/	/	1	Palanca y cable de acelerador	/	/
1	Arrancador	/	/	1	Botón de parada de emergencia	/	/
1	Alternador, soporte y templador	/	/	1	Chapa/Pulsador/Interruptor de arranque	/	/
	Fajas de accionamiento / poleas	/	/	1	Llave de contacto	/	/
1	Guarda de radiador / ventilador	/	/	1	Horómetro	/	/
	Tapa de aceite	/	/		Faros delanteros	/	/
1	Varilla de aceite	/	/		Señales de seguridad delanteras	/	/
	Base de filtro de aceite motor	/	/		Faros posteriores	/	/
1	Válvula / Tapón de drenaje de aceite	/	/		Señales de seguridad posteriores	/	/
1	Bomba de transferencia de comb.	/	/	1	Asiento de conductor	/	/
	Bomba de inyección / Inyectores	/	/	1	Cinturón de seguridad	/	/
	Mangueras de combustible	/	/	1	Claxon / Alarma de retroceso	/	/
	Porta Filtros (s) de aire	/	/	1	Balza	/	/
	Indicador(es) de restricción de aire	/	/	1	Extintor	/	/
1	Turbo compresor	/	/	1	Botiquin	/	/
1	Tubo silenciador / Tubo de escape	/	/	2	Conos de seguridad	/	/
-	Estado de interruptor(es) y sensor(es)	/	/		RODILLOS		
-	Estado de elementos filtrantes	/	/		Limpia rolas / Soporte de limpia rolas	/	/
	SISTEMA HIDRÁULICO				Resilientes antivibratorios de rola	/	/
	Cilindro(s) hidráulicos	/	/	1	Tapa de tanque de agua	/	/
-	Estado de mangueras hid. y acoples	/	/	1	Tanque de almacenaje de agua	/	/
	Indicador(es) visuales de niveles	/	/		Turbos y aspiradores	/	/
	Tapa de tanque hidráulico	/	/		MINICARGADORES		
	CHASIS CABINA DE OPERADOR			1	Soporte de fijación para accesorios	/	/
	Ruedas (rolas, neumáticos)	/	/	2	Seguros para enroche de accesorios	/	/
1	Seguro de articulaciones	/	/	1	Cucharón con cuchilla instalada	/	/
1	Tapa de tanque de combustible	/	/		MOTONIVELADORA		
1	Llave de tanque de combustible	/	/	2	Faros de vertedera	/	/
-	Armadura antivuelco ROPS/FOPS	/	/	1	Vertedera, cuchillas y cantoneras	/	/
-	Estado de Cabina, Lunas y Parabrisas	/	/	5	Desgarradores (Ripper)	/	/
	Limpiaparabrisas	/	/	9	Escarificadores	/	/
	Espejos (retrovisor, laterales)	/	/	-	Estado de Tornamesa	/	/
1	Llave de puerta de cabina	/	/	2	Escaleras	/	/
-	Estado de Panel de control	/	/		OTROS		
	Condición			1	Guía de Operación y Mantenimiento	/	/
✓	Bien, en buenas condiciones	-	Por probar debe ser revisado		01 Kit anti-derrame estándar	/	/
✗	Presenta alguna observación	R	Para reparación o reponer		01 Llave de contacto	/	/
			No se aplica al equipo		01 Manual de operación	/	/
Observaciones: Equipo Operativo. Incluye - 01 Pala - 01 Pico, 01 Llave de Contacto. BANDEJA METALICA.							
Encargado de la Entrega: [Firma]						Encargado de la Recepción: [Firma]	
Arrendatario/Transportista en la Entrega: [Firma]						Arrendatario/Transportista en la Recepción: [Firma]	
4316244						CONTROL ADM.	

ANEXO 5: Diagrama Gantt de implementación de RCM





ANEXO 6: Formato de diagnóstico y/o evaluación

INFORME DE EVALUACION					
Personal:		Área:		Fecha:	
1. Datos del equipo					
Equipo:		Modelo:		Motor:	
Nombre:		Serie:		Modelo de Motor:	
Marca:		Combustible:		Serie de Motor:	
2. Antecedentes					
Cliente:	-	Horas trabajadas:	-	Fecha de recepción	
Obra:	-	Horómetro	-	-	
Detalles:					
3. Inspección					
Sistema a inspeccionar:					
Motor:	<input type="checkbox"/>	Transmisión	<input type="checkbox"/>	Sistema hidráulico:	<input type="checkbox"/>
Sistema eléctrico:	<input type="checkbox"/>	Cabina	<input type="checkbox"/>	Estructuras y guardas	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Equipo de trabajo	<input type="checkbox"/>
4. Evidencias fotográficas					
5. Fallas					
6. Causas					
7. Consecuencia					
8. Conclusión					



ANEXO 7: Formato de mantenimiento preventivo

PROCEDIMIENTOS DE TRABAJOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
Codificación		Equipo		HOROMETRO	
Frecuencia		Función			
Hora Inicio:		Hora Término:		Tiempo Estimado	5 horas
FECHA :			Tiempo Real:		
Ítem	tareas de mantenimiento mecanico			Visto bueno	Observación
1					
2					
2					
3					
4					
5					
_____		_____		_____	
Realizado por el mecanico (Nombre y Firma)		Operador (Nombre y Firma)		Supervisor de Mantenimiento (Nombre y Firma)	

Jefe de Mantenimiento (Nombre y Firma)					

ANEXO 8: Formato de Inspección de tren de rodamiento

RD RENTAL											
INSPECCION DE TREN DE RODAMIENTO											
							Cliente: _____ Obra: _____				
Modelo: PC350LC-8M0 Locación: _____ Condición de trabajo: _____		N° de Serie: _____ Inspector: _____ Fecha: _____		Cod. Equipo: _____ Ancho de Zapata: _____ Horometro despacho _____ Horometro recepcion _____ Hras trabajadas _____							
			Nuevo	100 % Desgast	Despacho mm	Recepción mm	Desgaste %	Costo U.	Cant.	Costo Parcial	
LINK PITCH 	Alargamiento de eslabones	LH	865.2	877.2				\$ 142.00	0.0		
		RH	865.2	877.2				\$ 142.00	0.0		
LINK HEIGHT 	Altura de eslabones	LH	116.0	107.0				\$ 142.00	48.0		
		RH	116.0	107.0				\$ 142.00	48.0		
BUSHIN 	Diametro de bocinas	LH	66.5	61.5				\$ 81.25	48.0		
		RH	66.5	61.5				\$ 81.25	48.0		
GROUTER HIGHT 	Altura de zapatas	LH	30.0	21.0				\$ 128.20	48.0		
		RH	30.0	21.0				\$ 128.20	48.0		
CARRIER 	Diametro de rodillos superiores	LH	152.0	138.0				\$ 275.00	2.0		
		RH	152.0	138.0				\$ 275.00	2.0		
		LH	152.0	138.0							
		RH	152.0	138.0							
IDLER 	Altura de rueda guía	LH	22.5	28.5				\$ 2,504.13	1.0		
		RH	22.5	28.5				\$ 2,504.13	1.0		
		LH	22.5	28.5							
		RH	22.5	28.5							
TRACK ROLLER 	Diametro de rodillos inferiores	LH	180.0	168.0				\$ 437.28	1.0		
		LH	180.0	168.0				\$ 437.28	1.0		
		LH	180.0	168.0				\$ 437.28	1.0		
		LH	180.0	168.0				\$ 437.28	1.0		
		LH	180.0	168.0				\$ 437.28	1.0		
		LH	180.0	168.0				\$ 437.28	1.0		
		LH	180.0	168.0				\$ 437.28	1.0		
		LH	180.0	168.0				\$ 437.28	1.0		
		RH	180.0	168.0				\$ 437.28	1.0		
		RH	180.0	168.0				\$ 437.28	1.0		
		RH	180.0	168.0				\$ 437.28	1.0		
		RH	180.0	168.0				\$ 437.28	1.0		
		RH	180.0	168.0				\$ 437.28	1.0		
		RH	180.0	168.0				\$ 437.28	1.0		
SPROCKET 		LH	0.0	6.0							
		RH	0.0	6.0							
Subtotal sin IGV									\$	-	
Comentarios											



ANEXO 9: Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo MIGUEL BRYAN PÉREZ ENRÍQUEZ, identificado con DNI 70373484 y GARY WILSON RAMOS OSNAYO, identificado con DNI 47569702 en nuestra condición de egresados de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

informamos que hemos elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“PROPUESTA DE MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE FLOTA DE EQUIPOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA EN UNA EMPRESA DE ALQUILER DE MAQUINARIA BASADO EN RCM”

Es un tema original.

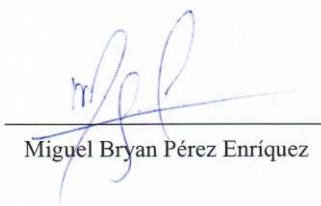
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por nosotros y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratificamos que somos plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumimos la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

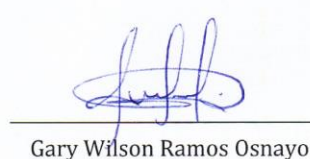
En caso de incumplimiento de esta declaración, nos sometemos a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma nos sometemos a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno, 22 de enero del 2024


Miguel Bryan Pérez Enríquez



Huella


Gary Wilson Ramos Osnayo



Huella



ANEXO 10: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo MIGUEL BRYAN PÉREZ ENRÍQUEZ, identificado con DNI 70373484 y GARY WILSON RAMOS OSNAYO, identificado con DNI 47569702 en nuestra condición de egresados de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

informamos que hemos elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“PROPUESTA DE MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE FLOTA DE EQUIPOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA EN UNA EMPRESA DE ALQUILER DE MAQUINARIA BASADO EN RCM”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmamos y garantizamos ser los legítimos, únicos y exclusivos titulares de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, damos seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizamos a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizamos que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

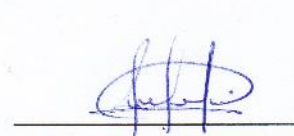
Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribimos el presente documento.

Puno, 22 de enero del 2024


Miguel Bryan Pérez Enriquez


Huella


Gary Wilson Ramos Osnayo


Huella