

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo  
basado en el RCM para optimizar el rendimiento  
de la excavadora 350G LC Jhon Deere  
de la empresa CGM Rental**

Edgar Puma Surco

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Cusco, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

**A** : Felipe Nestor Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Kenny Alberto Melendres Quispe  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 25 de septiembre del 2023

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo basado en el RCM para optimizar el rendimiento de la Excavadora 350G LC Jhon Deere de la empresa CGM Rental", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) Edgar Puma Surco, de la E.A.P. de Ingeniería Mecánica; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas:) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

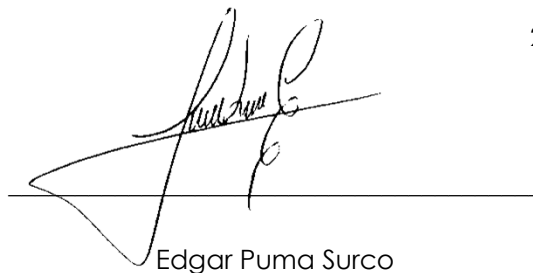
  
\_\_\_\_\_  
Asesor de tesis

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Edgar Puma Surco, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 43682797, de la E.A.P. de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "**Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo basado en el RCM para optimizar el rendimiento de la Excavadora 350G LC Jhon Deere de la empresa CGM Rental**", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.



Edgar Puma Surco

25 de setiembre de 2023.

DNI. No. 43682797

## Similitud Tesis - Edgar Puma Surco

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>1%</b>	<b>7%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>6%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>vsip.info</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>www.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>www.copamaq.com.pa</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>dspace.ups.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repository.ugc.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>Submitted to Universidad Continental</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

10	<a href="https://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="https://pdfcoffee.com">pdfcoffee.com</a> Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
14	<a href="https://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="https://repositorio.upagu.edu.pe">repositorio.upagu.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
17	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
18	<a href="https://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="https://tec-y-htas-de-mejora-continua.blogspot.com">tec-y-htas-de-mejora-continua.blogspot.com</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="https://www.diagnosticoysoluciones.com">www.diagnosticoysoluciones.com</a> Fuente de Internet	<1 %

21	<a href="http://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante	<1 %
23	Submitted to Universidad Europea de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
24	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
25	<a href="http://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
26	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
27	Submitted to Universidad Politécnica de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
28	<a href="http://repositorio.uss.edu.pe">repositorio.uss.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://reini.utcv.edu.mx">reini.utcv.edu.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://repositorio.utc.edu.ec">repositorio.utc.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %

32	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://www.coatastur.es">www.coatastur.es</a> Fuente de Internet	<1 %
34	"Evaluando el grado de idoneidad organizacional de las empresas constructoras chilenas para la aplicación de la dirección de proyectos", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2019 Publicación	<1 %
35	<a href="http://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://saber.ucv.ve">saber.ucv.ve</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://dspace.esPOCH.edu.ec">dspace.esPOCH.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://repositorio.uasf.edu.pe">repositorio.uasf.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://repositorio.unibague.edu.co">repositorio.unibague.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://repositorio.upt.edu.pe">repositorio.upt.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
	<a href="http://repositorio.ecci.edu.co">repositorio.ecci.edu.co</a>	



42	Fuente de Internet	<1 %
43	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
44	Silva, Maurício de Almeida(Terada, Marco Antonio Brasil). "Atualização do laboratório de antenas do ENE/UNB para medição de sinais em ambiente Wireless operando até 6GHZ", RIUnB, 2011. Publicación	<1 %
45	repositorio.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
47	www.antillanamaquinaria.com.do Fuente de Internet	<1 %
48	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
49	manualzz.com Fuente de Internet	<1 %
50	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
51	lareferencia.info Fuente de Internet	<1 %

qdoc.tips

52	Fuente de Internet	<1 %
53	<a href="https://repositorio.uti.edu.ec">repositorio.uti.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
54	<a href="https://www.dropbox.com">www.dropbox.com</a> Fuente de Internet	<1 %
55	<a href="https://bdigital.unal.edu.co">bdigital.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
56	<a href="https://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
57	<a href="https://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
58	<a href="https://www.eluniversal.com">www.eluniversal.com</a> Fuente de Internet	<1 %
59	<a href="https://www.faunaiberica.org">www.faunaiberica.org</a> Fuente de Internet	<1 %
60	<a href="https://charleroibelgium.ml">charleroibelgium.ml</a> Fuente de Internet	<1 %
61	<a href="https://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
62	<a href="https://descierto.com">descierto.com</a> Fuente de Internet	<1 %
63	<a href="https://prezi.com">prezi.com</a> Fuente de Internet	<1 %

64	<a href="https://repositorio.pucese.edu.ec">repositorio.pucese.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
65	<a href="https://repositorio.usta.edu.co">repositorio.usta.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
66	<a href="https://worldwidescience.org">worldwidescience.org</a> Fuente de Internet	<1 %
67	<a href="http://www.theibfr.com">www.theibfr.com</a> Fuente de Internet	<1 %
68	DAIMI PERU S.A.C.. "EIA del Proyecto de Prospección Sísmica 2D y Construcción de 12 Plataformas y Perforación de 24 Pozos Exploratorios en el Lote 121 Sur y Norte-IGA0014711", R.D. N° 086-2011-MEM/AEE, 2021 Publicación	<1 %
69	Miryam Gabriela Pacheco Rodriguez. "Modelo de comunicación interna para instituciones públicas de educación superior. Caso Universidad de Guayaquil.", Universitat Politecnica de Valencia, 2022 Publicación	<1 %
70	Submitted to Universidad de Huanuco Trabajo del estudiante	<1 %
71	<a href="https://alicia.concytec.gob.pe">alicia.concytec.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
	<a href="https://archive.org">archive.org</a>	

72	Fuente de Internet	<1 %
73	<a href="http://biblioteca2.ucab.edu.ve">biblioteca2.ucab.edu.ve</a> Fuente de Internet	<1 %
74	<a href="http://doku.pub">doku.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
75	<a href="http://dspace.udla.edu.ec">dspace.udla.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
76	<a href="http://jobs.baxter.com">jobs.baxter.com</a> Fuente de Internet	<1 %
77	<a href="http://mydatascope.com">mydatascope.com</a> Fuente de Internet	<1 %
78	<a href="http://nanopdf.com">nanopdf.com</a> Fuente de Internet	<1 %
79	<a href="http://repository.udistrital.edu.co">repository.udistrital.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
80	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
81	<a href="http://transportesynegocios.wordpress.com">transportesynegocios.wordpress.com</a> Fuente de Internet	<1 %
82	<a href="http://upc.aws.openrepository.com">upc.aws.openrepository.com</a> Fuente de Internet	<1 %
83	<a href="http://yalma.fime.uanl.mx">yalma.fime.uanl.mx</a> Fuente de Internet	<1 %

84 [zaguan.unizar.es](http://zaguan.unizar.es) <1 %  
Fuente de Internet

---

85 [repositorio.uandina.edu.pe](http://repositorio.uandina.edu.pe) <1 %  
Fuente de Internet

---

86 [repositorio.unp.edu.pe](http://repositorio.unp.edu.pe) <1 %  
Fuente de Internet

---

Excluir citas  Activo

Excluir coincidencias  Apagado

Excluir bibliografía  Activo



**FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS**

**Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo basado en el RCM para optimizar  
el rendimiento de la Excavadora 350G LC Jhon Deere de la empresa CGM Rental**

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

**PRESENTADO POR:**

**BACH. EDGAR PUMA SURCO**

**CUSCO - PERÚ**

**2023**

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios, mi esposa, mis hijos y a mis padres. A Dios, porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres y mi familia, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, siendo mi apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento de mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

## **Dedicatoria**

La concepción de este proyecto está dedicada a mis padres, pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que ahora poseo. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general. También dedico este propósito a mis hijos y mi esposa, Mi Naranjita, compañera inseparable de cada jornada. Ella representó el gran esfuerzo y tesón en momentos de declive y cansancio. A ellos, este designio, que sin ellos, no hubiese podido ser.



## Índice general

Agradecimientos .....	i
Dedicatoria.....	i
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
Introducción .....	xii
<b>1    CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>1</b>
1.1    DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.2    TERRITORIAL.....	1
1.3    TEMPORAL .....	1
1.3.1    Conceptual.....	2
1.4    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.4.1    Formulación del problema.....	2
1.4.2    Problema general.....	3
1.4.3    Problemas específicos .....	3
1.5    OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.5.1    Objetivo general .....	4
1.5.2    Objetivos específicos.....	4
1.6    JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.6.1    Justificación teórica.....	5
1.6.2    Justificación práctica .....	5
1.6.3    Justificación metodológica .....	6
1.6.4    Justificación social .....	6
1.6.5    Justificación económica .....	7
1.6.6    Justificación técnica .....	7
1.6.7    Justificación por conveniencia .....	7
1.7    LIMITACIONES.....	8
1.8    HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES .....	8
1.8.1    Hipótesis general.....	8

1.9	IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES .....	8
1.9.1	Descripción de variables.(1).....	8
1.9.2	Operacionalización de las variables .....	9
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	11
	Antecedente internacional.....	11
2.1.1	Antecedente nacional .....	11
2.2	BASES TEÓRICAS .....	13
2.2.1	Excavadora .....	13
2.2.2	Generalidades del mantenimiento .....	14
2.2.3	Propósito del mantenimiento.....	14
2.2.4	Costo de mantenimiento.....	14
2.2.5	Costos fijos de mantenimiento .....	14
2.2.6	Costos financieros de mantenimiento.....	15
2.2.7	Costos de falla .....	15
2.2.8	Costo integral de mantenimiento.....	16
2.2.9	Estudios de costos .....	16
2.2.10	Acciones del mantenimiento .....	17
2.2.10.1	Mantenimiento correctivo .....	18
2.2.10.2	Correctivo contingente .....	18
2.2.10.3	Correctivo programable.....	18
2.2.10.4	Mantenimiento preventivo .....	18
2.2.10.5	Mantenimiento preventivo predictivo .....	19
2.2.10.6	Mantenimiento preventivo periódico .....	19
2.2.10.7	Mantenimiento preventivo técnico.....	19
2.2.10.8	Programa de mantenimiento preventivo.....	20
2.2.10.9	Mantenimiento rutinario.....	20
2.2.10.10	Mantenimiento programado .....	20
2.2.10.11	Mantenimiento por avería o reparación .....	21
2.2.10.12	Mantenimiento correctivo .....	21

2.2.10.13	Mantenimiento circunstancial .....	21
2.2.10.14	Disponibilidad mecánica.....	22
2.2.10.15	Plan de mantenimiento.....	23
2.2.10.16	Pasos para elaborar planes de mantenimiento.....	23
2.2.10.17	Ejecución y control de la programación.....	23
2.2.10.18	Mantenimiento productivo total (MPT) .....	24
2.2.10.19	Mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	24
2.2.10.20	Normas para el RCM.....	25
2.2.10.21	Matriz AMEF .....	25
2.2.10.22	Pasos para realizar la matriz AMEF.....	25
2.2.10.23	Definiciones del AMEF .....	26
2.2.10.24	Objetivos del RCM.....	27
2.2.10.25	Pasos para un RCM efectivo.....	27
2.2.10.26	Indicadores de gestión para mantenimiento.....	28
2.2.10.27	La frecuencia de las fallas.....	28
2.2.10.28	Ocurrencia de fallas.....	29
2.2.10.29	Mantenibilidad.....	29
2.2.10.30	Rendimiento .....	30
2.2.10.31	Cálculo del rendimiento .....	31
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	32
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....</b>	<b>33</b>
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	33
3.2	NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.3	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	33
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	34
3.4.1	Población.....	34
3.4.2	Muestra.....	34
3.5	UNIDAD DE OBSERVACIÓN.....	34
3.6	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	37
3.7	INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	37

3.8	PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	37
3.9	VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS. ....	38
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>39</b>
4.1	ESTADO DE LA APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO EN LA MAQUINARIA PESADA EXCAVADORA 350G LC JHON DEERE. ....	39
4.2	HISTORIAL DE FALLAS EN LA EXCAVADORA 350G LC JOHN DEERE.....	47
4.2.1	Modos posibles de fallas en la excavadora 350G LC Jhon Deere de la flota de alquiler de la Compañía CGM Rental S. A. C.....	49
4.2.2	Plan de mantenimiento preventivo de la máquina excavadora 350G LC John Deere.....	58
	Fallas .....	62
	Total .....	62
	Rodillos superiores e inferiores.....	62
	2,45.....	62
	Bocinas.....	62
	2,6.....	62
	Eslabones.....	62
	2,45.....	62
	Zapatas .....	62
	2,5.....	62
	Pernos.....	62
	2,45.....	62
	Rueda guía.....	62
	2,55.....	62
	Horquillas.....	62
	2,55.....	62
	Casquillos.....	62
	2,45.....	62
	Vástagos .....	62
	2,45.....	62
	Sellos.....	62

2,55.....	62
Manguera hidráulica.....	62
2,55.....	62
Turbo Compresor .....	62
2,35.....	62
Radiador .....	62
2,3.....	62
Cucharón .....	62
2,2.....	62
4.2.3 Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad: .....	63
4.2.4 Programa del plan de mantenimiento preventivo para la excavadora 350G LC Jhon Deere de la flota de alquiler de la compañía CGM Rental S. A. C.....	66
4.2.5 Indicadores de desempeño aplicables al plan de mantenimiento. ....	97
4.2.5.1 Valoración económica a fin de poner en marcha el plan de mantenimiento.....	100
4.3 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	109
Conclusiones .....	115
Recomendaciones .....	117
Referencias Bibliográficas .....	118
Anexos .....	128
Anexo A. Panel fotográfico .....	128
Anexo B. Frecuencia de fallas .....	133
Anexo C. Parámetros del motor.....	134
Anexo D. Checklista excavadora.....	135
Anexo E. Inspección de cucharones de la excavadora .....	136
Anexo F. Prueba de falla de encendido de cilindros.....	137
Anexo G. Flujograma de aplicación RCM .....	138
Anexo H. Informe de tren de rodamiento .....	139
Anexo J. Análisis justificativo de la investigación .....	140
Anexo I. Cotización de presupuesto de mantenimiento.....	143

## Índice de tablas

Tabla 1.1. Operacionalización de las variables.....	9
Tabla 2.1. Índice de gravedad.....	26
Tabla 2.2. Índice de frecuencia.....	27
Tabla 3.1. Características de la excavadora 350G LC Jhon Deere.....	36
Tabla 4.2. Análisis de fallas. Diagrama de Pareto.....	47
Tabla 4.3. Matriz AMEF Modos posibles de fallas.....	51
Tabla 4.4. Peso relativo de cada factor.....	59
Tabla 4.5. Matriz de priorización.....	61
Tabla 4.6. Resultados del análisis de la matriz.....	62
Tabla 4.7. Nivel de intervención del plan de mantenimiento.....	62
Tabla 4.8. Rango de los nivel de intervención.....	63
Tabla 4.9. Hoja de trabajo aplicando el diagrama RCM.....	65
Tabla 4.10. Programa del mantenimiento preventivo PM1.....	67
Tabla 4.11. Programa del mantenimiento preventivo PM2.....	72
Tabla 4.12. Programa del mantenimiento preventivo PM3.....	79
Tabla 4.13. Programa de mantenimiento preventivo PM4.....	85
Tabla 4.14. Programa de mantenimiento preventivo PM5.....	91
Tabla 4.15. Indicadores de gestión del mantenimiento preventivo.....	97
Tabla 4.16. Disponibilidad de la empresa año 2022.....	99
Tabla 4.17. Costo del mantenimiento preventivo.....	100
Tabla 4.18. Costo de materiales para el plan de mantenimiento.....	101
Tabla 4.19. Ingresos actuales.....	102
Tabla 4.20. Ingresos proyectados.....	103
Tabla 4.21. Disponibilidad mecánica para ambos escenarios.....	103
Tabla 4.22. Disponibilidad y utilidad.....	104
Tabla 4.23. Ingresos y Costos.....	105
Tabla 4.24. Cálculo de VAN y TIR.....	107
Tabla 4.25. Cálculo de costos con operador.....	109

Tabla 4.26. Comparación entre total de costos con y sin operador .....	109
Tabla 4.27. Cálculo de VAN y TIR considerando al operador .....	110
Tabla 4.28. Disponibilidad y utilización para un TIR .....	111
Tabla 4.29. Disponibilidad y utilización para un TIR de 11 % .....	112
Tabla 4.30. Cálculo de ingresos y costos de acuerdo a la utilidad mínima esperada ...	112
Tabla 4.31. Cálculo de VAN y TIR considerando la utilidad mínima esperada .....	113

## Índice de Figura

Figura 1.1. Delimitación territorial CGM Rental S. A. C.....	1
Figura 2.1. Partes de la excavadora. ....	13
Figura 3.1. Diseño de la investigación fuente: Meza Huata I. M (2020).....	33
Figura 3.2. Excavadora 350 lc Jhon Deere .....	35
Figura 4.1. Conocimiento específico de los conductores .....	40
Figura 4.2. Conocimiento específico de los conductores .....	41
Figura 4.3. Conocimiento específico de los conductores. ....	41
Figura 4.4. Conocimiento específico de los conductores .....	42
Figura 4.5. Conocimiento específico de los conductores .....	43
Figura 4.6. Conocimiento específico de los conductores .....	43
Figura 4.7. Conocimiento específico de los conductores .....	44
Figura 4.8. Conocimiento específico de los conductores .....	45
Figura 4.9. Conocimiento específico de los conductores .....	45
Figura 4.10. Conocimiento específico de los conductores .....	46
Figura 4.11. Diagrama de pareto. Análisis de frecuencia de paradas de la excavadora. ..	48
Figura 4.12. Secuencias de preguntas del diagrama RCM .....	64



## **Resumen**

Esta investigación tiene como objetivo principal la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para optimizar el rendimiento de la excavadora 350G LC John Deere de la empresa CGM Rental, la misma está constituida por toda la documentación necesaria que requiere para su implementación, pues para su desarrollo se hizo un análisis exhaustivo de las fallas y averías que presenta la maquinaria pesada a través del diagrama de Pareto, determinando la frecuencia de fallas y paradas de la misma, de igual manera se utilizó la matriz AMFE para analizar los tipos de fallas, causas y consecuencias posibles, aunado a eso se realizó un diagnóstico que permitió conocer la situación que presenta la empresa actualmente, para ello se utilizó la encuesta, una herramienta fundamental para su desarrollo, que fue aplicada a una muestra de conductores y operadores de la máquina. El programa de mantenimiento se diseñó con todas las actividades necesarias, de acuerdo a las instrucciones del fabricante y operadores altamente capacitados para el desarrollo de los mismos. Además, se establecieron los indicadores de mantenimiento para la evaluación de la eficacia.

Palabras Claves: Mantenimiento productivo total, programa de mantenimiento, gestión del mantenimiento, RCM, AMEF

## **Abstract**

The main objective of this research project is the elaboration of a Preventive Maintenance Plan based on the RCM to optimize the performance of the 350G LC John Deere excavator of the company CGM Rental, it is made up of all the necessary documentation required for its implementation, because for its development, an exhaustive analysis of the failures and breakdowns that heavy machinery presents was made through the Pareto diagram, determining the frequency of failures and stops of the same, in the same way the AMFE matrix was used to analyze the types of faults, possible causes and consequences, in addition to that, a diagnosis was made that allowed knowing the situation that the company currently presents. For this, the survey was used, a fundamental tool for its development, to which it was applied to a sample of drivers and operators of the company machine. The maintenance program was designed with all the necessary activities according to the manufacturer's instructions and highly trained operators for their development. In addition, maintenance indicators were established for the evaluation of efficiency.

Keywords: Total productive maintenance, maintenance program, maintenance management, RCM, AMEF

## **Introducción**

Actualmente, el mantenimiento preventivo se ha vuelto una necesidad y, en determinadas ocasiones, una prioridad para las empresas del ramo de la construcción, más aún a las organizaciones dedicadas al arriendo de maquinaria pesada con el fin de disminuir los tiempos muertos y las paradas de la máquina que surgen de la aplicación únicamente del mantenimiento correctivo. Este plan surge por la necesidad de contar con un programa de mantenimiento preventivo propio para la organización.

La empresa peruana CGM Rental S. A. C, con sede principal en Lima, opera en la venta y alquiler de todo tipo de maquinaria pesada y para uso comercial del sector industrial. Esta empresa ha integrado estándares de sistema de gestión de la calidad, seguridad, cuidado del medio ambiente, igualmente el aspecto de la responsabilidad social, con sucursales en 14 ciudades importantes del país, para dar una cobertura nacional, brindando un servicio de clase mundial. Además, posee las certificaciones de normas ISO 9001 (Sistema de Gestión de Calidad) ISO 14001 (gestión medio ambiental) y OHSAS 18001 (seguridad y salud ocupacional). Dentro de la maquinaria que se encuentra para el alquiler están las Excavadoras 350G LC Jhon Deere, que tienen ciclos rápidos, debido a las siguientes características: fuerza del brazo, par de giro y flujo hidráulico, lo que permite cumplir las metas establecidas en la planificación y evitar retrasos debido a las condiciones ambientales.

Este plan de mantenimiento permitirá disminuir el tiempo de parada, ser menos oneroso por los repuestos que se requiere adquirir y disminuir la mano de obra externa calificada; las empresas que producen estas máquinas tiene unas especificaciones que permiten estimar de manera adecuada la frecuencia para la realización del mantenimiento, igualmente cuál es el momento del reemplazo de los componentes que no funcionan bien y así, corregir las desviaciones probables que hagan que ocurra la falla mecánica.

El presente trabajo se divide en IV capítulos, los cuales se detallan a continuación:

Capítulo I, constituido por las delimitaciones, formulación del problema, objetivo general, así como los específicos, y la justificación del trabajo.

Capítulo II, integrado por el marco teórico del estudio, derivándose de ello los antecedentes y las bases teóricas que lo sustentan.

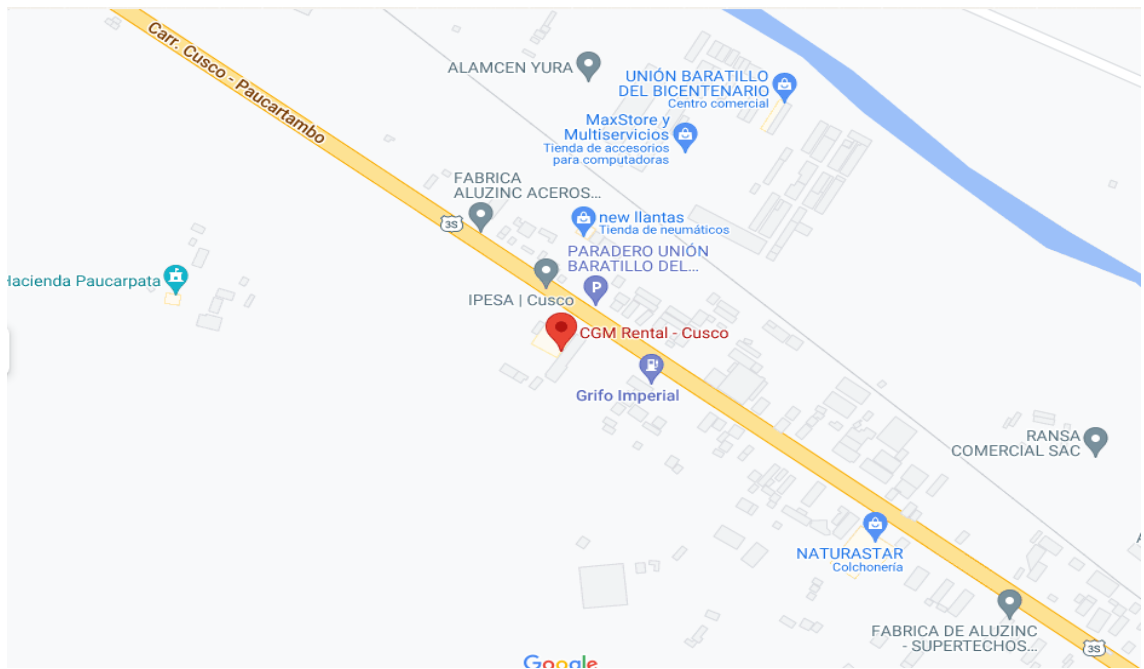
Capítulo III, se desarrolla la metodología de la investigación, enfoque, alcance, tipo, nivel, métodos, diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Capítulo IV, está constituido por los resultados y discusión de la investigación.

### 1.1 Delimitación de la investigación

### 1.2 Territorial

El análisis de los datos en estudio se efectuó en la empresa CGM RENTAL S. A. C., cuya ubicación geográfica se encuentra en el departamento del Cusco, carretera panamericana sur.



*Figura 1.1.* Delimitación territorial CGM RENTAL S. A. C.

Fuente: Google maps

### 1.3 Temporal

La investigación se realizó en el año 2022, específicamente en el transcurso de los meses de febrero, marzo, abril y mayo.

### **1.3.1 Conceptual**

La presente Investigación se delimita en la empresa CGM RENTAL S. A. C. del Cusco. De acuerdo al tema en estudio, la misma se encuentra dentro del contexto de la Ingeniería Mecánica aplicando conocimientos de las áreas de mantenimiento, productivo total, aplicación RCM.

## **1.4 Planteamiento del problema**

### **1.4.1 Formulación del problema**

Esta Empresa Peruana CGM Rental S. A. C., con sede principal en Lima, opera en la venta y alquiler de todo tipo de maquinaria pesada y para uso comercial del sector industrial. La empresa fue fundada el 22 de septiembre de 2010. Esta empresa integra estándares del sistema de gestión de la calidad, seguridad, cuidado del medio ambiente, así como lo que se refiere al aspecto de la responsabilidad social, con sucursales en 14 ciudades importantes del país, para dar una cobertura nacional, brindando un servicio de clase mundial. Además, posee las certificaciones de normas ISO 9001 (Sistema de Gestión de Calidad) ISO 14001 (gestión medio ambiental) y OHSAS 18001 (seguridad y salud ocupacional). Dentro de las maquinarias que se encuentran para el alquiler están las Excavadoras 350G LC Jhon Deere, que tienen ciclos rápidos debido a las siguientes características: fuerza del brazo, par de giro y flujo hidráulico, lo que permite cumplir las metas establecidas en la planificación y evitar retrasos debido a las condiciones ambientales.

Se consideran varias formas o tipos de mantenimiento que se asignan a esta maquinaria dependiendo del tiempo de alquiler, si estas se usan con ese fin, u horas de servicio propios de la empresa en la obra en la que se use, tales como: mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo o mantenimiento predictivo. Un aspecto relevante a tomar en consideración es evitar, en la medida de lo posible, el mantenimiento correctivo, pues al ocurrir este, se tienen gastos no previstos y en algunos casos pueden ser elevados;

por tanto, al contemplar un plan de mantenimiento preventivo, que considere las partes más sensibles a perder su función por el uso, la acción por los fluidos y cambios de temperatura, también las piezas que no estén equilibradas y las vibraciones que están propensas a fallar, sencillamente se puede extender la vida útil de la maquinaria.

En la actualidad la empresa CGM Rental S. A. C tiene un problema de baja disponibilidad y bajo rendimiento en las excavadoras 350G LC Jhon Deere, debido a la ocurrencia de fallas mecánicas que reportan los operarios, tales como: filtros, turbo, bujes, casquillos engrase de piezas entre otras y también que el plan de mantenimiento establecido para esta maquinaria no es el más adecuado, pues una planificación deficiente se verá reflejada en paradas imprevistas o intempestivas de esta maquinaria que no podrá alquilarse y que afectará uno de los procesos principales de la empresa. Así que, emerge la imperiosa propuesta de solución a este problema por medio de la formulación de un plan integral de mantenimiento preventivo en la empresa CGM Rental S. A. C. Este permitirá disminuir el tiempo de parada, ser menos oneroso por los repuestos que se requieren y reducir la dependencia de mano de obra externa calificada; las empresas que producen estas máquinas tienen unas especificaciones que permiten estimar de manera adecuada la frecuencia para la realización del mantenimiento, igualmente cuál es el momento del reemplazo de los componentes que no funcionan bien y así, corregir las desviaciones probables que hagan que ocurra la falla mecánica.

#### **1.4.2 Problema general**

¿Cómo se realiza un plan de mantenimiento preventivo para mejorar el rendimiento de la disponibilidad de uso de las excavadoras 350G LC Jhon Deere de la flota de alquiler de la compañía CGM Rental S. A. C.?

#### **1.4.3 Problemas específicos**

¿Cómo es la disponibilidad de la excavadora 350G LC Jhon Deere de la flota de alquiler de la compañía CGM Rental S. A. C.?

¿Cómo es el rendimiento de la excavadora 350G LC Jhon Deere de la flota de alquiler de la compañía CGM Rental S. A. C.?

¿Cómo es el plan de mantenimiento preventivo en la excavadora 350G LC Jhon Deere de la flota de alquiler de la compañía CGM Rental S. A. C.?

¿Cuáles son los indicadores de gestión aplicables para la elaboración del plan de mantenimiento?

¿Cuál es la evaluación económica para la realización del plan de mantenimiento?

## **1.5 Objetivos de la investigación**

### **1.5.1 Objetivo general**

Proponer un plan de mantenimiento preventivo en base al RCM para mejorar el rendimiento de las excavadoras 350G LC Jhon Deere de la flota de alquiler de la compañía CGM Rental S. A. C.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

Detectar el estado de la aplicación del mantenimiento en la maquinaria pesada excavadora 350G LC Jhon Deere de la flota de alquiler de la compañía CGM Rental S. A. C.

Analizar el historial de fallas en la excavadora 350G LC Jhon Deere de la flota de alquiler de la compañía CGM Rental S. A. C.

Analizar los modos posibles de fallas en la excavadora 350G LC Jhon Deere de la flota de alquiler de la compañía CGM Rental S. A. C.

Elaborar el plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria excavadora 350G LC Jhon Deere de la flota de alquiler de la compañía CGM Rental S. A. C.



Determinar los indicadores de desempeño que aplican al plan de mantenimiento preventivo.

Efectuar la valoración económica a fin de poner en marcha el plan de mantenimiento.

## **1.6 Justificación de la investigación**

Esta investigación permitirá disminuir, en la medida de lo posible, los mantenimientos correctivos que en su mayoría se presentan en los auxilios mecánicos, este es un punto crítico; por lo cual, requiere de control y para ello se debe diagnosticar la cantidad que existe, para poder demostrar el aumento o disminución de estos mantenimientos. Esto ocasiona que el equipo tenga averías en su sistema mecánico, operacional y eléctrico. Por ello, se cambia constantemente los componentes para que siga en funcionamiento.

### **1.6.1 Justificación Teórica**

Este proyecto hace referencia a las teorías relacionadas al tema en estudio, entre ellas están: la teoría del mantenimiento, mantenimiento productivo total, parada de planta, disponibilidad y fiabilidad. Dichas teorías forman parte de una amplia base vigente en la Norma técnica «Disposiciones específicas para la ejecución de programas de mantenimiento para el año 2022». La investigación se realizó bajo el esquema del cumplimiento de la norma antes mencionada.

### **1.6.2 Justificación práctica**

En referencia a las implicancias prácticas, la investigación permitirá brindar una herramienta indispensable, que garantice la disponibilidad de la excavadora 350G LC John Deere, además podrá permitirse la distribución o concentración de las reparaciones en

paradas en un intervalo de tiempo determinado, según los estudios que se realicen, de esta forma se da origen a un mantenimiento a tiempo fijo o de forma sistemática, el cual no siempre lleva al desarme o cambio de partes, ya que resulta en una reparación o mantenimiento oportuno de las mismas. En consecuencia, se obtiene una ampliación de la vida útil de las excavadoras, además de reducir porcentualmente el consumo de repuestos.

### **1.6.3 Justificación metodológica**

Esta investigación genera diversos conocimientos y estrategias que forman parte fundamental de un aporte para futuros investigadores, ya que las misma recaba datos que son confiables y validados por el investigador, las herramientas aquí plasmadas se basan en la recolección de datos que fue desarrollada mediante el análisis estadístico de información obtenida a través de entrevistas, registros manuales entre otras técnicas, aunado a esto se utilizó el diagrama de Pareto, determinando la frecuencia de fallas y paradas de la misma, de igual manera se utilizó la matriz AMEF para analizar los tipos de fallas, causas y consecuencias posibles, adicionalmente, se realizó un diagnóstico que permitió conocer la situación que presenta la empresa actualmente, para ello se utilizó la encuesta, una herramienta fundamental para su desarrollo, que fue aplicada a una muestra de conductores y operadores de la máquina.

### **1.6.4 Justificación social**

La importancia de la investigación en el entorno social, radica en que el equipo se mantendría en óptimas condiciones lo que significa mayor seguridad para los conductores, las empresas arrendadoras y en la construcción en general en que se necesite este tipo de maquinaria.

### **1.6.5 Justificación económica**

Tener una maquinaria pesada fuera de servicio por falta de mantenimiento, repercute significativamente en los aspectos económicos de la compañía. Apelar al mantenimiento correctivo como mantenimiento principal dentro de una empresa es un mal negocio, pues los costos de mantenimiento se incrementan y al final esto genera un resultado negativo en la rentabilidad en torno a las finanzas de la empresa, se trata de invertir en un mantenimiento que permita proyectar una reducción significativa en los costos de mantenibilidad de la flota.

### **1.6.6 Justificación técnica**

La justificación de la propuesta se basa en la comprobación del cumplimiento técnico de cada objetivo establecido en la presente investigación, un mantenimiento periódico podrá permitirse la distribución o concentración de las reparaciones en paradas en un intervalo de tiempo determinado, según los estudios que se realicen. De esta forma se da origen a un mantenimiento a tiempo fijo o de forma sistemática, el cual no siempre llevará al desarme o cambio de partes, ya que resultará en una reparación o mantenimiento oportuno de las partes, en consecuencia, se obtiene una ampliación de la vida útil de las excavadoras, además de reducir porcentualmente el consumo de repuestos.

### **1.6.7 Justificación por conveniencia**

Este trabajo investigativo se implementa en la empresa, ya que es indispensable disminuir costos de mantenibilidad de las excavadoras y alargar la vida útil de las mismas, para ello se requiere la realización este estudio, que permita estimar lo necesario, a fin de alcanzar el objetivo de tener un plan de mantenimiento preventivo y así disminuir los costos, es por ello que se opta por analizar y estudiar las fallas más frecuentes que ocurren en las unidades y en su mayoría en los auxilios mecánicos.

## **1.7 Limitaciones**

Durante la elaboración del trabajo, se presentaron diferentes inconvenientes para la culminación del mismo, tales como el acceso al personal para la entrevista, el acceso a las instalaciones, la autenticidad de los datos recopilados y documentos necesarios para el desarrollo de la investigación. En tal sentido la exposición de las limitaciones tiene como finalidad mostrar un estudio completo que cumpla con todos los requisitos necesarios que sirvan de soporte a futuros investigadores.

## **1.8 Hipótesis y descripción de variables**

### **1.8.1 Hipótesis general**

Un inadecuado plan de mantenimiento y la ocurrencia de fallas afectan considerablemente la disponibilidad de la excavadora 350G LC Jhon Deere de la flota de alquiler de la compañía CGM Rental S. A. C.

## **1.9 Identificación de las variables**

### **1.9.1 Descripción de variables. (Gonzalez, 2004)**

- **Variable Independiente:**

Plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM

- **Variable dependiente:**

Disponibilidad

Rendimiento

## 1.9.2 Operacionalización de las Variables

**Tabla 1.1.** Operacionalización de las variables

Variable independiente	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un plan de actividades de mantenibilidad para equipos en específico en el enfoque preventivo, correctivo y predictivo.</li> <li>• La <b>calidad del mantenimiento</b> es el conjunto de los mecanismos, acciones y herramientas realizadas para detectar la presencia de errores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad</li> <li>• Tiempo medio entre fallas (MTBF)</li> <li>• Tiempo medio de reparación (MTTR)</li> <li>• Para reanudar el servicio después de una falla</li> <li>• Horas de operación</li> <li>• n.º de fallas</li> </ul>	$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \%$ $MTBF = \frac{Tiemp.TotaldeTrabajo - Tiempodeave}{NúmerodeFallos}$ $MTTR = \frac{Tiemptotaldemantto.}{Númerode reparaciones}$ $TPEF = HROP \sum NTFALLAS$

Variable dependiente	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
-Disponibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ocurre cuando una maquinaria realiza la función asignada cuando se utiliza, varía con los períodos en los que ocurre una falla, de la frecuencia, condición de uso y cuánto tiempo es necesario para corregir la falla.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formulario de Informe de tren de Rodamiento</li> <li>Formulario lista de chequeo Excavadora</li> <li>Formulario Inspección de cucharones de la excavadora</li> <li>Formulario Prueba de falla de encendido de cilindro</li> </ul>	<p>Disponibilidad = tiempo total – tiempo fuera de servicio</p> <p>tiempo total</p> $Disp. física \% = \frac{\text{horas programadas} - \text{horas de parada}}{\text{horas programadas}}$
-Rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para tener una máxima eficiencia se establece la división de los factores rendimiento y gastos. Cuando el resultado sea el más bajo posible, al considerar la unidad de material involucrado, esta será la eficiencia más deseable.</li> </ul>	<p>El rendimiento está subordinado esencialmente por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad volumétrica de la máquina</li> <li>Tiempo de ciclo</li> <li>n.º de ciclos por hora</li> <li>Rendimiento</li> </ul>	$Disp. mecánica \% = \frac{h \text{ de operación}}{h \text{ de operación} + \text{horas de parada}}$ $RT = CV (m^3 \text{ ciclo}) = NC (\text{ciclo hr}) = m^3 / hr$

## 2.1 Antecedentes de la investigación

### Antecedente internacional

El estudio de Morales (Morales, 2012), trabajo de investigación realizado en Ecuador, que lleva por título: «Implantación de un programa de Mantenimiento Productivo Total (TPM), al taller automotriz del I. Municipio de Riobamba (IMR)» tuvo como objetivo «Implementar un programa de mantenimiento productivo total (TPM) al taller automotriz del I. Municipio de Riobamba». Una vez realizado el diagnóstico y la simulación de un caso práctico, se pueden señalar tres conclusiones que presentó el autor: En primer término, señala que, en función a los resultados obtenidos y con base en el análisis de la situación actual de la investigación, se implantó el esquema TPM en las instalaciones de la empresa. En segundo lugar, al concluir con el diagnóstico, se encontró que el taller mecánico no posee las condiciones ideales para consagrar el servicio de mantenimiento, pues carece de un conjunto constituido de acciones por cumplir. Finalmente, la última conclusión que expone este autor es que al utilizar la metodología 5S, esta se transforma en un apoyo esencial para la implantación del programa TPM, pues se anticipa a las acciones necesarias para el mantenimiento planificado.

#### 2.1.1 Antecedente Nacional

Alayo (Alayo, 2019) elaboró el trabajo especial de grado titulado «Plan de gestión de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de la máquina excavadora CAT 345-DL de la empresa SERVI-SAP S. R. L.». Este novel investigador propuso en su trabajo la utilización de una herramienta muy común en los sistemas de gestión, como es un diagrama de Pareto, realizado a la maquinaria de la empresa. De este modo, al realizar el análisis, nos arroja luces a fin de determinar cuál maquinaria tiene altos niveles en las horas de falla, obteniéndose como resultado que fue la excavadora CAT 345-DL con un 61.33 %. Con estos resultados formuló una matriz de criticidad; de este modo se planteó

los planes de mantenimiento en concordancia con las horas de funcionamiento, según se describieron en su trabajo. En conclusión, debate que con estos resultados se alcanzó optimizar los indicadores de mantenimiento, aumentando la disponibilidad en el 2018 a un 97 %, en comparación con los años anteriores, los cuales mostraron disponibilidades cercanas al 95 %.

En la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Mayorca (Mayorca, 2019) presentó su informe de investigación titulado «Propuesta de mejora de la disponibilidad de maquinaria pesada en una PYME utilizando el RCM», estudio que tuvo como objetivo implementar una propuesta de mejora de la disponibilidad de maquinaria pesada en una PYME utilizando el RCM. A través de este trabajo, Mayorca presentó una propuesta para mejorar la gestión del mantenimiento preventivo, para de este modo reducir el desgaste prematuro del equipo al momento de establecer el plan. Esto repercutió significativamente de manera positiva, pues decrece el reemplazo de repuestos sin las especificaciones adecuadas para la maquinaria. Este autor peruano plantea como conclusión que con la implementación del mantenimiento preventivo se podrá reducir considerablemente los costos en la compra de repuestos que se cambiarán, lo cual podrá garantizar que la maquinaria pueda trabajar en óptimas condiciones.

Casachagua (Casachagua, 2017), presentó la tesis que lleva por título «Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo que se basa en el RCM para mejorar los trabajos de los mecánicos y de la excavadora CAT 356 de la empresa ECOSEM SMELTER S. A.». En el estudio antes mencionado, el autor se propuso como objetivo de investigación aplicar conocimiento científico del mantenimiento, centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras por ser equipos muy críticos. Durante su investigación el autor señala que ejecutó una exploración de interrupciones de todos los sistemas, acción que le permitió revelar que la disponibilidad mecánica de la flota era de un 80 %, resultado que resulta muy bajo al establecer un pareo con la meta de disponibilidad que la industria minera del Perú requiere. De este modo, propuso un plan de mantenimiento basado en RCM, para identificar la manera más apropiada de llevar a cabo el (AMEF), que fue la plataforma del estudio ejecutado. Finalmente se alcanzó un resultado

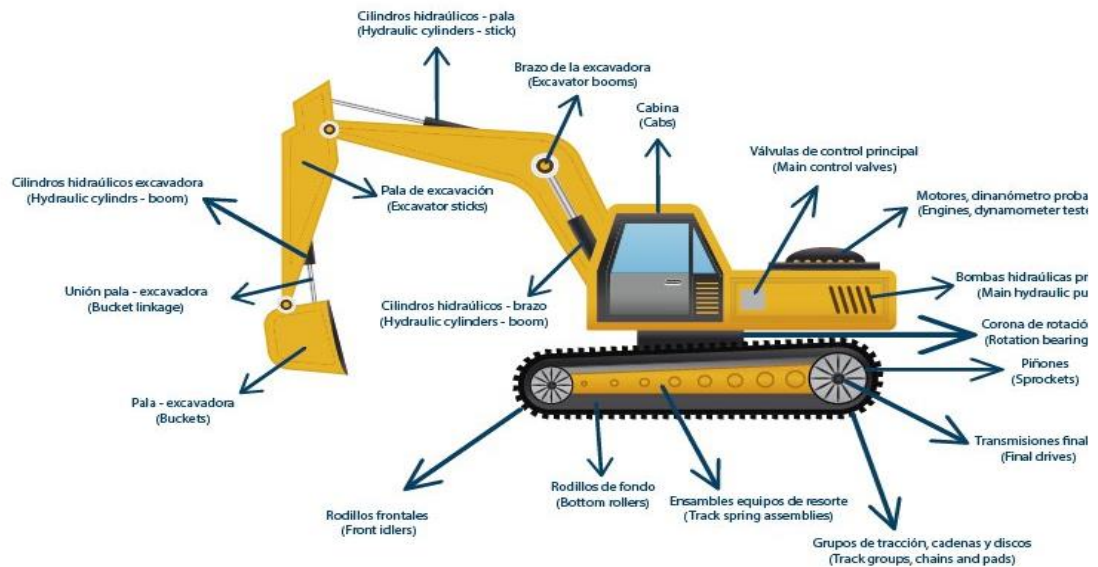


muy satisfactorio de aumento hasta el 89 % de la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336 en la empresa ECOSEM SMETER S. A.

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Excavadora

«Máquina autopropulsada sobre ruedas o cadenas con una superestructura capaz de efectuar una rotación de 360°, que excava, carga, gira y descarga materiales por acción de una cuchara fijada a un conjunto de pluma» (Rodríguez, 2008, pág. 89).



**Figura 2.1.** Partes de la excavadora

Fuente: <https://cgmrental.com.pe/product/excavadora-350g-lc/>.

### **2.2.2 Generalidades del mantenimiento**

El mantenimiento, según Mora (2009), aprueba ofrecer un servicio de calidad deseado, por medio de las acciones del ser humano, que permitan que se realice, es decir, que lo que se hace garantiza lo esperado. A su vez, ese mantenimiento se puede separar en dos tipos: correctivo y preventivo; el primero ocurre si la calidad se perdió, y el segundo para prevenir que se pierda la calidad esperada.

### **2.2.3 Propósito del Mantenimiento**

Las compañías poseen herramientas que les permiten mantener la actividad de sus activos fijos manteniendo la eficiencia y eficacia y esto se lleva a cabo por medio de las acciones correspondientes para mantener las instalaciones y equipos funcionando correctamente, que posterior a su uso continuo pueda volver a sus condiciones operacionales satisfactorias establecidas por el fabricante. La operación es afectada por el mantenimiento e influye directamente en la cantidad y calidad del producto o servicio. Estos dos parámetros se afectan por la disponibilidad de los equipos para la operación y su capacidad instalada de fabricación, para así tener producción con la calidad esperada.

### **2.2.4 Costo de mantenimiento**

Para Soto (Soto, 2002, pág. 54) el concepto que se adapta mejor a describir este ítem es el siguiente: «El costo integral del mantenimiento es igual a la sumatoria de los costos fijos, variables, financieros y de falla».

### **2.2.5 Costos fijos de mantenimiento**

Estos costos poseen una descripción básica de no ser dependientes de la cantidad, de la producción ni de las ventas. Estos son producidos por el mantenimiento preventivo y

predictivo, lo que permite garantizar a mediano y largo plazo la operatividad de los equipos y de las instalaciones. Una descripción de este tipo de costos es:

- Costo de mantener disponibles técnicos de mantenimientos pagados por la empresa.
- Costo de los administradores y supervisores de la sección de mantenimiento y personal calificado.
- Costo que producen los aparatos e instrumentos.
- Costos variables debido al mantenimiento.

Cuando ocurre un mantenimiento correctivo, los costos que esto genera están asociados a esta actividad, ya que es el resultado del uso sin descanso de la maquinaria, lo que inevitablemente producirá la falla y de aquí, sin ninguna planificación de que esto ocurra, habrá una parada de emergencia de la maquinaria.

#### **2.2.6 Costos financieros de mantenimiento**

Estos costos se describen a continuación:

El almacenamiento de piezas para reparación, usadas en el mantenimiento, debe ser en las cantidades necesarias para que estén disponibles al momento de ser requeridas, pero que no haya un exceso de ellas para que no se aumente el costo de *stock*.

Igualmente se asocia un costo por almacenamiento de piezas dobles repetidas a fin de garantizar siempre la disponibilidad al momento del mantenimiento.

#### **2.2.7 Costos de falla**

Aquellos que son responsables de producir el error en la operación, por lo que la consecuencia inmediata de esto es que no hay ingreso de haberes para la empresa y no percibe durante su tiempo de parada estos ingresos de capital. Se puede señalar:

- Costo generado por la parada de producción a causa de una avería.
- Costos originados por no cumplir los parámetros establecidos por la acción de la maquinaria.
- Costos producidos por el uso continuo y desperfecto antes del tiempo previsto en la maquinaria, porque no se aplicó correctamente el mantenimiento.
- Costos asociados a las fallas en la seguridad, en el uso de los equipos por los operarios.
- Costo determinado por el descontrol de las emisiones tóxicas al ambiente por encima de los niveles permitidos.

### **2.2.8 Costo integral de mantenimiento**

Cuando en una compañía hay una planificación de costos, estos son todos los dependientes del área de mantenimiento, dentro de los cuales hay que considerar los costos relacionados al trabajo de la maquinaria y los costos que se producen para que siga en su labor establecida. Para determinarlo, se puede utilizar la relación que expresa la adición de los costos fijos sumados a los costos variables, los costos financieros y los costos de falla.

### **2.2.9 Estudios de costos**

Un estudio de costos es un análisis de los gastos asociados con un proyecto, producto o servicio en particular. Este se lleva a cabo para determinar el costo de producción, los costos generales y otros gastos asociados con el proyecto. El estudio tiene como objetivo identificar los generadores de costos, como los costos de mano de obra, los costos de materiales y los costos generales. El estudio es fundamental para determinar el costo total de un proyecto o producto, lo que ayuda a las organizaciones a tomar decisiones informadas sobre precios y rentabilidad.

El estudio de los costos de mantenimiento preventivo es crucial para cualquier negocio que dependa de maquinaria y equipo. Los costos de mantenimiento preventivo incluyen inspecciones, reparaciones y reemplazos de rutina, destinados a minimizar el tiempo de inactividad del equipo y extender la vida útil. El costo del mantenimiento preventivo puede variar según factores como el tipo de equipo, la antigüedad y el uso. A pesar de la inversión inicial, se ha demostrado que el mantenimiento preventivo reduce los costos generales de mantenimiento y aumenta la confiabilidad del equipo a largo plazo. Por lo tanto, las empresas deben priorizar el mantenimiento preventivo para garantizar que sus equipos estén siempre en buenas condiciones de funcionamiento, lo que en última instancia les permitirá ahorrar dinero a largo plazo.

#### **2.2.10 Acciones del mantenimiento**

Este ocurre cuando se determinan claramente, y por escrito, las diversas acciones y funciones de los equipos de mantenimiento para poder cumplir lo que se planificó, así vemos las siguientes actividades que se pueden desarrollar:

1. Tener al personal de mantenimiento con las competencias para cumplir con la función de realizar el trabajo de mantenimiento adecuado. La selección y formación de este personal es esencial.
2. Mantener en inventario la maquinaria, que permita realizar el cambio a fin de cumplir con las tareas propias del mantenimiento planificado.
3. Para realizar exitosamente el mantenimiento, el personal debe utilizar todo el equipo necesario, las herramientas, accesorios y piezas especiales de repuesto para máquinas.

Tomando lo anterior en consideración el mantenimiento se separa en dos, los cuales son:

### **2.2.10.1 Mantenimiento correctivo**

Gómez de León (leon, 1998) estableció que en el mantenimiento toda acción llevada a cabo por el hombre, que utilice recursos tangibles de una compañía, para garantizar que el producto o servicio prestado, tenga la calidad esperada cuando ocurre algo inesperado que ponga fuera de servicio la maquinaria utilizada.

### **2.2.10.2 Correctivo contingente**

Se establece por las acciones que se toman de manera inmediata, porque un equipo o maquinaria ha dejado de funcionar o debido a que su uso pone en riesgo la seguridad de los operarios o mantener los estándares establecidos.

### **2.2.10.3 Correctivo programable**

Se relaciona el desempeño de aquellos equipos o maquinarias cuya presencia es poco importante y no detiene o afecta la calidad o la seguridad. A pesar de que hay que realizarlo, en muchas ocasiones se efectúa cuando hay un plan de mantenimiento de otras máquinas similares o en los alrededores de la operación.

### **2.2.10.4 Mantenimiento preventivo**

El mismo autor (leon, 1998) señala que el mantenimiento preventivo es toda acción llevada a cabo por el hombre, que utilice recursos tangibles de una compañía, para garantizar que el producto o servicio prestado tenga la calidad esperada, cumpliendo con la planificación establecida al considerar las especificaciones de los fabricantes, el historial de uso y demanda de los equipos y maquinaria.

### **2.2.10.5 Mantenimiento preventivo predictivo**

El autor ya mencionado (leon, 1998) expone que este se lleva a cabo como una manera de hacer el trabajo bajo parámetros constantes de acción y, de este modo, cuando algo falla es fácil detectar el cambio ocurrido y estar un paso adelante para resolver los inconvenientes presentados por la pérdida de calidad o por la consecuencia de un equipo en mal funcionamiento.

### **2.2.10.6 Mantenimiento preventivo periódico**

Su acción es frecuente, pues cumple con tiempos establecidos que se siguen de forma rutinaria para realizar las acciones de prueba, funcionamiento y reemplazo en caso de ser necesario para mantener el equipo en óptimo funcionamiento.

### **2.2.10.7 Mantenimiento preventivo técnico**

Medrano (Medrano, 2017) señala una expresión muy utilizada en el campo del mantenimiento que es «tiempo para fallar», que permite hacer sinergia con los dos términos descritos del mantenimiento periódico y predictivo, pues se tiene requerimiento de poder tener disponibles aquellos que no están en uso y de este modo poder realizar el mantenimiento o, en su defecto, disponer de las piezas en inventario, y estar a la expectativa de que el tiempo de poco o ningún uso concuerde con el plan programado. Este tipo de mantenimiento se enfoca en la sistematización programada que hay que realizar, llevado a cabo por un técnico que conoce el grado de fiabilidad del equipo y evita llegar a un mantenimiento correctivo.

### **2.2.10.8 Programa de mantenimiento preventivo**

La principal razón por la que se lleva a cabo la programación de un mantenimiento preventivo es la economía, ahorro de tiempo, dinero y esfuerzo, además de mantener la operatividad de la maquinaria a fin de cumplir con su demanda. En los próximos acápite, se detallan los tipos de mantenimientos que se pueden realizar con la elaboración de un plan estructurado, así como los mantenimientos que se salen de esa programación y cómo atacarlos.

### **2.2.10.9 Mantenimiento rutinario**

Dentro del programa su función es mantener y alargar la vida útil de los equipos y maquinaria, reduciendo así su desgaste progresivo, lo comprenden una recopilación de faenas propias del mantenimiento, tales como: limpieza, ajuste, lubricación, calibración, y las que sea necesarias, y puede tener una frecuencia de ejecución determinada: diaria, semanal, mensual, bimensual, etc.

### **2.2.10.10 Mantenimiento programado**

Se establece gracias a diferentes fuentes de información como son las especificaciones técnicas del fabricante y la experticia de los usuarios de las máquinas, lo que conlleva a establecer períodos de revisión, y si fuese necesario, reemplazo de piezas. Su frecuencia de ejecución puede ser: quincenal, mensual, bimensual, etc., hasta anual.



### **2.2.10.11 Mantenimiento por avería o reparación**

Cuando ocurre una falla, hay que actuar inmediatamente, pues se sale de lo planificado, según se tenga disponibilidad de recursos, personal y tiempo, a fin de mantener en servicio los equipos o maquinaria dañados y parados en la operatividad del proceso. Es realizado por el personal de mantenimiento de la empresa.

### **2.2.10.12 Mantenimiento correctivo**

Se define como aquellas funciones que se generan para eliminar la falla de manera que no se repita nuevamente, esto ocurre cuando se crea, se diseña o se cumple un plan de mantenimiento preventivo. Dentro de las labores que se ejecutan en este tiempo de mantenimiento se tiene: cambio de los elementos dañados o vencidos, modificación de alternativas de proceso; si fuese necesario, modificar las características establecidas como calidad óptima, aumentos en la producción y revisar detalladamente todos los factores involucrados en el mantenimiento. Para cumplir con un trabajo de mayor envergadura, generalmente esta actividad la cumple un personal externo, y se considera el tamaño del mantenimiento y los costos.

### **2.2.10.13 Mantenimiento circunstancial**

Este tipo de mantenimiento tiene un poco de otros mantenimientos: del rutinario, del programado, por avería y del correctivo, pues las acciones llevadas a cabo se ejecutan con cierta rutina, pero sin un tiempo fijo de inicio y su aplicación no es urgente. Generalmente se planifican anualmente y en algunos casos se reparan averías (Navarro, 2007).

Según lo convenido, este no está supeditado a sí existe o no un plan; en cambio, sí es fundamental considerar los factores que modifiquen la operatividad, las modificaciones en el proceso, que por la razón que fuese se pierda personal o turnos de trabajo y ventas.

#### 2.2.10.14 Disponibilidad Mecánica

Según Torres (Torres, 2005, pág. 67) «es la probabilidad de que un activo realice la función asignada cuando se requiere de ella, la disponibilidad depende de cuán frecuentemente se producen las fallas en determinado tiempo y condición y cuánto tiempo se requiere para corregir la falla».

De esta manera, se puede expresar matemáticamente con la siguiente ecuación:

$$\text{Disponibilidad} = \text{tiempo total} - \text{tiempo fuera de servicio}$$

Tiempo total

Ecuación (1)

Para el autor (Tecsup, 2014) se pueden describir indicadores de gestión que se señalan a continuación, con sus respectivas ecuaciones y que permiten de este modo establecer formas y maneras de medición.

Disponibilidad física y mecánica:

$$\text{Disponibilidad física \%} = \frac{\text{horas totales} - \text{horas de parada por mtto/}}{\text{horas Totales}}$$

horas Totales

Ecuación (2)

*Disponibilidad mecanica %*

$$= \text{Horas reales trabajadas al } \frac{\text{año}}{\text{Horas}} \text{ programadas por año} * 100$$

### **2.2.10.15 Plan de mantenimiento**

Es la etapa donde se determina las partes importantes que constituyen el plan de mantenimiento que incluyen: las frecuencias necesarias para la ejecución del trabajo planteado, la realización y seguimiento de lo planificado, cómo es el mantenimiento productivo total y en el caso específico que está centrado en la confiabilidad, la secuencia de pasos para llevarlo a adelante.

### **2.2.10.16 Pasos para elaborar planes de mantenimiento**

- Definir los objetivos requeridos.
- Realizar un inventario de los equipos.
- Definir presupuestos y generación de costos.
- Evaluar la tecnología disponible y necesaria para ejecutar el plan.
- Fomentar la cultura del mantenimiento.
- Revisar normas y toma de decisiones.
- Ejecutar plan de acción.
- Revisar y optimizar.

### **2.2.10.17 Ejecución y control de la programación**

Consiste en la observancia y revisión de los componentes, equipos y maquinarias, que sus resultados y operatividad estén dentro de los parámetros establecidos por los indicadores, a fin de permitir la óptima operación del sistema y alcanzar la meta establecida cumpliendo todos los pasos anteriores y posteriores.

### **2.2.10.18 Mantenimiento productivo total (MPT)**

Para (Rodríguez, 2008, pág. 57) este tipo de mantenimiento está definido según sus propias palabras como: «... estado de referencia aquel en que el equipo de producción puede proporcionar su mayor rendimiento en función de su concepción y de la situación actual de cara a la evolución del producto a elaborar o transformar». En este trabajo no se va a utilizar este tipo de mantenimiento, sin embargo, se hace la referencia para señalar qué tipos se utilizan.

### **2.2.10.19 Mantenimiento centrado en la confiabilidad**

Consiste en la planificación de mantenimientos fundamentados en la confiabilidad de los sistemas, esta metodología, cuando es aplicada correctamente, puede generar mejoras importantes en la confiabilidad de la planta y su producción, así como también la optimización de los equipos.

En este caso, la investigación realizada en este trabajo toma como elemento importante la confiabilidad para ser el eje central del mantenimiento, aplicando sus formas y maneras a fin de detectar fallas ocultas, para que los usuarios sigan utilizando de la manera que lo han hecho ya, las excavadoras John Deere 350G LC.

Los pasos necesarios a fin de cumplir con esta metodología son los siguientes:

- Escoger la máquina a mantener.
- Operacionalizar los trabajos realizados.
- Establecer fallas funcionales.
- Identificar modos de falla.
- Identificar efectos de fallas y consecuencias.
- Escoger tácticas implementando los principios del RCM.
- Llevar adelante la planificación del mantenimiento.

### **2.2.10.20 Normas para el RCM**

**Normas SAE JAE 1011:** Esta norma establece los requerimientos que debería cumplir una metodología para que pueda llamarse RCM. Esta norma detalla que todo proceso de RCM debe someterse a la secuencia de preguntas, en este se establece un diagrama de toma de decisiones o «Diagrama RCM» (Ver Figura 4.2).

### **2.2.10.21 Matriz AMEF**

Esta matriz consiste en el análisis de la eficiencia de funciones que sirven para la elaboración de un producto o servicio. Esta técnica es la combinación de la relación producto-proceso que corresponden a los modos de fallas, los tipos de fallas, causas y consecuencias de un problema. Esta herramienta puede identificar las fallas potenciales y los modos posibles de fallas, con el propósito de eliminarlas o minimizarlas para así establecer un proceso de mejora continua.

### **2.2.10.22 Pasos para realizar la matriz AMEF**

- Enumerar los pasos fundamentales en la primera columna del proceso.
- Enumerar y definir los modos de falla para cada proceso.
- Enumerar y definir los efectos que genera el modo de falla.
- Estipular el grado de severidad de los efectos detectados, que van del 1 al 10, el primero determina efecto no tan severo y el último un paro extremadamente severo.
- Estipular el nivel de ocurrencia de cada modo de falla, utilizando el número 1 para «casi nunca» y el número 10 para «esperamos que suceda todo el tiempo».
- Listar los controles actuales para cada causa.
- Calcular el NPR (Número Prioritario de Riesgo).

- Estipular acciones a personas responsables para eliminar o reducir el riesgo de modo de falla.

### 2.2.10.23 Definiciones del AMEF

- Operación: Parte de la maquinaria en que se produce la falla.
- Falla funcional: cuando el equipo se encuentra en marcha.
- Código de falla: Código fijado a una falla en específico.
- Modo de falla: Parte del equipo en malas condiciones.
- Efecto de falla: Perturbada por la producción.
- Causas de falla: Origen de la falla
- Consecuencias: Se dividen en ocultas y no evidentes, producidas por el mantenimiento (hidráulico, mecánico, neumático); y operativas, producidas por fallas operativas que dependen del origen de la falla, y no operativas, modo en que ocurre la falla.
- Índice de gravedad: Rango del 1 al 10, depende del grado de importancia y el origen de la falla.
- Riesgo: El efecto que puede generar la falla.
- Acción correctiva: Plan de acción para corregir la falla.
- Responsable: personal o autoridad encargada de corregir la falla.

Donde se obtiene:

**Tabla 2.1.** *Índice de gravedad*

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
<b>Muy baja</b>	Fallo de pequeña importancia	1
<b>Baja</b>	Ligero inconveniente, pequeño desperfecto en el componente	3
<b>Moderada</b>	Desperfecto en la utilidad del método	4
<b>Alta</b>	Fallo crítico, inutilización del equipo	7
<b>Muy alta</b>	Fallo potencial muy crítico que perturba la actividad del equipo	9

**Tabla 2.2. Índice de frecuencia**

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy baja	Raro pero concebible	1
Baja	Fallo aislado	2
Moderada	Defecto ocasional	4
Alta	El fallo ocurre varias veces	6
Muy alta	Fallo inevitable, fallo frecuente	9

#### **2.2.10.24 Objetivos del RCM**

Moubray (1997) planteó que los objetivos de esta técnica, con acciones cotidianas, permite establecer formas competitivas sin desperfectos ni errores, quita todo tipo de paradas operacionales en las empresas, debido a su resultado final por aumentar la efectividad productiva, flexibilidad, capacidad instalada y capacidad de encontrar soluciones, reducción de costos operativos y conservación del conocimiento.

#### **2.2.10.25 Pasos para un RCM efectivo**

A fin de alcanzar la meta establecida hay una serie de pasos sencillos que se pueden numerar a continuación:

- Seleccionar la máquina para evaluar.
- Definir las funciones.
- Definir la calidad esperada para operar.
- Definir cómo puede dejar de funcionar (fallas funcionales y efectos de fallas).
- Determinar los modos de falla.
- Analizar la causa raíz.
- Analizar los efectos y consecuencias.
- Seleccionar las estrategias para volver a operar correctamente.
- Implementar el programa.
- Analizar los resultados.

### **2.2.10.26 Indicadores de gestión para mantenimiento**

A fin de alcanzar la efectividad del mantenimiento, gracias a los índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad a favor de la producción, se puede considerar para este trabajo la presencia de indicadores que permitirán medir si se está alcanzando los objetivos del plan establecido o no, pues su medición permite recolectar evidencia técnica acerca de cuán útil es esta programación de mantenimiento. Aplicando formas más específicas de medición se presentan ecuaciones que recogen la medición cuantitativa de estos indicadores.

### **2.2.10.27 La frecuencia de las fallas**

Se puede señalar como la disponibilidad en función del tiempo de fallos y reparación.

Por tanto, se expresa:

$$D = TPEF + TPPR$$

Ecuación (4)

Dónde:

$D$  = Disponibilidad

$TPEF$  = Tiempo promedio entre fallos

$TPPR$  = Tiempo promedio de reparación



### 2.2.10.28 Ocurrencia de fallas

Para Crespo, (2007) este término, ocurrencia de fallas, establece otra medición del desempeño de los sistemas, y se utiliza la tasa de falla, por tanto, la media de tiempos entre fallas (TPEF) caracteriza la fiabilidad de la máquina.

Al realizar la valoración, a fin de determinar cómo varía proporcionalmente el tiempo de las diferentes fallas en las máquinas y el tiempo en las que están operan sin problemas, permite establecer la ocurrencia de fallas.

$$TPEF = \frac{HROP}{\sum NTFALLAS}$$

Ecuación (5)

Tiempo promedio entre fallas

Donde:

*HROP* = Horas de operación.

*NTFALLAS* = Número de fallas detectadas

### 2.2.10.29 Mantenibilidad

Este indicador permite medir esa probabilidad que tiene un equipo que ha fallado, de ser restaurado a una condición específica operativa, en un momento determinado, obviamente, al usar recursos establecidos.

Así que, la media de tiempos de reparación (TPPR) determina la mantenibilidad de la máquina.

$$TPPR = \frac{TTF}{\sum NTFALLAS}$$

Ecuación (6)

Tiempo promedio para reparar

Donde:

*TTF* = Tiempo Total de Fallas.

*NTFALLAS* =Número de fallas detectadas.

Durante el período de medición, es importante considerar la relación entre el tiempo promedio utilizado para que ocurra la reparación, del mismo modo, el tiempo total de intervención correctiva y finalmente el número total de fallas detectadas.

### **2.2.10.30 Rendimiento**

Para la excavadora John Deere 350G LC el rendimiento está relacionado a su funcionamiento, y los factores que influyen son:

La fuerza que opone el terreno al giro de las ruedas: La excavadora no se deslizará mientras no ocurra un vector en sentido contrario a esta fuerza. Las unidades en las que se expresa esta fuerza son kilogramos de tracción. Está supeditada a las características del terreno y al inflado de los cauchos.

Influencia de la pendiente en el desplazamiento: Los grados de inclinación de la superficie del terreno inciden en la resistencia que la excavadora pueda presentar al desplazamiento en la subida. Esta resistencia se mide también en kilogramos. La gravedad en la bajada favorece el descenso, por lo que, en este caso, se llama ayuda de pendientes.

Eficiencia de operación: Se mide por los resultados obtenidos porcentualmente del tiempo en que la maquinaria trabaja con efectividad en la jornada laboral. Por lo general, en las compañías con un proceso operativo controlado utilizan el factor 5/6 que quiere decir que por cada 60 minutos se trabajan 50.

### 2.2.10.31 Cálculo del rendimiento

Se puede señalar tres formas de cómo realizar este cálculo

a.) Realizar una investigación con un técnico especialista en este caso es importante.

Procedimiento para cálculo de rendimiento: hay que considerar cuál es la excavadora y la obra en la que se está utilizando, para esto no hay una metodología exacta, sino que es más por ensayo y error y por la experticia del técnico u operador que esté trabajando; por lo tanto, es necesario ser cuidadoso y revisar la información obtenida de esta manera, pues a pesar de que los datos son fidedignos, no significa que son confiables, pues depende del criterio del que está realizando la actividad.

b.) Fundamentar una base de datos informáticos en función de las obras ejecutadas anteriormente: para esto debe considerarse la información anterior de los mantenimientos, o datos históricos. Esta información suele ser valiosa por su fiabilidad y evidencia del mantenimiento de los equipos, pero es necesario tomar en cuenta el trabajo por ejecutar y los trabajos ejecutados anteriormente.

c.) Remitirse a tablas y manuales del diseñador y constructor del equipo: para este punto es importante contar con el historial que se tiene del uso de la máquina y las obras ejecutadas y tomar en consideración los diferentes tipos de trabajos realizados o ejecutados anteriormente, es de prioridad consultar las especificaciones de la excavadora por parte del fabricante o diseñador, pues esta información es sumamente valiosa cuando se tienen todos los datos a la mano y permite conocer entonces el 100 % de la eficiencia que se tendrá en las obras en las que se utilice esta máquina.

No hay que olvidar las diferentes características que influyen en el óptimo desempeño, como son el acarreo, la altitud, las condiciones del camino, que puedan influir en la reducción o disminución de la actividad planificada con la excavadora.

## 2.3 Definición de términos básicos

Este acápite permite describir de manera sucinta definiciones de términos que permiten comprender el texto de manera general alrededor del tema desarrollado referente al mantenimiento, parametrizar el lenguaje y su significación semántica para todos los actores participantes en la lectura y evaluación de este trabajo. Sin más preámbulos se desarrollan a continuación:

- **Maquinaria:** Acumulado de fragmentos que forman un componente que utilizan para poner en marcha un dispositivo.
- **Excavadora:** Máquina que sirve para excavar; está conformada por una gran pala mecánica encima de un vehículo de gran potencia
- **Pieza:** Elemento que forma parte de un mecanismo, máquina o artefacto.
- **Componentes:** Elementos que forman parte de los sistemas.
- **Equipo:** Conjunto de componentes interconectados.
- **Operacionalidad:** Conjunto de máquinas con un uso determinado.
- **Defecto:** Ocurrencia en un sistema, el cual no interrumpe su funcionamiento.
- **Falla:** Ocurrencia en un sistema, la cual interrumpe su funcionamiento correcto.
- **Avería:** Deterioro, fractura o fallo que no permite que el mecanismo de la máquina funcione.
- **Costo:** Cantidad de dinero que se gasta o presupuesta para una función
- **Mantenimiento:** Acciones requeridas para la mantenibilidad de un equipo o sistema.
- **Mantenimiento preventivo:** Todas las acciones necesarias en la mantenibilidad de un equipo o sistema de forma preventiva.
- **Mantenimiento correctivo:** Acciones para corregir una falla no contemplada.
- **Mantenimiento programado:** Conjunto de actividades de medición y ajustes de parámetros cuando el equipo se encuentra adrede sin uso o fuera de servicio, lo cual ocurre con una frecuencia dada.
- **Lubricación:** Toda actividad en donde se use aceites o grasas, esta la ejecuta el personal técnico especializado en lubricación de componentes.

### 3.1 Tipo de investigación

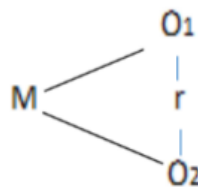
El tipo de investigación desarrollada fue tecnológico. Según Espinoza (Espinoza, 2010, pág. 74) este tipo de búsqueda de información tiene como alcance aplicar las herramientas conocidas de la investigación cuantitativa metodológica fáctica, que permite recoger datos, analizarlos y luego plantear soluciones a los objetivos iniciales.

### 3.2 Nivel de la investigación

Por su parte, el mismo autor (Espinoza, 2010) establece que el nivel de la investigación, al ser aplicado como metodología a utilizar en este trabajo de investigación, posee como objetivo utilizar resultados en lo experimental, de esta manera se producen nuevas tecnologías de aplicación para la resolución de problemas reales, como lo es el mantenimiento de las excavadoras 350G LC John Deere, que se utilizan para alquiler. Al utilizar estas propuestas metodológicas en compañías similares, investigadas con anterioridad, se ha demostrado resultados satisfactorios en función de lo esperado.

### 3.3 Diseño de la investigación

Para esta investigación se propuso que el diseño sea descriptivo correlacionar.



**Figura 3.1.** Diseño de la investigación

Fuente: Meza Huata L. M (2020)

Donde:

*M*: maquinaria pesada excavadora 350G LC Jhon Deere de la compañía CGM Rental S. A. C.

*O1*: Mantenimiento preventivo mediante el RCM

*R*: Correlación

*O2*: Rendimiento de disponibilidad mecánica.

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1 Población**

La población estuvo compuesta por toda la maquinaria pesada que posee la compañía CGM Rental S. A. C.

La muestra estuvo constituida por las 6 máquinas pesadas excavadoras 350G LC Jhon Deere, para alquiler, de la compañía CGM Rental S. A. C.

#### **3.4.2 Muestra**

- Documentos de control general de mantenimiento de la excavadora
- Documentos de la oficina de planificación: Plan anual de mantenimiento e indicadores
- Documentos generados al investigar

### **3.5 Unidad de observación**

Son las excavadoras 350G Lijón-Deere, para alquiler, que pertenecen a la compañía CGM Rental S. A. C



**Figura 3.2.** Excavadora 350 LC

Fuente: <https://cgmrental.com.pe/product/excavadora-Fuente: 350g-lc/>

**Tabla 3.1.** Características de la excavadora 350G LC Jhon Deere

<b>JOHN DEERE 350 G LC EXCAVADORA</b>	
<b>DIMENSIONES</b>	
Longitud de transporte de Pluma monobloque mm, (ft/in)	11340 (37 ft, 2 in)
Altura de transporte máxima mm, (ft/in)	3600 (11 ft, 10 in)
Overall undercarriage with mm, (ft/in)	3190 (10 ft, 6 in)
Longitud de orugas en el suelo mm, (ft/in)	4050 (13 ft, 3 in)
Longitud total de carro inferior mm, (ft/in)	4940 (13 ft, 3 in)
Radio de la parte trasera mm, (ft/in)	3600 (11 ft, 10 in)
Altura libre del suelo mm (riches)	510 (20)
Anchura sobre orugas estándar mm, (ft/in)	3190 (10 ft, 6 in)
Ancho de vía mm, (ft/in)	2590 (8 ft, 6 in)
Alcance de excavación pluma monobloque mm, (ft/in)	9930 (32 ft, 7 in)
Alcance nivel del suelo pluma monobloque mm, (ft/in)	9690 (31 ft, 6 in)
Altura de excavación pluma monobloque mm, (ft/in)	9690 (31 ft, 6 in)
Altura de descarga pluma monobloque mm, (ft/in)	6600 (21 ft, 8 in)
Profundidad de excavación pluma monobloque mm, (ft/in)	6220 (20 ft, 5 in)
Pala excavación estándar mm, (ft/in)	6670 (8 ft, 9 in)
<b>PRESTACIONES</b>	
Presión importante Kpa Psi	62,8 (9.1)
Velocidad de giro rpm	10,7
Par de giro KnM, (bf/ ff)	120 (88500)
Velocidad de traslación Alta kph, (mph)	5 (3.1)
Fuerza de tracción KN, (bf)	298 (66993)
Arranque de pala excavadora KN, (bf)	222 (49908)
Arranque de cuchara	246 (55303)
Capacidad de avance en pendientes, %	70
Elevación hasta externo - Alcance de 7,5 m, kg (bs)	8800 (18950)
Elevación literal - Alcance de 7,5 m, kg (bs)	5150 (11050)
Bombas principales caudal máximo l/min (galones (US)/min)	576 (152,2)
Presión de la cuchara, bar (PSI)	343 (4975)
Presión del aire admisión, bar (PSI)	380 (5511)
<b>PESOS</b>	
Peso operativo kg (bs)	33632 (74145)



### **3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las principales técnicas que se utilizaron en este trabajo fueron:

- Encuesta: Con preguntas de tipo de cerrado, debido a que permite conocer información específica sobre el área de trabajo, la forma de operar y niveles de mantenimiento del equipo.
- Análisis documental
- Revisión Técnica Vehicular (RTV)

### **3.7 Instrumentos de análisis de datos**

#### **Instrumentos**

Para aplicar las técnicas se usaron los siguientes instrumentos:

- Manuales técnicos de las unidades de transporte
- Manuales internos de la empresa
- Formularios de inspección control y seguimiento

### **3.8 Procedimientos de recolección de datos**

La manera en la que se llevó a cabo este procedimiento fue por medio de la observación directa y entrevista con personal del área del equipo mecánico, así mismo se propuso la implementación de la siguiente lista de formularios:

- Formulario de Informe de tren de rodamiento
- Formulario lista de chequeo de excavadora
- Formulario inspección de cucharones de la excavadora
- Formulario prueba de falla de encendido de cilindro

### **3.9 Validación de instrumentos**

Las herramientas evaluativas para la valoración y recolección de la información fueron validadas por triangulación de expertos, teniendo como evidencia las respuestas de los ítemes de cada una de las encuestas.

#### 4.1 Estado de la aplicación del mantenimiento en la maquinaria pesada Excavadora 350G LC Jhon Deere

En el desarrollo de los resultados de la investigación, se hizo un diagnóstico con el fin de recopilar información técnica con respecto a la capacitación de los conductores a cargo de la maquinaria pesada, lo cual se pudo constatar en primera parte a través de la observación directa. Así mismo, se realizó una encuesta, tomando una muestra de 30 conductores que representan la unidad responsable de maniobrar la maquinaria pesada en representación de los principales clientes de la empresa, dichos resultados son analizados a través de gráficos para obtener así una mayor comprensión de los mismos, para su aplicación se empleó un cuestionario constituido por 10 preguntas.

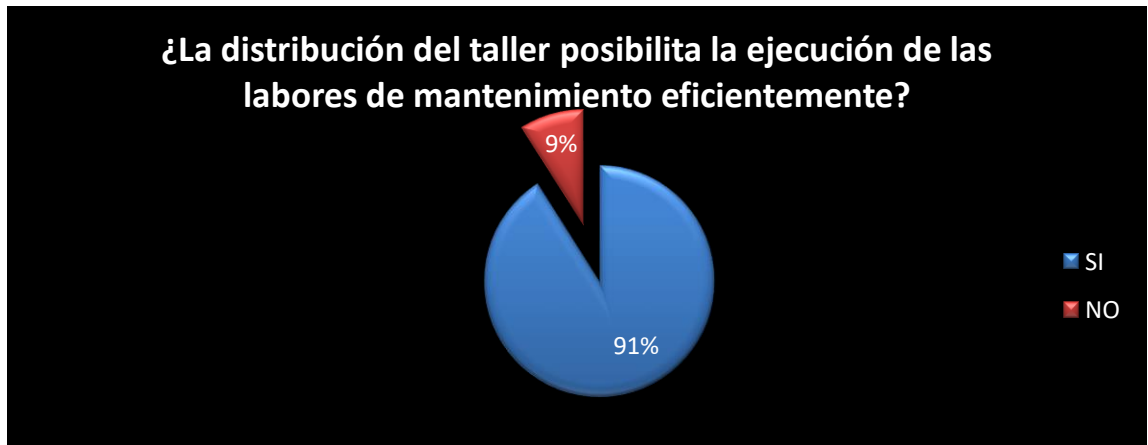
**Tabla 4.1.** Encuesta dirigida a los conductores

PREGUNTAS	SÍ	NO
¿La distribución del taller posibilita ejecutar las labores de mantenimiento eficiente?		
Cuando usted detecta desperfecto en el vehículo ¿toma las debidas precauciones y para el vehículo por precaución?		
¿El vehículo pesado se somete a inspecciones de mantenimiento periódicamente por parte del mecánico del taller o por los proveedores de servicios?		
¿Lleva un registro de inspección mecánica como conductor?		
¿Se anticipa al mantenimiento del vehículo asignado a usted?		
Usted, como conductor, ¿ha tenido capacitaciones sobre cómo operar correctamente cada máquina, con el fin de mejorar su capacidad?		
¿Realiza una revisión exhaustiva todas las mañanas, de los principales sistemas: refrigeración, frenos, combustibles, entre otros?		
¿Se lleva un control diario de recorrido y consumo de combustible?		
Cuando ocurre un incidente mecánico ¿tiene un protocolo de comunicación con la línea supervisora?		
¿Se realiza inspecciones de las partes externas a la maquinaria pesada?		

A continuación, se muestra el conocimiento específico que tienen los conductores con respecto a la máquina a operar, de acuerdo a las preguntas realizadas en dicha encuesta.

Pregunta n.º 1

¿La distribución del taller posibilita la ejecución de las labores de mantenimiento eficientemente?



**Figura 4.1.** Conocimiento específico de los conductores con respecto a la máquina a operar

De acuerdo a la primera pregunta de la encuesta aplicada, se obtuvo como resultado de que solo el 9 % de los encuestados manifiesta que el taller no tiene las adecuaciones necesarias para las labores de mantenimiento; en cambio, el 91 % de los conductores afirma que el taller tiene las condiciones perfectas para la ejecución de las labores.

Pregunta n.º 2

Cuando usted detecta un desperfecto en el vehículo ¿toma las debidas precauciones?



**Figura 4.2.** Conocimiento específico de los conductores con respecto a la máquina a operar

Con respecto a la segunda pregunta se dio a conocer que solo el 27 % de los encuestados conocen las debidas precauciones que se debe tomar en caso de un desperfecto en el vehículo, en tanto que el 73 % restante indicó carecer de conocimiento alguno de las acciones a tomar en estos casos, por lo que este último resultado representa a la gran mayoría, lo que significa que desde este primer punto se desencadenan las fallas en la maquinaria pesada.

Pregunta n.º 3

¿El vehículo pesado se somete a inspecciones de mantenimiento periódicamente por parte del mecánico en el taller?

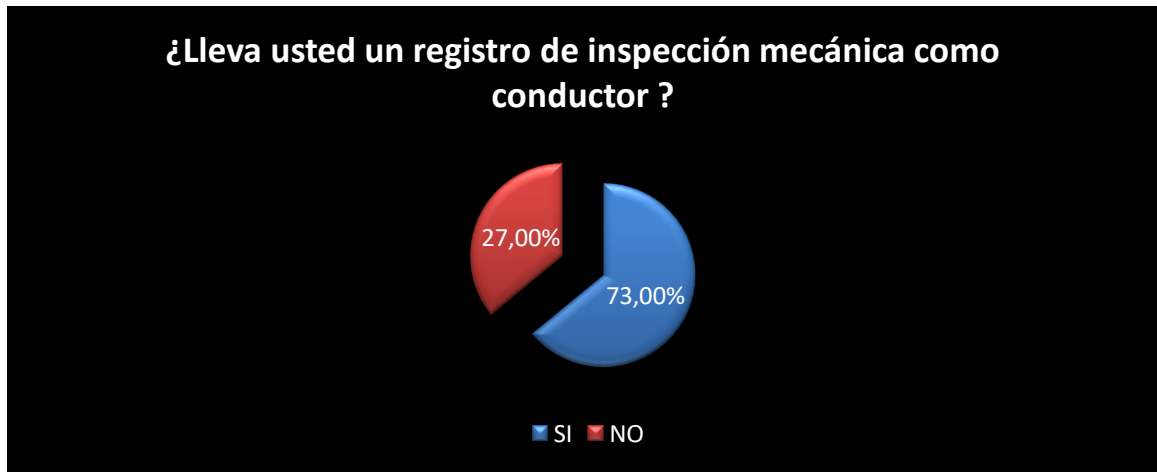


**Figura 4.3.** Conocimiento específico de los conductores con respecto a la máquina a operar

De acuerdo a la pregunta número 3, según la encuesta, los datos arrojaron que el 68 % de los encuestados manifiesta que no tiene conocimiento con respecto al mantenimiento periódico del vehículo y solo el 32 % dice conocer sobre este aspecto en relación a la máquina.

Pregunta n.º 4

¿Lleva usted un registro de inspección mecánica como conductor?

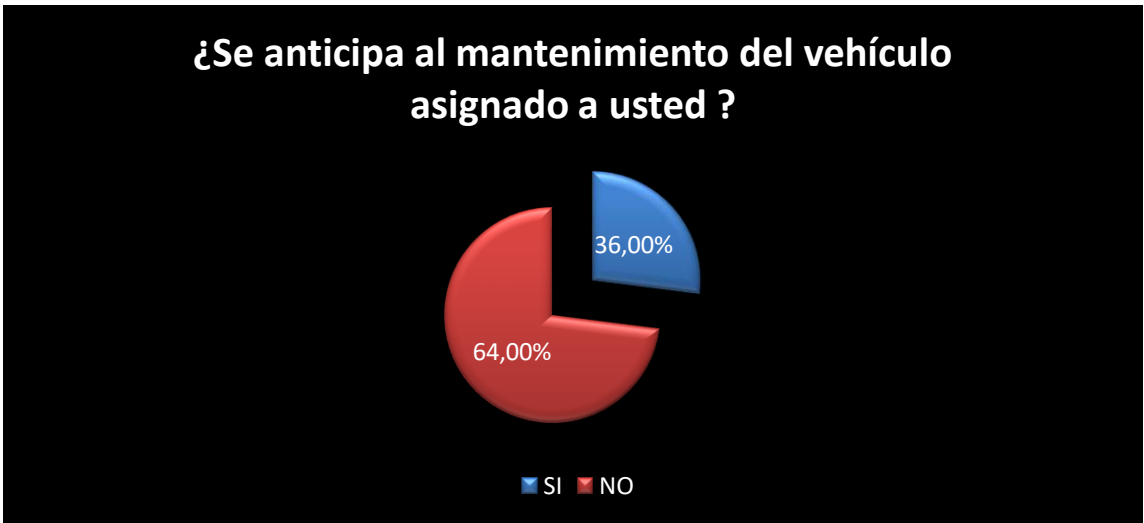


**Figura 4.4.** Conocimiento específico de los conductores con respecto a la máquina a operar

Con respecto a la pregunta 4 de la encuesta aplicada, esta arrojó que el 73 % de los conductores sí llevan un registro para las inspecciones del vehículo, a diferencia del 27 % que manifiesta no tener dichos registros.

Pregunta n.º 5

¿Se anticipa el mantenimiento del vehículo asignado a usted ?

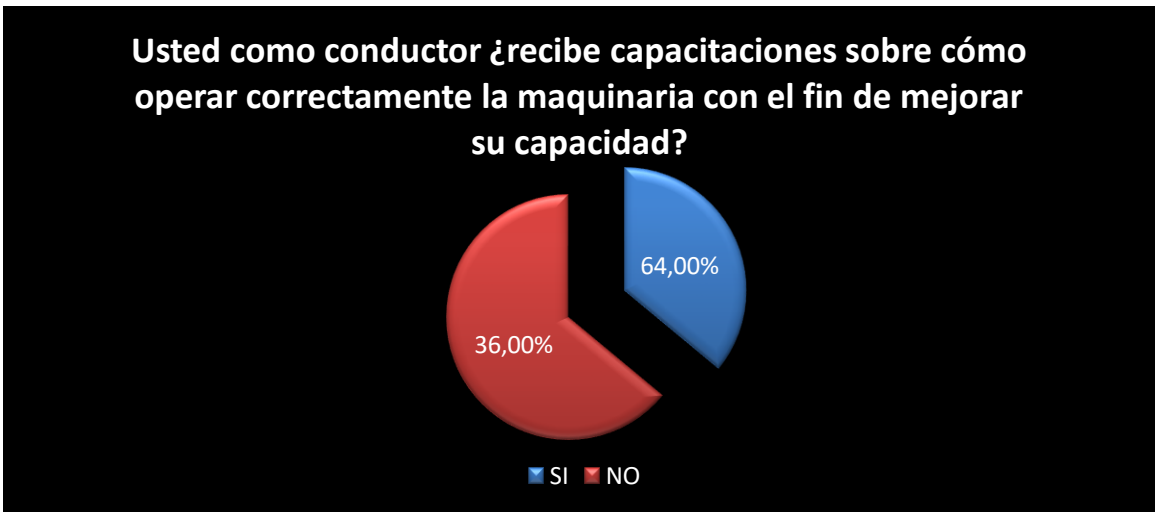


**Figura 4.5.** Conocimiento específico de los conductores con respecto a la máquina a operar

De acuerdo a los resultados, con respecto a la pregunta 5, se obtuvo que solo el 36% del personal encuestado manifiesta que sí corresponde al mantenimiento anticipado del vehículo, mientras que la mayoría, el 68%, manifiesta no formar parte de estos mantenimientos anticipados de la maquinaria.

Pregunta n.º 6

Usted como conductor ¿recibe capacitaciones de cómo operar correctamente la máquina con el fin de mejorar sus capacidad?

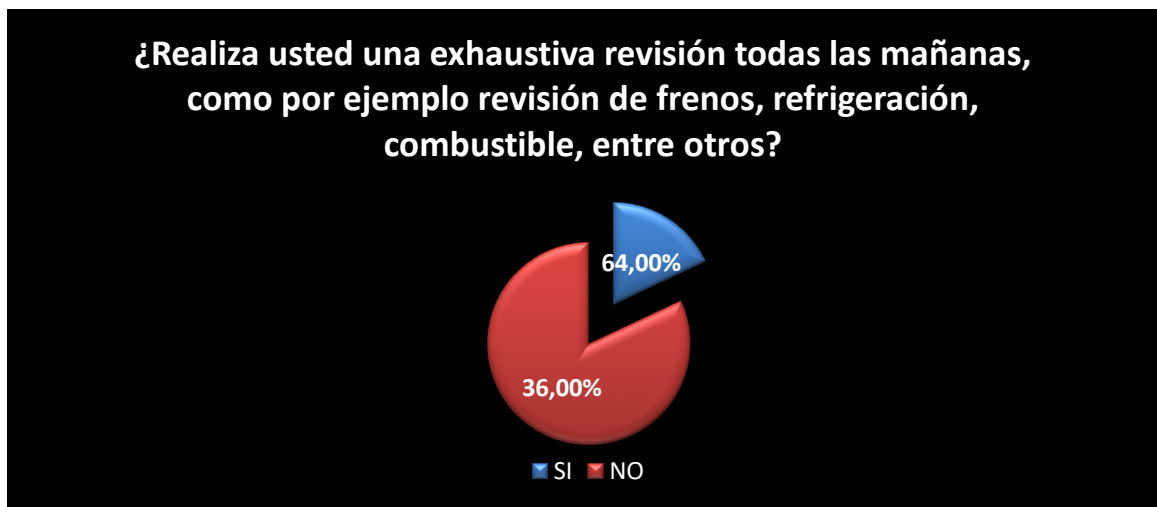


**Figura 4.6.** Conocimiento específico de los conductores con respecto a la máquina a operar

Con respecto a la sexta pregunta se, obtuvieron los resultados de que solo el 36 % de los encuestados manifiesta que las capacitaciones son básicas para la operación de la máquina dejando así al 64% restante que expresó haber recibido constantemente capacitaciones para operar correctamente el vehículo. Lo que quiere decir que, aunque el porcentaje de capacitación de los conductores es mayor, no quiere decir que es el resultado más óptimo, ya que para este tipo de vehículo es necesario que el personal este altamente calificado.

Pregunta n.º 7

¿Realiza usted una exhaustiva revisión todas las mañanas, como por ejemplo revisión de frenos, refrigeración y combustible, entre otros?



**Figura 4.7.** Conocimiento específico de los conductores con respecto a la máquina a operar

De acuerdo a los resultados, con respecto a la pregunta 7, solo el 36 % del personal encuestado manifiesta realizar este tipo de revisiones periódicas al vehículo y el 64 % restante dice no realizar estas revisiones, por lo que este último resultado representa a la gran mayoría, lo que significa que desde este primer punto se desencadenan las fallas en la maquinaria pesada.



Pregunta n.º 8

¿Lleva usted un control diario de recorrido y consumo de combustible?



**Figura 4.8.** Conocimiento específico de los conductores con respecto a la máquina a operar

Con respecto a la octava pregunta, se obtuvieron los resultados de que solo 36 % de los encuestados llevan un control diario de recorrido y combustible y el 64 % restante no lleva controles de ese tipo.

Pregunta n.º 9

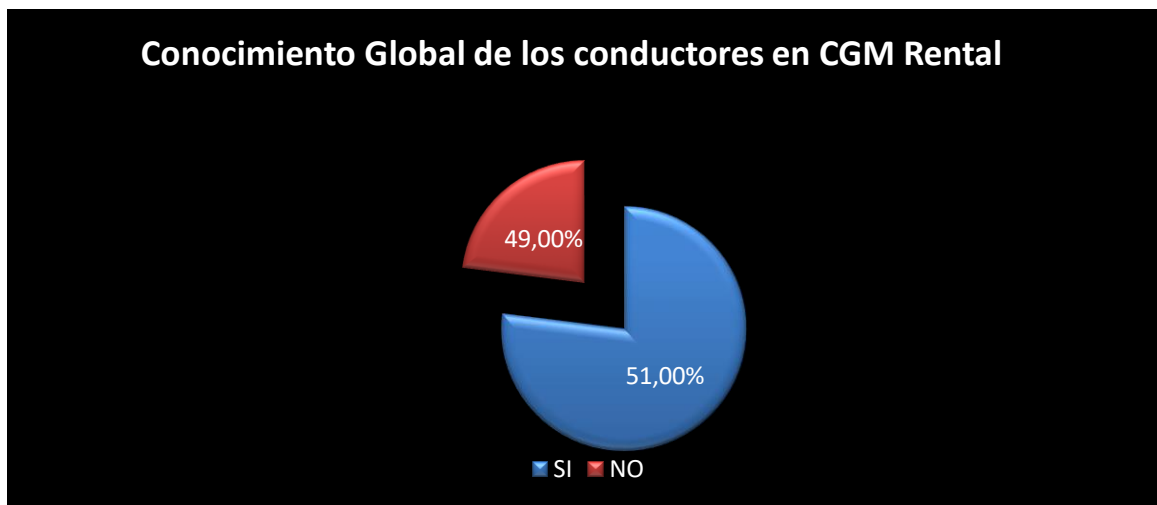
Cuando ocurre un incidente mecánico ¿tiene un protocolo de comunicación con la línea supervisora?



**Figura 4.9.** Conocimiento específico de los conductores con respecto a la máquina a operar

De acuerdo a los resultados, con respecto a la pregunta 9, se observa que solo el 23 % del personal encuestado manifiesta no seguir el protocolo de comunicación con la línea supervisora y el 77 % indica seguir todos los protocolos de comunicación con el ente supervisor, lo que quiere decir que la gran mayoría sigue los protocolos cuando se tiene un incidente.

A continuación, se muestra el conocimiento de los conductores que representan la unidad responsable de maniobrar la maquinaria pesada, en representación de los principales clientes de la empresa, dichos resultados se expresan como sigue:



**Figura 4.10.** Conocimiento específico de los conductores con respecto a la máquina a operar

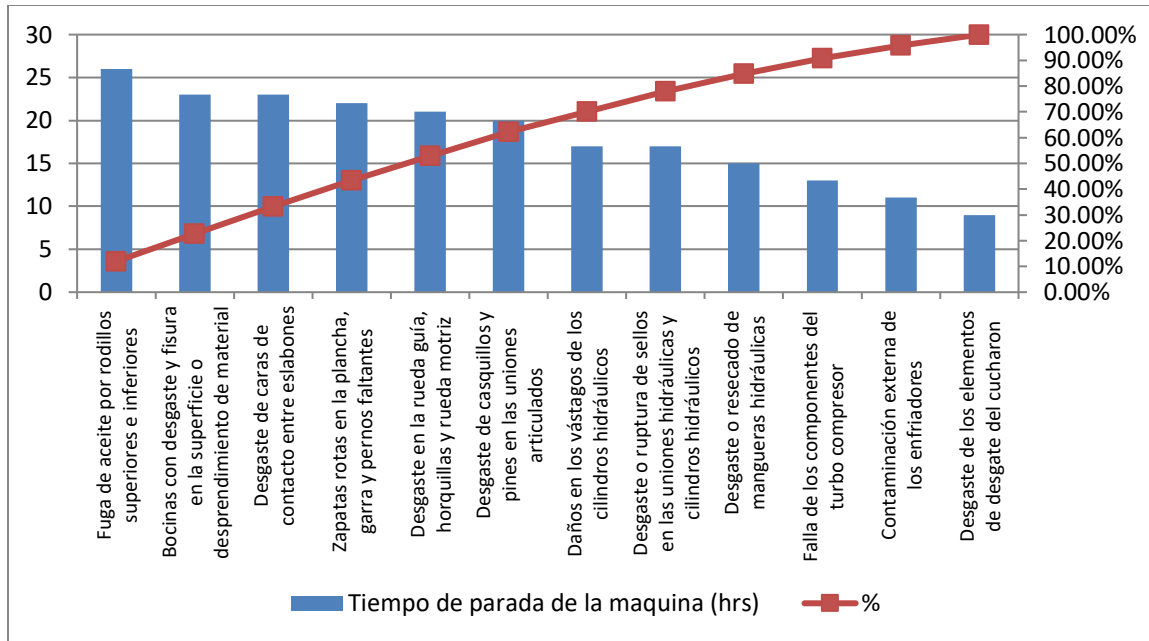
De acuerdo con el resultado global del conocimiento de los conductores, que representan la unidad responsable de maniobrar la maquinaria pesada en representación de los principales clientes de la empresa, expresa que solo el 51 % de los conductores encuestados tiene un conocimiento aceptable en lo que respecta el manejo y parámetros de mantenimiento, contrastando con el 49 %, que refleja ausencia de la capacidad necesaria para el manejo adecuado en cuanto revisiones y protocolos de mantenimiento, que son principales y fundamentales para conservar la productividad de la empresa ocasionando paradas de plantas, lo que representa pérdida de dinero para la organización a futuro.

## 4.2 Historial de fallas en la excavadora 350G LC John Deere

En CGM Rental S. A. C se registran formatos de mantenimiento que se toman diariamente, por lo que se recopila información necesaria por meses, con el fin de indicar qué partes de la excavadora 350 GLC esten presentando mayor número de fallas, de igual manera se recopila información de la frecuencia de fallo de la misma. En este orden de ideas, los formatos se constataron a través de la recopilación de datos y la observación directa. Con este repertorio de información se analizaron datos que sirvieron de ayuda para analizar el historial de fallas de la excavadora en estudio, para ello se utilizó el diagrama de Pareto, herramienta que permite separar las causas de problemas más significantes mediante la aplicación de que el 20 % de las causas producen el 80 % de las consecuencias. Para el análisis de Pareto se tomó en consideración la relación entre el número de fallas y el número de horas de parada de una excavadora.

**Tabla 4.2.** *Análisis de fallas. Diagrama de Pareto*

<b>Fallas más frecuentes de la excavadora</b>	<b>Tiempo de parada de la máquina (hrs)</b>	<b>% Acumulado</b>
Fuga de aceite por rodillos superiores e inferiores	26	11,98 %
Bocinas con desgaste y fisura en la superficie o desprendimiento de material	23	22,58 %
Desgaste de caras de contacto entre eslabones	23	33,18 %
Zapatas rotas en la plancha, garra y pernos faltantes	22	43,32 %
Desgaste en la rueda guía, horquillas y rueda motriz	21	53,00 %
Desgaste de casquillos y pines en las uniones articuladas	20	62,21 %
Daños en los vástagos de los cilindros hidráulicos	17	70,05 %
Desgaste o ruptura de los sellos en las uniones hidráulicas y cilindros hidráulicos	17	77,88 %
Desgaste o resecao de mangueras hidráulicas	15	84,79 %
Falla de los componentes del tubo compresor	13	90,78 %
Contaminación externa de los enfriadores	11	95,85 %
Desgaste de los elementos de desgaste del cucharón	9	100,00 %
Total	217	



**Figura 4.11.** Diagrama de Pareto. Análisis de frecuencia de paradas de la excavadora

El análisis de fallas de la empresa CGM Rental S. A. C. se estudió a través del diagrama de Pareto, donde se determinaron las fallas más representativas de la excavadora 350G LC John Deere, de igual manera se analizó la frecuencia de paradas en función del tiempo, donde se obtuvo como resultado que la fuga de aceite por los rodillos, las zapatas rotas por la plancha, los desgastes y las fisuras representan el mayor riesgo de avería para la excavadora, lo que significa que el programa de mantenimiento preventivo debe profundizar esas fallas como principales ya que simbolizan el mayor número de desgaste.

#### **4.2.1 Modos posibles de fallas en la excavadora 350G LC Jhon Deere de la flota de alquiler de la compañía CGM Rental S. A. C.**

Para el desarrollo de este objetivo se utilizó una herramienta elemental como los es la matriz AMEF, por lo que para su elaboración se siguió la serie de pasos a realizar, según lo descrito en el Capítulo II, Además se realizó una numeración de los fallos que presenta la excavadora 350GLC John Deere, estableciendo el índice de prioridad y luego se da prevalencia a los modos posibles de falla y de esta manera encontrar las soluciones. En otro orden de ideas, se pudo determinar mediante historial de la maquinaria, los elementos que tienen mayor frecuencia de fallas, AMEF de fallas.

Conviene señalar el significado de las variables:

**Gravedad (G):** La gravedad se refiere al impacto potencial de un modo de falla en el sistema o el usuario final. La gravedad generalmente se clasifica en una escala de 1 a 10, siendo 1 el menos grave y 10 el más grave. La clasificación de gravedad se basa en las consecuencias del modo de falla, incluida la seguridad, el impacto ambiental, el impacto financiero y la satisfacción del cliente

**Frecuencia (F):** es la probabilidad o la tasa a la que puede ocurrir un modo de falla. Generalmente se clasifica en una escala de 1 a 10, siendo 1 la menos frecuente y 10 la más frecuente. La clasificación de frecuencia se basa en la probabilidad de que ocurra el modo de falla, incluidos factores como el número de ocurrencias, la duración de la ocurrencia y la probabilidad de detección.

**Detección (D):** es la capacidad de identificar y prevenir un modo de falla antes de que cause daños o perjuicios. Generalmente se califica en una escala de 1 a 10, siendo 1 el más difícil de detectar y 10 el más fácil de detectar. La calificación de detección se basa en la probabilidad de detectar el modo de falla antes de que cause daños o perjuicios, incluidos factores como pruebas, inspección, monitoreo y error humano.

**Índice de Prioridad de Riesgo (IPR):** corresponde a la multiplicación de los parámetros de gravedad, frecuencia y detección.

**Tabla 4.3. Matriz AMEF Modos Posibles de Fallas**

Operación	Falla	Código de Falla	Modo de Falla	Efecto de falla	Causa	Consecuencia	G	F	D	IPR	Riesgo	Acción correctiva	Responsable
Tren de rodaje Fuga de aceite por rodillos superiores e inferiores	Nivel bajo de aceite en los rodillos	FAM-0001		Parada del equipo	Mala operación	Operativa	6	3	5	90	Alto	Capacitación	Personal especializado
					Operación en invierno	Operativa	4	6	3	96	Normal	Experiencia Profesional y capacitar al operador	Personal especializado
			Bajo Nivel de potencia en el motor	Parada del equipo	Sellos rayados	No operativa	8	4	2	64	Normal	Capacitación de operación adecuadas de la máquina	Personal especializado
			Fugas	Operativa	7	7	2	98	Alto	Capacitación de operación adecuada de la máquina	Personal especializado		
			Mal mantenimiento	Oculto	7	3	7	147	Alto	Capacitación e inspecciones diarias.	Personal especializado		

Operación	Falla	Código de falla	Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Consecuencia	G	F	D	IPR	Riesgo	Acción correctiva	Responsable
Tren de rodaje Bocinas con desgaste y fisura en la superficie o desprendimiento de material	Nivel de presión Bajo de Aceite en el rodaje	FAM -0002	Avería en el tren de rodamiento	Parada del equipo	Mal mantenimiento	No operativa	6	5	3	90	Normal	Capacitación tren de rodamiento	Personal especializado
					Arena abrasiva	Operativa	7	7	4	196	Alto	Capacitación tren de rodamiento	Personal especializado
					Bomba de aceite defectuosa	Operativa	6	5	6	180	Alto	Capacitación tren de rodamiento	Personal especializado
					Mala operación	Ocultas	5	6	5	150	Alto	Capacitación	Personal especializado
Operación	Falla	Código de falla	Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Consecuencia	G	F	D	IPR	Riesgo	Acción correctiva	Responsable
Tren de Rodaje Desgaste de caras de contacto entre eslabones	Tren de rodamiento defectuoso	FAM-0003	Fractura por fatiga	Parada del equipo	Terreno accidentado	Operativa	7	5	5	175	Alto	Capacitación	Personal especializado
					Mala Operación	Ocultas	5	5	6	150	Normal	Capacitación tren de rodamiento	Personal especializado
			Avería en el tren de rodamiento	Parada del Equipo	Mucha humedad en el terreno	Contra la seguridad	6	6	7	252	Alto	Capacitación tren de rodamiento	Personal especializado
					Existencia de lodos	No operativas	5	8	5	200	Normal	Capacitación	Personal especializado
					Mal mantenimiento	Ocultas	4	6	5	120	Alto	Capacitación	Personal especializado

Operación	Falla	Código de falla	Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Consecuencia	G	F	D	IPR	Riesgo	Acción correctiva	Responsable
Tren de rodaje	Tren de rodamiento defectuoso	FAM-0004	Fractura por fatiga	Parada del equipo	Mayor concentración de carga acumulada	No Operativas	5	7	4	140	Alto	Capacitación tren de rodamiento	Personal especializado
Zapatillas rotas en la plancha, garra y pernos faltantes					Mala operación	Ocultas	6	7	5	210	Alto	Capacitación tren de rodamiento	Personal especializado
					Zapatillas muy estrechas	Ocultas	5	6	2	80	Normal	Capacitación e inspecciones diarias.	Personal especializado
Operación	Falla	Código de falla	Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Consecuencia	G	F	D	IPR	Riesgo	Acción correctiva	Responsable
Tren de rodaje	Tensión de la oruga es demasiado baja	FAM-0005	Bajo tensor en la oruga	Parada del equipo	Operación en suelo firme	No operativa	6	8	2	96	Alto	Capacitación tren de rodamiento	Personal especializado
Desgaste en la rueda guía, horquillas y rueda motriz					Mala operación	Operativa	7	6	5	210	Alto	Capacitación tren de rodamiento	Personal especializado
					Mal mantenimiento	Ocultas	6	7	4	168	Alto	Capacitación tren de rodamiento	Personal especializado



Operación	Falla	Código de falla	Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Consecuencia	G	F	D	IPR	Riesgo	Acción correctiva	Responsable
Tren de rodaje Desgaste de casquillos y pines en las uniones articulados	Fatiga en la superficie	FAM-0006	Defecto en el metal de rodamiento	Parada del equipo	Falta de lubricación	No operativa	5	7	1	35	Normal	Repuestos de calidad	Personal especializado
					Mal posicionamiento del equipo	Contra la Seguridad	7	6	4	168	Alto	Capacitación de operación de la máquina	Personal especializado
					Mal mantenimiento y operación	Ocultas	6	6	5	180	Alto	Capacitación inspecciones diarias	Personal especializado
Operación	Falla	Código de falla	Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Consecuencia	G	F	D	IPR	Riesgo	Acción correctiva	Responsable
Sistema Hidráulico Daños en los vástagos de los cilindros hidráulicos	Sistema hidráulico defectuoso	FAM-0007	Tamaño de los vástagos no adecuados	Parada del equipo	Rotura de la rosca del vástago	Operativa	5	5	3	75	Normal	Capacitación del sistema hidráulico	Personal especializado
					Daños del vástago	Ocultas	7	6	3	126	Alto	Capacitación e inspecciones diarias	Personal especializado
					Corrosión de la rosca del vástago		6	7	1	42		Capacitación de aplicación de Excavadoras	Personal especializado

Operación	Falla	Código de falla	Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Consecuencia	G	F	D	IPR	Riesgo	Acción correctiva	Responsable
Sistema hidráulico	Defectos en el tren de rodamiento	FAM-0008	Falta de estabilidad en el Tren de rodamiento	Parada del equipo	Desgaste de zapatas, eslabones, pines, bujes, sellos	Operativa	5	9	1	45	Normal	Capacitación del sistema hidráulico	Personal especializado
					Mal mantenimiento y operación	Ocultas	5	6	4	120	Alto	Capacitación del sistema hidráulico	Personal especializado
Sistema hidráulico	Desgaste o ruptura de sellos en las uniones hidráulicas y cilindros hidráulico	FAM-0008	Falta de estabilidad en el Tren de rodamiento	Parada del equipo	Desgaste de zapatas, eslabones, pines, bujes, sellos	Operativa	5	9	1	45	Normal	Capacitación del sistema hidráulico	Personal especializado
					Mal mantenimiento y operación	Ocultas	5	6	4	120	Alto	Capacitación del sistema hidráulico	Personal especializado
Operación	Falla	Código de falla	Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Consecuencia	G	F	D	IPR	Riesgo	Acción correctiva	Responsable
Sistema hidráulico	Defectos en la erosión del tubo de la manguera	FAM-0009	Incorrecta instalación	Parada del equipo	Cables expuestos	Operativa	6	5	4	120	Alto	Capacitación del sistema hidráulico	Personal especializado
					Presencia de fuga externa	Operativa	6	6	3	108	Alto	Capacitación del sistema hidráulico	Personal especializado
					Caducidad de vida útil	operativas	6	6	2	72	Normal	Capacitación del sistema hidráulico	Personal especializado

Operación	Falla	Código de falla	Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Consecuencia	G	F	D	IPR	Riesgo	Acción correctiva	Responsable
Motor	No existe fuerza	FAM-00010	Rotura del turbo compresor	Parada del equipo	Mala operación	Operativa	6	5	4	120	Alto	Capacitación de partes de la excavadora	Personal especializado
Falla de los componentes del turbo compresor					Mal mantenimiento	Operativa	6	7	2	84	Normal	Capacitación de partes de la excavadora	Personal especializado
Operación	Falla	Código de falla	Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Consecuencia	G	F	D	IPR	Riesgo	Acción correctiva	Responsable
Sistema de enfriamiento	Averías en el sistema de enfriamientos	FAM-00011	Alto nivel de corrosión en el sistema	Parada del equipo	Presencia de lodo	Operativa	6	7	2	84	Normal	Capacitación de Partes de la Excavadora	Personal especializado
Contaminación externa de los enfriadores					Descomposición de los aceites	Ocultas	6	7	2	84	Normal	Capacitación de Partes de la Excavadora	Personal especializado

Operación	Falla	Código de falla	Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Consecuencia	G	F	D	IPR	Riesgo	Acción correctiva	Responsable
<b>Cucharón</b>	Cucharón defectuoso	FAM-00012	Rotura o desgaste		Mala operación	Operativa	6	7	2	84	Normal	Capacitación de partes de la excavadora	Personal especializado
Desgaste de los elementos de desgaste del cucharón													

#### **4.2.2 Plan de mantenimiento preventivo de la máquina excavadora 350G LC John Deere**

Mantenimiento basado en el RCM

Cuadros de criticidad (AMEF)

- Determinación de fallas funcionales: Filtros, turbo, bujes, casquillo y engrase
- Falta de inspección

Antes de realizar el programa de mantenimiento preventivo se debe contemplar la priorización de las fallas detectadas, por lo que se realizó la matriz de Priorización de fallas del equipo. Para el presente trabajo de investigación se han tomado en cuenta los siguientes niveles:

a) **Productividad**

1. No genera detención de las operaciones.
2. Retarda la producción.
3. Para toda la línea de producción.

b) **Seguridad personal**

1. No existe el riesgo
2. Riesgo mínimo
3. Riesgo considerable

c) **Medio ambiente**

1. Sin riesgo ambiental
2. Riesgo ambiental mínimo
3. Riesgo ambiental considerable

d) **Relación con otros procesos**

1. Sin relación con otros equipos
2. Con relación con otros equipos

e) **Equipo de repuesto disponible**

1. Si existe otro equipo

- 2. No existe otro equipo
- f) Estado actual del equipo**
  - 1. Mal estado
  - 2. Estado de funcionamiento aceptable
  - 3. Excelente estado
- g) Costo de mantenimiento**
  - 1. Bajo
  - 2. Mediano
  - 3. Alto

**Peso relativo de los factores:** Se designó un peso relativo en orden de importancia a cada factor, pero que al final sume 100 %. Este peso relativo se consideró tomando en cuenta la información del personal operativo y de mantenimiento del equipo.

**Tabla 4.4.** *Peso relativo de cada factor*

Factores	Peso relativo	Criterio de Valoración
Factor a	0,25	La mala productividad de la excavadora, o su caso extremo de parada. Genera problemas contractuales con los clientes y disminución de la calidad del servicio.
Factor b	0,3	La excavadora 350G generalmente realiza trabajos en taludes, ríos, y áreas con suelos de mala capacidad portante. En consecuencia, la parada de la máquina pone en riesgo la vida del operador.
Factor c	0,15	Dadas las condiciones ambientales en que trabaja generalmente la excavadora, somete al equipo a esfuerzos límites y pone en riesgo al operador.
Factor d	0,1	Dado el tipo de trabajo de la retroexcavadora, tiene poca interacción con otros equipos. Aunque a veces es utilizada para cargar camiones volteos o roqueros, aunque puede parar un proceso crítico de producción en la obra.
Factor e	0,05	Generalmente, se tiene una excavadora de repuesto en el taller u otra trabajando en paralelo en el campo.
Factor f	0,1	El equipo debe tener siempre su capacidad de potencia y versatilidad de movimiento, para una correcta prestación de servicio.
Factor g	0,05	En cuanto a los costos de mantenimiento, las piezas que generalmente se dañan son mangueras, bujes y rodamientos. Y en cuanto al mantenimiento, lo de mayor frecuencia son pernos, dientes, y los rutinarios de filtros y aceites.

Analizando las fallas, se procedió a efectuar la evaluación de cada agente, detectando la criticidad de los mismos, lo cual se puntualiza en la siguiente tabla.

**Tabla 4.5. Matriz de priorización**

Tipos de fallas																
Factores	Peso Relativo	Rodillos superiores e inferiores	Bocinas	Eslabones	Zapatas	Pernos	Rueda guía	Horquillas	Casquillos	Vástagos	Sellos	Manguera hidráulica	Turbo compresor	Radiador	Cucharón	
Factor a	0,25	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Factor b	0,3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	
Factor c	0,15	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	
Factor d	0,1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Factor e	0,05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	
Factor f	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Factor g	0,05	3	2	2	1	2	3	2	2	2	2	2	3	2	3	
Factor *(PR)		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	
		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,6	
		0,3	0,45	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,45	0,3	
		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
		0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,1
		0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
		0,15	0,1	0,1	0,1	0,05	0,1	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,05	0,05	0,05
<b>Total</b>		2,45	2,6	2,45	2,5	2,45	2,55	2,55	2,45	2,45	2,55	2,55	2,35	2,3	2,2	



**Tabla 4.6. Resultados del análisis de la matriz**

Fallas	Total
Rodillos superiores e inferiores	2,45
Bocinas	2,6
Eslabones	2,45
Zapatas	2,5
Pernos	2,45
Rueda guía	2,55
Horquillas	2,55
Casquillos	2,45
Vástagos	2,45
Sellos	2,55
Manguera hidráulica	2,55
Turbo compresor	2,35
Radiador	2,3
Cucharón	2,2

Con el propósito de definir el orden en que se deben implementar las acciones en el plan de mantenimiento, se relacionó las horas de paradas con el nivel de daño de la tabla de priorización, obteniéndose:

**Tabla 4.7. Nivel de intervención del plan de mantenimiento**

Fallas frecuentes	Tiempo parada		Priorización	Severidad	Intervención
	(hr)	(%)			
Fugas en rodillos	26	11,98 %	2,45	29,35	I
Bocinas	23	10,60 %	2,6	27,56	I
Eslabones	23	10,60 %	2,45	25,97	I
Zapatas y pernos	22	10,14 %	2,475	25,09	I
Rueda guía y horquillas	21	9,68 %	2,55	24,68	I
Desgaste de casquillos	20	9,22 %	2,45	22,58	I
Daños en los vástagos	17	7,83 %	2,45	19,19	II
Desgaste de sellos	17	7,83 %	2,55	19,98	II
Mangueras hidráulicas	15	6,91 %	2,55	17,63	II
Turbo compresor	13	5,99 %	2,35	14,08	III
Radiador	11	5,07 %	2,3	11,66	III
Desgaste del cucharón	9	4,15 %	2,2	9,12	IV

En la tabla anterior, la severidad se determinó multiplicando el porcentaje de parada por la priorización de la consecuencia de la parada. El nivel de intervención, necesario para definir las primeras acciones a implementar en el plan de mantenimiento, se obtuvo definiendo los siguientes rangos:

**Tabla 4.8.** *Rango de los niveles de intervención*

Niveles de intervención	Intervalo	
I	20<	≤30
II	15<	≤20
III	10<	≤15
IV	0<	≤10

#### **4.2.3 Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad:**

La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado «proceso RCM». Para ello se siguió la secuencia de las preguntas detalladas en el diagrama RCM; ahora bien, el mantenimiento centrado en confiabilidad analiza cada falla y determina el modo posible de falla a futuro, los efectos originados son clasificados y evaluados con respecto al impacto de seguridad que emerge del mismo, frecuentemente estas averías generan un evento significativo en la observación posterior, y estas mismas determinan la causa raíz de la falla. Aunado a esto, para responder las preguntas que dicta el diagrama RCM, es necesario seguir las pautas de las fallas establecidas y analizadas en la matriz AMEF, descritas en el objetivo 2, a su vez se responderán las preguntas siguiendo la secuencia del diagrama.

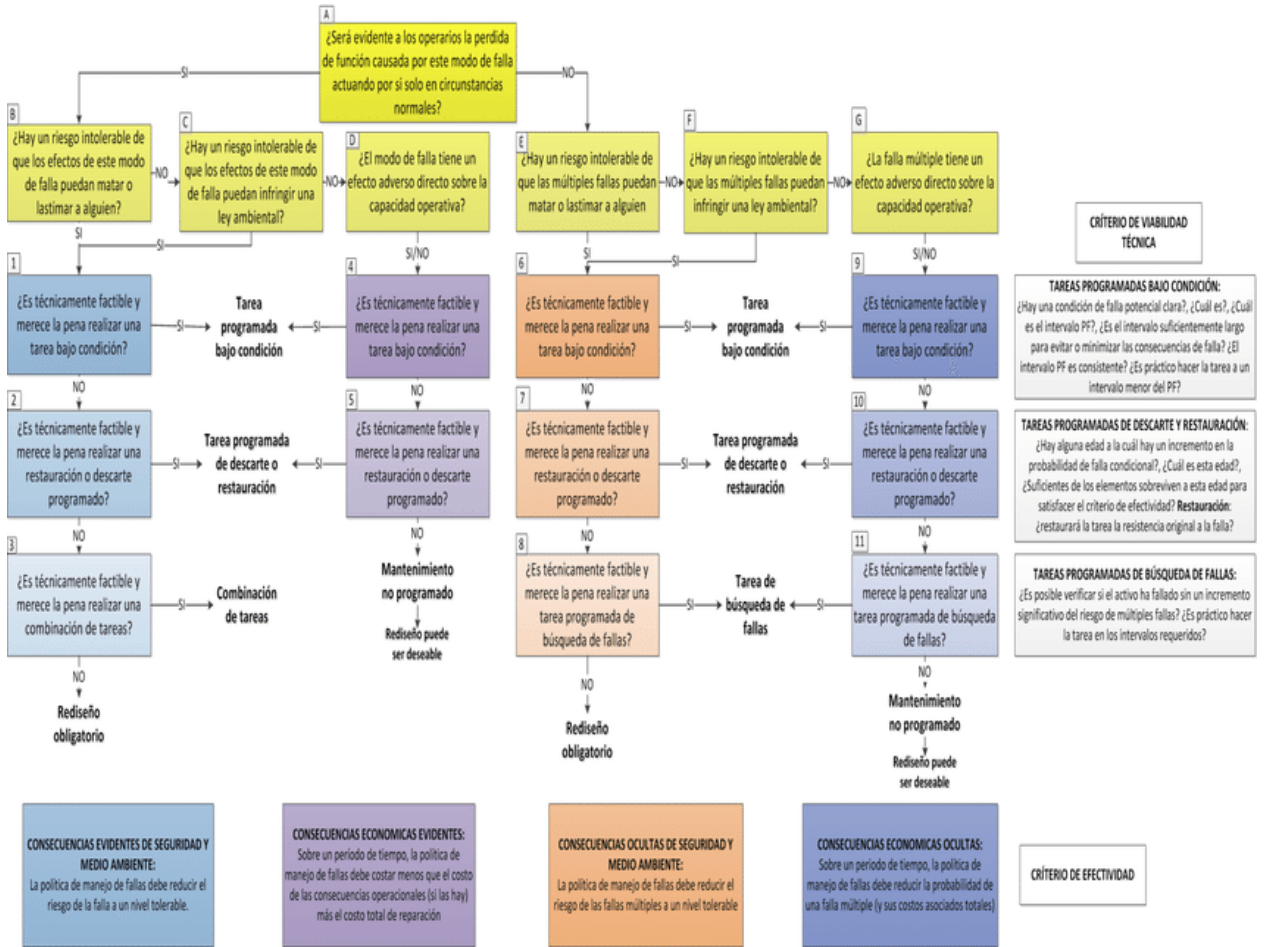


Figura 4.12. Secuencias de preguntas del diagrama RCM

**Tabla 4.9. Hoja de trabajo aplicando el diagrama RCM**

Hoja de trabajo de decisión del RCM																
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H2	TAREA A FALTA DE				Tarea de mantenimiento	Frecuencia inicial	Realizado por
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	O	N	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
			N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10				
1	A	1	N	N	N	S	N	S					Inspección general del motor	Diario	Mantenedor	
1	A	2	S	N	N	S	N	S					Revisión del motor	Mensual	Mantenedor	
2	A	1	S	N	N	S	N	S					Revisión del tren de rodamiento	Semestral	Mantenedor	
3	A	1	S	N	N	S	N	S					Revisión del tren de rodamiento	Semestral	Mantenedor	
4	A	1	S	N	N	S	N	S	N				Revisión del motor			
5	A	1	S	N	N	S	N	S					Revisión del motor	Trimestral	Mantenedor	
6	A	1	N	N	N	S	N	S					Inspección en el sistema hidráulico	Mensual	Mantenedor	
7	A	1	S	N	N	S	N	S					Inspección en el sistema hidráulico	Anual	Personal especializado	
8	A	1	N	N	S	S	N	S					Inspección del tren de rodamiento	Diario	Mantenedor	
9	A	1	S	N	S	S	N	S					Inspección del sistema eléctrico	Diario	Mantenedor	
10	A	1	N	N	S	S	N	S					Revisión de partes de la excavadora	Trimestral	Mantenedor	
11	A	1	N	N	S	S	N	S					Revisión de enfriadores	trimestral	Mantenedor	
12	A	1	S	N	S	S	N	S					Revisión de partes de la excavadora	trimestral	Mantenedor	

#### **4.2.4 Programa del Plan de Mantenimiento Preventivo Para La Excavadora 350G LC Jhon Deere de la flota de alquiler de la compañía CGM Rental S. A. C**

El plan de mantenimiento preventivo es diseñado para este equipo en específico, las actividades programadas y la periodicidad de elaboración están sujetas a las instrucciones del fabricante y en recomendaciones de operadores y mantenedores calificados y con la más alta experiencia en este tipo de maniobra. De igual manera, se establecen las herramientas, equipos y personal convenientes para el avance de cada una de las acciones programadas, con la finalidad de proporcionar una estimación de gastos en que la organización debe incurrir para el desarrollo del plan.

**Tabla 4.10. Programa del Mantenimiento Preventivo PMI**

**DATOS DE EQUIPO**

<b>CÓDIGO CIP</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>
	EXCAVADORA	JOHNN DEERE	350GLC

**REPUESTOS Y MATERIALES A USAR**

**ACEITES**

	<b>Lubricante</b>				<b>Servicio</b>			
	<b>Aceite</b>	<b>NP original</b>	<b>Cant.</b>	<b>Medida</b>	<b>Cambio</b>	<b>Nivel</b>	<b>Toma de muestra</b>	<b>Cant.</b>
Aceite Motor	Plus 50	JDTY26679_	7,40	Gal	X		X	1
Aceite del sistema hidráulico	HITACHI	HI2908-050_	51,10	Gal		X	X	
Mecanismo de giro	GL-5	JDTY26816_	3,10	Gal		X		
Mando final derecho	GL-5	JDTY26816_	2,20	Gal		X		
Mando final izquierdo	GL-5	JDTY26816_	2,20	Gal		X		
Mecanismo impulsor de bomba	Plus 50	JDTY26679_	0,29	Gal		X		
Sistema de refrigeración	COOLGARD	JDTY26576	10,50	Gal		X		

**FILTROS**

	<b>NP original</b>	<b>NP alternativo</b>	<b>Cant.</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cambio</b>	<b>Limpieza</b>
Filtro aceite motor	JDDZ101884		1	Pza.	X	
Filtro combustible final (Kit)	JDRE525523		1	Pza.	X	

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
	<b>Ejecutado</b>	
<b>GENERAL</b>	SÍ	NO
Lavar equipo	x	
Engrase general de equipo	x	
Inspeccionar y eliminar todo tipo de fugas de aceite	x	
Inspeccionar y eliminar todo tipo de fugas de combustible	x	
Inspeccionar y ajustar pernos y tuercas en general	x	
Verificar estado - mangueras de todos los sistemas abrazaderas, conectores, sellos	x	
Inspeccionar guardas en general	x	
Comprobar funcionamiento de aire acondicionado (si tiene)	x	
Inspeccionar cinturón de seguridad	x	
Verificar estado y conexión de fajas	x	
Inspeccionar estructura, posibles rajaduras - inspección visual	x	
Revisar apriete de perno de pasador entre aguilón y brazo	x	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>MOTOR</b>	SI	NO
<b>LIMPIEZA ELECTRÓNICA DE EGR</b>	x	
Revisar estado y tensión de la correa del ventilador	x	
Revisar estado de las mangueras de combustible y refrigerante	x	
Limpiar panel del radiador y enfriador de aceite hidráulico (parte exterior)	x	
Verificar gases de múltiple de escape	x	
Limpiar respiradero de Cáster	x	
Verificar estado de corazas de Cáster	x	
Revisar humos del escape	x	
Revisar ajuste pernos soporte motor	x	

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
Comprobar sujeción del sur. Admisión de aire y revisar posibles fugas por manguera y abrazaderas	x	
Revisar sujeción del sistema de escape	x	
Revisar sistema de acelerador y cable de control (si tiene)	x	
Verificar sellos del turbo compresor	x	
Revisar mangueras y fugas de turbo compresor	x	
Limpiar el prefiltro de aire de motor	x	
Revisar el indicador de toponeo de filtros de aire de motor	x	
Drenar el agua del separador de combustible	x	
Drenar el agua del tanque de combustible por la válvula	x	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Compruebe el nivel de aceite hidráulico (aceite frío y con tapa puesta)	x	
Limpiar tapón respiradero del tanque hidráulico	x	
Verificar estado de controles de dirección, giro, palancas	x	
Verificar estado de mangueras hidráulicas, abrazaderas, sellos, conectores	x	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Inspeccionar articulaciones	x	
Inspeccionar cilindros del boom, stock, cucharón	x	
Inspeccionar líneas de grasa del boom	x	
Inspeccionar pines de cilindro, abrazaderas	x	
Inspeccionar pines de la base del boom	x	
Inspeccionar pines de la base del cilindro del boom	x	
Revisar uñas de cucharón	x	
Revisar cucharón, fisuras, desgastes	x	
Inspeccionar tubos y mangueras del boom	x	



TAREAS A REALIZAR		
Cojinetes de la rotación – Lubricar	x	
Lubricar en los dos puntos de la base de los cilindros de levante	x	
Lubricar los 5 puntos en el manitol sobre la pluma	x	
Lubricar pines del cucharón	x	
Lubricar el punto en el cilindro (botella) del cucharón	x	
Lubricar el punto en el vástago del cilindro del stock	x	
Lubricar los tres puntos de unión con el cucharón	x	
Lubricar los 4 puntos que unen el eslabón con el stock y cilindro	x	
Lubricar los dos puntos en la unión de la pluma con el stock (una a cada lado)	x	
Lubricar el mecanismo de la pluma, del brazo y del cucharón	x	
Lubricar los pasadores de la base de la pluma	x	
Lubricar el varillaje de la pluma y del brazo	x	
Inspeccionar/Ajustar varillaje del cucharón	x	
Verificar desgaste de cantoneras de cucharón	x	
Verificar el juego entre el cucharón y el stock	x	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>SISTEMA ELECTRICO</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Revisar estado de cableado de batería	x	
Comprobar funcionamiento del limpiaparabrisas, delantero y trasero	x	
Comprobar el funcionamiento de los indicadores del panel	x	
Comprobar que todas las luces estén operativas	x	
Inspeccionar estado y tensión de correas de alternador y del ventilador	x	
Revisar funcionamiento de alarmas y luces testigo	x	
Inspeccionar ventanas	x	
Verificar el nivel de electrolito de las baterías	x	
Verificar estado y bornes de las baterías	x	

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
Verificar voltaje de batería	x	
Revisar funcionamiento de motor de arranque	x	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>CHASIS Y CABINA</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Revisar ajuste y cerraduras de puertas y ventanas	X	
Revisar nivel del líquido lavaparabrisas	X	
Revisar estado general de la pintura	X	
Revisar interior de cabina, limpiar si es necesario	X	
Revisar funcionamiento de radio y parlantes	X	
Revisar estado de los vidrios	X	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>TREN DE RODAMIENTO</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Inspeccionar guardas de rodillo	X	
Lubricar bastidor de tren de rodaje ajustable	X	
Comprobar y ajuste las cadenas	X	
Lubricar la rueda guía	X	
Revisar estado de rodillos superiores e inferiores	X	
Revisar estado del bastidor	X	
Revisar pernos de cadena	X	
Comprobar tren de rodaje	x	
Verificar desgaste de guías laterales de cadena	x	
Verificar la tensión de la cadena (40 a 55 mm)	x	
Verificar nivel de aceite del compartimiento resorte – tensor	x	
Realizar la medición del SEC	x	

**Tabla 4.11. Programa del Mantenimiento Preventivo PM2**

**DATOS DE EQUIPO**

CÓDIGO CIP	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO
	EXCAVADOR A	JOHNN DEERE	350GLC

**REPUESTOS Y MATERIALES A USAR**

**ACEITES**

	Lubricante				Servicio			
	Aceite	NP original	Cant.	Medida	Cambio	Nivel	Toma de muestra	Cant.
Aceite motor	Plus 50	JDTY26679_	7,40	Gal	X		X	1
Aceite del sistema hidráulico	HITACHI	HI2908-050_	51,10	Gal		X	X	1
Mecanismo de giro	GL-5	JDTY26816_	3,10	Gal		X		
Mando final derecho	GL-5	JDTY26816_	2,20	Gal		X		
Mando final izquierdo	GL-5	JDTY26816_	2,20	Gal		X		
Mecanismo impulsor de bomba	Plus 50	JDTY26679_	0,29	Gal		X		

FILTROS						
	NP original	NP alternativo	Cant.	Unidad	Cambio	Limpieza
Filtro aceite motor	JDDZ101884		1	Pza.	X	
Filtro combustible final (Kit)	JDRE525523		1	Pza.	X	
Filtro combustible record	JDAT365869		1	Pza.	X	
Filtro de aire primario	JDAT330978		1	Pza.	X	
Filtro de aire secundario	JDAT330980		1	Pza.	X	
Filtro de aceite Sisa hidráulico	JDFYA00033065		1	Pza.		X

**MEDICIÓN DE TREN DE CARRILERÍA**

**Condiciones del terreno**

<b>Impacto:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO
<b>Abrasión:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO
<b>Humedad:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO
<b>Compactación:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO

**COMBA DE LA CADENA**

Lado derecho				mm	
Lado izquierdo				mm	

*NOTA: Tomar el promedio de tres medidas como mínimo*

MEDICIONES									
DESCRIPCIÓN	POSICIÓN	CAD. DERECHO	CAD. IZQUIERDO	Un.	OBSERVACIONES				
Altura zapata	-								
Bocinas	-								

<b>MEDICIÓN DE TREN DE CARRILERÍA</b>										
Rueda guía	Exterior									
	Interior									
Rueda motriz	-									
Eslabón	-									
Rodillos superiores	Delantero									
	Posterior									
Rodillos inferiores	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
	<b>Ejecutado</b>	<b>NO</b>
	<b>SÍ</b>	
<b>GENERAL</b>		
Lavar equipo	x	
Engrase general de equipo	x	
Inspeccionar y eliminar todo tipo de fugas de aceite	x	
Inspeccionar y eliminar todo tipo de fugas de combustible	x	
Inspeccionar y ajustar pernos y tuercas en general	x	

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
Verificar estado - mangueras de todos los sistemas abrazaderas, conectores, sellos	x	
Inspeccionar guardas en general	x	
Comprobar funcionamiento de aire acondicionado (si tiene)	x	
Inspeccionar cinturón de seguridad	x	
Verificar estado y conexión de fajas	x	
Inspeccionar estructura, posibles rajaduras - inspección visual	x	
Revisar apriete de perno de pasador entre aguilón y brazo	x	
	<b>Ejecutado</b>	<b>NO</b>
<b>MOTOR</b>	<b>SÍ</b>	
<b>LIMPIEZA ELECTRÓNICA DE EGR</b>	x	
Revisar estado y tensión de la correa del ventilador	x	
Revisar estado de las mangueras de combustible y refrigerante	x	
Limpiar panel del radiador y enfriador de aceite hidráulico (parte exterior)	x	
Verificar gases de múltiple de escape	x	
Limpiar respiradero de Cáster	x	
Verificar estado de corazas de Cáster	x	
Revisar humos del escape	x	
Revisar ajuste pernos soporte motor	x	
Comprobar sujeción del sur. Admisión de aire y revisar posibles fugas por manguera y abrazaderas	x	
Revisar sujeción del sistema de escape	x	
Revisar sistema de acelerador y cable de control (si tiene)	x	
Verificar sellos del turbo compresor	x	
Revisar mangueras y fugas de turbo compresor.	x	
Limpiar el prefiltros de aire de motor	x	
Revisar el indicador de taponeo de filtros de aire de motor	x	

TAREAS A REALIZAR	Ejecutado	NO
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>	<b>SÍ</b>	
Compruebe el nivel de aceite hidráulico (aceite frío y con tapa puesta)	x	
Limpiar tapón respiradero del tanque hidráulico	x	
Verificar estado de controles de dirección, giro, palancas	x	
Verificar estado de mangueras hidráulicas, abrazaderas, sellos, conectores	x	
	<b>Ejecutado</b>	<b>NO</b>
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>	<b>SÍ</b>	
Inspeccionar articulaciones	x	
Inspeccionar cilindros del boom, stock, cucharón	x	
Inspeccionar líneas de grasa del boom	x	
Inspeccionar pines de cilindro, abrazaderas	x	
Inspeccionar pines de la base del boom	x	
Inspeccionar pines de la base del cilindro del boom	x	
Revisar uñas de cucharón	x	
Revisar cucharón, fisuras, desgastes	x	
Inspeccionar tubos y mangueras del boom	x	
Cojinetes de la rotación – Lubricar	x	
Lubricar en los dos puntos de la base de los cilindros de levante	x	
Lubricar los 5 puntos en el manitol sobre la pluma	x	
Lubricar pines del cucharón	x	
Lubricar el punto en el cilindro (botella) del cucharón	x	
Lubricar el punto en el vástago del cilindro del stock	x	
Lubricar los 3 puntos de unión con el cucharón	x	
Lubricar los 4 puntos que unen el eslabón con el stock y cilindro	x	

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
Lubricar el mecanismo de la pluma, del brazo y del cucharón	x	
Lubricar los pasadores de la base de la pluma	x	
Lubricar el varillaje de la pluma y del brazo	x	
Inspeccionar/Ajustar varillaje del cucharón	x	
Verificar desgaste de cantoneras de cucharón	x	
Verificar el juego entre el cucharón y el stock	x	
	<b>Ejecutado</b>	<b>NO</b>
	<b>SÍ</b>	
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>		
Revisar estado de cableado de batería	x	
Comprobar funcionamiento del limpiaparabrisas, delantero y trasero	x	
Compruebe el funcionamiento de los indicadores del panel	x	
Compruebe que todas las luces estén operativas	x	
Inspeccionar estado y tensión de correas de alternador y del ventilador	x	
Revisar funcionamiento de alarmas y luces testigo	x	
Inspeccionar ventanas	x	
Verificar el nivel de electrolito de las baterías.	x	
Verificar estado y bornes de las baterías	x	
Verificar voltaje de batería	x	
Revisar funcionamiento de motor de arranque	x	
	<b>Ejecutado</b>	<b>NO</b>
	<b>SÍ</b>	
<b>CHASIS Y CABINA</b>		
Revisar ajuste y cerraduras de puertas y ventanas	X	
Revisar nivel del líquido lavaparabrisas	X	
Revisar estado general de la pintura	X	
Revisar interior de cabina, limpiar si es necesario	X	



TAREAS A REALIZAR	Ejecutado	NO
<b>TREN DE RODAMIENTO</b>	SÍ	
Inspeccionar guardas de rodillo	x	
Lubricar bastidor de tren de rodaje ajustable	x	
Comprobar y ajustar las cadenas	x	
Lubricar la rueda guía	x	
Revisar estado de rodillos superiores e inferiores	x	
Revisar estado del bastidor	x	
Revisar pernos de cadena	x	
Comprobar tren de rodaje	x	
Verificar desgaste de guías laterales de cadena	x	
Verificar la tensión de la cadena (40 a 55 mm)	x	
Verificar nivel de aceite del compartimiento resorte – tensor	x	
Realizar la medición del SEC	x	

**Tabla 4.12. Programa del mantenimiento preventivo PM3**

**DATOS DE EQUIPO**

CÓDIGO CIP	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO
	EXCAVADORA	JOHNN DEERE	350GLC

**REPUESTOS Y MATERIALES A USAR**

ACEITES								
	Lubricante				Servicio			
	Aceite	NP original	Cant.	Medida	Cambio	Nivel	Toma de muestra	Cant.
Aceite motor	Plus 50	JDTY26679_	7,40	Gal	X		X	1
Aceite del sistema hidráulico	HITACHI	HI2908-050_	51,10	Gal		X	X	1
Mecanismo de giro	GL-5	JDTY26816_	3,10	Gal	X			
Mando final derecho	GL-5	JDTY26816_	2,20	Gal	X			
Mando final izquierdo	GL-5	JDTY26816_	2,20	Gal	X			
Mecanismo impulsor de bomba	Plus 50	JDTY26679_	0,29	Gal	X			
Sistema de refrigeración	COOLGARD	JDTY26576	10,50	Gal		X		
FILTROS								
	NP original	NP alternativo	Cant.	Unidad	Cambio	Limpieza		
Filtro aceite motor	JDDZ101884		1	Pza.	X			

Filtro combustible final (Kit)	JDRE525523		1	Pza.	X	
Filtro combustible record	JDAT365869		1	Pza.	X	
Filtro de aire primario	JDAT330978		1	Pza.	X	
Filtro de aire secundario	JDAT330980		1	Pza.	X	
Filtro de aceite Sisa hidráulico	JDFYA00033065		1	Pza.	X	
Filtro aceite circuito piloto	JD4630525		1	Pza.	X	
<b>MEDICIÓN DE TREN DE CARRILERÍA</b>						

**Condiciones del terreno**

<b>Impacto:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO
<b>Abrasión:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO
<b>Compactación:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO

**COMBA DE LA CADENA**

Lado derecho	<b>mm</b>
--------------	-----------

*NOTA: Tomar el promedio de tres medidas como mínimo*

<b>MEDICIONES</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>POSICIÓN</b>	<b>CAD. DERECHO</b>	<b>CAD. IZQUIERDO</b>	<b>Un.</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Altura zapata	-				
Bocinas	-				
Rueda guía	Exterior				
	Interior				
Rueda motriz	-				
Eslabón	-				
Rodillos superiores	Delantero				
	Posterior				

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
	<b>Ejecutado</b>	
	SÍ	NO
<b>GENERAL</b>		
Lavar equipo	X	
Engrase general de equipo	X	
Inspeccionar y eliminar todo tipo de fugas de aceite	X	
Inspeccionar y eliminar todo tipo de fugas de combustible	X	
Inspeccionar y ajustar pernos y tuercas en general	X	
Verificar estado - mangueras de todos los sistemas abrazaderas, conectores, sellos	X	
Inspeccionar guardas en general	X	
Comprobar funcionamiento de aire acondicionado (si tiene)	X	
Inspeccionar cinturón de seguridad	X	
Verificar estado y conexión de fajas	X	
Inspeccionar estructura, posibles rajaduras - inspección visual	X	
Revisar apriete de perno de pasador entre aguilón y brazo	X	
	<b>Ejecutado</b>	
	SÍ	NO
<b>MOTOR</b>		
<b>LIMPIEZA ELECTRÓNICA DE EGR</b>		
Revisar estado y tensión de la correa del ventilador	x	
Revisar estado de las mangueras de combustible y refrigerante	x	
Limpiar panel del radiador y enfriador de aceite hidráulico (parte exterior)	x	
Verificar gases de múltiple de escape	x	
Limpiar respiradero de Cáster	x	
Verificar estado de corazas de Cáster	x	
Revisar humos del escape	x	
Revisar ajuste pernos soporte motor	x	

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
Comprobar sujeción del sur. Admisión de aire y revisar posibles fugas por manguera y abrazaderas	x	
Revisar sujeción del sistema de escape	x	
Revisar sistema de acelerador y cable de control (si tiene)	x	
Verificar sellos del turbo compresor	x	
Revisar mangueras y fugas de turbo compreso	x	
Limpiar el prefiltro de aire de motor	x	
Revisar el indicador de toponeo de filtros de aire de motor	x	
Drenar el agua del separador de combustible	x	
Drenar el agua del tanque de combustible por la válvula	x	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Compruebe el nivel de aceite hidráulico (aceite frío y con tapa puesta)	x	
Limpiar tapón respiradero del tanque hidráulico	x	
Verificar estado de controles de dirección, giro, palancas	x	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Inspeccionar articulaciones	x	
Inspeccionar cilindros del boom, stock, cucharón	x	
Inspeccionar líneas de grasa del boom	x	
Inspeccionar pines de cilindro, abrazaderas	x	
Inspeccionar pines de la base del boom	x	
Inspeccionar pines de la base del cilindro del boom	x	
Revisar uñas de cucharón	x	
Revisar cucharón, fisuras, desgastes	x	
Inspeccionar tubos y mangueras del boom	x	
Cojinetes de la rotación – Lubricar	x	

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
Lubricar en los dos puntos de la base de los cilindros de levante	x	
Lubricar los 5 puntos en el manitol sobre la pluma	x	
Lubricar pines del cucharón	x	
Lubricar el punto en el cilindro (botella) del cucharón	x	
Lubricar el punto en el vástago del cilindro del stock	x	
Lubricar los 3 puntos de unión con el cucharón	x	
Lubrica los 4 puntos que unen el eslabón con el stock y cilindro	x	
Lubricar los dos puntos en la unión de la pluma con el stock (una a cada lado)	x	
Lubricar el mecanismo de la pluma, del brazo y del cucharón	x	
Lubricar los pasadores de la base de la pluma	x	
Lubricar el varillaje de la pluma y del brazo	x	
Inspeccionar/Ajustar varillaje del cucharón	x	
Verificar desgaste de cantoneras de cucharón	x	
Verificar el juego entre el cucharón y el stock	x	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Revisar estado de cableado de batería	x	
Comprobar funcionamiento del limpiaparabrisas, delantero y trasero	x	
Comprobar el funcionamiento de los indicadores del panel	x	
Comprobar que todas las luces estén operativas	x	
Inspeccionar estado y tensión de correas de alternador y del ventilador	x	
Revisar funcionamiento de alarmas y luces testigo	x	
Inspeccionar ventanas	x	
Verificar el nivel de electrolito de las baterías	x	
Verificar estado y bornes de las baterías	x	
Verificar voltaje de batería	x	

TAREAS A REALIZAR		
	Ejecutado	
<b>CHASIS Y CABINA</b>	SÍ	NO
Revisar ajuste y cerraduras de puertas y ventanas	x	
Revisar nivel del líquido lavaparabrisas	x	
Revisar estado general de la pintura	x	
Revisar interior de cabina, limpiar si es necesario	x	
Revisar funcionamiento de radio y parlantes	x	
Revisar estado de los vidrios	x	
	Ejecutado	
<b>TREN DE RODAMIENTO</b>	SÍ	NO
Inspeccionar guardas de rodillo	x	
Lubricar bastidor de tren de rodaje ajustable	x	
Comprobar y ajuste las cadenas	x	
Lubricar la rueda guía	x	
Revisar estado de rodillos superiores e inferiores	x	
Revisar estado del bastidor	x	
Revisar pernos de cadena	x	
Comprobar tren de rodaje	x	
Verificar desgaste de guías laterales de cadena	x	
Verificar la tensión de la cadena (40 a 55 mm)	x	
Verificar nivel de aceite del compartimiento resorte – tensor	x	

**Tabla 4.13. Programa de mantenimiento preventivo PM4**

**DATOS DE EQUIPO**

CÓDIGO CIP	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO
	EXCAVADORA	JOHNN DEERE	350GLC

**REPUESTOS Y MATERIALES A USAR**

**ACEITES**

	Lubricante				Servicio			
	Aceite	NP original	Cant.	Medida	Cambio	Nivel	Toma de muestra	Cant.
Aceite motor	Plus 50	JDTY26679_	7,40	Gal	X		X	1
Aceite del sistema hidráulico	HITACHI	HI2908-050_	51,10	Gal		X	X	1
Mecanismo de giro	GL-5	JDTY26816_	3,10	Gal	X			
Mando final derecho	GL-5	JDTY26816_	2,20	Gal	X			
Mando final izquierdo	GL-5	JDTY26816_	2,20	Gal	X			
Mecanismo impulsor de bomba	Plus 50	JDTY26679_	0,29	Gal	X			
Sistema de refrigeración	COOLGARD	JDTY26576	10,50	Gal		X		

**FILTROS**

	NP original	NP alternativo	Cant.	Unidad	Cambio	Limpieza
Filtro aceite motor	JDDZ101884		1	Pza.	X	
Filtro combustible final (Kit)	JDRE525523		1	Pza.	X	
Filtro combustible record	JDAT365869		1	Pza.	X	



Filtro de aire primario	JDAT330978		1	Pza.	X	
Filtro de aire secundario	JDAT330980		1	Pza.	X	
Filtro de aceite sistema hidráulico	JDFYA00033065		1	Pza.	X	
Filtro aceite circuito piloto	JD4630525		1	Pza.	X	
Filtro de aire fresco de cabina	JD4S00686		1	Pza.	X	
Filtro de aire recirculado de cabina	JDFYA00001490		1	Pza.		X
<b>MEDICIÓN DE TREN DE CARRILERÍA</b>						

**Condiciones del Terreno**

<b>Impacto:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO
<b>Abrasión:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO
<b>Humedad:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO
<b>Compactación:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO

**COMBA DE LA CADENA**

Lado derecho	<b>mm</b>
Lado izquierdo	<b>mm</b>

**NOTA: Tomar el promedio de tres medidas como mínimo**

<b>MEDICIONES</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>POSICIÓN</b>	<b>CAD. DERECHO</b>	<b>CAD. IZQUIERDO</b>	<b>Un.</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Altura zapata	-				
Bocinas	-				
Rueda guía	Exterior				
	Interior				
Rueda motriz	-				
Eslabón	-				

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
	<b>Ejecutado</b>	
	SÍ	NO
<b>GENERAL</b>		
Lavar equipo	X	
Engrase general de equipo	X	
Inspeccionar y eliminar todo tipo de fugas de aceite	X	
Inspeccionar y eliminar todo tipo de fugas de combustible	X	
Inspeccionar y ajustar pernos y tuercas en general	X	
Verificar estado - mangueras de todos los sistemas abrazaderas, conectores, sellos	X	
Inspeccionar guardas en general	X	
Comprobar funcionamiento de aire acondicionado (si tiene)	X	
Inspeccionar cinturón de seguridad	X	
Verificar estado y conexión de fajas	X	
Inspeccionar estructura, posibles rajaduras - inspección visual	X	
	<b>Ejecutado</b>	
	SÍ	NO
<b>MOTOR</b>		
<b>REALIZAR CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DEL MOTOR</b>	X	
<b>LIMPIEZA ELECTRÓNICA DE EGR</b>	X	
Revisar estado y tensión de la correa del ventilador	X	
Revisar estado de las mangueras de combustible y refrigerante	X	
Limpiar panel del radiador y enfriador de aceite hidráulico (parte exterior)	X	
Verificar gases de múltiple de escape	X	
Limpiar respiradero de Cáster	X	
Verificar estado de corazas de Cáster	X	
Revisar humos del escape	X	
Revisar ajuste pernos soporte motor	X	
Comprobar sujeción del sur. Admisión de aire y revisar posibles fugas por manguera y abrazaderas	X	

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
Revisar sujeción del sistema de escape	X	
Revisar sistema de acelerador y cable de control (si tiene)	X	
Verificar sellos del turbo compresor	X	
Revisar mangueras y fugas de turbo compresor	X	
Limpiar el pre filtro de aire de motor	X	
Revisar el indicador de toponeo de filtros de aire de motor	X	
Drenar el agua del separador de combustible	X	
Drenar el agua del tanque de combustible por la válvula	X	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>	SÍ	NO
Compruebe el nivel de aceite hidráulico (aceite frío y con tapa puesta)	X	
Limpiar tapón respiradero del tanque hidráulico	X	
Verificar estado de controles de dirección, giro, palancas	X	
Verificar estado de mangueras hidráulicas, abrazaderas, sellos, conectores	X	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>	SÍ	NO
Inspeccionar articulaciones	X	
Inspeccionar cilindros del boom, stock, cucharón	X	
Inspeccionar líneas de grasa del boom	X	
Inspeccionar pines de cilindro, abrazaderas	X	
Inspeccionar pines de la base del boom	X	
Inspeccionar pines de la base del cilindro del boom	X	
Revisar uñas de cucharón	X	
Revisar cucharón, fisuras, desgastes	X	
Inspeccionar tubos y mangueras del boom	X	
Cojinetes de la rotación – Lubricar	X	

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
Lubricar en los dos puntos de la base de los cilindros de levante	X	
Lubricar los cinco puntos en el manitol sobre la pluma	X	
Lubricar pines del cucharón	X	
Lubricar el punto en el cilindro (botella) del cucharón	X	
Lubricar el punto en el vástago del cilindro del stock	X	
Lubricar los tres puntos de unión con el cucharón	X	
Lubricar los cuatro puntos que unen el eslabón con el stock y cilindro	X	
Lubricar los dos puntos en la unión de la pluma con el stock (una a cada lado)	X	
Lubricar el mecanismo de la pluma, del brazo y del cucharón	X	
Lubricar los pasadores de la base de la pluma	X	
Lubricar el varillaje de la pluma y del brazo	X	
Inspeccionar/Ajustar varillaje del cucharón	X	
Verificar desgaste de cantoneras de cucharón	X	
Verificar el juego entre el cucharón y el stock	X	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Revisar estado de cableado de batería	x	
Comprobar funcionamiento del limpiaparabrisas, delantero y trasero	x	
Comprobar el funcionamiento de los indicadores del panel	x	
Comprobar que todas las luces estén operativas	x	
Inspeccionar estado y tensión de correas de alternador y del ventilador	x	
Revisar funcionamiento de alarmas y luces testigo	x	
Inspeccionar ventanas	x	
Verificar el nivel de electrolito de las baterías	x	
Verificar estado y bornes de las baterías	x	
Verificar voltaje de batería	x	

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
	<b>Ejecutado</b>	
<b>CHASIS Y CABINA</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Revisar ajuste y cerraduras de puertas y ventanas	X	
Revisar nivel del líquido lavaparabrisas	X	
Revisar estado general de la pintura	x	
Revisar interior de cabina, limpiar si es necesario	x	
Revisar funcionamiento de radio y parlantes	x	
Revisar estado de los vidrios	x	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>TREN DE RODAMIENTO</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Inspeccionar guardas de rodillo	X	
Lubricar bastidor de tren de rodaje ajustable	X	
Comprobar y ajuste las cadenas	X	
Lubricar la rueda guía	X	
Revisar estado de rodillos superiores e inferiores	X	
Revisar estado del bastidor	X	
Revisar pernos de cadena	X	
Comprobar tren de rodaje	X	
Verificar desgaste de guías laterales de cadena	X	
Verificar la tensión de la cadena (40 a 55 mm)	X	
Verificar nivel de aceite del compartimiento resorte – tensor	X	
Realizar la medición del SEC	X	

**Tabla 4.14. Programa de Mantenimiento Preventivo PM5**

**DATOS DE EQUIPO**

CÓDIGO CIP	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO
	EXCAVADORA	JOHNN DEERE	350GLC

**REPUESTOS Y MATERIALES A USAR**

**ACEITES**

	Lubricante				Servicio			
	Aceite	NP original	Cant.	Medida	Cambio	Nivel	Toma de Muestra	Cant.
Aceite motor	Plus 50	JDTY26679_	7,40	Gal	X		X	1
Aceite del sistema hidráulico	HITACHI	HI2908-050_	51,10	Gal		X	X	1
Mecanismo de giro	GL-5	JDTY26816_	3,10	Gal	X			
Mando final derecho	GL-5	JDTY26816_	2,20	Gal	X			
Mando final izquierdo	GL-5	JDTY26816_	2,20	Gal	X			
Mecanismo impulsor de bomba	Plus 50	JDTY26679_	0,29	Gal	X			
Sistema refrigeración	COOLGARD	JDTY26576	10,50	Gal		X		

**FILTROS**

	NP original	NP alternativo	Cant.	Unidad	Cambio	Limpieza
Filtro aceite motor	JDDZ101884		1	Pza.	X	
Filtro combustible final (Kit)	JDRE525523		1	Pza.	X	
Filtro combustible récord	JDAT365869		1	Pza.	X	

Filtro de aire primario	JDAT330978		1	Pza.	X	
Filtro de aire secundario	JDAT330980		1	Pza.	X	
Filtro de aceite sistema hidráulico	JDFYA00033065		1	Pza.	X	
Filtro aceite circuito piloto	JD4630525		1	Pza.	X	
Filtro de aire fresco de cabina	JD4S00686		1	Pza.	X	
Filtro de aire recirculado de cabina	JDFYA00001490		1	Pza.		X
<b>MEDICIÓN DE TREN DE CARRILERÍA</b>						

**Condiciones del terreno**

<b>Impacto:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO
<b>Abrasión:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO
<b>Humedad:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO
<b>Compactación:</b>	ALTO	MEDIO	BAJO

**COMBA DE LA CADENA**

Lado derecho	<b>mm</b>
Lado izquierdo	<b>mm</b>

**NOTA: Tomar el promedio de tres medidas como mínimo**

<b>MEDICIONES</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>POSICIÓN</b>	<b>CAD. DERECHO</b>	<b>CAD. IZQUIERDO</b>	<b>Un.</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Altura zapata	-				
Bocinas	-				
Rueda guía	Exterior				
	Interior				
Rueda motriz	-				
Eslabón	-				

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
	<b>Ejecutado</b>	
	SÍ	NO
<b>GENERAL</b>		
Lavar equipo	x	
Engrase general de equipo	x	
Inspeccionar y eliminar todo tipo de fugas de aceite	x	
Inspeccionar y eliminar todo tipo de fugas de combustible	X	
Inspeccionar y ajustar pernos y tuercas en general	X	
Verificar estado - mangueras de todos los sistemas abrazaderas, conectores, sellos	X	
Inspeccionar guardas en general	X	
Comprobar funcionamiento de aire acondicionado (si tiene)	X	
Inspeccionar cinturón de seguridad	X	
Verificar estado y conexión de fajas	X	
Inspeccionar estructura, posibles rajaduras - inspección visual	X	
	<b>Ejecutado</b>	
	SÍ	NO
<b>MOTOR</b>		
<b>REALIZAR CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DEL MOTOR</b>	X	
<b>LIMPIEZA ELECTRÓNICA DE EGR</b>	X	
Revisar estado y tensión de la correa del ventilador	X	
Revisar estado de las mangueras de combustible y refrigerante	X	
Limpiar panel del radiador y enfriador de aceite hidráulico (parte exterior)	X	
Verificar gases de múltiple escape	X	
Limpiar respiradero de Cáster	X	
Verificar estado de corazas de Cáster	X	
Revisar humos del escape	X	
Revisar ajuste pernos soporte motor	X	
Comprobar sujeción del sur. Admisión de aire y revisar posibles fugas por manguera y abrazaderas	X	



<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
Revisar sujeción del sistema de escape	X	
Revisar sistema de acelerador y cable de control (si tiene)	X	
Verificar sellos del turbo compresor	X	
Revisar mangueras y fugas de turbo compresor	X	
Limpiar el prefiltros de aire de motor	X	
Revisar el indicador de toponeo de filtros de aire de motor	X	
Drenar el agua del separador de combustible	X	
Drenar el agua del tanque de combustible por la válvula	X	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>	SÍ	NO
Compruebe el nivel de aceite hidráulico (aceite frío y con tapa puesta)	X	
Limpiar tapón respiradero del tanque hidráulico	X	
Verificar estado de controles de dirección, giro, palancas	X	
Verificar estado de mangueras hidráulicas, abrazaderas, sellos, conectores	X	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>	SÍ	NO
Inspeccionar articulaciones	X	
Inspeccionar cilindros del boom, stock, cucharón	X	
Inspeccionar líneas de grasa del boom	X	
Inspeccionar pines de cilindro, abrazaderas	X	
Inspeccionar pines de la base del boom	X	
Inspeccionar pines de la base del cilindro del boom	X	
Revisar uñas de cucharón	X	
Revisar cucharón, fisuras, desgastes	X	
Inspeccionar tubos y mangueras del boom	X	
Cojinetes de la rotación – Lubricar	X	

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
Lubricar en los dos puntos de la base de los cilindros de levante	X	
Lubricar los 5 puntos en el manitol sobre la pluma	X	
Lubricar pines del cucharón	X	
Lubricar el punto en el cilindro (botella) del cucharón	X	
Lubricar el punto en el vástago del cilindro del stock	X	
Lubricar los 3 puntos de unión con el cucharón	X	
Lubricar los 4 puntos que unen el eslabón con el stock y cilindro	X	
Lubricar los dos puntos en la unión de la pluma con el stock (una a cada lado)	X	
Lubricar el mecanismo de la pluma, del brazo y del cucharón	X	
Lubricar los pasadores de la base de la pluma	X	
Lubricar el varillaje de la pluma y del brazo	X	
Inspeccionar/Ajustar varillaje del cucharón	X	
Verificar desgaste de cantoneras de cucharón	X	
Verificar el juego entre el cucharón y el stock	X	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Revisar estado de cableado de batería	x	
Comprobar funcionamiento del limpiaparabrisas, delantero y trasero	x	
Compruebe el funcionamiento de los indicadores del panel	x	
Compruebe que todas las luces estén operativas	x	
Inspeccionar estado y tensión de correas de alternador y del ventilador	x	
Revisar funcionamiento de alarmas y luces testigo	x	
Inspeccionar ventanas	x	
Verificar el nivel de electrolito de las baterías	x	
Verificar estado y bornes de las baterías	x	
Verificar voltaje de batería	x	

<b>TAREAS A REALIZAR</b>		
	<b>Ejecutado</b>	
<b>CHASIS Y CABINA</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Revisar ajuste y cerraduras de puertas y ventanas	X	
Revisar nivel del líquido lavaparabrisas	X	
Revisar estado general de la pintura	X	
Revisar interior de cabina, limpiar si es necesario	X	
Revisar funcionamiento de radio y parlantes.	X	
Revisar estado de los vidrios	X	
	<b>Ejecutado</b>	
<b>TREN DE RODAMIENTO</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Inspeccionar guardas de rodillo	X	
Lubricar bastidor de tren de rodaje ajustable	X	
Compruebe y ajuste las cadenas	X	
Lubricar la rueda guía	X	
Revisar estado de rodillos superiores e inferiores	X	
Revisar estado del bastidor	X	
Revisar pernos de cadena	X	
Comprobar tren de rodaje	X	
Verificar desgaste de guías laterales de cadena	X	
Verificar la tensión de la cadena (40 a 55 mm)	X	
Verificar nivel de aceite del compartimiento resorte – tensor	X	
Realizar la medición del SEC	X	

#### 4.2.5 Indicadores de desempeño aplicables al plan de mantenimiento

Para el desarrollo de este objetivo, es necesario definir los indicadores que permitan cuantificar las actividades desarrolladas, pudiendo evaluar de manera objetiva las metas que se pretende realizar.

Es importante clasificar, detectar, analizar factores y definir acciones estratégicas y correctivas, para ello se desarrollaron los indicadores de seguridad y salud laboral, las mismas que no son más que formulaciones matemáticas de forma cuantitativa y cualitativa permitiendo la evaluación de desempeño y disponibilidad de la máquina, cuya capacidad al hacer comparaciones con los niveles de referencia podrá indicar desviaciones que se pueden tomar para la implementación de acciones correctivas.

**Tabla 4.15.** *Indicadores de gestión del mantenimiento preventivo*

Indicador	Formula	Procesamiento de Datos	Responsable
Porcentaje del mantenimiento programado	$\% \text{ Mttoplanificado} = \frac{\text{Horas planificadas del mtto}}{\text{Total de horas del mtto}} * 100$	Matriz de evaluación de desempeño de indicadores de mantenimiento	Mantenedor
Índice de cumplimiento del mantenimiento preventivo	$PMC = \frac{n.^\circ \text{ tareas ejecutadas}}{n.^\circ \text{ tareas planificadas}} * 100$	Matriz de evaluación de desempeño de indicadores de mantenimiento	Mantenedor
Porcentaje crítico del mantenimiento programado	$\% \text{ Critico Matto programado} = \frac{n.^\circ \text{ de días de retraso} + n.^\circ \text{ dia}}{n.^\circ \text{ días en el ciclo}}$	Matriz de evaluación de desempeño de indicadores de mantenimiento	Mantenedor

## Disponibilidad de la Excavadora 350 LC John Deere

La disponibilidad de la excavadora, se define como la probabilidad de que la máquina en estudio esté preparada para la producción por lo que se realizó el estudio de acuerdo al historial de fallas analizadas anteriormente en la investigación, así mismo contempla el registro de tareas planificadas por el total de tareas ejecutadas, como corresponde en el establecimiento de los indicadores del mantenimiento.

La disponibilidad se puede considerar como el tiempo medio de reparación (MTTR). El tiempo medio entre reparaciones acopla el análisis anterior, correspondiente a la periodicidad entre fallas, acoplado al régimen temporal en la cual una unidad termina parando operaciones para requerir mantenimiento.  $MTTR = \text{Tiempo total de paradas} / n.$  ° de fallas

El análisis de disponibilidad inicial corresponde a la situación a priori a la propuesta del mantenimiento preventivo.

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

A continuación, se muestra la disponibilidad de la excavadora 350G LC John Deere del año 2021, según datos obtenidos en la recopilación de información de la empresa.

**Tabla 4.16.** Disponibilidad de la empresa, año 2021

Mes	Tiempo inactivo	Tiempo disponible	MTBF(hras)	MTTR (hras)	Disponibilidad
Enero	321	1599	106,5	26,75	79,92 %
Febrero	316	1604	107,33	26,33	80,30 %
Marzo	298	1622	110,33	24,83	81,63 %
Abril	255	1665	117,5	21,25	84,68 %
Mayo	225	1695	122,5	18,75	86,73 %
Junio	217	1703	123,83	18,08	87,26 %
Julio	255	1665	117,5	21,25	84,68 %
Agosto	316	1604	107,33	26,33	80,30 %
Septiembre	255	1665	117,5	21,25	84,68 %
Octubre	225	1695	122,5	18,75	86,73 %
Noviembre	321	1599	106,5	26,75	79,92 %
Diciembre	316	1604	107,33	26,33	80,30 %

Cálculo del rendimiento de la máquina excavadora:

$$R = \frac{3600 * Q * f * E * K}{Cm}$$

Donde:

3600: 1 hora tiene 3600 segundos

$Q$ : capacidad del cucharón = 1,76 m<sup>3</sup>

$F$ : Factor de conversión de los suelos= 1,43m<sup>3</sup>

$E$ : 8 0%

$K$ : Facto de eficiencia del cucharon: 90 %

$Cm$ : tiempo que dura el ciclo del trabajo en segundos= 20 segundos

$$R = \frac{3600 * 1,76 * 1,43 * 0,80 * 0,90}{20}$$

$$R = 326,17$$

#### 4.2.5.1 Valoración económica a fin de poner en marcha el plan de mantenimiento

Se presenta a continuación los costos asociados al mantenimiento básico mensual de la excavadora 350G, los cuales contemplan cambio de aceites y filtros.

**Tabla 4.17.** Costo del mantenimiento preventivo

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
Aceite motor	Gal	199,00
Aceite del sistema hidráulico	Gal	100,00
Sistema de refrigeración	Gal	89,00
Filtro aceite motor	Pza.	22,00
Filtro combustible final (Kit)	Pza.	172,00
Filtro combustible récord	Pza.	189,00
Filtro de aire primario	Pza.	242,00
Filtro de aire secundario	Pza.	245,00
Filtro de aceite Sisa hidráulico	Pza.	67,00
Filtro aceite circuito piloto	Pza.	70,00
Transporte de materiales	N/A	50,00
Mano de obra	8 hrs	908,00
<b>Total, implementación del plan de mantenimiento</b>		<b>2.453,00</b>

Cuando se realizó el análisis de modo y efecto de fallo (AMEF), se hizo hincapié en que el número prioritario de riesgo o índice prioritario de riesgo (NPR o IPR) puede verse disminuido significativamente, si se realiza el correcto entrenamiento de los operadores y mecánicos en las siguientes áreas:

1. Capacitar al operador en la adecuada utilización de la excavadora, entrenarlo en operaciones en invierno, realizar la inspección diaria, y brindar el conocimiento técnico en cuanto a la realización de excavaciones en suelo, rocas, en especial al excavar cantos rodados.
2. Capacitar a los mecánicos en mantenimiento especializado, principalmente en el tren de rodamiento, sistema hidráulico y en la correcta revisión de las partes de la excavadora 350G.

El costo asociado a las capacitaciones en el año es el siguiente:

**Tabla 4.18.** *Costo de materiales para el plan de mantenimiento*

Descripción	Cantidad	Costo unitario (s)	Costo total (s)
Capacitación			
Capacitación técnica	2	1.100,0	2.200,0
Capacitación estadística	1	600,0	600,0
Viáticos	1	400,0	400,0
Inspecciones de mantenimiento	1	3.000,0	3.000,0
Otros	1	250,0	250,0
Total, implementación	7	1.589,0	6.450,0

Para determinar los precios de alquiler de la excavadora, se realizó un análisis de precio, considerando la vida útil del equipo, laborando (activo), en espera y en reserva.

En el análisis de precio, solo se consideraron los costos, ya que, en este, aparte, se determina cuanto es su disminución. Si se desea determinar el precio de alquiler, se deberán afectar los montos por un factor de administración e incertidumbre y por un porcentaje de ganancia. La moneda utilizada es el dólar americano, por cuanto las ordenes de servicio se presentan en esa moneda.

De la Tabla 4.2, se determinó que la cantidad de horas en que la excavadora 350G se encuentra parada por falla en el año, es de 217. Si asumimos que con el plan de



mantenimiento que incorpora la capacitación de los operadores y mecánicos se logra disminuir a la mitad las horas paradas (108,5). Se tendría un ahorro de:

$$Ah_{costo} = \text{CambioxHorasxCostoUnitario}$$

$$Ah_{costo} = 3,876 \frac{\text{Soles}}{\text{Dolar}} \times 108,5 \text{Hrs} \times 89,84 \frac{\text{Dólar}}{\text{Hrs}}$$

$$Ah_{costo} = 37.781,85 \text{ Soles}$$

Restando a este valor el costo del adiestramiento anual, se tiene un ahorro total de 31.331,85. /s (37.781,85-6.450,00). No se considera los gastos de mantenimiento básicos, por cuanto los mismos se vienen realizando antes de la presente propuesta.

### Comparación con ingresos

Ahora bien, para poder hacer una comparación de ingresos, es necesario estimar los de los meses analizados de acuerdo a la disponibilidad obtenida. Cada hora disponible durante los meses analizados, corresponde a 350 soles de alquiler. Por lo cual, los ingresos, fueron los siguientes:

**Tabla 4.19. Ingresos actuales**

Mes	Disponibilidad	Días	Horas	Total de horas	Total de horas disponibles	Utilidad	Horas de utilidad	Total de ingresos en tiempo disponible
Enero	79,92%	30	16	480	384	50%	191,81	67.132,80
Febrero	80,30%	28	16	448	360	60%	215,85	75.546,24
Marzo	81,63%	30	16	480	392	70%	274,28	95.996,88
Abril	84,68%	30	16	480	406	70%	284,52	99.583,68
Mayo	86,73%	30	16	480	416	70%	291,41	101.994,48
Junio	87,26%	30	16	480	419	70%	293,19	102.617,76
Total de ingresos en el tiempo analizado								542.871,84

Para el cálculo del total de ingresos en el tiempo disponible, fue necesario utilizar el porcentaje de utilidad de los equipos, es decir, las horas en las que estos son alquilados. Para este dato, se utilizó una información proveniente de los responsables de la empresa, quienes, de acuerdo a sus estimaciones, indicaron que durante el mes de enero solo el 50

% del tiempo disponible el equipo se encuentra alquilado, mientras que para el mes de febrero aumenta a un 60 %, y en el resto de los meses 70 %.

Considerando entonces, que es posible disminuir las horas de paradas a 108,5 horas, esto indica que, en proporciones, se puede aumentar la disponibilidad del equipo en 54 horas durante el primer semestre del año, lo cual representa un aumento del 4 % del total de horas disponibles para los primeros seis meses del año, lo que significa 0,63 % de mayor disponibilidad mensual. Considerando estas proporciones, los ingresos se proyectan de la siguiente forma:

**Tabla 4.20. Ingresos proyectados**

Mes	Disponibilidad	Aumento de disponibilidad	Días	Horas	Total de horas	Total de horas disponibles	Utilidad	Horas de utilidad	Total de ingresos en tiempo disponible
Enero	79,92%	80,55%	30	16	480	386,64	50%	193,32	67.662,00
Febrero	80,30%	80,93%	28	16	448	362,5664	60%	217,53984	76.138,94
Marzo	81,63%	82,26%	30	16	480	394,848	70%	276,3936	96.737,76
Abril	84,68%	85,31%	30	16	480	409,488	70%	286,6416	100.324,56
Mayo	86,73%	87,36%	30	16	480	419,328	70%	293,5296	102.735,36
Junio	87,26%	87,89%	30	16	480	421,872	70%	295,3104	103.358,64
Total de ingresos en el tiempo analizado									546.957,26

Efectuando entonces, la comparación con la disponibilidad anterior y la posterior después de la implementación del plan de mantenimiento, la diferencia es de 4.085,42 soles, por lo cual la empresa incrementaría sus ingresos semestrales de esta forma, lo cual representa un 1 % de mayor nivel de ingresos anuales, por el alquiler de este equipo. Sin embargo, existe la posibilidad de aumentar los niveles de ingresos al aumentar los niveles de utilidad del equipo.

Por otro parte, se presenta la comparación de la disponibilidad mecánica de ambos escenarios:

**Tabla 4.21. Disponibilidad mecánica para ambos escenarios**

Mes	Disponibilidad mecánica antes	Disponibilidad mecánica después	Incremento
Enero	39,96 %	40,28 %	0,31 %
Febrero	48,18 %	48,56 %	0,38 %
Marzo	57,14 %	57,58 %	0,44 %

Abril	59,28 %	59,72 %	0,44 %
Mayo	60,71 %	61,15 %	0,44 %
Junio	61,08 %	61,52 %	0,44 %
Julio	61,45 %	61,92 %	0,47 %
Agosto	61,82 %	62,32 %	0,50 %
Septiembre	62,19 %	62,72 %	0,53 %
Octubre	62,56 %	63,12 %	0,56 %
Noviembre	62,93 %	63,52 %	0,59 %
Diciembre	63,30 %	63,92 %	0,62 %

Es importante señalar que la disponibilidad mecánica consiste en dividir las horas reales de trabajo entre las horas programadas. De acuerdo al cálculo, se observa que la disponibilidad mecánica incrementa entre 0,31 y 0,62 % para el año proyectado.

A continuación, se presenta el análisis del valor actual neto y tasa interna de retorno del proyecto presentado, para ello, en primer lugar, se estima la utilidad en horas durante los ochos años, de modo que desde el año 0 hasta el año 3, los datos se obtuvieron de una entrevista no estructurada con el personal de trabajo, indicando que cada año la disminución de la disponibilidad fue de 5 % iniciando con una disponibilidad de 98,42 % en el año 0.

**Tabla 4.22.** *Disponibilidad y utilidad*

Año	Disponibilidad	Utilidad	Horas de utilidad	Disponibilidad en horas	Utilidad en horas
Año 0	98,42 %	65 %	5.500	5.413	3.518
Año 1	93,42 %	65 %	5.500	5.138	3.339
Año 2	88,42 %	65 %	5.500	4.863	3.161
Año 3	83,42 %	65 %	5.500	4.588	2.982
Año 4	87,42 %	65 %	2.500	4.808	3.125
Año 5	87,46 %	65 %	5.500	4.809	3.125
Año 6	87,50 %	65 %	5.500	4.808	3.125
Año 7	87,54 %	65 %	5.500	4.813	3.128
Año 8	87,58 %	65 %	5.500	4.814	3.128

Seguidamente, para la disponibilidad del año 4, se realizó un promedio de acuerdo al análisis realizado y posteriormente, considerando lo expuesto en la comparación de ingresos, donde se indica que existe un aumento de 4 % de disponibilidad para el año 4;

mientras que desde el año 5 hasta el 8 se considera un incremento de 0,04 % anual. Seguidamente, se encuentra el porcentaje medio de utilidad, el cual es un porcentaje estándar anual, considerando el ciclo de trabajo mensual, es decir los meses con mayor y menor trabajo. Posteriormente, se encuentra el total de horas de trabajo anual, que son 5500 y en la siguiente celda se calcula la disponibilidad en hora, que nace de multiplicar la disponibilidad por el total de horas disponibles en un año, seguidamente, se calcula la utilidad, que corresponde al total de horas trabajadas en el año por el equipo, las cuales nacen del porcentaje de utilidad anual por la disponibilidad de horas.

A continuación, se presenta otra tabla necesaria, que corresponde al cálculo de los costos por hora, los cuales corresponden a 3,14 soles, debido a que, para el cálculo de los costos por hora, se tiene que el valor 89,84\$ corresponde a 108 horas de trabajo, de acuerdo a lo calculado en el análisis de costo horario, por lo tanto, al obtener la razón por hora se tiene 0,82\$ que corresponde a 3,14 Soles.

**Tabla 4.23. Ingresos y costos**

<b>Año</b>	<b>Costos por hora</b>	<b>Capacitación</b>	<b>Total de costos por hora</b>	<b>Total de ingresos anuales</b>	<b>Total de costos por mantenimiento preventivo</b>
Año 0	1.5		1,919	447,650	1,919
Año 1	1.5		1,821	424,900	1,821
Año 2	1.5		1,724	402,150	1,724
Año 3	1.5		1,626	379,400	1,626
Año 4	3.14	6,450	3,567	397,600	10,017
Año 5	3.14	6,450	3,570	397,950	10,020
Año 6	3.14	6,450	3,573	398,300	10,023
Año 7	3.14	6,450	3,573	398,300	10,023
Año 8	3.14	6,450	3,576	398,650	10,026

Seguidamente, se encuentra el costo de capacitación anual, debido a que se desconoce si existen cambios de personal, por lo cual será necesario hacer la capacitación anualmente, posteriormente se encuentra el costo por hora, que corresponde a la multiplicación entre 3,14 y las horas de utilidad anual. Seguidamente se encuentra el total de ingresos anuales, calculado a partir del total de horas útiles por 350 Soles por hora, que corresponde al precio de alquiler, posteriormente se encuentra el total de costos de mantenimiento preventivo, que es la suma de la capacitación anual más la suma del total de costo por hora.

Finalmente, se encuentra el total de flujos neto en la siguiente tabla:

La inversión en el año 0 corresponde al valor en soles del precio del equipo, el cual fue de 361.850,17\$. Mientras que los costos de mantenimiento preventivo, son un estimado de acuerdo a la información suministrada por el equipo de trabajo.

**Tabla 4.24.** *Cálculo de VAN y TIR*

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ingresos	447,650.00	424,900.00	402,150.00	379,400.00	397,600.00	397,950.00	398,300.00	398,300.00	398,650.00
Costos del proyecto	1,919.00	1,821.00	1,724.00	1,626.00	10,017.04	10,020.18	10,023.32	10,023.32	10,026.46
Costos de mantenimiento correctivo		2,000.00	2,000.00	2,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00
Inversión	1,367,974.57								
Beneficios	-920,324.57	421,079.00	398,426.00	375,774.00	386,582.96	386,929.82	387,276.68	387,276.68	387,623.54
VAN	1,166,838.28								
TIR	23%								

Se obtiene un VAN de 1.166.828,28 s oles y un TIR de 23 %. De acuerdo al dato presentado, el monto de utilidad final al terminar los 8 años de utilidad del equipo es de 1.768.165,11 soles, lo que corresponde a 43,6 % de la inversión. Por lo tanto, la aplicación del proyecto que se presenta, puede ayudar a obtener un mejor rendimiento de la inversión al finalizar los ocho años de operaciones, para los cuales teóricamente está diseñado el equipo. Además, de acuerdo a los cálculos presentados, la máquina se pagó al tercer año de acuerdo a la sumatoria de los beneficios y la inversión inicial.

#### 4.2.5.2 Evaluación del escenario incluyendo el operador

En la evaluación económica presentada hasta ahora, no se consideraba el salario por hora del operador, debido a que el cálculo se realizó tomando en cuenta el supuesto de que la empresa que alquila el equipo no necesita operador, por lo cual, a continuación, se

presenta la evaluación del escenario incluyendo al operador. El pago por hora del operador para el año 4 es de 17,66. Se considerará un incremento anual de 5 % de salario, para realizar una evaluación más realista.

**Tabla 4.25. Cálculo de costos con operador**

Año	Costos por hora	Capacitación	Total de costo por hora	Operador/hora	Costo de operador	Total de ingresos anuales	Total de costos por mantenimiento preventivo + operador
Año 0	1.5		1.919			447.811	1.919
Año 1	1.5		1.821			425.061	1.821
Año 2	1.5		1.724			402.311	1.724
Año 3	1.5		1.626			379.561	1.626
Año 4	3,14	6.450	3.568	17,66	20.069,88	397.761	30.088
Año 5	3,14	6.450	3.570	18,54	21.083,02	397.943	31.103
Año 6	3,14	6.450	3.572	19,47	22.147,30	398.125	32.169
Año 7	3,14	6.450	3.573	20,44	23.265,29	398.307	33.289
Año 8	3,14	6.450	3.575	21,47	24.439,72	398.489	34.465

A continuación, se muestra una comparativa del total de costos, de los escenarios económicos analizados, con y sin operador:

**Tabla 4.26. Comparación entre total de costos con y sin operador**

Año	Total de costos por mantenimiento preventivo sin operador	Total de costos por mantenimiento preventivo + operador	Incremento de costos considerando al operador
Año 0	1.919	-	-
Año 1	1.821	-	-
Año 2	1.724	-	-
Año 3	1.626	-	-
Año 4	10.018	30.088	20.069,88
Año 5	10.020	31.103	21.083,02
Año 6	10.022	32.169	22.147,30
Año 7	10.023	33.289	23.265,29
Año 8	10.025	34.465	24.439,72



**Tabla 4.27.** *Cálculo de VAN y TIR considerando al operador*

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Ingresos</b>	447.650,00	424.900,00	402.150,00	379.400,00	278.817,00	214.970,00	158.823,00	110.376,00	69.629,00
<b>Costos del proyecto + operador</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	30.088,37	31.103,14	32.169,05	33.288,67	34.464,73
<b>Costos de mantenimiento correctivo</b>		2.000,00	2.000,00	2.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
<b>Inversión</b>	1.367.974,57								
<b>Beneficios</b>	-920.324,57	422.900,00	400.150,00	377.400,00	247.728,63	182.866,86	125.653,95	76.087,33	34.164,27
<b>VAN</b>	241.797,90								
<b>TIR</b>	9 %								

En la evaluación económica presentada, considerando el costo de la hora de trabajo del operador, se encuentra un incremento de costos superior a 20.000 anualmente, lo cual evidencia una disminución de 14 % del TIR, que implica una reducción significativa de los ingresos de la empresa, en caso de incluir el alquiler con el operador, por lo cual se considera que es una desventaja.

#### 4.2.5.3 Disponibilidad y utilización (mínima anual) esperada para que el equipo sea rentable en ocho años

De acuerdo a la información planteada hasta ahora, la disponibilidad mecánica y utilización esperada para obtener un 23 % de TIR al final de los ochos años, es la siguiente (conviene señalar que estos datos se explican en la Tabla 4.23):

**Tabla 4.28.** *Disponibilidad y utilización para un TIR de 23 %*

Año	Disponibilidad	Utilidad
Año 0	98,42 %	65 %
Año 1	93,42 %	65 %
Año 2	88,42 %	65 %
Año 3	83,42 %	65 %
Año 4	87,42 %	65 %
Año 5	87,46 %	65 %
Año 6	87,50 %	65 %
Año 7	87,54 %	65 %
Año 8	87,58 %	65 %

Ahora bien, de acuerdo a información recabada dentro de la empresa, el departamento contable considera que el mínimo de TIR que puede obtener del equipo, al finalizar los 8 años, debe ser mayor a 11 %, por lo cual, la disponibilidad y utilización (mínima anual) esperada, es la siguiente:

**Tabla 4.29. Disponibilidad y utilización para un TIR de 11 %**

Año	Disponibilidad	Utilidad	Horas de utilidad	Disponibilidad en horas	Utilidad en horas
Año 0	98,42 %	65%	5.500	5.413	3.518
Año 1	93,42 %	65%	5.500	5.138	3.339
Año 2	88,42 %	65%	5.500	4.863	3.161
Año 3	83,42 %	65%	5.500	4.588	2.982
Año 4	87,42 %	65%	2.500	4.808	3.125
Año 5	87,46 %	65%	5.500	4.809	3.125
Año 6	87,50 %	65%	5.500	4.808	3.125
Año 7	87,54 %	65%	5.500	4.813	3.128
Año 8	87,58 %	65%	5.500	4.814	3.128

Seguidamente, se realiza el cálculo de ingresos y costos de acuerdo a la utilidad presentada:

**Tabla 4.30. Cálculo de ingresos y costos de acuerdo a la utilidad mínima esperada**

Año	Costos por hora	Capacitación	Total de costos por hora	Total de ingresos anuales	Total de costos por mantenimiento preventivo
Año 0	1,5		1.919	447.811	1.919
Año 1	1,5		1.821	425.061	1.821
Año 2	1,5		1.724	402.311	1.724
Año 3	1,5		1.626	379.561	1.626
Año 4	3,14	6.450	2.501	278.817	8.951
Año 5	3,14	6.450	1.929	214.970	8.379
Año 6	3,14	6.450	1.425	158.823	7.875
Año 7	3,14	6.450	990	110.376	7.440
Año 8	3,14	6.450	625	69.629	7.075

**Tabla 4.31. Cálculo de VAN y TIR considerando la utilidad mínima esperada**

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Ingresos</b>	447.650,00	424.900,00	402.150,00	379.400,00	278.817,00	214.970,00	158.823,00	110.376,00	69.629,00
<b>Costos del proyecto</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	8.951,39	8.378,59	7.874,87	7.440,23	7.074,67
<b>Costos de mantenimiento correctivo</b>		2.000,00	2.000,00	2.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00
<b>Inversión</b>	1.367.974,57								
<b>Beneficios</b>	-920.324,57	422.900,00	400.150,00	377.400,00	268.865,61	205.591,41	149.948,13	101.935,77	61.554,33
<b>VAN</b>	332.029,99								
<b>TIR</b>	11 %								

En la tabla presentada se muestra el cálculo de VAN y TIR, considerando la utilidad mínima esperada, donde se observa que los ingresos disminuyen desde 447.650,00 en el año 0 hasta 69.629,00 en el año 8. Considerando los mismos montos relacionados al costo de mantenimiento correctivo y costos del proyecto explicados con anterioridad, se obtuvo un VAN de 332.029,99 y un TIR de 11 %.

### 4.3 Discusión de los resultados

A partir de los resultados obtenidos, considerando que la presente es una investigación experimental, se tiene como válida la hipótesis general, debido a que la información obtenida en los resultados arrojó los beneficios de productividad y economía del plan de mantenimiento, por lo tanto, la realización de la propuesta fue necesaria, ya que en la empresa lo que se emplea es el mantenimiento correctivo, que en su mayoría se presenta en los auxilios mecánicos; este es un punto crítico, por lo que el plan de mantenimiento preventivo programa la ejecución preventiva de mantenimiento, lo que garantiza un mejor desempeño de la maquinaria.

La aplicación de la matriz AMEF fue fundamental para el análisis de las fallas y modos posibles de fallas futuras, se determinaron las causas y consecuencias de las mismas, lo que guarda relación con la tesis de (casachaguas, 2017), este autor propuso un plan de mantenimiento basado en RCM, para identificar las funciones, fallas funcionales y la manera de cómo llevar a cabo la matriz (AMEF), que fue la base del trabajo de investigación.

Los indicadores de gestión del mantenimiento se diseñaron para clasificar, detectar, analizar fallas y definir acciones estratégicas y correctivas del mantenimiento, las mismas no son más que formulaciones matemáticas de forma cuantitativa y cualitativa, permitiendo la evaluación y la confiabilidad de la excavadora cuya capacidad, al hacer comparaciones con los niveles de referencia, podrá indicar desviaciones que se pueden tomar para la implementación.

Se acepta la hipótesis de gestión del programa de mantenimiento preventivo aplicando el RCM, lo que permitió establecer procedimientos en las diferentes actividades, por recomendaciones al fabricante y operadores calificados y con la más alta experiencia en este tipo de maniobra. De igual manera se establecen las herramientas, equipos y personal apropiado para el progreso de las actividades programadas, con la finalidad de proporcionar una estimación de gastos para el desarrollo del plan.

## Conclusiones

- EL proyecto de investigación se centralizó en la realización de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM, para optimizar el rendimiento de la excavadora 350G LC John Deere de la empresa CGM Rental, el mismo está constituido por toda la documentación necesaria que se requiere, basado en la norma técnica «Disposiciones específicas para la ejecución del programa de mantenimiento».
- El diagnóstico de la situación actual de la empresa CGM Rental constató que para el año 2019 hubo indisponibilidad de las Excavadoras 350G LC Jhon Deere, debido a fallas mecánicas aproximadamente en un promedio de 8 excavadoras por mes. Por supuesto, tener una maquinaria pesada fuera de servicio por falta de mantenimiento repercute significativamente en los aspectos económicos de la compañía, por lo que establecer planes de mantenimiento correctivo aumenta los costos de la empresa y disminuye la disponibilidad de la empresa. En el diagnóstico que se realizó a través de la encuesta aplicada a los conductores, se mostraron resultados como que no se lleva un control de inspección mecánica, no se cumplen los protocolos de comunicación para reporte de averías, por lo que esto genera un resultado negativo en la rentabilidad en torno a las finanzas de la empresa.
- El análisis de la empresa CGM Rental se realizó a través del diagrama de Pareto, determinándose las fallas más representativas de la excavadora 350G LC John Deere, de igual manera se analizó la frecuencia de la misma, en base al tiempo de parada de la máquina, donde se obtuvo como resultado que la fuga de aceite por los rodillos, las zapatas rotas por la plancha, los desgaste y las fisuras representan el mayor riesgo de avería para la excavadora, lo que significa que el programa de mantenimiento preventivo debe profundizar esas fallas como principales, ya que representan un mayor número de desgaste.
- El análisis de modo posibles de fallas se realizó a través de la matriz AMEF, la misma que es una herramienta para el estudio de fallas, detectando las causas y consecuencias y, a través de ellas, realizar un análisis exhaustivo de análisis de

fallas futuras, por lo que se realizó una numeración de los fallos que presenta la excavadora 350GLC John Deere, estableciendo el índice de prioridad, para luego priorizar los modos posibles de falla y de esta manera encontrar las soluciones.

- El plan de mantenimiento preventivo es diseñado para este equipo en específico, las actividades programadas y la periodicidad de elaboración están sujetas a las instrucciones del fabricante y en recomendaciones de operadores y mantenedores calificados y con la más alta experiencia en este tipo de maniobra. De igual manera se establecen las herramientas, equipos y personal conveniente para el avance de cada una de las acciones programadas, con la finalidad de proporcionar una estimación de gastos en que la organización debe de incurrir para el desarrollo del plan.
- Los indicadores de gestión del mantenimiento se diseñaron para clasificar, detectar, analizar fallas y definir acciones estratégicas y correctivas del mantenimiento, las misma no son más que formulaciones matemáticas de forma cuantitativa y cualitativa, permitiendo la evaluación y la confiabilidad de la excavadora cuya capacidad, al hacer comparaciones con los niveles de referencia, podrá indicar desviaciones que se pueden tomar para la implementación.
- La valoración económica, a fin de poner en marcha el plan de mantenimiento, determinó la rentabilidad de su implementación, ya que las paradas de las máquinas generan pérdidas económicas considerables y en comparación con los costos de la implementación resultó beneficiosa en cuanto a invertir en un mantenimiento que permita proyectar en una reducción significativa de los costos de mantenibilidad de la flota.

## Recomendaciones

- Continuar con la atención del RCM en las acciones ejecutadas por la empresa, para garantizar el mínimo de disponibilidad adecuada de las excavadoras mensualmente.
- Es necesario que la empresa establezca registros de los proveedores de materiales y repuestos necesarios para el programa de mantenimiento, para permitir una mayor eficacia en la gestión del mantenimiento.
- Se considera necesario implementar planes de capacitación para los conductores, o en su defecto, llevar registros que constaten que los conductores que representan los principales clientes de la compañía cuentan con tales capacitaciones.
- Cumplir con la norma técnica «Disposiciones específicas para la ejecución del programa de mantenimiento».
- Analizar constantemente las fallas críticas, manteniendo los registros actualizados y el historial de la maquinaria con la intención de disminuir los costos de mantenimiento.



## Referencias Bibliográficas

- ALAYO, M.** Plan de gestión del mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de la máquina excavadora CAT 345-DL de la empresa SERVI-SAP S. R. L. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Mecánico). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2019, 74 pp.
- AMPUERO, E., POZO, M., & DELGADO, K.** Administración de riesgo laboral en el Ecuador. *Digital Publisher CEIT*, Setiembre 2018, 3 (5), pp. 31-40. Disponible en <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwis3fWRqKfrAhXGRDABHWJHA5QQFjADegQIAxA&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F7144008.pdf&usg=AOvVaw3h88Z0cQi-1Fkqe-RPnehi>
- ARIAS, F.** *El Proyecto de Investigacion*. Caracas: Editorial EPISTEME, 2012. ISBN: 980-07-8529-9
- ASEPEYO.** Caídas de personas a distinto nivel. *ANETVA*, 1-11. Disponible en <http://www.anetva.org/verticales/contingut/esp/02/02.01.pdf>
- BENÍTEZ, J.** La prevención de riesgos laborales en una residencia asistida de ancianos. Trabajo fin de Máster (Máster en Prevención de Riesgos Laborales) Almería: Universidad de Almería, 2012, 64 pp. Disponible en <http://repositorio.ual.es/handle/10835/1952>
- CAHUAYA, J & CUADROS, B.** Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el trabajo y los accidentes que se producen en el área de mina de la minera Antapaccay S. A., Cusco 2018. Trabajo de investigación (Grado de Bachiller en Ingeniería de Minas) Arequipa: Universidad Continental, 2019, 63 pp.
- CALERA, A., ESTEVE, L., ROEL, J., & UBERTI-BONA, V.** *La salud laboral en el sector docente*. Alicante: Ediciones Bomarzo con la colaboración de ISTAS, 2014. Disponible en <http://tusaludnoestaennomina.com/wp-content/uploads/2014/06/Salud-laboral-en-el-sector-docente.pdf>

**CASACHAGUAS, C.** Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de la excavadora CAT 336 de la Empresa ECOSEM SMERTER S. A. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Mecánico) Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017

**CHIAVENATO, I.** *Administración de Recursos Humanos*. Sao Paulo: Mc Graw Hill, 1999

**CONSEJERÍA de Economía y Hacienda.** *Prevención de riesgos laborales en uso de maquinaria y herramientas*. Región de Murcia: Escuela de administración pública, 2015, 59 pp. Disponible en [https://www.carm.es/web/descarga?ARCHIVO=Prevenci%C3%B3n%20de%20riesgos%20laborales%20en%20uso%20de%20maquinaria%20y%20herramientas.pdf&ALIAS=ARCH&IDCONTENIDO=96070&IDTIPO=60&RASTRO=c\\$m743,2677](https://www.carm.es/web/descarga?ARCHIVO=Prevenci%C3%B3n%20de%20riesgos%20laborales%20en%20uso%20de%20maquinaria%20y%20herramientas.pdf&ALIAS=ARCH&IDCONTENIDO=96070&IDTIPO=60&RASTRO=c$m743,2677)

**CONTRERAS , C.** Incidencia de los riesgos psicosociales en la calidad de gestión del personal administrativo y docente del Centro Educativo Cristiano El Camino. Tesis (Título de Psicólogo Industrial) Quito: Universidad Central del Ecuador, 2013, 141 pp. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3463/1/T-UCE-0007-92.pdf>

**DECRETO Supremo n.º 184-2020-PCM.** Lima, Perú, 2020. Diario oficial El Peruano.

**DÍAZ, R., & SOTO, A.** (2018). Análisis de la evolución y situación actual de la formación en prevención de riesgos laborales. Una propuesta de mejora. *CEOE*, 134, 2018 Disponible en <https://prr.ceoe.es/wp-content/uploads/2018/12/Ana%CC%81lisis-de-la-evolucio%CC%81n-y-situacio%CC%81n-actual-de-la-Formacio%CC%81n-en-PRL-con-faldo%CC%81n-DIGITAL.pdf>

**DIRECCIÓN General de Trabajo.** Los sobreesfuerzos como forma de producción de los accidentes de trabajo. *Instituto Aragonés de Seguridad y Salud Laboral*, 2-8. Disponible en [https://www.aragon.es/documents/20127/674325/MEDIDAS\\_PREVEN\\_SOBRE\\_ESFUERZOS.pdf/c8a8d204-aebd-51eb-3021-b8fa0ee36363](https://www.aragon.es/documents/20127/674325/MEDIDAS_PREVEN_SOBRE_ESFUERZOS.pdf/c8a8d204-aebd-51eb-3021-b8fa0ee36363)

**ESPINOZA, C.** (2010). *Metodología de Investigación Tecnológica. Pensando en sistemas*  
Huancayo:Imagen Gráfica S. A. C., 2018. ISBN 978-612-00-0222-3

**ESTADO de emergencia por pandemia.** Lima, Perú, 2020. Diario el Peruano.

**FEDERACIÓN de Servicios a la ciudadanía de CCOO.** Proyección de fragmentos y partículas. *Salud Laboral*, 1-2. Disponible en [http://www2.fsc.ccoo.es/comunes/recursos/53435/doc51066\\_Riesgo\\_290\\_\\_Proyeccion\\_de\\_fragmentos\\_o\\_particulas.pdf](http://www2.fsc.ccoo.es/comunes/recursos/53435/doc51066_Riesgo_290__Proyeccion_de_fragmentos_o_particulas.pdf)

**FREMAP.** Guía básica sobre prevención de incendios. *DGOSS*, 1-40. Obtenido de [https://www.icv.csic.es/prevencion/Documentos/manuales/Guia\\_basica\\_sobre\\_Prevencion\\_de\\_Incendios.pdf](https://www.icv.csic.es/prevencion/Documentos/manuales/Guia_basica_sobre_Prevencion_de_Incendios.pdf)

**GAMBÍN, A., & ZARAGOZA, J.** *Guía técnica para la manipulación de sustancias corrsivas en el sector químico.* *ISSL*, 1-16. Obtenido de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi4ztP84KXsAhWNslkKHavsB\\_QQFjADegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fwww.carm.es%2Fweb%2Fpagina%3FIDCONTENIDO%3D55619%26IDTIPO%3D60&usg=AOvVaw1k3BCs3k7w3hQ\\_MHS9ZKul](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi4ztP84KXsAhWNslkKHavsB_QQFjADegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fwww.carm.es%2Fweb%2Fpagina%3FIDCONTENIDO%3D55619%26IDTIPO%3D60&usg=AOvVaw1k3BCs3k7w3hQ_MHS9ZKul)

**GARCÍA , G.** Orígenes y Fundamentos de la Prevención de Riesgos Laborales en España (1873-1907). Tesis (Grado de doctor) Bellaterra: Universidad Autónoma de Barcelona, 2007, 426 pp. Disponible en <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5232/ggg1de1.pdf>

**GARCÍA, R. & BIANCHI. O.** Propuesta de un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo ISO 45001: 2018 en la empresa Europa América Laboratorios SAC, . Sede de la Universidad de Castellano Distrito de San Martín de Porres, Lima 2018. Trabajo de Suficiencia Profesional (Título Profesional de Ingeniero Industrial) Lima: Universidad Privada del Norte, 2018.

**GÓMEZ DE LEÓN, F.** *Tecnología del Mantenimiento Industrial*. Murcia: Servicio de Publicaciones Universidad de Murcia, 1998. ISBN: 84-8371-008-0

**GONZÁLEZ, F.** *Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión*. Madrid: FC Editorial, 2004. ISBN: 84-96169-36-7

**HERNÁNDEZ.** (2014). *Metodología de la investigación (7ma ed.)*. México: Mc Graw - Hill Interamericana Editores S.A. de C. V.

**HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. FERNÁNDEZ. & BAPTISTA, P.** *Metodología de la investigación*. Mexico: Mcgraw-hill, Sexta Edición, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0

**INSTITUTO Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.** Manual para la evaluación y prevención de riesgos ergonómicos y psicosociales en la PYME, 2012, 76. Disponible en <https://prl-sectoreducativo.saludlaboral.org/documentos/documentacion/bibliografia/pyme.pdf>

**INSTITUTO Navarro de Salud Laboral.** Riesgos por carga física, mental, dentro del trabajo, 2011, 2-11. Disponible en <http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/74D4E0EE-0BD0-43E1-91BC-235B883C85B1/0/m2ud3.pdf>

**INSTITUTO Nacional de Defensa Civil.** Lima, Perú, 01 de diciembre de 2021. Disponible en <https://www.gob.pe/4126-instituto-nacional-de-defensa-civil-que-hacemos>

**INTEGRA: Consultores de sistemas de gestión,** 2017. Disponible en <https://www.consultoresdesistemasdegestion.es/sistemas-de-gestion>.

**ISO 45001.** *Sistemas de la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo*. Suiza: Primera edición, 2018

**ISOTOOLS.** Riesgo laboral: definición y conceptos básicos, 2015. Disponible en <https://www.isotools.org/2015/09/10/riesgo-laboral-definicion-y-conceptos-basicos/>

**LEY de Seguridad y Salud en el Trabajo n.º 29783.** Lima, Perú, 2016. Diario oficial El Peruano

**MARTÍNEZ, J.** Riesgos laborales en la construcción. Un análisis sociocultural. Universitas, *Revista de Ciencias Sociales y Humanas [en línea]*, julio-diciembre 2015, 23, pp. 65-86. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/4761/476147263003.pdf>

**MAYORCA, R.** Propuesta de mejora de la disponibilidad de maquinaria pesada en una pyme utilizando el RCM. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Industrial). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2019, 162 pp.

**MEDINA, A. VALDEZ, A. & ÁVILA, A.** Programa de formación de competencias para la gestión eficaz de seguridad en el trabajo. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 2020, 10 (3) 788. Disponible en <https://revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/788>

**MEDRANO J., GONZÁLEZ V. & DÍAZ DE LEÓN V.** (2017). *Mantenimiento, técnica y aplicaciones industriales*. Ciudad de México: Grupo Editorial Patria, 2017. ISBN 6077447099

**MORA, A.** *Mantenimiento, planeacion, ejecucion y control*. Mexico D.F. Alfa omega grupo 3ra ediccion, 2009

**MORALES, J.** Implantación de un Programa de mantenimiento productivo total (TPM) al taller automotriz del I. Municipio de Riobamba (IMR). Tesis (Título de Ingeniero Automotriz) Riobamba: Escuela Superior Técnica de Chimborazo, 2012, 161 pp.

**MOUBRAY, J.** *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. Madrid: Biddles, 1997

**NAVARRO, L., PASTOR, A. & MUGABURU, J.** *Gestión integral del mantenimiento*. España: Nueva Hinostrza.

**NAZARENO, P.** Propuesta de un plan de Riesgos Laborales para el personal docente y administrativo, en la Unidad Educativa «Juan Carlos Matheus Pozo» parroquia Viche provincial Esmeraldas, 2020. Tesis (Magíster en Gestión de Riesgos,

Mención Prevención de Riesgos Laborales). Esmeraldas: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas, 2021, 134 pp.

**NEYRA, J.** Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo para una Empresa Contratista de Transporte Personal en una empresa minera. Caso E. E. H & C Transportes S. R. L. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Industrial) Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2015, 179 pp.

**NORMA G.050.** Seguridad durante la construcción. *Reglamento Nacional de Edificaciones*, Lima, Perú, jueves 08 de junio de 2006, p. 434

**NORMA Básica de Ergonomía y de procedimientos de evaluación.** *Ministerio de Trabajo y promoción del Empleo*. Lima, Perú, 17 de 07 de 2019. <https://www.gob.pe/733-ministerio-de-trabajo-y-promocion-del-empleo-que-hacemos>

**NORMAS Legales.** Lima, Perú, 15 de 03 de 2020. Diario oficial El Peruano.

**OBSERVATORIO de Salud y Medio Ambiente de Andalucía.** Ruido y salud, 2012. 1-68. Disponible en [https://www.diba.cat/c/document\\_library/get\\_file?uuid=72b1d2fd-c5e5-4751-b071-8822dfdfdded&groupId=7294824](https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=72b1d2fd-c5e5-4751-b071-8822dfdfdded&groupId=7294824)

**OLACIREGUI, I., & AZKOAGA, I.** Manual para la implantación de un plan de PRL en la empresa. Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales, 2006, 291 pp. Disponible en [https://www.euskadi.eus/contenidos/libro/gestion\\_200520/es\\_200520/adjuntos/gestion\\_200520.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/libro/gestion_200520/es_200520/adjuntos/gestion_200520.pdf)

**ORGANIZACIÓN Iberoamericana de Seguridad Social.** Choque contra objetos inmóviles, 2018, 1-2. Disponible en [https://oiss.org/wp-content/uploads/2018/11/9-07\\_Peligro.pdf](https://oiss.org/wp-content/uploads/2018/11/9-07_Peligro.pdf)

**PÉREZ, J.** Seguridad y salud en los docentes. *Gestión Práctica de Riesgos Laborales*, 2009, 6. Disponible en

[http://www.intersindical.es/boletin/laintersindical\\_saludlaboral\\_07/archivos/preve-nciondocente.pdf](http://www.intersindical.es/boletin/laintersindical_saludlaboral_07/archivos/preve-nciondocente.pdf)

**PUIN, J., & SALINAS, J.** Prevención de incidentes y accidentes de trabajo por causa de caídas. Positiva Compañía de Seguros S. A., 2010, 3-9. Obtenido de [https://sig.unad.edu.co/documentos/sst/otros/prevencion\\_de\\_caidas\\_cartiila.pdf](https://sig.unad.edu.co/documentos/sst/otros/prevencion_de_caidas_cartiila.pdf)

**QUESADA, M.** Condiciones de la infraestructura educativa en la región pacífico central: los espacios escolares que promueven el aprendizaje en las aulas. *Revista Educación*, 2019, 43 (1) pp. 1-19. DOI: <https://doi.org/10.15517/revedu.v43i1.28179> Disponible en <https://www.scielo.sa.cr/pdf/edu/v43n1/2215-2644-edu-43-01-00293.pdf>

**REGLAMENTO de Seguridad Industrial.** 1962. Diario Oficial El Peruano.

**RIESCO, E.** La Prevención de Riesgos Laborales y su historia, 2013. Disponible en <https://cienxcienpersonas.wordpress.com/2013/10/21/la-prevencion-de-riesgos-laborales-y-su-historia/>

**ROMERO, J.** Plan de prevención de riesgos laborales. Gestipolis, Talento, 2004 Disponible en <https://www.gestipolis.com/plan-de-prevencion-de-riesgos-laborales/>

**ROMERO, S.** Tipos de riesgos laborales. El portal de la coordinación empresarial. com. Grupo CTAIMA, 2020. Disponible en <https://www.coordinacionempresarial.com/tipos-de-riesgos-laborales/>

**SABASTIZAGAL-VELA, I, J. A., ASTETE, J. & BENAVIDES, F.** Condiciones de trabajo, seguridad y salud en la población económicamente activa y ocupada en las áreas urbanas del Perú. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*, 2020, 37 (1), pp. 32-41 <http://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2020.371.4592>.

**SALAZAR, S., & MONTERO, J.** Identificación de riesgos en la unidad educativa fe y alegría «Padre Durana», cantón Durán vía Yaguachi. Tesis (Título de Ingeniero Industrial Mención Mantenimiento) Milagro: Universidad Estatal de Milagro,

2014, 134 pp. Disponible en <http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/1900/2/Identificaci%C3%B3n%20de%20riesgos%20en%20la%20unidad%20educativa%20Fe%20y%20Alegr%C3%ADa%20E2%80%9CPadre%20Durana%20E2%80%9D%2C%20Cant%C3%B3n%20Duran%20v%C3%ADa%20Yaguachi.pdf>

**SÁNCHEZ, M.** Manual básico de prevención de riesgos laborales, 2018. Disponible en <https://academia-formacion.com/wp-content/uploads/2018/10/MANUAL-BASICO-PRL.pdf>

**SÁNCHEZ, F., PÉREZ A., SANCHO J., RODRÍGUEZ P.** *Mantenimiento mecánico de máquinas*. Segunda Edición. México: Book Print Digital, 2008.

**SERVICIO de prevención de riesgos laborales.** Riesgos Biológicos, 2012. Disponible en [https://www.unirioja.es/servicios/sprl/pdf/curso\\_riesgos\\_biologicos.pdf](https://www.unirioja.es/servicios/sprl/pdf/curso_riesgos_biologicos.pdf)

**SERRA, F.** El teletrabajo - Implicaciones en la Seguridad y Salud en el Trabajo. *Revista CADE: Profesionales y empresas*, 2020, 55, pp. 35-44.

**SIERRA, E.** Prevención de riesgos laborales y trabajadores especialmente sensibles, 2015. Disponible en <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiR0omKkqjrAhVETDABHbEWCy44ChAWMAR6BAgEEAE&url=https%3A%2F%2Frevistas.uasb.edu.ec%2Findex.php%2Fforo%2Farticle%2Fdownload%2F454%2F449%2F&usg=AOvVaw1OVwpY4Y-RgWXJbmn8TV>

**SOLÓRZANO, O.** Manual de conceptos de Riesgos y Factores de Riesgo Para Análisis de Peligrosidad, 2014. de [http://www.mag.go.cr/acerca\\_del\\_mag/circulares/rec\\_hum-manual-riesgos-peligrosidad.pdf](http://www.mag.go.cr/acerca_del_mag/circulares/rec_hum-manual-riesgos-peligrosidad.pdf)

**SORIANO, X.** El origen de la prevención de riesgos laborales. *Seguridad y salud en el trabajo*, 2013. Disponible en <https://prevenblog.com/cuando-se-empezo-a-hablar-de-prevencion-de-riesgos-laborales/>



**SERVICIO de prevención de riesgos laborales.** Riesgos eléctricos, 2015 pp. 40.  
Disponible en [https://www.unirioja.es/servicios/sprl/pdf/riesgos\\_electricos.pdf](https://www.unirioja.es/servicios/sprl/pdf/riesgos_electricos.pdf)

**SOTO.** *Investigación y Tipos de Investigación.* Caracas: Nueva Imagen, 2002

**SUPERINTENDENCIA de riesgos del trabajo.** La iluminación en el ambiente laboral.  
*Prevención,* 2016, 1-26. Disponible en [https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2016/08/Guia\\_practica\\_1\\_Iluminacion\\_2016.pdf](https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2016/08/Guia_practica_1_Iluminacion_2016.pdf)

**TAMAYO, M.** *El proceso de la investigación científica.* México: Limusa Noriega Editores, 2006

**TECSUP.** *Gestión del Mantenimiento para equipo pesado.* Lima, 2014

Torres. (2005).

**TUMBACO, E.** Diseño de manejo de un plan de manejo de riesgos psicosociales para mejorar el ambiente laboral de los docentes a tiempo completo y personal administrativo de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. Tesis (Título de Ingeniera en Administración de Empresas de Servicios y Recursos Humanos). Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial, 2015, 121 pp. Obtenido de [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14789/1/62485\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14789/1/62485_1.pdf)

**UNIVERSIDAD Nacional de Educación a Distancia.** Contactos térmicos, 2017, 1-2.  
Disponible en [http://portal.uned.es/pls/portal/docs/PAGE/UNED\\_MAIN/LAUNIVERSIDAD/VICERRECTORADOS/GERENCIA/RECURSOS%20HUMANOS/SALUD-LABORAL/CLASIFICACION%20GENERICA%20PUESTOS%20TRABAJO/5.%20RELACION%20DE%20RIESGOS/R07CONTACTOSTERMICOS.PDF](http://portal.uned.es/pls/portal/docs/PAGE/UNED_MAIN/LAUNIVERSIDAD/VICERRECTORADOS/GERENCIA/RECURSOS%20HUMANOS/SALUD-LABORAL/CLASIFICACION%20GENERICA%20PUESTOS%20TRABAJO/5.%20RELACION%20DE%20RIESGOS/R07CONTACTOSTERMICOS.PDF)

**UPNA.** Manual de uso de productos químicos, 2010, 4-22. Disponible en [http://www.unavarra.es/digitalAssets/146/146686\\_100000Manual-de-uso-de-productos-quimicos.pdf](http://www.unavarra.es/digitalAssets/146/146686_100000Manual-de-uso-de-productos-quimicos.pdf)

**VALERIANO, N.** Propuesta de Implementación del Plan de Seguridad y Salud en el trabajo basado en la ley n.º 29783, para el relleno sanitario en la localidad de Jaquira

Distrito Santiago, Provincia de Cusco-2017 Tesis (Título Profesional de Ingeniero Industrial). Cusco: Universidad Andina del Cusco, 2017.

**VILLAVICENCIO-PERALTA H., ARÉVALO J., & VILLAVICENCIO-MIDIOLA**

**H.** Impacto de la seguridad y la seguridad ocupacional en la productividad de las organizaciones: implicaciones para el Ecuador. *Polo del conocimiento*, 2017, 2 (8), pp, 299-314. DOI: 10.23857/pc.v2i8.327. Disponible en <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj0pf6uz6frAhUCQzABHYJuADIQFjABegQIBRAB&url=https%3A%2F%2Fpolodelconocimiento.com%2Foj%2Findex.php%2Fes%2Farticle%2Fdownload%2F327%2Fpdf&usg=AOvVaw2kqxRV4sE74AtIhslsFVNt>

**WHITE, G.** Introducción al Análisis de Vibraciones. Azima DLI, 2010, 148 pp. Disponible en <https://termogram.com/images/pdf/analisis-vibraciones/introduccion-al-analisis-de-vibraciones-azima-dli.pdf>

**ZURITA, E.** Evaluación de los riesgos psicosociales que influyen en el ambiente laboral del personal docente y administrativo de la unidad educativa Quevedo. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/1866/1/T-UTEQ-0007.pdf>

**ZURITA, G.** Estimación de la exposición a los factores de riesgo laboral y su posible asociación con las variables sociodemográficas en los servidores de la Facultad de Ciencias Administrativas de la Universidad Central del Ecuador, 2013. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7324/1/T-UCE-0007-71pg.pdf>

## Anexos

### Anexo A. Panel fotográfico



*Figura A.1*



*Figura A.2*



*Figura A.3*

Evaluación de los elementos de carrillera, la rueda guía y su horquilla; en la segunda imagen se puede apreciar los rodillos, eslabones, bujes y zapatas; en la tercera imagen se aprecia el mando final y sus componentes.



*Figura A.4*



*Figura A.5*



*Figura A.6*

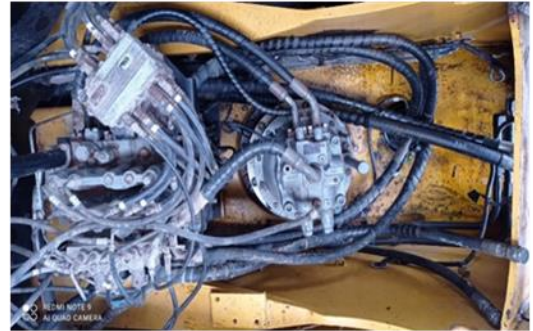


*Figura A.7*

Evaluación de casquillos y pines en las uniones articuladas de la máquina, como la pulma, brazo y cucharón



*Figura A.8*



*Figura A.9*

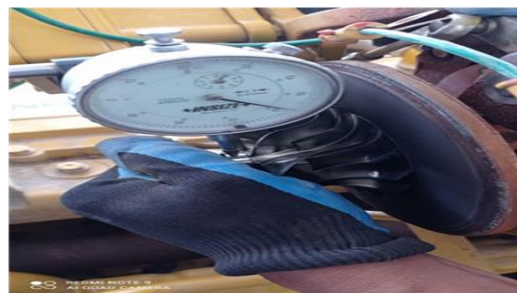


*Figura A.10*



*Figura A.11*

Evaluación de los cilindros hidráulicos, vástagos de cilindros, sellos O ´ring y Drino y mangueras hidráulicas, daños del cromado del vástago, fuga de aceite por los sellos y uniones hidráulicas de los tubos, mangueras y bridas.



*Figura A.12*



*Figura A.13*





*Figura A.14*

Evaluación de los componentes del turbo compresor, los juegos radial y axial del eje y la fuga de aceite



*Figura A.15*

Evaluación de los núcleos de enfriamiento de los contaminantes entre los núcleos y aletas



*Figura A.16*



*Figura A.17*

Evaluación de las fugas de aceite y los puntos de lubricación



*Figura A.18*

Evaluación de los elementos de desgaste en cucharón como puntas, cuchillas, lagartos, adaptadores, plancha, etc.



*Figura A.19*

Dializado de aceite para poder alargar la vida útil del aceite hidráulico

Anexo B. Frecuencia de fallas

Descripción	Modelo	PM	COMPARTIMENTOS																									
			Motor	Transmision	Eje Dif. delantero	Eje Dif. posterior	Sistema hidráulico	Compresor	Mando F.I	Mando F.D	Mecanismo de Giro	Mecanismo de Giro L.D.	Mecanismo de Giro L.I.	Caja de cadena Der.	Caja de cadena Iq.	Caja de ejes	Circulo de giro	Tandem lado Der.	Tandem lado Iq.	Eje trasero y caja P.	Caja eje TDM	Trans. REDUCTOR / VIBRADOR	Trans. ROLA	Trans. Diferencial Posterior	TRANSM. HIDROSTATICA			
CARGADOR FRONTAL	544K	1ros. 250	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		250	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		500	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1000	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2000	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4000	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CARGADOR FRONTAL	644K	1ros. 250	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		250	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		500	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		1000	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		2000	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CARGADOR FRONTAL	744K	1ros. 250	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		250	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		500	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		1000	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		2000	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
COMPRESOR DE AIRE	XAS 186Dd C2	1ros. 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
EXCAVADORA	200DLC	250	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		500	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		1000	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		2000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
EXCAVADORA	210 LC	250	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		500	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		1000	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		2000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
EXCAVADORA	270DLC	250	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		500	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		1000	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		2000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
EXCAVADORA	350DLC	250	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		500	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		1000	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		2000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
EXCAVADORA	350GLC	250	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		500	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		1000	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		2000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
EXCAVADORA	ZX450LC-3	250	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		500	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		1000	1	-	-	-	1	-	1	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		2000	1	-	-	-	1	-	1	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	1	-	-	-	1	-	1	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4000	1	-	-	-	1	-	1	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GENEC	GENEC	1ros. 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



## Anexo C. Parámetros del motor

### RPM mínimas

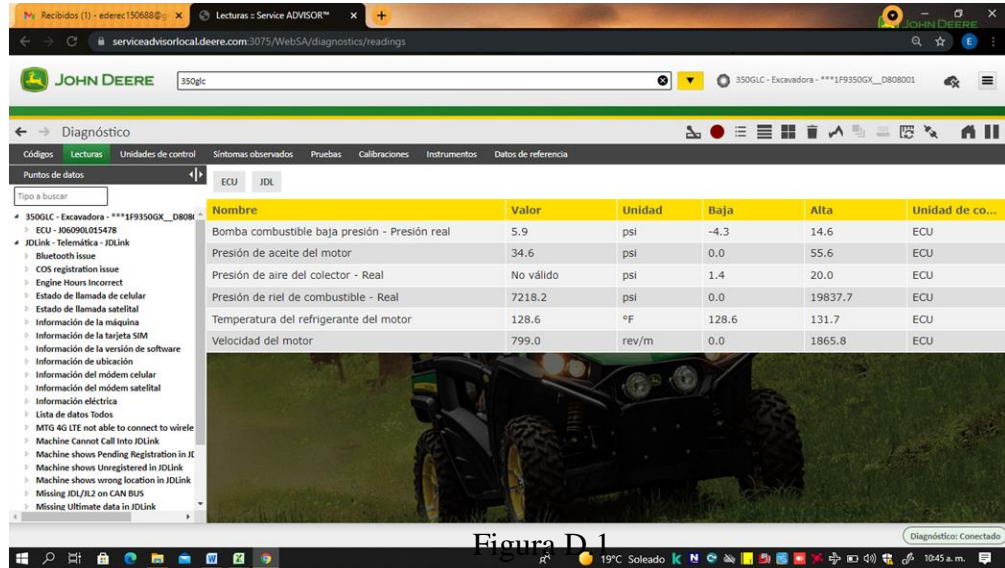


Figura D.1

### RPM Máximas

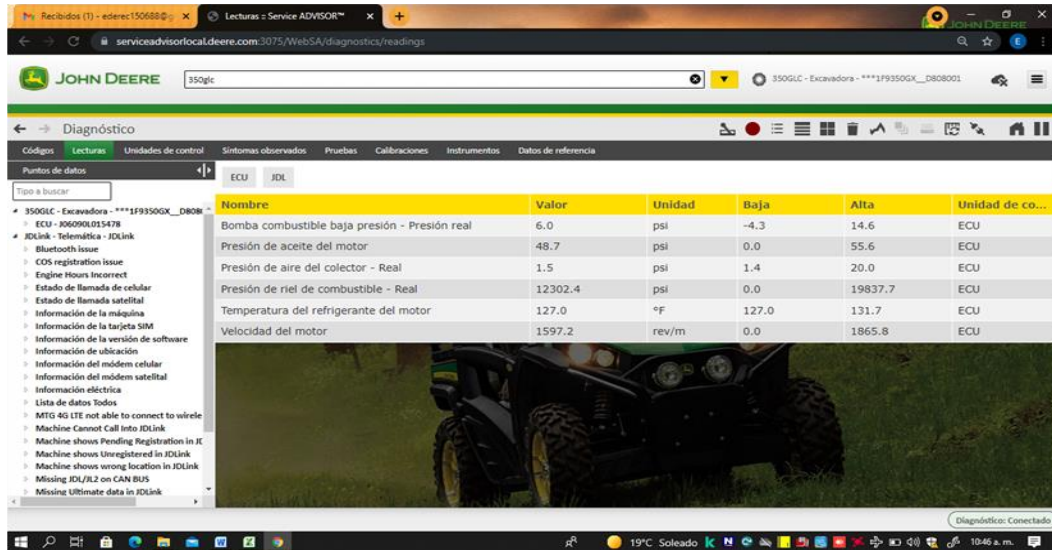



Figura C.2

Calado con accionamiento de brazo



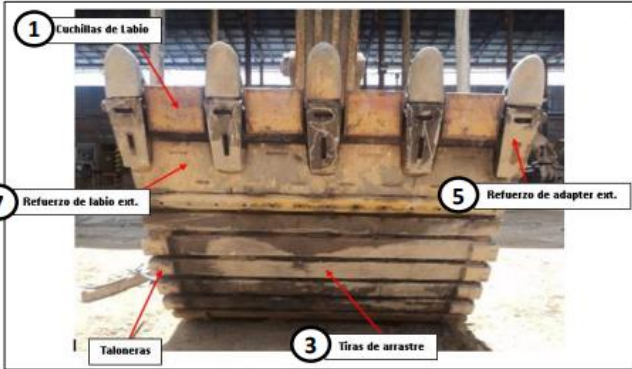
## Anexo E. Inspección de cucharones de la excavadora



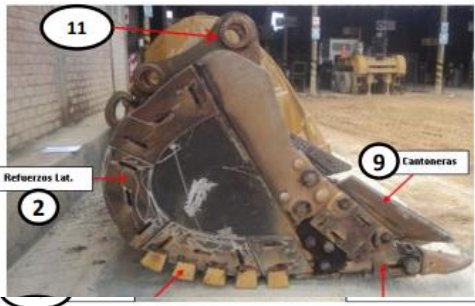
ISO 9001 | OHSAS 18001 | ISO 14001

**AREA TÉCNICA**  
27/10/2015

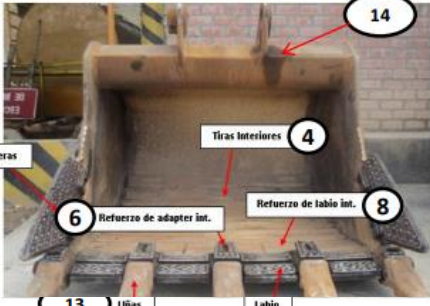
### INSPECCIÓN DE CUCHARONES DE EXCAVADORAS



1 Cuchillas de labio  
7 Refuerzo de labio ext.  
5 Refuerzo de adapter ext.  
3 Tiras de arrastre  
Taloneras



11 Refuerzos Lat.  
9 Cantoneras  
2



14 Tiras Interiores  
4  
6 Refuerzo de adapter int.  
8 Refuerzo de labio int.  
13 Uñas  
Labio

EQUIPO CIP		TIPO CUCHARON		MODELO	VOLUMEN	TERRENO
CIP CUCHARON		ROCKLAND				COMPACTO <input type="radio"/>
FECHA INSP.		P Y H				IMPACTO <input type="radio"/>
HORÓMETRO		OTROS				HUMEDAD <input type="radio"/>
ITEM	DESCRIPCIÓN	BUENO	MALO	DESCRIPCIÓN		
01	Labio, cuchillas de labio					
02	Refuerzos Laterales					
03	Tiras de arrastre					
04	Tiras interiores					
05	Refuerzo de Adapter exterior					
06	Refuerzo de Adapter interior					
07	Refuerzo de labio exterior					
08	Refuerzo de labio interior					
09	Cantoneras					
10	Taloneras					
11	Alojamiento de cucharon					
12	Pines y bocinas					
13	Puntas					
14	Fisuras en orejas, "H", Adapters					
ACCIÓN CORRECTIVA						
A	Ultima reparación	Fecha		B	Ultimo cambio de cucharón	Fecha
		Horometro				Horometro
Horas acumuladas U.R.				Horas acumuladas U.C.		

Figura E.1

## Anexo F. Prueba de falla de encendido de cilindros



Prueba de falla de encendido de cilindros

### Prueba de falla de encendido de cilindros

Prueba de falla de encendido de cilindros

Fecha de la prueba: Wed Jul 14 12:25:06 2021

Resultado Prueba de falla de encendido de cilindros terminada.

Número de serie del motor	RG6090L136319
Número de modelo del motor	6090HT002
Número de pieza de ECU	RE520953
Número de pieza de conjunto de software de ECU	SW61952F
Número de pieza de software de ECU	oc03073d.MOT
Número de pieza de datos de EOL de ECU	ap03073e450.013.mot
Número de pieza de sistema de combustible	?????
Número de serie de sistema de combustible	?????

Cilindro #	Desempeño de cilindro
1	100
2	100
3	99
4	99
5	99
6	99

*Figura F.1*

## Anexo G. Flujograma de aplicación RCM

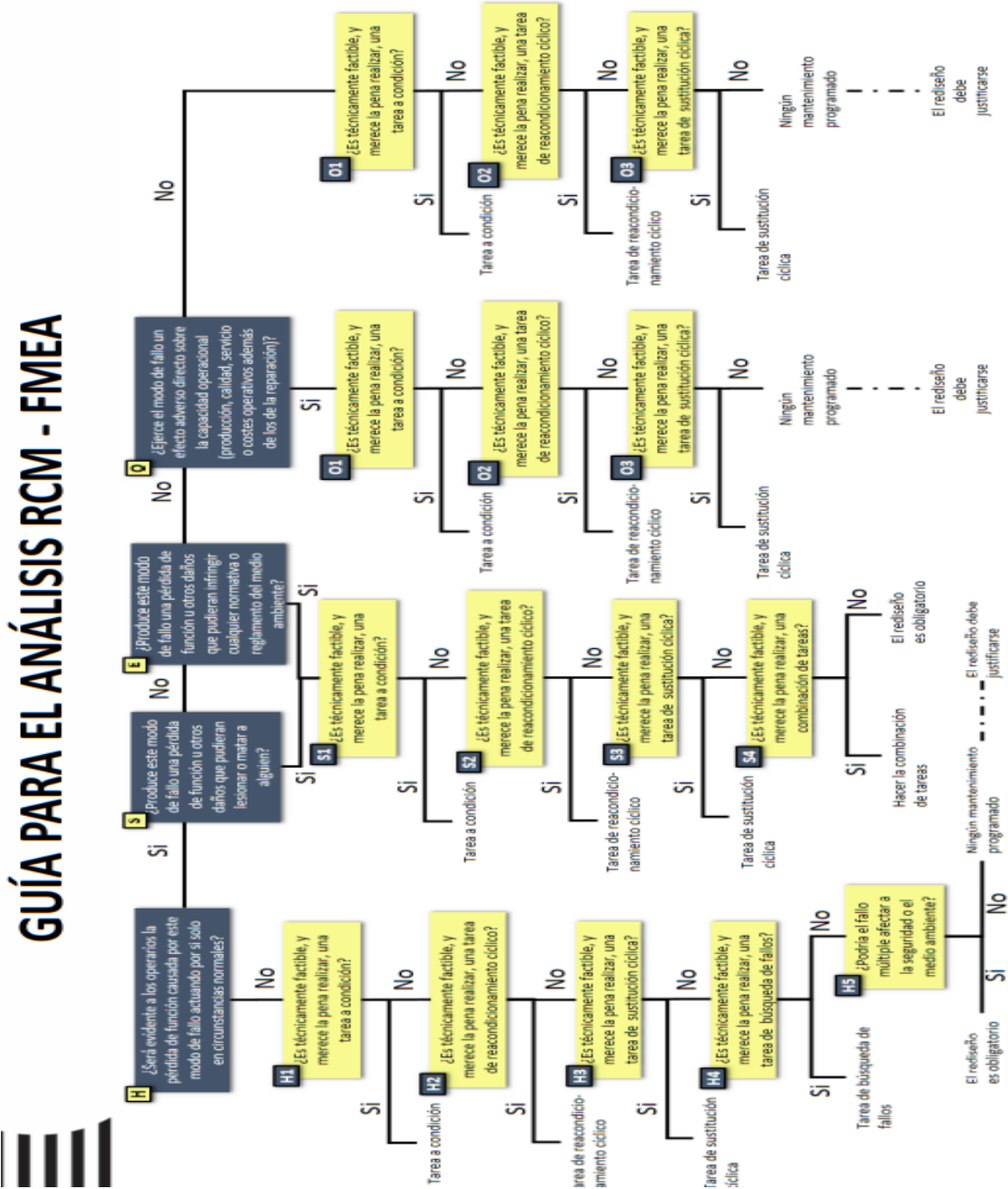


Figura G. 1

## Anexo H. Informe de tren de rodamiento

CGM		INFORME DE TREN DE RODAMIENTO - 350GLC				JOHN DEERE	
CIP	M160571	Horometro	8174		Condiciones de Terreno		Nombre del técnico
Modelo	350GLC	Fecha de Inspección	16.08.21		Impacto	EDER ESPINOZA / EDGARD PUMA	
Serie		Proyecto			Abrasión	Horometro de próxima evaluación	
Tren de Rodamiento		Ancho de zapata			Humedad		
Código de Eslabon		Espesor plancha zapatas			Rocoso		

COMPONENTE	REVISAR	Especificación 214 - en los lados milímetros de masa - en los lados	MEDICIÓN	MEDICIÓN		% DE DESGASTE		Notas
				DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	
COMBA		300	MEDIDA	380	375			
				300				
BIJUE		66,9	MEDIDA 1	66,5	66,5	11%	11%	
			MEDIDA 2	66	66			
		61,1	PROMEDIO	66,25	66,25			
ESLABON		116	MEDIDA 1	115,0	115,0	9%	6%	BANCA DEL ESLABÓN JOHN DEERE (---) BENCO (---) IRL (---)
			MEDIDA 2	115,5	115,0			
		108	PROMEDIO	115,3	115,5			
GARRA		36	MEDIDA 1	34,5	34,5	44%	44%	CADENAS CON ZAPATAS DE DISTINTA ALTURA DE GARRA LH 38 ZAPATAS DE 34,5MM DE GARRA RH 30 ZAPATAS DE 28,5MM DE GARRA RH 45 ZAPATAS DE 34,5MM DE GARRA
			MEDIDA 2	29,5	29,5			
		27	PROMEDIO	32,0	32,0			
RODILLO INFERIOR		180	MEDIDA 1	174,0	177,0	33%	17%	
			MEDIDA 2			1000%	1000%	
			MEDIDA 3	176,5	177,0	19%	17%	
			MEDIDA 4			1000%	1000%	
			MEDIDA 5	176,5	177,0	19%	17%	
			MEDIDA 6			1000%	1000%	
			MEDIDA 7	176,5	176,0	19%	22%	
			MEDIDA 8	176,5	176,0	19%	22%	
RODILLO SUPERIOR DELANTERO		150	MEDIDA	146	146	40%	40%	
		140						
RODILLO SUPERIOR TRASERO		150	MEDIDA	147	147	35%	35%	
		140						
RUEDA GUA		22,5	MEDIDA	23	23	7%	7%	
		29,5						
PASO DE LA CADENA		163,6	MEDIDA	164,0	165	2%	8%	
		161,6						

INSPECCIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Zapatas rotas en la plancha, garra, esquinas o nervaduras		
Superficie lijada por material abrasivo en el terreno de trabajo		
Desgaste de caras de contacto entre eslabones		
<b>Fisuras en eslabones, daños en la superficie por impacto</b>		
<b>Desgaste por rozamiento en la cara externa del eslabón por</b>		
Formación visible de cuello en bocinas por desgaste		
Bocinas con fisura en la superficie o desprendimiento de material		
Seguro seeger de pin máster en su posición (si tiene)		
Pines con deslizamiento hacia la parte externa o interna de la		
Per nos flojos, rotos o faltantes		
Fuga de aceite por rodillos superiores		
Fuga de aceite por rodillos inferiores		
Rodillos superiores atrancados y/o con planicidad		
Rodillos inferiores atrancados y/o con planicidad		
Estado visual del sprocket, separación excesiva entre dientes		
Guiadores exteriores e interiores rotos o faltantes		
Guardas exteriores de rodillos inferiores completas		
Per nos de sprocket completos		

Figura H. 1

## Anexo J. Análisis justificativo de la investigación

Observaciones Prof. Bustamante García, Juan Eduardo

1. ¿Cuál es la disponibilidad mecánica y utilización esperada para que el equipo sea rentable en cada proyecto donde se alquile?

R=

*Disponibilidad mecánica %*

$$= \text{Horas reales trabajadas al } \frac{\text{año}}{\text{horas}} \text{ programadas por año} \\ * 100$$

Donde:

Horas programadas al año= 2112 horas programadas por año aprox.

Horas reales trabajadas 1572 por año aprox.

$$\text{Disponibilidad mecánica}\% = 1572/2112 * 100$$

Disponibilidad mecánica= 74 %

Con respecto a la utilización basándonos en la fórmula:

Utilización= producción real/capacidad diseñada

Es necesario recalcar que los costos de producción de la empresa es información confidencial de la organización, por lo que es imposible dar costos y sumas aproximadas del mismo que están fuera del alcance del investigador.

2. Según el punto 1, y entendiendo que se requiere DM para hacer rentable el equipo a lo largo de su vida útil ¿Cuáles deberían ser los ingresos a generar por el equipo de acuerdo a y según a, los costos de mantenimientos proyectados en el preventivo y correctivo a lo largo de la vida útil proyectada del equipo?

R= En respuesta a esta pregunta, los ingresos relacionados a los costos de producción de la empresa son netamente información confidencial de la organización, por lo que es imposible dar costos y sumas aproximadas del mismo, que están fuera del alcance del investigador.

3. ¿Se tiene los costos de stocks definidos, necesarios para no solo los mantenimientos preventivos sino también para los correctivos programados?

R= los costos de mantenimiento correctivo programados según cotizaciones que se solicitó a proveedores de la empresa expresan a:

Costos de mantenimiento = 16,869.20 soles (Ver Anexo I)

Con base en estos costos la empresa realiza una estimación de presupuesto anual para costos de mantenimiento de 135000 soles aproximados

4. Con respecto al operador, pieza clave y estratégica en la operatividad de la excavadora, evaluar el escenario en donde el operador va como parte del alquiler de la excavadora y otro escenario como está en el presente. Pro y contras de ambos escenarios con los costos involucrados.

R= Rental es una empresa de alquiler de maquinaria pesada, por lo que la mayoría de sus clientes pertenecen al sector empresarial, por tanto, las compañías arrendadoras cuentan con su propio personal operario para manipular este tipo de maquinaria.

5. Según se observa en las fallas reportadas y el Pareto, muchas de las fallas se podrían estar dando por un tema de la operación, por ejemplo por excesivo traslado o mala operación. ¿Cómo se controlaría esta variable?

R= Es evidente que muchas de las fallas ocurridas se deben a la mala operación de los conductores, sin embargo para Rental, resolver esta frecuencia de falla implicaría realizar un análisis evaluativo de Clientes y proveedores externos, por lo que para términos del alcance de la propuesta, la misma se saldría de contexto, entonces, a su vez, se recomienda a la empresa realizar un análisis evaluativo, además de establecer controles y seguimiento de calidad para la selección de proveedores externos.

6. Finalmente, para que la propuesta de Tesis cobre valor, debería complementarse con el tema económico y rentabilidad a lo largo de la vida útil de la excavadora a través de su *Hora máquina vs el costo del mantenimiento total*

R= Es importante recalcar que el contenido económico dentro del nivel investigativo del tema en estudio, representa un rol significativo, sin embargo para ir más allá del tema de interés «Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para la excavadora Jhon Deere» se necesitaría reformular los objetivos del mismo para darle un enfoque más allá a la propuesta, por lo que se recomienda a la empresa indagar en el tema económico y rentable para complementar la investigación presente.



Nota; Para ampliar el horizonte al cuadro de DM de la excavadora, se estableció el estudio en ese tiempo, debido a que fue el tiempo en que se realizó la investigación.

Observaciones: Prof Chullo Llave, Neptali/ Joseli Ortiz, William

No se encuentra en la Tesis la prueba de hipótesis, la misma es importante para validar el estudio.

R= Para este tipo y nivel de investigación no se contemplaron las pruebas de hipótesis, puesto que no es una investigación experimental.

## Anexo I. Cotización del presupuesto de mantenimiento

**IPESA**

**IPESA S.A.C.**  
 DISTRIBUIDOR OFICIAL DE JOHN DEERE EN EL PERU  
 Av. Nicolas Ayllon 2241 ATE LIMA 03 Perú  
 Telfs: 326-0411, 326-0420, 748-3333  
 RUC: 20101639275



**SUCURSALES:**

CD LIMA : 51 1 7483333/3260411  
 HUANCAYO : 942124365  
 AREQUIPA : 51 54 270904  
 SANTA ANITA : 51 1 7483333/3260411

PIURA : 51 73 414710  
 CUSCO : 51 74 266244  
 CALAMARCA : 51 76 365145  
 CALLAO : 51 1 7483333/326

TRUJILLO : 994549741/941930360  
 CUSCO : 51 84 274336  
 SAN LUIS : 51 1 7483333/3260411

**COTIZACIÓN N° 20457215**

**Señor (es):** 43682797 - PUMA SURCO EDGAR  
**Atención:** **Forma de Pago:** Contado, a partir de fecha de documento  
**Dirección:** JR LIMA NRO 1 08 CUSCO SANTIAGO  
**Teléfonos:** 984 262 286 **Tiempo de Entrega:** 02.11.2022  
**Fecha:** 02.11.2022

Itm	Cantidad	Pieza N°	Descripción	UND	Precio Unitario	% Dsct.	Total	
1xxx	1.00	DZ101884	FILTER KIT	UN	281.83	0.00%	281.83	
2xxx	1.00	RE525523	Cartucho de filtro	UN	654.44	0.00%	654.44	
3xxx	1.00	AT365869	Filtro Racord de combustible**	UN	383.56	0.00%	383.56	
4xxx	1.00	FYA00033065	Filtro	UN	707.37	0.00%	707.37	
5xxx	1.00	AT330978	Filtro de Aire Primario	UN	679.74	0.00%	679.74	
6xxx	1.00	AT330980	Filtro de Aire Secundario	UN	413.16	0.00%	413.16	
7xxx	1.00	M89679	Eyector	UN	77.74	0.00%	77.74	
8xxx	1.00	4630525	Filtro de Aceite Piloto	UN	146.41	0.00%	146.41	
9xxx	1.00	R527884	Junta	UN	228.21	0.00%	228.21	
10xxx	1.00	RE57604	Amortiguador de torsión	UN	3,197.80	0.00%	3,197.80	
11xxx	1.00	RE520465	Amortiguador de torsión	UN	3,212.84	0.00%	3,212.84	
12xxx	1.00	4437838	Cartucho de filtro	UN	195.12	0.00%	195.12	
13xxx	1.00	4S00686R	Filtro de aire Fresco de Cabina	UN	563.26	0.00%	563.26	
14xxx	1.00	FYA00001490R	#Filtro de aire	UN	411.80	0.00%	411.80	
15xxx	1.00	TY26576R	Cool-Gard II Pre-mix - 2.5 GL	UN	155.80	0.00%	155.80	
16xxx	1.00	TY26679	Aceite Plus 50 II 15W40 - 5 GL	UN	471.50	0.00%	471.50	
<b>MONEDA</b> Sol peruano				<b>SUB TOTAL</b>			Si/	14,295.93
				<b>IGV 18 %</b>			Si/	2,573.27

**IPESA**

**IPESA S.A.C.**  
DISTRIBUIDOR OFICIAL DE JOHN DEERE EN EL PERU  
Av. Nicolas Ayllon 2241 ATE LIMA 03 Perú  
Telfs: 326-0411, 326-0420, 748-3333  
RUC: 20101639275



**JOHN DEERE**

**SUCURSALES:**

CD LIMA : 51 1 7483333/3260411  
HUANCAYO : 942124365  
AREQUIPA : 51 54 270904  
SANTA ANITA : 51 1 7483333/3260411

PIURA : 51 73 414710  
CHICLAYO : 51 74 266244  
CAJAMARCA : 51 76 365145  
CALLAO : 51 1 7483333/326

TRUJILLO : 994549741/941930360  
CUSCO : 51 84 274336  
SAN LUIS : 51 1 7483333/3260411

**COTIZACIÓN N° 20495343**

**Señor (es):** 43682797 - PUMA SURCO EDGAR

**Atención:**

**Forma de Pago:** Contado, a partir de fecha de documento

**Dirección:** JR LIMA NRO 1 08 CUSCO SANTIAGO

**Teléfonos:** 984 262 286

**Tiempo de Entrega:** 13.04.2023

**Fecha:** 13.04.2023

Itm	Cantidad	Pieza N°	Descripción	Precio Unitario	% Dcst.	Total
1xxx	2.00	P7633400M00U	RUEDA GUIA C/ SOPORTE	7,555.82	5.00%	14,356.06
2xxx	96.00	Z01332B0N0600BS	ZAPATA DOBLE GARRA - 600mm	697.28	5.00%	63,591.94
3xxx	2.00	FYB00003583	Rueda dentada de Caja de Cambios	8,857.21	5.00%	16,828.70
4xxx	2.00	K16302A0M48600	CADENA C/ ZAPATA 600mm - 48 ESLAB.	79,870.21	5.00%	151,753.39
<b>MONEDA</b> Sol peruano				<b>SUB TOTAL</b>		S/. 246,530.09
				<b>IGV 18 %</b>		S/. 0.00
				<b>TOTAL</b>		S/. 246,530.09

## Anexo J. Especificaciones de la excavadora

E SPECIFICACIONES: PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN DE 6.22 M, CUCHARÓN DE 1.76 M3 Y MOTOR DE 271 HP.							
TIPO: MUEVE TIERRA							
COMBUSTIBLE: DIESEL							
OPERADOR: OPERADOR EXCAVADORA							
PRECIO DE ADQUISICIÓN:	\$361.850,17	VIDA ECONOMICA EN AÑOS:	8 años				
PRECIO JUEGO		HORAS POR AÑO (Hea):	2.000 hrs				
VIDA ECONOMICA	0 hrs	VIDA ECONOMICA (Ve):	16.000 hrs				
PRECIO PIEZAS ESPECIALES (Pe):		POTENCIA NOMINAL:	271 HP				
VIDA ECONOMICA PIEZAS ESPECIALES (Va):	0 hrs	COSTO POR COMBUSTIBLE (Pc):	0,86978637 \$/lts				
% RESCATE :	20,00%	COSTO LUBRICANTE (Pa):	3,025941 \$/lts				
VALOR DE RESCATE (Vr):	\$72.370,03	FACTOR DE OPERACIÓN (Fo):	80%				
VALOR DE LA MAQUINA (Vm):	\$361.850,17	POTENCIA DE OPERACIÓN (P0):	216,8				
TASA DE INTERES (i):	14,5925%	FACTOR DE MANTENIMIENTO (Ko):	1				
PRIMA DE SEGUROS (S):	2,0000%	COEFICIENTE COMBUSTIBLE (Fc):	0,1514				
SALARIO REAL DEL OPERADOR (Sr):	\$4,72	COEFICIENTE LUBRICANTE (Fa):	0,003				
SALARIO POR OPERACIÓN (So):	\$37,74	CAPACIDAD DEL CARTER (CC):	27				
HORAS EFECTIVAS DE TRABAJO POR TURNO (Ht):	8 hrs						
TIEMPO ENTRE CAMBIO DE LUBRICANTE (Ca):	200 hrs						
<b>CARGOS FIJOS</b>		<b>ACTIVA</b>	<b>%</b>	<b>ESPERA</b>	<b>%</b>	<b>RESERVA</b>	<b>%</b>
a) DEPRECIACIÓN..... $D = (V_m - V_r) / V_e = (361.850,17 - 72.370,03) / 16000 =$		\$18,09	100%	\$18,09	100%	\$2,71	15%
b) INVERSIÓN..... $I_m = (V_m + V_r) / 2H_{ea} * i = (361.850,17 + 72.370,03) / 2 * 2.000 * 0,1459 =$		\$15,84	100%	\$15,84	100%	\$15,84	100%
c) SEGUROS..... $S_m = (V_m + V_r) / 2H_{ea} * S = (361.850,17 + 72.370,03) / 2 * 2.000 * 0,02 =$		\$2,17	100%	\$2,17	100%	\$2,17	100%
d) MANTENIMIENTO..... $M = K_o * D = 1 * 18,09 =$		\$18,09	100%	\$14,47	80%	\$2,71	15%
<b>SUMA DE CARGOS FIJOS</b>		<b>\$54,20</b>		<b>\$50,58</b>		<b>\$23,44</b>	
<b>CARGOS POR CONSUMOS</b>							
a) COMBUSTIBLE..... $C_o = F_c * P_t * P_c = 0,1514 * 216,8 * 0,87 =$		\$28,55	100%	\$1,43	5%		0%
b) LUBRICANTE..... $L_b = ((F_a * P_t) + CC / C_a) * P_a = ((0,003 * 216,8) + 27 / 200) * 3,03 =$		\$2,38	100%	\$0,12	5%		0%
c) PIEZAS ESPECIALES..... $A_e = P_e / V_a = 0 / 0 =$			100%		0%		0%
<b>SUMA DE CARGOS POR CONSUMOS</b>		<b>\$30,93</b>		<b>\$1,55</b>		<b>\$0,00</b>	
<b>CARGOS POR OPERACIÓN</b>							
a) SALARIO TURNO..... $P_o = S_o / H_t = 37,74 / 8 =$		\$4,72	100%	\$4,72	100%	\$4,72	100%
<b>SUMA DE CARGOS POR OPERACIÓN</b>		<b>\$4,72</b>		<b>\$4,72</b>		<b>\$4,72</b>	
<b>COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA</b>		<b>\$89,84</b>		<b>\$56,84</b>		<b>\$28,16</b>	