

# IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LAS EXCAVADORAS HITACHI MODELO ZX870LC-5 EN UNA EMPRESA DE ALQUILER DE MAQUINARIA PESADA, LURÍN

Fecha de entrega: 11-jul-2024 12:12p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 24152FRANK

Nombre del archivo: FRANK\_FELIX\_SUAREZ\_QUISPE-\_TRABAJO\_SUFICIENCIA\_PROFESIONAL\_-\_TRAMITE\_TITULO.pdf (6.06M)

Total de palabras: 29275

Total de caracteres: 165650

# IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LAS EXCAVADORAS HITACHI MODELO ZX870LC-5 EN UNA EMPRESA DE ALQUILER DE MAQUINARIA PESADA, LURÍN

## INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	6%
2	<a href="https://repositorio.untels.edu.pe">repositorio.untels.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://southfloridapublishing.com">southfloridapublishing.com</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://repositorio.puce.edu.ec">repositorio.puce.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%



UNIVERSIDAD NACIONAL  
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA  
PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN  
EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTELS**  
(Art. 45° de la ley N° 30220 – Ley)

Autorización de la propiedad intelectual del autor para la publicación de tesis en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (<https://repositorio.unfels.edu.pe>), de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, Art. 10° del Rgto. Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales en las universidades – RENATI Res. N° 084-2022-SUNEDU/CD, publicado en El Peruano el 16 de agosto de 2022; y la RCO N° 061-2023-UNTELS del 01 marzo 2023.

**TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

- 1). TESIS ( )      2). TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL (X)

**DATOS PERSONALES**

Apellidos y Nombres:	SUAREZ QUISPE FRANK FELIX
D.N.I.:	72526631
Otro Documento:	
Nacionalidad:	PERUANA
Teléfono:	980384463
e-mail:	frankfsq06@gmail.com

**DATOS ACADÉMICOS**

**Pregrado**

Facultad:	FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
Programa Académico:	TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Título Profesional otorgado:	INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**Postgrado**

Universidad de Procedencia:	
País:	
Grado Académico otorgado:	

**Datos de trabajo de investigación**

Título:	"IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LAS EXCAVADORAS HITACHI MODELO ZX870LC-5 EN UNA EMPRESA DE ALQUILER DE MAQUINARIA PESADA, LURÍN"
Fecha de Sustentación:	16 DE DICIEMBRE DEL 2023
Calificación:	APROBADO CON EXCELENCIA
Año de Publicación:	2024



### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la UNTELS especificando los siguientes términos:

Marcar con una X su elección.

- 1) Usted otorga una licencia especial para publicación de obras en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

Si autorizo  No autorizo

- 2) Usted autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público conservando los derechos de autor y para ello se elige el siguiente tipo de acceso.

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO ABIERTO 12.1(*)	<b>info:eu-repo/semantics/openAccess</b> (Para documentos en acceso abierto)	(X)

- 3) Si usted dispone de una **PATENTE** puede elegir el tipo de **ACCESO RESTRINGIDO** como derecho de autor y en el marco de confiabilidad dispuesto por los numerales 5.2 y 6.7 de la directiva N° 004-2016-CONCYTEC DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de CONCYTEC (Se colgará únicamente datos del autor y el resumen del trabajo de investigación).

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO RESTRINGIDO	<b>info:eu-repo/semantics/restrictedAccess</b> (Para documentos restringidos)	( )
	<b>info:eu-repo/semantics/embargoedAccess</b> (Para documentos con períodos de embargo. Se debe especificar las fechas de embargo)	( )
	<b>info:eu-repo/semantics/closedAccess</b> (para documentos confidenciales)	( )

(\*) <http://renati.sunedu.gob.pe>





UNIVERSIDAD NACIONAL  
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

Rellene la siguiente información si su trabajo de investigación es de acceso restringido:

Atribuciones de acceso restringido:

---

---

Motivos de la elección del acceso restringido:

---

---

---

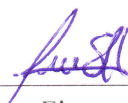
---

SUAREZ QUISPE FRANK FELIX

APELLIDOS Y NOMBRES

72526631

DNI



Firma y huella:



Lima, 23 de JULIO del 20 24

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA  
MEJORAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LAS  
EXCAVADORAS HITACHI MODELO ZX870LC-5 EN UNA  
EMPRESA DE ALQUILER DE MAQUINARIA PESADA, LURÍN”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

SUAREZ QUISPE, FRANK FELIX

ORCID: 0009-0009-9725-7454

**ASESOR**

DAVILA IGNACIO, CARLOS

ORCID: 0000-0002-6337-251X

**Villa El Salvador**

**2023**



VI Programa de Titulación por la Modalidad de Trabajo de Suficiencia Profesional  
Decanato de la Facultad de Ingeniería y Gestión

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OBTENER EL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

En Villa El Salvador, siendo las 16:25 horas del día 16 de Diciembre, se reunieron en las instalaciones de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, los miembros del Jurado Evaluador del Trabajo de Suficiencia Profesional integrado por:

Presidente	:	DRA. MARGARITA FREDESVINDA MURILLO MANRIQUE	C.I.P. N° 59410
Secretario	:	MG. CARLOS HERNAN FLORES VELASQUEZ	C.I.P. N° 129506
Vocal	:	MG. FABRIZIO ARMANDO MILLAN MONTALVO	C.I.P. N° 112861

Designados con Resolución de Decanato N° 984-2023-UNTELS-R-D, de fecha 13 de diciembre del 2023.

Se da inició al acto público de sustentación y evaluación del Trabajo de Suficiencia Profesional, para obtener el Título Profesional de **INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**, bajo la modalidad de Titulación por Trabajo de Suficiencia Profesional (Resolución de Consejo Universitario N° 065-2023-UNTELS-CU de fecha 08 de agosto del 2023), en la cual se APRUEBA el “Reglamento, Directiva, Cronograma y Presupuesto del VI Programa de Titulación por la Modalidad de Trabajo de Suficiencia Profesional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur”; siendo que el Art. 4º del precitado Reglamento establece que: **“La Modalidad de Titulación prevista consiste en la presentación, aprobación y sustentación de un Trabajo de Suficiencia Profesional que dé cuenta de la experiencia profesional y además permita demostrar el logro de las competencias adquiridas en el desarrollo de los estudios de pregrado que califican para el ejercicio de la profesión correspondiente. Quienes participen en esta modalidad no podrán tramitar simultáneamente otras modalidades de titulación. Además, los participantes inscritos en esta modalidad, deberán acreditar un mínimo de dos (02) años de experiencia laboral, de acuerdo a lo establecido en la Resolución N° 174-2019- SUNEDU/CD y al anexo 1 sobre Glosario de Términos en el punto veinte (20)...”**, en el cual;

El Bachiller: **FRANK FELIX SUAREZ QUISPE**

Sustentó su Trabajo de Suficiencia Profesional: **“IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LAS EXCAVADORAS HITACHI MODELO ZX870LC-5 EN UNA EMPRESA DE ALQUILER DE MAQUINARIA PESADA, LURÍN”**

Concluida la Sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, se procedió a la calificación correspondiente según el siguiente detalle:

Condición Aprobado con Excelencia Equivalencia Excelente de acuerdo al Art. 65º del Reglamento General para el Otorgamiento de Grado Académico y Título Profesional de la UNTELS vigente.

Siendo las 16:35 del día 16 de diciembre del 2023 se dio por concluido el acto de sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, firmando la presente acta los miembros del Jurado.

Margarita Murillo M.  
Ingeniera Electricista  
Reg. C.I.P. 59410

DRA. MARGARITA FREDESVINDA MURILLO MANRIQUE  
C.I.P. N° 59410

MG. CARLOS HERNAN FLORES VELASQUEZ  
C.I.P. N° 129506

MG. FABRIZIO ARMANDO MILLAN MONTALVO  
INGENIERO ELECTRICISTA  
C.I.P. N° 112861

Nota: Art. 14º.- La sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional se realizará en un acto público. De faltar algún miembro del Jurado, la sustentación procederá con los dos integrantes presentes. En caso de ausencia del presidente del jurado, asumirá la presidencia el docente de mayor categoría y antigüedad. En caso de ausencia de dos o más miembros del jurado, la sustentación será reprogramada durante los 05 días siguientes.

## **DEDICATORIA**

Mi tesis lo dedico a mi madre que siempre me ha brindado su apoyo, no solo en la vida universitaria sino también, cuidándome y aconsejándome en todo momento; y sin ella no lo habría logrado.

A mis hermanos que siempre confiaron en mí, para lograr ser un profesional de éxito.

También a mis padrinos y enamorada por sus consejos.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a mi asesor que me ayudó con las inquietudes durante el desarrollo del Trabajo de Suficiencia Profesional y a la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur por la formación académica.

A la empresa que me facilitó toda la información necesaria para hacer posible este proyecto.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 CONTEXTO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL TRABAJO.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>3</b>
2.1.1 ANTECEDENTES NACIONALES .....	3
2.1.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	6
<b>2.2 BASES TEÓRICAS .....</b>	<b>8</b>
2.2.1 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO.....	8
2.2.2 MANTENIMIENTO.....	9
2.2.2.1 <i>Tipos de mantenimiento.....</i>	<i>9</i>
2.2.3 FILOSOFÍAS DEL MANTENIMIENTO .....	11
2.2.3.1 <i>TPM .....</i>	<i>11</i>
2.2.3.2 <i>RCM.....</i>	<i>12</i>
2.2.4 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.....	16
2.2.4.1 <i>Etapas de la gestión de mantenimiento .....</i>	<i>16</i>
2.2.5 MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	17
2.2.5.1 <i>Ventajas del mantenimiento predictivo .....</i>	<i>18</i>
2.2.5.2 <i>Desventajas del mantenimiento predictivo.....</i>	<i>19</i>
2.2.6 TÉCNICAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	19
2.2.6.1 <i>Técnica de Inspecciones visuales.....</i>	<i>19</i>
2.2.6.2 <i>Técnica líquidos penetrantes .....</i>	<i>20</i>
2.2.6.3 <i>Análisis de aceite .....</i>	<i>22</i>
2.2.6.3 <i>Termografía .....</i>	<i>26</i>
2.2.6.4 <i>Análisis de vibraciones: .....</i>	<i>28</i>
2.2.6.5 <i>Partículas magnéticas.....</i>	<i>30</i>



2.2.6.6 <i>Ultrasonido</i> .....	31
2.2.7 INDICADORES DE MANTENIMIENTO .....	32
2.2.8 INDICADORES FINANCIEROS DE INVERSIÓN .....	35
2.2.9 MAQUINARIAS PESADAS.....	36
<b>2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....</b>	<b>39</b>
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO</b>	
<b>PROFESIONAL .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1. DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2. MODELO DE SOLUCIÓN PROPUESTO .....</b>	<b>46</b>
3.2.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS SISTEMAS DE LAS EXCAVADORAS .....	46
3.2.1.1 <i>Recolección de datos</i> .....	48
3.2.2 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGOS (NPR) DE LAS FALLAS CRÍTICAS EN LAS EXCAVADORAS HITACHI ZX870LC-5 .....	49
3.2.3 PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO MEDIANTE LA TÉCNICA DE INSPECCIÓN VISUAL .....	60
3.2.4 PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN ANÁLISIS DE ACEITE.....	62
3.2.5 PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR LÍQUIDOS PENETRANTES .....	85
3.2.6 PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS ...	87
3.2.7 PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ULTRASONIDO .....	89
3.2.8 PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR TERMOGRAFÍA.....	98
3.2.9 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA .....	100
<b>3.3 RESULTADOS.....</b>	<b>101</b>
3.3.1 COMPARACIÓN DE LOS INDICADORES DE LAS EXCAVADORAS ZX870LC-5 .....	105
3.3.2 BENEFICIOS ECONÓMICOS .....	106
3.3.3 INDICADORES FINANCIEROS DE LA PROPUESTA .....	106
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>110</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>111</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>116</b>

ANEXO 1. FORMATO DE ENCUESTA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	117
ANEXO 2. FORMATO DE INSPECCIÓN VISUAL DE LAS EXCAVADORAS .....	118
ANEXO 3. FORMATO DE INSPECCIÓN DEL CUCHARÓN DELANTERO .....	120
ANEXO 4. FORMATO DE INSPECCIÓN DE TÉCNICA PREDICTIVA POR LÍQUIDOS PENETRANTES, PARTÍCULAS MAGNÉTICAS Y ULTRASONIDO .....	121
ANEXO 5. FORMATO DE INSPECCIÓN DE TÉCNICA PREDICTIVA POR TERMOGRAFÍA ...	122
ANEXO 6. FORMATO DE INSPECCIÓN DE TREN DE RODAMIENTO .....	123
ANEXO 7. MODELO DE FICHA DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ACEITES DE LA EXCAVADORA ENTREGADO POR EL LABORATORIO TERPEL .....	125
ANEXO 8. CUADRO DE LÍMITES PERMISIBLES DE COMPONENTES DEL TREN DE RODAMIENTO.....	127
ANEXO 9. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A LAS EXCAVADORAS HITACHI MODELO ZX870LC-5 .....	128
ANEXO 10. FOTOGRAFÍAS DE INSPECCIONES REALIZADAS EN LA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A LAS EXCAVADORAS HITACHI MODELO ZX870LC-5.....	129

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Evolución del mantenimiento a lo largo del tiempo .....	9
<b>Figura 2.</b> Ejecución del mantenimiento en el equipo .....	11
<b>Figura 3.</b> Matriz general de criticidad.....	15
<b>Figura 4.</b> Guía de criticidad.....	16
<b>Figura 5.</b> Ejemplo de aplicación por tintes penetrantes .....	21
<b>Figura 6.</b> Generación de contaminación del aceite.....	22
<b>Figura 7.</b> Composición del aceite lubricante .....	24
<b>Figura 8.</b> Contaminación del aceite por partículas generados por desgaste .....	25
<b>Figura 9.</b> Aplicación de la termografía en un motor eléctrico.....	27
<b>Figura 10.</b> Vibración por desalineamiento .....	28
<b>Figura 11.</b> Vibración por fallo en rodamientos .....	29
<b>Figura 12.</b> Aplicación del ultrasonido en un equipo rotativo .....	32
<b>Figura 13.</b> Excavadora Hitachi modelo ZX870LC-5.....	37
<b>Figura 14.</b> Organigrama del Área de Servicio Técnico de la empresa de alquiler de maquinaria pesada.....	41
<b>Figura 15.</b> Disponibilidad Mecánica de las excavadoras en el año 2022 .....	43
<b>Figura 16.</b> Gráfica de barras de la Disponibilidad Mecánica de las excavadoras en el año 2022.....	43
<b>Figura 17.</b> Gráfica de barras de Disponibilidad Mecánica 2022 de las excavadoras Hitachi ZX870LC-5.....	44
<b>Figura 18.</b> Factores para determinar la criticidad de los sistemas de las excavadoras .....	47
<b>Figura 19.</b> Cuadro de nivel de criticidad .....	48
<b>Figura 20.</b> Matriz General de los sistemas de las excavadoras ZX870LC-5 .....	49
<b>Figura 21.</b> Procedimiento para ejecución de mantenimiento predictivo por inspección visual .....	60
<b>Figura 22.</b> Procedimiento del análisis de aceite .....	62
<b>Figura 23.</b> Frecuencia de cambio del lubricante por tipo de PM.....	65
<b>Figura 24.</b> Frecuencia de muestreo del lubricante por tipo de PM .....	66
<b>Figura 25.</b> Límites permisibles de análisis del lubricante 15W-40 proporcionado por Laboratorio Terpel.....	68

<b>Figura 26.</b> Límites permisibles de análisis del lubricante 80W-90 proporcionado por Laboratorio Terpel.....	68
<b>Figura 27.</b> Límites permisibles del análisis del lubricante hidráulico proporcionado por Laboratorio Terpel.....	69
<b>Figura 28.</b> Procedimiento para la toma de muestra del lubricante.....	70
<b>Figura 29.</b> Resultados de análisis de aceite hidráulico del equipo M161857 .....	71
<b>Figura 30.</b> Resultados de análisis de aceite de motor del equipo M161857 .....	72
<b>Figura 31.</b> Resultados de análisis de aceite de PTO del equipo M161857 .....	72
<b>Figura 32.</b> Resultados de análisis de aceite de mando final LH del equipo M161857 .....	73
<b>Figura 33.</b> Resultados del análisis de aceite de mando final RH del equipo M161857 .....	74
<b>Figura 34.</b> Resultados análisis de aceite del motor de giro LH del equipo M161857 .....	74
<b>Figura 35.</b> Resultados análisis de aceite del motor de giro RH del equipo M161857 .....	75
<b>Figura 36.</b> Resultados de análisis de aceite de motor del equipo M16185.....	75
<b>Figura 37.</b> Resultados de análisis de aceite hidráulico del equipo M161859 .....	76
<b>Figura 38.</b> Resultados de análisis de aceite de PTO del equipo M161859 .....	77
<b>Figura 39.</b> Resultados de análisis de aceite del mando final RH del equipo M161859 .....	78
<b>Figura 40.</b> Resultados de análisis de aceite del mando final LH del equipo M161859 .....	78
<b>Figura 41.</b> Resultados análisis de aceite del motor de giro LH del equipo M161859 .....	79
<b>Figura 42.</b> Resultados análisis de aceite del motor de giro RH del equipo M161859 .....	80
<b>Figura 43.</b> Resultados de análisis de aceite de motor del equipo M160992.....	80
<b>Figura 44.</b> Resultados de análisis de aceite hidráulico del equipo M160992 .....	81
<b>Figura 45.</b> Resultados de análisis de aceite de PTO del equipo M160992 .....	82
<b>Figura 46.</b> Resultados de análisis de aceite del mando final LH del equipo M160992 .....	82
<b>Figura 47.</b> Resultados de análisis de aceite del mando final RH del equipo M160992 .....	83

<b>Figura 48.</b> Resultados análisis de aceite de motor de giro LH del equipo M160992 .....	84
<b>Figura 49.</b> Procedimiento para ejecución de mantenimiento predictivo por líquidos penetrantes .....	85
<b>Figura 50.</b> Procedimiento para ejecución de mantenimiento predictivo por partículas magnéticas .....	87
<b>Figura 51.</b> Procedimiento para ejecución de mantenimiento predictivo por ultrasonido.....	89
<b>Figura 52.</b> Prueba de cilindros hidráulicos por ultrasonido .....	91
<b>Figura 53.</b> Flujograma de medición de tren de rodamiento con ultrasonido .....	92
<b>Figura 54.</b> Herramienta ultrasonido para medición de tren de rodamiento .....	93
<b>Figura 55.</b> Encabezado del reporte de tren de rodamiento .....	93
<b>Figura 56.</b> Medición de holgura de cadena .....	93
<b>Figura 57.</b> Medición de bujes con ultrasonido .....	94
<b>Figura 58.</b> Medición de altura de eslabones con ultrasonido.....	95
<b>Figura 59.</b> Medición de altura de garra de zapatas con ultrasonido .....	95
<b>Figura 60.</b> Medición de rodillos inferiores con ultrasonido.....	96
<b>Figura 61.</b> Medición de rodillos superiores con ultrasonido.....	96
<b>Figura 62.</b> Medición de rueda guía .....	97
<b>Figura 63.</b> Medición de paso de cadena.....	97
<b>Figura 64.</b> Procedimiento para ejecución de mantenimiento predictivo por termografía .....	98

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Intervalos de valores del NPR.....	13
<b>Tabla 2.</b> Índice de detección del RPN.....	14
<b>Tabla 3.</b> Índice de gravedad del RPN .....	14
<b>Tabla 4.</b> Índice de ocurrencia del RPN .....	14
<b>Tabla 5.</b> Flota de excavadoras en el periodo 2022 de la empresa de alquiler de maquinaria pesada.....	42
<b>Tabla 6.</b> Rangos de Disponibilidad Mecánica en la empresa .....	42
<b>Tabla 7.</b> Indicadores MTBF, MTTR y DM de la excavadora M160992 .....	44
<b>Tabla 8.</b> Indicadores MTBF, MTTR y DM de la excavadora M161857 .....	45
<b>Tabla 9.</b> Indicadores MTBF, MTTR y DM de la excavadora M161859 .....	45
<b>Tabla 10.</b> Indicadores de mantenimiento de las excavadoras Hitachi ZX870LC-5 en el año 2022.....	46
<b>Tabla 11.</b> Escala de nivel de criticidad.....	47
<b>Tabla 12.</b> Muestra para encuesta de análisis de criticidad .....	48
<b>Tabla 13.</b> AMEF y número de prioridad de riesgos de fallas críticas de las excavadoras ZX870LC-5.....	50
<b>Tabla 14.</b> Frecuencia de mantenimiento predictivo por inspección visual .....	61
<b>Tabla 15.</b> Características de excavadora Hitachi ZX870LC-5.....	63
<b>Tabla 16.</b> Características del lubricante de motor.....	64
<b>Tabla 17.</b> Características del lubricante hidráulico.....	64
<b>Tabla 18.</b> Características del lubricante de engranajes .....	64
<b>Tabla 19.</b> Frecuencias de cambio del lubricante en las excavadoras .....	65
<b>Tabla 20.</b> Frecuencias de muestreo del lubricante en las excavadoras.....	66
<b>Tabla 21.</b> Parámetros a analizar del lubricante de motor.....	67
<b>Tabla 22.</b> Parámetros a analizar del lubricante de engranajes .....	67
<b>Tabla 23.</b> Parámetros a analizar del lubricante hidráulico .....	67
<b>Tabla 24.</b> Componentes para aplicación predictiva por líquidos penetrantes .....	86
<b>Tabla 25.</b> Frecuencia de mantenimiento predictivo por líquidos penetrantes .....	86
<b>Tabla 26.</b> Componentes para aplicación predictiva por partículas magnéticas....	88
<b>Tabla 27.</b> Frecuencia de mantenimiento predictivo por partículas magnéticas....	88
<b>Tabla 28.</b> Frecuencia de mantenimiento predictivo por ultrasonido .....	90



<b>Tabla 29.</b> Componentes para aplicación predictiva por termografía .....	99
<b>Tabla 30.</b> Frecuencia de mantenimiento predictivo por termografía .....	100
<b>Tabla 31.</b> Evaluación económica de capacitación al personal .....	100
<b>Tabla 32.</b> Evaluación económica de herramientas e instrumentos .....	101
<b>Tabla 33.</b> Evaluación económica total de la propuesta .....	101
<b>Tabla 34.</b> Indicador MTBF con mantenimiento predictivo implementado.....	102
<b>Tabla 35.</b> Indicador MTTR con mantenimiento predictivo implementado .....	102
<b>Tabla 36.</b> Indicador disponibilidad mecánica con mantenimiento predictivo implementado.....	103
<b>Tabla 37.</b> Indicadores de la excavadora M160992 con mantenimiento predictivo implementado.....	104
<b>Tabla 38.</b> Indicadores de la excavadora M161857 con mantenimiento predictivo implementado.....	104
<b>Tabla 39.</b> Indicadores de la excavadora M161859 con mantenimiento predictivo implementado.....	104
<b>Tabla 40.</b> Cuadro comparativo de resultados de indicadores de mantenimiento .....	105
<b>Tabla 41.</b> Cuadro de beneficios económicos por reducción de horas de reparación .....	106
<b>Tabla 42.</b> Flujo de caja proyectado .....	106
<b>Tabla 43.</b> Flujo de caja para el cálculo del payback.....	108
<b>Tabla 44.</b> Tabla de resumen de indicadores financieros.....	109

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en una empresa que brinda el servicio de alquiler y venta de maquinaria pesada ubicada en el distrito de Lurín. El propósito de la investigación es mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5 mediante la implementación del mantenimiento predictivo. Esto nos ha permitido reducir y predecir posibles fallos críticos que podrían provocar paradas no programadas y costos elevados de reparación.

Esta investigación es de tipo descriptivo, ya que explica la situación actual de la disponibilidad mecánica con respecto a las excavadoras, y al mismo tiempo, es un estudio de nivel aplicativo, ya que busca desarrollar una estrategia de mantenimiento para alcanzar el objetivo planteado.

El modelo de solución propuesto busca analizar cuáles son los sistemas y componentes más críticos en las excavadoras mediante la aplicación de análisis de criticidad y el Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMEF), con el fin de llevar a cabo un plan de mantenimiento predictivo. que nos ayudará a minimizar estos fallos e incrementar la disponibilidad mecánica. Las técnicas predictivas utilizadas incluyen la inspección visual, el análisis de aceite, los líquidos penetrantes, las partículas termomagnéticas, el ultrasonido y la termografía.

Los resultados obtenidos nos indican que al implementar un plan de mantenimiento predictivo en las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5, se logró un incremento en la disponibilidad mecánica del 83.04% al 92.34%, un aumento del MTBF de 318.01 horas a 367.68 horas y una disminución significativa del MTTR de 64.95 horas a 30.50 horas. Esto se traduce en beneficios para la empresa, como una mayor satisfacción del cliente y una mayor rentabilidad.

**Palabras clave:** Disponibilidad mecánica, MTBF, MTTR, excavadora, criticidad, mantenimiento predictivo.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de suficiencia profesional titulado “Implementación del mantenimiento predictivo para mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5 en una empresa de alquiler de maquinaria pesada, Lurín” tiene como propósito mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5 a través de un modelo propuesto que analizará el estado actual de la disponibilidad mecánica de las excavadoras y definirá las estrategias para la implementación de técnicas de mantenimiento predictivo en los sistemas críticos de las excavadoras. Con esta aplicación, se busca abordar y solucionar la problemática existente en la empresa en relación con la disponibilidad mecánica de estos equipos.

El desarrollo de este trabajo de investigación se ha estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo 1, se abordan los aspectos generales donde se describe el contexto laboral en el cual se desarrolla el trabajo de investigación. Asimismo, se describen las delimitaciones, tanto temporales como espaciales y se establecen los objetivos que se busca alcanzar al aplicar el presente trabajo de investigación.

En el capítulo 2, se hace referencia al marco teórico, en el cual se mencionan los antecedentes relacionados con la investigación. Además, se presentan las bases teóricas necesarias en relación al tema de la investigación y se complementan con la definición de los términos básicos que se utilizaron a lo largo del trabajo de suficiencia profesional.

En el capítulo 3, se presenta el desarrollo del trabajo profesional, donde se lleva a cabo el análisis de la problemática identificada en la empresa. Posteriormente, se presenta el modelo de solución propuesto, el cual contribuirá a mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras mediante la implementación del mantenimiento predictivo y en la última parte del capítulo se presentan los resultados obtenidos de la investigación.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas, las cuales se relacionan con los objetivos planteados al inicio de la investigación.

## **CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 Contexto**

#### Misión

La empresa de alquiler de maquinaria pesada tiene como misión brindar un servicio de clase mundial en el mercado de alquiler y venta de maquinaria pesada, cumpliendo las expectativas de sus clientes mediante personal profesional y comprometido con principios éticos y valores corporativos.

#### Visión

Ser una empresa productora de valor constante, de crecimiento permanente en donde sean los primeros en la mente de sus clientes y referentes en el mercado de alquiler y venta de maquinaria usada.

#### Servicios

Esta empresa brinda el servicio de alquiler de equipos de maquinaria pesada, grupos electrógenos, equipos agrícolas, entre otros. Además, realiza la venta de los equipos usados ya mencionados anteriormente.

Entre los equipos de maquinaria pesada se encuentran las excavadoras, motoniveladoras, retroexcavadoras, cargadores frontales, retroexcavadoras, bulldozer, rodillos y martillos hidráulicos. En los equipos agrícolas se incluyen los atomizadores y tractores agrícolas. También ofrecen equipos para alquilar como generadores, compresoras, torres de iluminación y camiones cisternas de agua.

## **1.2 Delimitación temporal y espacial del trabajo**

### **Delimitación temporal y espacial del trabajo**

El presente trabajo de suficiencia profesional se desarrolló durante el periodo del mes de agosto a diciembre del año 2023 en una empresa de alquiler de maquinaria pesada, ubicado en el distrito de Lurín, departamento de Lima, Perú.

Este trabajo se llevó a cabo mediante la investigación y análisis de cómo implementar un plan de mantenimiento predictivo en las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5 de potencia de 483 HP, con el objetivo de mejorar la disponibilidad y satisfacer con las exigencias del cliente durante el periodo de alquiler de los equipos.

## **1.3 Objetivos**

1. Analizar la disponibilidad mecánica actual de las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5.
2. Establecer un plan de mantenimiento predictivo aplicado a las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5.
3. Analizar el impacto generado del mantenimiento predictivo sobre la disponibilidad mecánica de las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5 en una empresa de alquiler de maquinaria pesada.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes**

#### **2.1.1 Antecedentes Nacionales**

Avendaño (2022) en su tesis “Propuesta de un plan de mantenimiento predictivo basado en la norma ISO 55000 para maquinaria pesada de la municipalidad provincial de Chucuito Juli” pretende utilizar métodos predictivos para mejorar el funcionamiento de toda la flota de maquinaria pesada que están presentando problemas en sus servicios que brindan a los centros poblados, distritos y comunidades de la provincia, es por ello que el objetivo de la investigación es realizar una serie de estudios en el departamento de equipo mecánico en toda la flota de maquinaria pesada que tiene. La investigación es de tipo descriptivo no experimental, se recolectó información valiosa mediante encuestas, la muestra es de 21 colaboradores; esto da a conocer la situación actual en la que se encuentra el sistema de mantenimiento del departamento mecánico y el estado de la operatividad de la maquinaria que intervienen en el desarrollo de las actividades que realiza. Dando como conclusión que este departamento se encuentre de forma eficaz para participar en aspectos relevantes dentro de la institución como calcular los costos de vida que provienen de las actividades de reparación, diagnóstico y mantenimiento de los equipos.

Ravines (2020) en su tesis titulada “Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento predictivo para incrementar la disponibilidad mecánica de una flota de maquinaria pesada de una empresa de servicios de maquinaria” menciona que en el área de servicio se encuentran muchas dificultades ya que al momento de alquilarlas están sin funcionar, donde la organización carece de un plan de mantenimientos predictivo para su uso. La finalidad es diseñar un procedimiento de gestión de mantenimiento predictivo para ampliar la disponibilidad mecánica de una flota de maquinaria pesada de la empresa que realiza servicios; los métodos y técnicas que se estudiaron en



esta investigación fueron la entrevista, análisis de indicadores, observación directa y encuesta; todas ellas nos ayudaron al análisis de los datos, recolección y procesamiento. El resultado que se obtuvo es una disponibilidad de las máquinas que fue de 84%, la cual es baja contemplando un porcentaje aceptable de 90% a más; se logró crecer la disponibilidad de las máquinas de 84% a 91%.

Iberico Robles & Figueroa Grados (2019) con su tesis “Diagnostico de fallas, por mantenimiento predictivo, para optimizar el servicio post venta de maquinaria pesada volvo, en una empresa concesionaria automotriz” nos dice que los procesos no se terminan debido a la pausa no programada de las maquinarias, lo cual está afectando al área de logística para que pueda contar con los repuestos a tiempo, por lo que el objetivo es evaluar la situación inicial de las fallas mediante el mantenimiento predictivo para que se pueda realizar el requerimiento oportunamente de las partes e insumos de las maquinarias. La investigación tiene un diseño descriptivo de tipo pre experimental, dentro del estudio longitudinal, aplicando un muestreo de 3 tipos de maquinaria pesada que está constituida por Excavadoras EC380 DL, Excavadoras EC750 DL y Cargadores L150 H en el departamento de Huamachuco. Dando como conclusión que la técnica, el Tiempo Total de Operación TTO permitió obtener una mejora en la disponibilidad mínima de las máquinas en un 30.91% (de 58.77% a 89.68%) dando como resultados la mejora del sistema de mantenimiento que permita la optimización de la productividad y organización a toda la unidad.

Portocarrero Servan & Rabanal Delgado (2019) en su tesis que tiene por título “Mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los remolcadores con motor CUMMINS ISX en una empresa de transporte de carga” nos presenta que existe una problemática en la mala aplicación de la recomendación brindada por el fabricante original para el cuidado de las máquinas que está afectando a la empresa en la distribución de su mercadería. Por lo expuesto, tiene como

objetivo mejorar la identificación de los resultados, toma de muestras de aceite, análisis de aceite, diagnóstico y componente a monitorear el motor Cummins ISX en la empresa que está ubicada en Huachipa. Esta investigación tiene un método inductivo y de nivel aplicada, mientras que el diseño es no experimental; la muestra representativa es de 3 remolcadores que se tomó de manera aleatoria de un total de 380. Luego de la recolección de datos se obtuvo como resultado los límites tolerables de contaminación y desgaste que debe tomar como referencia el OEM y en el caso de la viscosidad la norma SAE J300, esto accede llevar una inspección de la condición del motor Cummins ISX, el cual se refleja con los resultados del análisis de aceite que comprueban que los parámetros elegidos están dentro de los límites aceptables.

Jara Yalta & Condori Portocarrero (2019) en su tesis “Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento predictivo y su relación con la disponibilidad mecánica de las excavadoras Hitachi 2500 en una empresa minera, 2018” menciona que el área de mantenimiento de la organización busca dar un servicio de calidad, pero sin embargo en la actualidad tienen problemas debido a los pocos recursos de excavadoras Hitachi 2500, por pausas no programadas causadas por fallas de las mismas. Por lo que se tiene como objetivo principal el diseño de un sistema de gestión de mantenimiento predictivo y su relación con la disponibilidad mecánica de las excavadoras Hitachi 2500, en el cual se observa que existen tres principales problemas que generan el mayor número de paradas como el sistema hidráulico, lubricación y carrilería. Esta investigación tiene un método cuantitativo y de nivel aplicada, mientras que el diseño es no experimental; la investigación está utilizando la metodología PDCA o ciclo Deming para la realización del diseño de gestión de mantenimiento, donde se aplicó y se obtuvo de un promedio general de 83.7% a una disponibilidad mecánica que mejorará a un 90%, mediante los índices de mantenimiento como el MTBF (tiempo medio entre paradas por fallas) y El MTTR (tiempo medio para reparar). Dando como conclusión que tener un diseño de un procedimiento de gestión de mantenimiento predictivo aumenta la disponibilidad mecánica

de las excavadoras, así mismo disminuye las constantes paradas no programadas y de esta manera incrementa la rentabilidad de la organización.

### **2.1.2 Antecedentes Internacionales**

Mafla, et al., (2022) en su artículo “Mantenimiento predictivo en tractores agrícolas. Propuesta de metodología orientada al mantenimiento conectado”, comprueban que las técnicas de mantenimiento predictivo, y en específico las basadas en monitoreo de condición están recibiendo gran interés dentro de la gestión de mantenimiento por su interrelación con los pilares del paradigma Industria 4.0 que se están formando en la industria. El prever fallos antes de que pueda acontecer es una de las ventajas más importantes de esta técnica que impide paradas inesperadas y reduce los costos de mantenimiento y operación. La intención de este estudio es dar a conocer las técnicas asociadas al funcionamiento de un mantenimiento predictivo en tractores agrícolas y las virtudes que estas podrían originar. Se concluye que el procesamiento de los datos obtenidos permitirá comprobar la existencia de una banda de frecuencia en las vibraciones que reconocen si el motor está en buen o mal estado, para determinar qué bandas están exentas a las condiciones del funcionamiento del motor.

Zambrano Castro & Pérez Guerrero (2021) con su artículo “Estudio de la aplicación del mantenimiento predictivo en motores diésel en la provincia de Manabí” considera que el mantenimiento predictivo de motores de combustión interna está en constante crecimiento y puesto en práctica en el mundo, sin embargo se desconoce el estado de la aplicación de las técnicas del mantenimiento predictivo en motores diésel, se infiere que el objetivo es explicar el logro del estudio exploratorio en la aplicación del instrumento para así conocer la técnicas, preparación y equipamiento. El estudio ha aplicado diferentes métodos como la observación directa, la entrevista no estructurada, el análisis sistémico y documental, el diseño del

instrumento se evaluó con preguntas enfocadas a tres variables; aplicando un muestreo en 24 talleres. En consecuencia se identificó que en los centros de servicio automotriz el personal se desempeña de manera empírica y carecen de técnicas como gases, termografía, análisis de aceite y vibraciones, por lo que el estado de la aplicación de las técnicas en la provincia de Manabí no es muy óptimo.

Luna, et al., (2020) en su artículo “Diseño de una metodología de mantenimiento predictivo para asegurar procesos de producción de la industria 4.0” determina que el mantenimiento predictivo es el conjunto de acciones y técnicas aplicadas para detectar los posibles fallos y/o defectos que se puedan generar en las máquinas que esté en etapas incipientes de su proceso. El objetivo es diseñar una metodología de mantenimiento predictivo para la industria 4.0 que se realizará mediante el monitoreo en tiempo real de los componentes, empleando las herramientas que implican el uso de la industria inteligente. Es importante mencionar que para el desarrollo de la industria 4.0, existen fábricas inteligentes con mantenimiento automatizado y la eficiencia está mejorando de forma considerable. Por lo que la idea es llevar “más inteligencia” al área de mantenimiento, basadas en la información que les llega en tiempo real, ayudándose de datos esenciales que antes pasaba inadvertido o “demoran” en llegar. Concluye así que el mantenimiento predictivo ya no es una costumbre sino una realidad, puesto que numerosas empresas sobre todo del sector industrial y de manufacturación están definiendo sus estrategias para obtener resultados específicos, mientras que el número de individuos involucrados en PCM por sitio o por flota de vehículos disminuirá, por otro lado la cantidad de “trabajadores con conocimiento” de PCM aumentará y poder aprovechar mejor sus funcionalidades para que el valor de PCM llegue a ser conocido por los directores; se puede decir que la intención a competir aumentará en el mercado global.

## 2.2 Bases Teóricas

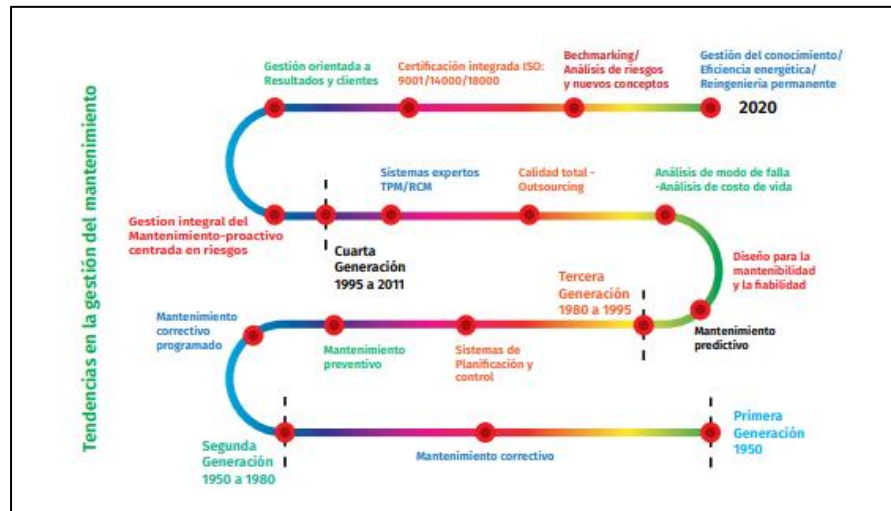
### 2.2.1 Historia del mantenimiento

Pérez (2021) indica que, desde épocas antiguas, los seres humanos realizan diversas acciones con el fin de garantizar su alimentación y seguridad, lo cual incluía llevar a cabo tareas de mantenimiento, para mejorar las herramientas que construyen. Así como la humanidad ha progresado en sus fases de producción de bienes y servicios, de manera paralela, el campo del mantenimiento también ha experimentado avances. (p. 27)

Asimismo Avendaño (2022) considera que la evolución de mantenimiento se llegó a dar en cuatro generaciones distintas:

- Primera Generación. Comprende desde la Revolución Industrial hasta la Post-Revolución de la Segunda Guerra Mundial, donde el enfoque del mantenimiento se limitaba a intervenir el equipo solo cuando surgía un fallo, conocido como mantenimiento correctivo. (p. 25)
- Segunda Generación. Abarca desde la Segunda Guerra Mundial hasta finales de la década de 1970, Se centra en la relación entre la antigüedad del equipo y las posibles causas detrás de su mal funcionamiento y condujo a la implementación de sustituciones preventivas, conocidas como mantenimiento preventivo. (p.25)
- Tercera Generación. A inicios de la década de 1980, se llevó a cabo el desarrollo de estudios de CAUSA-EFECTO con el propósito de descubrir el origen de los problemas. En este punto, el mantenimiento predictivo comenzó a ganar importancia al posibilitar la detección temprana de síntomas o fallas, permitiendo la intervención antes de que ocurra la avería. (p. 26)
- Cuarta Generación. Fue lanzada a principios de los años 90, programada para integrar el mantenimiento como parte del concepto de calidad total, donde se concibe el mantenimiento como un proceso empresarial en el que también intervienen otros departamentos y que puede garantizar la disponibilidad del equipo al mismo tiempo que reduce los costos. (p. 26)

**Figura 1. Evolución del mantenimiento a lo largo del tiempo**



Fuente: Pérez, (2021)

## 2.2.2 Mantenimiento

Jiménez (2022) considera que:

“Es una actividad que se lleva a cabo con el objetivo de garantizar que los equipos y maquinarias se mantengan en un estado óptimo para su uso continuo, logrando esto a través de una gestión eficaz de los gastos involucrados”. (p. 40)

Autor como Pérez (2021) indica que el mantenimiento es una serie de actividades y/o tareas que deben llevar a cabo los responsables del área de mantenimiento, con el objetivo de garantizar que los equipos, maquinarias, componentes e instalaciones cumplan con la función para la cual han sido construido y diseñado. (p. 21)

### 2.2.2.1 Tipos de mantenimiento

#### Mantenimiento correctivo

Rajadell (2021) considera que:

“El mantenimiento correctivo consiste en restablecer la función de un elemento que ha dejado de tenerla, debido a una causa determinada”. (p. 234)

Sostiene Pérez (2021) que el mantenimiento correctivo es también conocido como mantenimiento reactivo, la cual es aplicado



cuando la máquina y/o equipo dejó de funcionar debido a una avería existente que impide que la máquina cumpla con su funcionamiento, por lo que se debe de reemplazar o reparar el componente dañado y ponerlo nuevamente en operación, en el menor tiempo posible para no afectar la productividad para lo cual ha sido adquirido. (p. 37)

### **Mantenimiento preventivo**

Según Luque (2022), nos dice que el objetivo principal:

“Es posible reducir las reparaciones gracias a la realización de inspecciones periódicas y a la renovación de los elementos dañados” (p. 92).

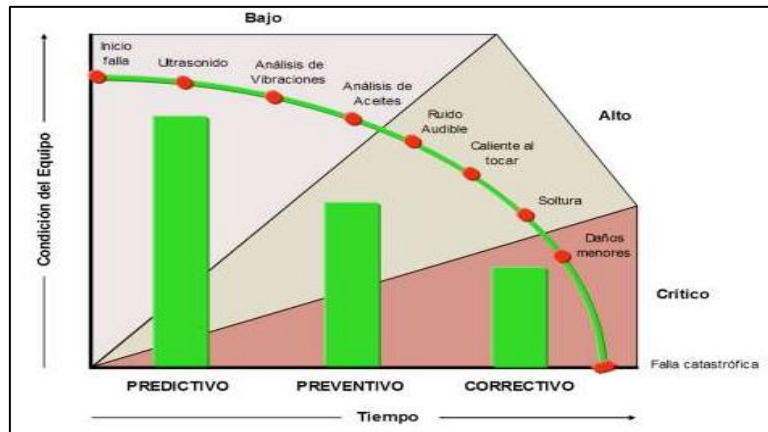
Con la finalidad de disminuir las horas de parada de la máquina y reparaciones no planificadas, para tener un aumento en la disponibilidad de la máquina y reducción de costos por mantenimiento. Pero también se debe considerar tener un plan de mantenimiento adecuado ya que al exceder en su utilización se podría originar gastos innecesarios y reducción de disponibilidad.

Por su parte Avendaño (2022) sostiene que el mantenimiento preventivo tiene como finalidad disminuir las reparaciones de una máquina por medio de inspecciones y cambio de elementos, estos periodos de tiempos deben ser seleccionados correctamente y ejecutados por el personal de mantenimiento o el operador. Estas inspecciones periódicas incluyen actividades de limpieza, ajuste, calibración, lubricación y protección. (p. 27)

### **Mantenimiento predictivo**

Para Ravines (2020) la finalidad del mantenimiento predictivo es predecir el suceso de una falla en un equipo, comparando las variables obtenidas al realizar monitoreos programados y dado por el fabricante, la cual nos alerte parámetros fuera de lo previsto y se pueda tomar la acción correctiva en el momento adecuado.

**Figura 2.** Ejecución del mantenimiento en el equipo



Fuente: Avendaño, (2022)

## 2.2.3 Filosofías del mantenimiento

### 2.2.3.1 TPM

Señala Torres (2015) que el Mantenimiento Productivo Total (TPM), es un sistema japonés que evolucionó a partir del mantenimiento preventivo. Su finalidad principal es optimizar la efectividad total de los sistemas de producción para así eliminar las pérdidas, teniendo que involucrar a todos los empleados de la organización, desde los directivos hasta los operarios. (p. 197)

El TPM proporciona los siguientes beneficios desde una perspectiva estratégica y operativa, según Rajadell (2021):

- a. Perspectiva estrategia.
  - Incorporar el TPM en todos los departamentos de la empresa.
  - Potenciar el trabajo en equipo y la moral del empleado
  - Aprendizaje permanente
  - Modificar la forma de pensar mediante la adopción de una mentalidad de cero averías, cero defectos y cero accidentes.
- b. Perspectiva operativa.
  - Incrementar la eficacia de las instalaciones y de los equipos reduciendo los tiempos muertos

- Mejora de fiabilidad y disponibilidad de los equipos
- Reducción de los costos de mantenimiento
- Mejora de calidad del producto final
- Desarrollo de un sistema de mantenimiento acorde a los equipos de la organización con participación de todos los involucrados. (p. 233)

### **Pilares del mantenimiento productivo total**

Torres (2015) indica que para lograr los objetivos del TPM se debe de tener en cuenta los 8 pilares que son la base fundamental de esta metodología. Estos pilares señalan la vía para reducir o eliminar pérdidas al tratar asuntos como paradas programadas, ajustes en la producción, fallos de equipos, fallos de procesos, pérdidas de producción, problemas de calidad y retrabajo. Los 8 pilares del TPM son: (1) Mejoramiento enfocado, (2) Mantenimiento autónomo, (3) Mantenimiento planeado, (4) Capacitación y entrenamiento, (5) Control inicial, (6) Mantenimiento de calidad, (7) Eficiencia administrativa, (8) Seguridad y medio ambiente. (p. 179)

#### **2.2.3.2 RCM**

Para Acuña (2022), el mantenimiento centrado en la confiabilidad conocido como RCM es una metodología donde un grupo de personas se dedica a mejorar la operatividad de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo específicas. Esto se consigue al determinar las acciones de mantenimiento más eficaces en base a la criticidad de los activos dentro del sistema y al considerar los posibles modos de falla que podrían tener los activos en la seguridad, el entorno y las operaciones. En conclusión con el RCM podemos desarrollar estrategias de mantenimiento eficientes con el fin de garantizar el cumplimiento del estándar en los procedimientos de producción.

En el proceso de la implementación del RCM dentro de la organización, hay 7 preguntas que se debe de responder dentro de la etapa inicial. (p. 57)

- a. ¿Cuáles son las funciones y estándares de rendimiento del activo?
- b. ¿De qué manera puede fallar el activo?
- c. ¿Qué causa la falla?
- d. ¿Qué sucede cuando ocurre una falla?
- e. ¿De qué forma impacta la falla?
- f. ¿Qué se puede hacer para prevenir la falla?
- g. ¿Qué sucede si no podemos prevenir la falla?

## Herramientas del RCM




### a) AMEF

Señala Mosquera (2022) que el análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) es un procedimiento que se lleva a cabo en los procesos operativos de una empresa para detectar fallas mediante la recopilación de información y análisis. Esta metodología tiene como objetivo identificar las posibles fallas, sus modos de fallo, sus causas y consecuencias, con la finalidad de prevenir o reducir la probabilidad de que vuelva a ocurrir la falla potencial. (p. 23)

El Número de Prioridad de Riesgo, conocido por sus siglas NPR, es una herramienta del AMEF que permite priorizar los modos de fallos y sus causas en función de los niveles de detección, gravedad y frecuencia. Se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$\text{NPR} = \text{Detección} \times \text{Gravedad} \times \text{Ocurrencia}$$

**Tabla 1.** Intervalos de valores del NPR

Descripción	Rango	Color
Falla aceptable	$\text{NPR} \leq 125$	
Falla reducible a aceptable	$125 < \text{NPR} \leq 200$	
Falla indeseable	$\text{NPR} > 200$	

Fuente: Mosquera (2022)

**Tabla 2.** Índice de detección del RPN

<b>Descripción</b>	<b>Puntaje</b>
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Fuente: Mosquera (2022)

**Tabla 3.** Índice de gravedad del RPN

<b>Descripción</b>	<b>Puntaje</b>
Imperceptible, ínfima	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, falla, pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, problemas de seguridad	10

Fuente: Mosquera (2022)

**Tabla 4.** Índice de ocurrencia del RPN

<b>Descripción</b>	<b>Puntaje</b>
1 falla en más de dos años	1
1 falla cada dos años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 y 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

Fuente: Mosquera (2022)

En la Tabla 1 se muestran los intervalos de los valores del NPR de acuerdo a su clasificación. En las tablas del 2 al 4 se detallan los puntajes para determinar los valores de detección, gravedad y ocurrencia, respectivamente.

## b) Análisis de criticidad

Según Iberico & Figueroa (2019) es una técnica que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos en base a su influencia global, con el propósito de simplificar la toma de decisiones. Para llevar a cabo un análisis de criticidad se debe de definir el alcance y objetivo del análisis, fijar los estándares de evaluación y escoger una técnica de evaluación con el fin de ordenar la selección de los sistemas de manera que puedan ser controlada y auditable. (p. 24)

La criticidad puede ser formulada como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

**Figura 3.** Matriz general de criticidad

4	MC	MC	C	C	C
3	MC	MC	MC	C	C
2	NC	NC	MC	C	C
1	NC	NC	NC	MC	C
	10	20	30	40	50

Fuente: Avendaño, (2022)

En donde la frecuencia está relacionada al número de eventos o fallas que ocurren en el sistema.

La consecuencia está asociada a aspectos tales como: impacto operacional y mantenibilidad, costos de reparación e impactos de seguridad y ambiente.

Por lo que la fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times (\text{Nivel de producción} + \text{Tiempo promedio para reparar} + \text{Costo reparación} + \text{Impacto en la seguridad} + \text{Impacto ambiental})$$

**Figura 4. Guía de criticidad**

Guía de criticidad	
1.- Frecuencia de falla (Todo Tipo de Falla):	Puntaje:
• Entre 0 y 1 falla en medio año.	1
• Entre 2 y 6 fallas en medio año	2
• Entre 7 a 12 fallas en medio año	3
• Más de 13 fallas en medio año	4
2.- Tiempo medio para reparar (MTTR):	Puntaje:
• Menos de 10 horas	1
• Entre 11 y 24 horas	2
• Entre 25 y 72 horas	3
• Entre 73 horas a más	4
3.- Impacto sobre la producción	Puntaje:
• No afecta la producción o actividad	2
• 25% de impacto	4
• 50% de impacto	6
• 75% de impacto	8
• Afecta totalmente la producción o actividad	10
4.- Costo de reparación (S/.)	Puntaje:
• Menos de 150	5
• Entre 151 y 500	10
• Entre 501 y 1000	15
• Entre 1001 y 3000	25
• Entre 3001 a más	30
5.- Impacto ambiental:	Puntaje:
• No origina ningún impacto ambiental.	0
• Contaminación ambiental baja, se manifiesta en un espacio reducido.	10
• Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta.	20
• Contaminación ambiental alta, incumple las normas de medio ambiente	30
6.- Impacto en salud y seguridad personal	Puntaje:
• No ocasiona problemas en la salud ni genera lesiones a los colaboradores.	0
• Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes.	5
• Puede ocasionar lesiones con incapacidad temporal entre 1 a 30 días.	10
• Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a los 30 días	25

Fuente: Constantino, (2021)

## 2.2.4 Gestión de mantenimiento

Para Ramón (2017) la gestión de mantenimiento se puede describir como la utilización efectiva y eficiente de recursos materiales, económicos, humanos y tiempo, con el propósito de lograr los objetivos de mantenimiento, esto implica optimizar la disponibilidad de los equipos y minimizar los costos. (p. 230)

### 2.2.4.1 Etapas de la gestión de mantenimiento

Por su parte Avendaño (2022) sostiene que una gestión de mantenimiento, es esencial que la planificación y la programación estén estrechamente vinculadas, ya que estas constituyen el punto de partida del mantenimiento. Esto nos lleva a vincular las actividades de mantenimiento probables que se deben llevar a cabo para alcanzar los objetivos y resultados deseados. (p. 30)

## **Planificación del mantenimiento**

Señala Avendaño (2022) que la planificación de mantenimiento se refiere al procedimiento de reconocer y disponer de todos los elementos esenciales para completar una actividad antes de su inicio. En este proceso se incorporan las órdenes de trabajo, lista de materiales, solicitudes de compra, hojas de planificación, estimación de tiempo y un método para preparar los datos requeridos antes de planear y autorizar las órdenes de trabajo. (p. 30)

Existe 3 niveles básicos en un proceso de planificación:

- Planificación a corto plazo (planificación diaria y semanal).
- Planes a mediano plazo (planificación de un mes a un año).
- Planificación a largo plazo (más de 5 años).

## **Programación del mantenimiento**

Para Ramón (2017) la programación de mantenimiento, implica definir los intervalos en los que se llevarán a cabo las tareas de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. Establecer fechas programadas resulta crucial para mantener una disponibilidad constante de equipos e instalaciones. Este proceso comienza con la solicitud y envío de la orden de trabajo. (p. 267)

Existen 3 niveles básicos en un proceso de programación, según Avendaño (2022): a) Programa diario, b) Programas semanales y c) Programa de larga duración (Programación de 3 meses a un año).

### **2.2.5 Mantenimiento predictivo**

Según Pérez (2021) el mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el momento preciso de una falla, avería o rotura de un componente de una máquina, lo cual mediante un plan programado este componente pueda reemplazarse justo ante de que falle y así incrementar



el tiempo de vida del componente y reducción de los tiempos muertos del equipo. (p. 48)

Por su parte Sancho (2023) indica que la cualidad principal de esta filosofía de mantenimiento es que no pretende ejecutar acciones directas, sino que mediante las inspecciones y el análisis de las variables mecánicas, físicas o eléctricos obtenidos dentro un monitoreo en comparación a variables dados por el fabricante, se llegue a detectar fallos y se den solución con anticipación. De este modo evitamos que estas fallas se originen y causen mayor costo en la reparación, como también mayores pérdidas en la producción por paradas no programadas. (p. 174)

### **2.2.5.1 Ventajas del mantenimiento predictivo**

Para Torres (2015), los aspectos claves que debe tener en cuenta el mantenimiento predictivo por ventaja:

- Permite generar seguimiento del desarrollo de la falla a lo largo del tiempo.
- Determina con precisión el tiempo máximo de intervención sin dar lugar a la aparición de un fallo inesperado.
- Examina el estado de la maquinaria, ya sea a través de inspecciones periódicas o accidentales, posibilita crear un registro histórico del comportamiento mecánico y operativo de los componentes.
- Minimiza el tiempo de parada al identificar con precisión el componente que presenta la falla. Las interrupciones se programan únicamente cuando resultan imperativas y evitan interrupciones no anticipadas en la producción o mantenimiento imprevisto.
- Incrementa la disponibilidad operativa para las máquinas de la empresa.
- Mejora la gestión del equipo de mantenimiento.
- Reducción de los gastos de mantenimiento. Además, si se realiza una supervisión adecuada de los equipos,

máquinas o elementos, es posible disminuir el inventario de repuestos.

- Facilita la toma de decisiones en relación a la interrupción de una línea de máquinas en momentos críticos. (p. 152)

### **2.2.5.2 Desventajas del mantenimiento predictivo**

Torres (2015) menciona que el mantenimiento predictivo tiene por desventaja:

- Se requiere una inversión inicial significativa en dispositivos e instrumentos portátiles de medición de alta tecnología.
- Gastos relacionados con la formación y certificación del personal de mantenimiento.
- No es aplicable a todo componente ni a todo activo.
- La ejecución de este tipo de mantenimiento demanda la presencia de un equipo técnico calificado y experimentado, capaz de comprender los datos generados por los sistemas de monitoreo y deducir conclusiones a partir de ellos, siendo necesario poseer un conocimiento técnico de nivel avanzado.
- Una mala gestión del mantenimiento predictivo, puede ocasionar pérdidas significativas o interrupciones innecesarias de la máquina, resultando costos elevados para la empresa. (p. 153)

## **2.2.6 Técnicas del mantenimiento predictivo**

### **2.2.6.1 Técnica de Inspecciones visuales**

Loya (2020) sostiene que es una técnica que se puede ejecutar en áreas que son directamente visibles en la máquina, estas actividades la pueden realizar el personal de mantenimiento o inclusive el operador. Estas inspecciones pueden identificar fallos físicos como grietas, roturas, desgaste, piezas sueltas, etc. (p. 10)

También se puede utilizar la herramienta boroscopio o endoscopio para realizar inspecciones en áreas en donde no están disponibles para el ojo humano.

Pérez (2021) considera que la boroscopia es “una técnica de monitoreo o inspección no destructiva para la superficie, empleado generalmente en soldaduras, para así validar que su integridad mecánica cumple con las especificaciones y estándares. Pero también se puede aplicar a componentes y equipos”. (p. 54)

### **2.2.6.2 Técnica líquidos penetrantes**

Según Loya (2020) esta es una inspección no destructiva, que puede detectar fisuras o grietas superficiales de un componente, esto se logra aplicando una tinta especial sobre una superficie limpia, luego de un tiempo se retira la tinta y se aplica un líquido revelador que extrae la tinta retenida de la grieta superficial y nos muestra su existencia y forma. (p. 10)

Para Espinoza (2019) este método, se basa en la acción capilar y en la habilidad de fluidos de baja viscosidad para penetrar fisuras que no resultan visibles a simple vista. Las características que presentan están influenciadas por la tensión superficial y la capacidad del líquido para extenderse sobre la superficie del material.

#### **a. Líquidos penetrantes**

Al momento de elegir el líquido penetrante a usar, se debe tener en cuenta factores como la forma y peso del elemento, pero también en la práctica surgen factores como sensibilidad del ensayo y el costo.

Existen 2 tipos de líquidos de acuerdo a sus características.

- Tipo 1. Fluorescentes: Se emplean con el propósito de resaltar más claramente las fisuras. La característica principal de estos líquidos es su capacidad de emitir fluorescencia al ser expuestos a la luz ultravioleta.

- Tipo 2. Visibles o no fluorescentes: Por lo general, son de color rojo y se destacan por ser visibles en condiciones ambientales. (p. 34)

#### b. Líquido revelador

El revelador cumple la función de hacer a las grietas visibles y amplificar su presencia de manera que puedan ser detectadas. Se cuentan con 4 formas de reveladores.

- Forma A: son polvos secos y son usados para el tipo 1 de líquidos penetrantes.
- Forma B: Son reveladores líquidos solubles en agua para inspecciones con líquido tipo 1 o 2.
- Forma C: Suspensión en agua para inspecciones con líquido tipo 1 y 2.
- Forma D: Soluciones no acuosas de alta sensibilidad, para inspecciones con líquido tipo 1 y 2. (Espinoza, 2019, p. 34)

#### **Figura 5.** Ejemplo de aplicación por tintes penetrantes



Fuente: Espinoza, (2019)

#### **Métodos de inspección por líquidos penetrantes**

Señala Suarez (2020) que existen cuatro métodos de inspección por líquidos penetrantes, y estos clasifican según la forma en que se remueve el tinte penetrante para revelar defectos en una pieza o superficie. Estos métodos están estandarizados por organizaciones como la SAE (Sociedad de Ingenieros de Automoción) y se describen en normas como la SAE AMS 2644. Los métodos son:

- Método A. Removible con agua

- Método B. Post emulsionable, lipofílico
- Método C. Removible con solvente
- Método D. Post emulsionable, hidrofílico (p. 15)

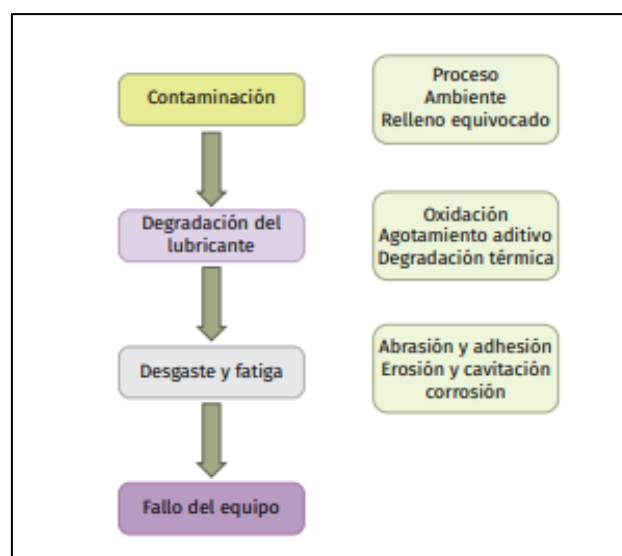
### 2.2.6.3 Análisis de aceite

Según Portocarrero & Rabanal (2019) mediante la comprobación de las partículas y estado del aceite se verificará el desgaste de los componentes internos de una máquina, por ello con el análisis de aceite podemos maximizar la vida útil y así ahorrar en costos en el cambio de aceites y predecir un desgaste prematuro de los componentes y evitar paros imprevistos de la máquina que impacten en la producción de la organización. (p. 21)

Autor como Pérez (2021) sostiene que esta técnica es:

“Muy importante para establecer la degradación del lubricante o aceite, generalmente ocasionada por el ingreso de contaminantes que acelera su degradación y también por la presencia de partículas que generan desgaste” (p. 55). Es por ello que la finalidad del aceite es descubrir el degradado y contaminación en el aceite antes que se produzca el fallo en la máquina.

**Figura 6.** Generación de contaminación del aceite



Fuente: Pérez, (2021)

## **Tribología**

Para Tormos (2020) la tribología es la ciencia y tecnología que se enfoca en el estudio de cómo interactúan las superficies que se mueven entre sí y están en contacto mutuo, así como los fenómenos asociados a esta interacción. A pesar de ser una disciplina relativamente reciente, ha experimentado un crecimiento significativo y se ha ramificado en diversas áreas dentro de varias tecnologías aplicadas. Su alcance abarca temas como: (a) la fricción, (b) el desgaste, (c) la lubricación, entre otros.

a. Fricción: Puede definirse como la resistencia que surge al intentar iniciar el movimiento debido a las fuerzas de rozamiento que se generan entre las superficies de objetos en movimiento relativo. (Portocarrero & Rabanal, 2019, p. 22)

b. Desgaste: Se define como la pérdida de material que se da en las superficies de dos cuerpos sólidos, cuando estos realizan un movimiento relativo debido a la aplicación de una fuerza.

Existen 6 tipos de desgaste:

- Corrosivo: Modificación de las superficies debido a la acción de sustancias químicas.
- Abrasivo: Rayadura causado por partículas abrasivas presentes en el lubricante.
- Por erosión: Desgaste provocado por la acción de un fluido, ya sea un gas o un líquido.
- Adhesivo: Desgaste por contacto entre metales y micro soldaduras debido a la ausencia de una película lubricante.
- Por cavitación: Causado por formación de cavidades debido al impacto implosivo de burbujas en el fluido.
- Por fatiga: Desprendimiento de material de la superficie debido a esfuerzos mecánicos prolongados. (Portocarrero & Rabanal, 2019, p. 22)

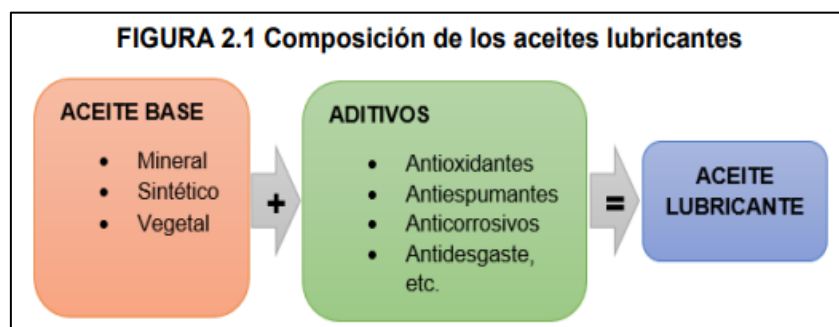
c. Lubricación: Su propósito fundamental es disminuir la fricción entre dos superficies que se desplazan una respecto a la otra

y están en contacto directo. Al hacer que la fricción sea menor, logramos también reducir el desgaste de las piezas aumentando así su durabilidad. Por lo que podemos decir que los objetivos principales de la lubricación es minimizar la fricción y el desgaste, sin embargo, es importante considerar que también desempeña otras funciones esenciales, como la disminución del consumo energético, la disipación del calor, protección contra la corrosión y asistir al arrastre de los contaminantes. (Tormos, 2020, p. 17)

## El lubricante

Según Portocarrero & Rabanal (2019) el lubricante es una sustancia que se aplica entre dos superficies con el propósito de disminuir o evitar la fricción, así como proteger contra el desgaste mecánico que se genera entre las superficies en movimiento. Estos lubricantes están formados de un aceite base y aditivos. El aceite base es la que compone ciertas características al lubricante como es la viscosidad, punto fluidez, índices de viscosidad, resistencia a la oxidación, demulsibilidad, entre otros. Y los aditivos son compuestos químicos incorporados al aceite base para que este mejore sus propiedades y sea más eficiente. (p. 47)

**Figura 7.** Composición del aceite lubricante



Fuente: Portocarrero & Rabanal, (2019)

El lubricante aparte de realizar la función de lubricar también realiza otras 5 funciones importantes como refrigerar, evitar la fricción y desgaste, protección contra la corrosión, limpieza y sellado.

## Efectos contaminantes sobre superficies de la máquina

Señala Pérez (2021) que el lubricante, debido a su aplicación y el paso del tiempo, experimenta un proceso de envejecimiento gradual que modifica sus propiedades físicas y químicas. Esta reducción de la vida útil, también se da por agentes contaminantes que entran en contacto con el lubricante causando así impactos negativos sobre la superficie de la maquinaria.

## Contaminación del lubricante por partículas generadas por el desgaste.

Avendaño (2022) menciona que en el análisis del aceite, es posible encontrar partículas contaminantes que se originan debido al desgaste. Por esta razón, en la actualidad existen métodos para detectar y medir la cantidad de estas partículas, como la espectrometría de emisión, la espectrometría de absorción, el conteo de partículas, el examen microscópico y la ferrografía.

**Figura 8.** Contaminación del aceite por partículas generados por desgaste

ÍTEM	METAL DETECTADO	ORIGEN DE CONTAMINACIÓN
1	Aluminio.	Cojinetes de biela y bancada. Pistones.
2	Bario	Fugas de refrigerante, aditivo detergente.
3	Boro	Polvo atmosférico, fugas de refrigerante.
4	Calcio	Aditivo dispersante. Aditivo detergente
5	Cobre	Cojinetes de biela y bancada, Cojinetes del bulón o pie de biela, Tuberías, Depósitos, Enfriadores de aceite y Radiadores.
6	Estaño	Cojinetes de biela y bancada, Cojinetes de árbol de levas.
7	Hierro	Mecanismos de distribución, Cilindros, Tuberías y engranajes. Muñones de biela y bancada, Guías y asiento de válvulas, Árbol de levas, Guías y Asiento de Válvulas. Pistones y Camisas.
8	Níquel	Engranajes, Mecanismos de accionamiento de válvulas, Camisas de cilindros. Vástagos de Válvulas. Combustible.
9	Silicio	Aire atmosférico, aditivo antiespumante, Aguas de alimentación, Polvo. Algunas camisas de función.
10	Sodio	Fugas de refrigerante. Combustible.
11	Zinc	Cojinetes de Latón, Aditivo antioxidante, Aditivo Anti desgaste.
12	Cromo	Anillo de pistón. Camisas cromadas.
13	Plomo	Cojinete de biela y bancada, cojinetes del bulón o pie de biela, Cojinetes de árbol de levas.
14	Vanadio	Combustible.
15	Magnesio	Contaminación de agua.

Fuente: Avendaño, (2022)



### **2.2.6.3 Termografía**

Para Contreras (2020) la termografía es:

“Es una técnica que se fundamenta en el estudio del comportamiento de la temperatura de las máquinas, con el fin de determinar su correcto funcionamiento”. (p. 24)

Según Pérez (2021) la herramienta que se utiliza para realizar estas mediciones de valores térmicos es la cámara termográfica, dado que las instalaciones eléctricas y mecánicas suelen elevar las temperaturas antes de que fallen y es con esto que vamos precisar cuándo y dónde se va a tener ejecutar las actividades de mantenimiento.

#### **Instrumentos de medición por termografía**

Considera Quispe (2020) que una cámara termográfica cuantifica la radiación infrarroja de longitud de onda larga dentro de su área de observación, empleando los datos obtenidos para determinar la temperatura del objeto analizado. Estos datos se traducen en una representación visual coloreada llamada imagen térmica, que posibilita la observación de la variación de temperaturas en la superficie del objeto. Cada píxel en la imagen térmica corresponde a un punto específico de temperatura en la superficie del objeto que está siendo evaluado. (p. 22)

A continuación, se mencionan los principios que utilizan las cámaras termográficas.

- a. Calor: Se trata de energía térmica, la cual está relacionada con la cantidad de movimiento de las partículas que constituyen un material. Esta energía se mide en Joules en el sistema internacional y BTU en el sistema inglés.
- b. Temperatura: es una medida de la energía cinética promedio de las partículas presentes en una muestra de materia. A mayor velocidad de las partículas del material, mayor es la temperatura.

- c. Radiación infrarroja: Es un tipo de radiación electromagnética de calor y se caracteriza por tener una longitud de onda mayor que la luz visible, pero más corta que la de las microondas y su rango abarca desde longitudes de onda de aproximadamente  $0.75 \mu\text{m}$  hasta casi  $1,000 \mu\text{m}$  (1 mm). La radiación infrarroja es emitida por cualquier objeto que tenga una temperatura superior a 0 Kelvin.

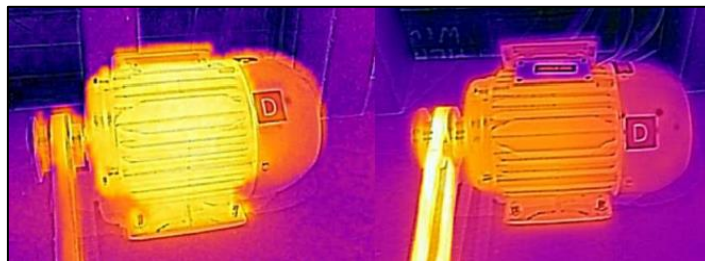
Cámara termográfica FLIR E53: Este instrumento termográfico es de la marca FLIR, modelo E53. Se utilizará para visualizar la temperatura de los componentes de la excavadora sin necesidad de contacto. El rango de medición de temperatura de la imagen térmica es de  $-20$  a  $650 \text{ }^\circ\text{C}$ , con una resolución de  $240 \times 180$  píxeles.

### Aplicaciones de la termografía

Según Quispe (2020) este monitoreo con aplicación de termografía se puede aplicar en diferentes componentes dentro de una industria. A continuación, vemos algunos ejemplos.

- En los rodamientos de equipos se puede detectar altas temperaturas debido a factores como desalineación, fricción, nivel aceite inadecuado, lubricación deficiente, obstrucción de flujo, contaminación entre otros.
- En las salas eléctricas y subestaciones, se analiza calculando las diferencias de temperatura entre las tres fases.

**Figura 9.** Aplicación de la termografía en un motor eléctrico



Fuente: Quispe, (2020)

#### 2.2.6.4 Análisis de vibraciones:

Señala Miranda (2020) que es uno de los métodos precisos que ha experimentado un mayor avance en el ámbito de las tecnologías en donde el principal objetivo es diagnosticar el estado de la máquina a través de una rápida base de datos y un análisis de tendencias comparativas con espectros de vibración patrones. Esto permite programar intervenciones de elementos en el momento adecuado. (p. 26)

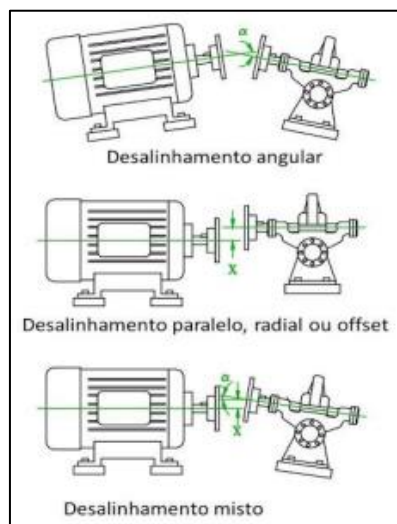
Para Pérez (2021) las vibraciones mecánicas:

“Resultan a causa de los esfuerzos y tensiones, pérdida de energía, desgaste de materiales y, lo que es más perjudicial, fatiga en los materiales, además de generar ruidos molestos en el entorno de trabajo y afectar la seguridad industrial”. (p. 50)

Los fallos detectados por esta técnica de análisis de vibraciones son los siguientes:

- Vibración por Desalineamiento: Se produce como resultado de un desalineamiento defectuoso entre los acoplamientos, embragues, ejes, poleas, entre otros. Estas desviaciones se presentan por desalineación paralela, angular o combinada. (Miranda, 2020)

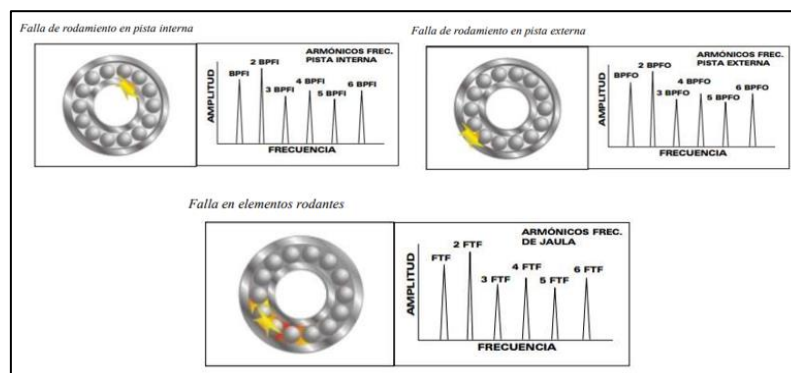
**Figura 10.** Vibración por desalineamiento



Fuente: Miranda, (2020)

- Vibración por desbalance: Esta vibración se produce cuando el punto medio del cuerpo local de una sección no se encuentra alineado con el eje de rotación, la falta de equilibrio da lugar a la producción de una fuerza que rota a la misma velocidad que el eje. Estos desequilibrios provocan cargas dinámicas en los rodamientos que exceden sus límites de diseño, ocasionando así fallos tempranos debidos a fatiga. (Avendaño, 2022)
- Vibración por desajuste mecánico: Son producidos por el aflojamiento mecánico y golpeteo entre las piezas. Estas vibraciones también son asociados a una holgura excesiva en los rodamientos, pernos sueltos, fisuras en el pedestal de una estructura, además de vibraciones inducidas por el aflojamiento mecánico causado por otras fuerzas de excitación, como la falta de alineamiento o desbalance. (Miranda, 2020, p. 29)
- Vibración por falla de rodamientos: Estas vibraciones están relacionadas con la velocidad de rotación, geometría del rodamiento y las cargas con las que trabaja. Debido a la falta de lubricación, partículas de contaminación o errores de montaje, pueden ocurrir fallos en la pista interna, pista externa y en los elementos rodantes del rodamiento, generando una serie de armónicos que son captados por el instrumento de medición. (Avendaño, 2022)

**Figura 11.** Vibración por fallo en rodamientos



Fuente: Avendaño, (2022)

- Vibración por problema de engranaje: Las vibraciones que se presentan durante el funcionamiento de cualquier sistema de transmisión por engranajes tienen su origen en el error de transmisión, que consiste en la diferencia en la posición angular del eje de salida entre una transmisión ideal y una transmisión real. Por lo que se manifiesta a una frecuencia que coincide con la frecuencia de engranaje de los engranajes, que es igual a la cantidad de dientes del engranaje multiplicada por las RPM del engranaje defectuoso. (Miranda, 2020, p. 28)
- Vibración por fallas eléctricas: Estas vibraciones dadas en el motor eléctrico son causadas por las fuerzas magnéticas desiguales que actúan en el rotor o en el estator. Estas dificultades se dan en la barra del rotor, cargas excesivas, fluctuaciones de voltaje desbalanceado, altos armónicos y corrientes de arranque elevadas. (Miranda, 2020, p. 28)

#### **2.2.6.5 Partículas magnéticas**

Según Loya (2020) esta es otra técnica de ensayo no destructivo, que se basa en la magnetización de un material ferromagnético al exponerlo a un campo magnético. En esta técnica, se dispersan pequeñas partículas magnéticas sobre el material y estas se alinean siguiendo las líneas de flujo magnético presentes. Las fisuras o grietas se vuelven más visibles debido a las interrupciones que causan en la distribución de las partículas. (p. 11)

Para Espinoza (2019) existen diversas variedades de partículas magnéticas que se seleccionan según las condiciones ambientales, ya sea en entornos secos o húmedos. Estas partículas están disponibles en una variedad de colores y algunas incluso son fluorescentes. Además de las partículas magnéticas, se utilizan sensores que incluyen pinturas, cauchos, impresiones o laminillas magnéticas para hacer visible el campo magnético. (p. 35)

## **Instrumento para aplicación por partículas magnéticas**

El yugo magnético, es la herramienta utilizada para magnetizar los elementos y puede funcionar con corriente alterna o corriente directa. Cuando el yugo se aplica directamente sobre el objeto, esto da lugar a la creación de un campo magnético en el que las líneas conectan ambos polos del magneto. Si la falla ocurre en la misma dirección que las líneas del campo magnético, es difícil de identificar, pero si se dispone en una dirección perpendicular, se puede detectar la falla de manera más sencilla. (Espinoza, 2019, p. 37)

### **2.2.6.6 Ultrasonido**

Según Contreras (2020) esta técnica trata sobre el estudio y análisis de las ondas sonoras de alta frecuencia que las máquinas emiten al empezar a experimentar fallos. Cuando las máquinas comienzan a tener problemas, producen sonidos con frecuencias que superan los 20 kHz, en donde este rango de frecuencias no es audible para el oído humano. Un ejemplo de aplicación de este tipo de mantenimiento predictivo sería controlar los niveles de fricción en los rodamientos de equipos rotativos. Estos niveles pueden estar relacionados con problemas de lubricación, ya que cuando un rodamiento no cuenta con una lubricación adecuada, los niveles de fricción aumentan, generando emisiones de ultrasonidos. Los dispositivos diseñados para registrar las ondas ultrasónicas se conocen como medidores ultrasónicos. A través de estos dispositivos, las personas tienen la posibilidad de escuchar el sonido mediante auriculares o visualizarlo en una pantalla para llevar a cabo su correspondiente análisis y estudio.

Con la técnica del ultrasonido podemos detectar fallos como fricción en máquinas rotativas, fugas de fluido, fallas por fugas en válvulas, pérdidas de vacío y arco eléctrico. Otra aplicación del ultrasonido puede ser para la medición de espesores de piezas metálicas.

## Instrumentos de medición por ultrasonido

- Medidor de espesor ultrasónico SNDWAY: Es un instrumento de medición de espesores por ultrasonido de la marca SNDWAY, modelo SW-6510S. Este dispositivo permite realizar mediciones en un rango que va desde 1 mm hasta 300 mm, y se utilizará para medir el espesor de los componentes del tren de rodamiento, lo que permitirá analizar el desgaste de dichos componentes.
- Equipo ultrasonido SDT270: Este instrumento de ultrasonido de la marca SDT, modelo 270, nos permite detectar fugas de aire, gas y vapor, así como fallos en rodamientos, problemas eléctricos y defectos internos en sistemas hidráulicos. Este instrumento será utilizado específicamente para la detección de fugas internas causadas por problemas en los sellos de los cilindros hidráulicos, entre otras aplicaciones.

**Figura 12.** Aplicación del ultrasonido en un equipo rotativo



Fuente: Contreras, (2020)

### 2.2.7 Indicadores de mantenimiento

Para Pérez (2021) los indicadores de mantenimiento son parámetros numéricos que proporcionan información esencial para evaluar y analizar los resultados alcanzados en relación con los objetivos o metas establecidos por la organización, permitiendo así identificar posibles desviaciones. Por esta razón, es importante contar con un modelo de referencia para realizar comparaciones. Estos indicadores posibilitan la mejora y optimización de los procesos de planificación y programación dentro del departamento de mantenimiento de la organización.

Los principales Indicadores son:

a) Fiabilidad

Para los autores Soret & Mercedes (2020) la fiabilidad es como la probabilidad de que una máquina o equipo realice sin fallo su función para lo cual fue diseñado, en condiciones específicas y dentro de un tiempo específico. La fiabilidad intrínseca es algo que teóricamente se puede lograr dependiendo de su propio diseño y la fiabilidad operativa es por lo común menor debido a causas inesperadas que se producen como el error humano, mantenimiento inapropiado, medioambiente cambiante, etc.

$$\text{Fiabilidad} = \frac{\text{horas disponibles}}{\text{número de fallos}}$$

b) Mantenibilidad

Según Soret & Mercedes (2020) la mantenibilidad es la facilidad con la que se puede realizar el mantenimiento al equipo para su reparación.

Las dimensiones de mantenibilidad son el MTTR, probabilidad de restablecimiento del servicio, tiempo medio de mantenimiento preventivo o programado.

c) Disponibilidad mecánica

Indica Pérez (2021) que:

“Es el porcentaje de tiempo en la cual un equipo o máquina está disponible para realizar con la función para lo cual ha sido adquirido, diseñado, construido”. (p. 23)

Señala Jiménez (2022) que la disponibilidad es la capacidad de que una máquina o equipo esté en condiciones de realizar sus funciones durante un periodo de tiempo determinado cuando este sea requerido. Teniendo en cuenta factores de fiabilidad y mantenibilidad se dispone de 3 tipos de disponibilidad:



- Disponibilidad previsual (D-Pre): Esta disponibilidad relaciona las tasas de reparación y de fallos, la cual es realizada por el fabricante del equipo mediante ensayos y cálculos.

$$D\text{-Pre} = \frac{\beta}{\beta + \alpha}$$

- Disponibilidad Propia (D-Pro): Esta disponibilidad también es conocida como disponibilidad inherente en la que relaciona los tiempos de buen funcionamiento y los tiempos de reparación del equipo en base al histórico de averías que va registrando por parte del que usa el equipo.

$$D\text{-Pro} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

- Disponibilidad Operacional (D-Ope): Esta disponibilidad relaciona la suma de todos los tiempos de buen funcionamiento del equipo y el tiempo requerido de reparación con el tiempo para llevar al equipo a la línea de producción.

$$D\text{-Ope} = \frac{\sum TBF}{TR}$$

#### d) MTBF

Por sus siglas en inglés mean time between failures que en español significa tiempo medio entre averías. Con este indicador podemos calcular cuál es el tiempo medio de funcionamiento de un equipo desde la reparación que se realizó por una avería hasta la siguiente avería que se llega a producir. (Rajadell, 2021, p. 267)

El cálculo se realiza con la siguiente fórmula:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de paro por averías}}{\text{Número de paros por averías}}$$

#### e) MTTR

Por sus siglas en inglés mean time to repair que en español significa tiempo medio de reparación. Con este indicador podemos

calcular el tiempo promedio de duración de las reparaciones de un equipo, desde el paro por una avería hasta que el equipo regrese a su estado normal de funcionamiento. (Rajadell, 2021, p. 268)

El cálculo se realiza con la siguiente fórmula:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}}$$

## 2.2.8 Indicadores financieros de inversión

### Método de Valor actual neto (VAN)

Según Pacheco (2020) nos dice que el VAN es un método que nos ayuda a determinar si un proyecto es viable. Para ello, se calcula restando la inversión inicial del valor presente de los flujos de caja futuros. Si el VAN resultante es mayor que cero, el proyecto se considera rentable. En cambio, si el VAN es igual a cero, el proyecto no genera beneficios adicionales y por último si el VAN es menor que cero, indica que la inversión no sería rentable y el proyecto no debería realizarse. (p. 10)

La fórmula utilizada para calcular el valor actual neto (VAN) es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

$I_0$  = Inversión inicial

$F_t$  = Flujo de caja futuros

$K$  = Tasa de descuento

$t$  = Número de periodos

### Tasa Interna de Retorno (TIR)

Pacheco (2020) nos dice que:

“la Tasa Interna de Retorno (TIR) representa el rendimiento de un proyecto expresado en forma de porcentaje. Representa la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto sea igual a cero”. (p. 11)

La fórmula utilizada para calcular la tasa interna de retorno (TIR) es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} - I_0 = 0$$

Donde:

$I_0$  = Inversión inicial

$F_t$  = Flujo de caja futuros

$t$  = Número de periodos

### **Periodo de recuperación de la inversión (PRI)**

Pacheco (2020) nos indica que el periodo de recuperación de la inversión (PRI), también conocido como payback, es una técnica que nos ayuda a calcular el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial de un proyecto. De esta manera, se seleccionan aquellos proyectos en los cuales la inversión inicial se recupera en el menor tiempo posible. (p. 12)

La fórmula utilizada para calcular el periodo de recuperación de la inversión (PRI) es la siguiente:

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d}$$

Donde:

$a$  = Año inmediato anterior en que se recupera la inversión

$b$  = Inversión inicial

$c$  = Flujo de efectivo acumulado del año anterior en que se recupera la inversión

$d$  = Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión

### **2.2.9 Maquinarias pesadas**

#### **a. Excavadora sobre oruga**

La excavadora es una máquina mecánica hidráulica que está diseñada para la excavación, carga y descarga de materiales, usados en el área de construcción, minería y en canteras. Se le puede instalar implementos

(martillo hidráulico) para la rotura de cimientos, piedra y excavación de hoyos en la tierra. (Avendaño, 2022, p. 62)

**Figura 13.** Excavadora Hitachi modelo ZX870LC-5



b. Bulldozer (Tractor sobre orugas)

El bulldozer o conocido como tractor sobre orugas es una máquina usada para la excavación, nivelación y empuje de tierra. Estas máquinas cuentan con una hoja topadora en la parte de adelante la cual es utilizada para el empuje del material. En la parte posterior dispone del Ripper que es usado para el escarificado o rotura del material. (Chavarria, 2019, p. 45)

c. Motoniveladora

La motoniveladora es una máquina mecánica hidráulica de construcción que tiene una larga hoja metálica conocida como hoja vertedera la cual es empleada para la nivelación del terreno, además cuenta con otros implementos como son los escarificadores y Ripper que están ubicados en la parte posterior de la máquina. (Ravines, 2020, p. 44)

d. Cargador frontal

El cargador frontal es una máquina utilizada para el movimiento de tierras, excavación, carga y descarga de materiales. Cuentan con una pala grande en la parte delantera y ruedas para su movimiento. Estas máquinas son empleados en el área de minería, construcción, obras públicas, etc. (Avendaño, 2022, p. 60)

e. Retroexcavadora

La retroexcavadora es una máquina usada en el área de construcción, obras públicas y que cuenta con una pala cargadora en la parte frontal y una cuchara en la parte posterior. Estas máquinas son usadas para la excavación, movimiento de tierras, carga y descarga de materiales. (Ravines, 2020, p. 38)

f. Rodillo Compactador

El rodillo compactador es una máquina hidráulica, cuya función principal es agilizar el proceso de compactación de terrenos y rellenos. Incorporan rodillos en tándem que, al mismo tiempo cumplen la función de tren de rodaje y además aplican vibración para compactar el terreno por el que se desplazan. La base técnica de su funcionamiento se encuentra en la conjunción de una fuerza dinámica que genera un movimiento vibratorio en conjunto con el peso estático específico de la máquina. (Herráez & Moreno, 2019, p. 487)

g. Cargadores subterráneos o bajo perfil

Los cargadores subterráneos reciben el nombre de Scooptram o equipo LHD, son los primeros en encargarse de la manipulación del mineral extraído. Estos equipos son usados para el acarreo del mineral desde los tajos hasta una cámara. Luego trasladan el mineral a otro punto de extracción o a la superficie. (Mayhua, 2020, p. 19)

h. Camion de bajo perfil o Dúmpfer

El camión de bajo perfil o también conocido como dúmpfer, es una maquinaria diseñada específicamente para transportar cargas pesadas en una variedad de tipos de terreno. Estos equipos son comunes en operaciones de minería, canteras y en la industria de la construcción. Gracias a su robusta construcción y la facilidad con la que se pueden realizar tareas de mantenimiento, estos equipos tienen una vida útil prolongada. (Anchiraico & Rojas, 2020, p. 25)

### 2.3 Definición de términos básicos

- **Equipo:** Es un grupo total de máquinas que al funcionar en conjunto cumplen con un propósito para lo cual han sido diseñados.
- **Máquina:** Conjunto de piezas móviles y fijas que en funcionamiento permite dirigir, ajustar o transformar energía.
- **Fallo:** Es la falta de operatividad de un equipo, funcionalidad, servicio o sistema que ha dejado de actuar de la manera que estaba prevista.
- **Cucharón de maquinaria:** Se utiliza para la excavación y dependiendo del tipo de suelo en el que se vaya a utilizar la maquinaria, existen varios tipos de cucharones.
- **Ensayo no destructivo:** Un ensayo no destructivo se refiere a cualquier prueba realizada en un material sin causar cambios permanentes en sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.
- **Reparación:** Hace referencia a cualquier acción, que puede incluir pruebas, mediciones, sustituciones y ajustes, que tenga como objetivo preservar o restablecer las condiciones de operación de productos, maquinaria, herramientas o instalaciones.
- **Viscosidad:** Se refiere a la oposición que los fluidos ofrecen al movimiento o desplazamiento.
- **Función:** Consiste en las expectativas de la empresa respecto a que el equipo cumpla con los estándares de diseño y rendimiento establecidos
- **Parámetro:** Se reconoce como la variable que debe ser medida o cuantificada.
- **Monitorear:** Se trata de una evaluación constante cuyo propósito es ofrecer a todas las partes involucradas información detallada y anticipada acerca del avance o la demora de las actividades bajo evaluación.
- **Indicador:** Son datos que son registrados de manera continua y sistemática, además debe ser observable y cuantificable y se emplea para representar los cambios y avances de un plan.
- **Gestión:** Es la adecuada administración de los recursos dentro de una empresa.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL**

El presente trabajo de suficiencia profesional se realizó en el contexto laboral de una empresa que se dedica al alquiler y venta de maquinaria pesada, equipos agrícolas, generadores, entre otros equipos auxiliares, en diferentes lugares a nivel nacional para proyectos carreteros, construcción y mineros, contando con una experiencia 12 años en el mercado.

Teniendo la oportunidad de laborar desde abril del año 2021 hasta la fecha, en el área mantenimiento (servicio técnico campo) me permitió identificar la problemática que se tiene respecto a la disponibilidad mecánica de las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5, así como también la propuesta de solución que se desarrolló para mejorar este indicador importante en la gestión.

La investigación realizada pertenece a un estudio de tipo descriptivo, ya que se llevará a cabo la descripción de la situación actual de la disponibilidad mecánica. Además, es un estudio de nivel aplicativo, puesto que su objetivo es la implementación de una estrategia mediante la aplicación de conocimientos teóricos y la utilización de resultados para llevar a cabo un programa de mantenimiento predictivo.

Para el procedimiento de la investigación, en primer lugar, se llevará a cabo la recolección de datos utilizando el software SAP para obtener los indicadores de mantenimiento. Luego se realizará un análisis de criticidad para determinar cuáles son los sistemas de las excavadoras que con mayor frecuencia causan paradas en el equipo. Por último, se llevará a cabo el desarrollo de la propuesta de mejora mediante el uso de técnicas predictivas y sus programas correspondientes, con el objetivo de mejorar la disponibilidad mecánica.

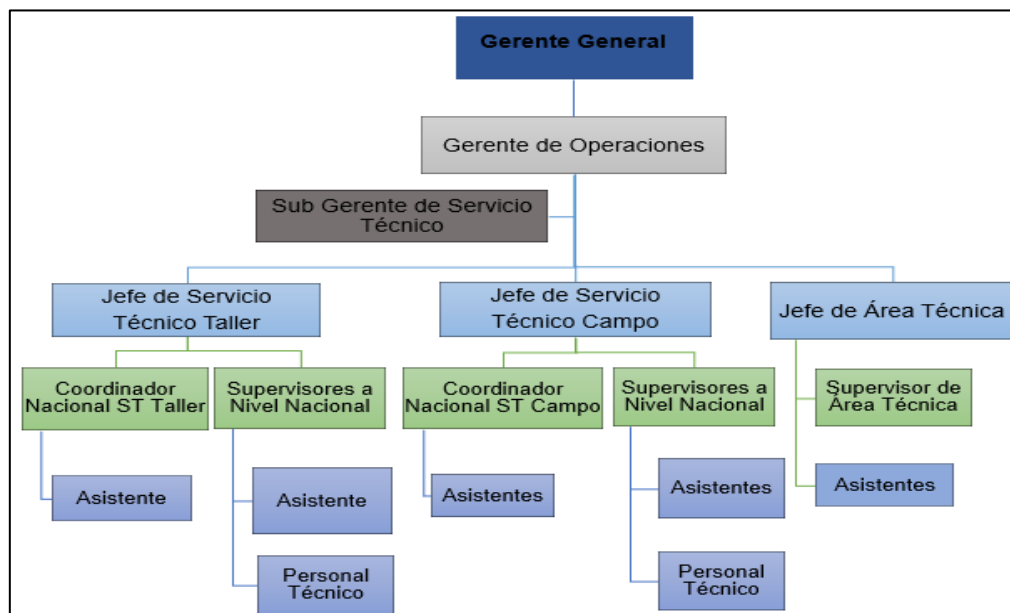
### **3.1. Determinación y análisis del problema**

La empresa en donde se desarrolló la presente investigación, se especializa en el alquiler y venta de maquinaria pesada. A nivel nacional, cuenta con diversos equipos alquilados para proyectos de construcción, carreteros y mineros, brindando también soporte técnico para dichos equipos. Dentro de toda la flota de

equipos alquilados, la excavadora Hitachi modelo ZX870LC-5 es el equipo más crítico en la familia de excavadoras, registrando una baja disponibilidad que incumple con las metas establecidas por la empresa. Esta baja disponibilidad se debe a factores operativos y prácticas de mantenimiento que no eran lo suficientemente eficaces para cumplir con las necesidades del cliente en el uso del equipo. La mayoría de los mantenimientos realizados en las excavadoras eran de tipo correctivo no programado, lo que generaba paradas y reparaciones de alto costo, lo cual afecta negativamente la eficiencia y la rentabilidad del equipo. Esto se debe a la falta de un plan de mantenimiento predictivo, ya que realizar simplemente una inspección visual al equipo no es lo suficientemente efectivo para prever fallos y realizar una planificación y programación adecuada de los mantenimientos.

Para mejorar la disponibilidad y el rendimiento de la excavadora Hitachi ZX870LC-5, se recomienda implementar un plan de mantenimiento predictivo que incorpore técnicas avanzadas de monitoreo y análisis. Esto permitirá identificar potenciales problemas antes de que se conviertan en fallas graves, reduciendo así la necesidad de mantenimiento correctivo no programado. La adopción de estas medidas contribuirá a optimizar la disponibilidad del equipo, mejorar la satisfacción del cliente y fortalecer la posición competitiva de la empresa en el mercado de alquiler y venta de maquinaria pesada.

**Figura 14.** Organigrama del Área de Servicio Técnico de la empresa de alquiler de maquinaria pesada





## Disponibilidad mecánica de las excavadoras en el periodo 2022 de la empresa de alquiler de maquinaria pesada.




Esta empresa, en su flota cuenta con excavadoras de las marcas John Deere y Hitachi, abarcando un total de 7 modelos distintos, cada uno con diversas potencias y capacidades de cucharón. A continuación, se presenta la cantidad de equipos por modelo que estuvieron alquilados a lo largo del año 2022, donde se dispuso en total de 85 excavadoras.

**Tabla 5.** Flota de excavadoras en el periodo 2022 de la empresa de alquiler de maquinaria pesada

POTENCIAS (HP)	TOTAL EQUIPOS	MODELOS DE EXCAVADORA	MARCA
168	10	ZX210G-LC	Hitachi
159	15	210G-LC	John Deere
188	3	290GLC	John Deere
271	40	350GLC	John Deere
271	5	380GLC	John Deere
247	9	ZX350LC-5	Hitachi
483	3	ZX870LC-5	Hitachi

Uno de los indicadores de mantenimiento que maneja la empresa es la disponibilidad mecánica, en donde los clasifica según los rangos y se detalla en la tabla 6.

**Tabla 6.** Rangos de Disponibilidad Mecánica en la empresa

INDICADOR	RANGO %	DESCRIPCIÓN
	95% - 100%	BUENO
	90% - 94.9%	REGULAR
	0% - 89.9%	MALO

Para la recolección de datos sobre la disponibilidad mecánica de las excavadoras durante el periodo 2022, se utilizó el software SAP, que es una herramienta para la gestión de todos los procesos de mantenimiento en la planificación y programación.

En cuanto a la disponibilidad mecánica de los 7 modelos de excavadoras que la empresa alquiló durante el periodo 2022, se puede observar que el modelo

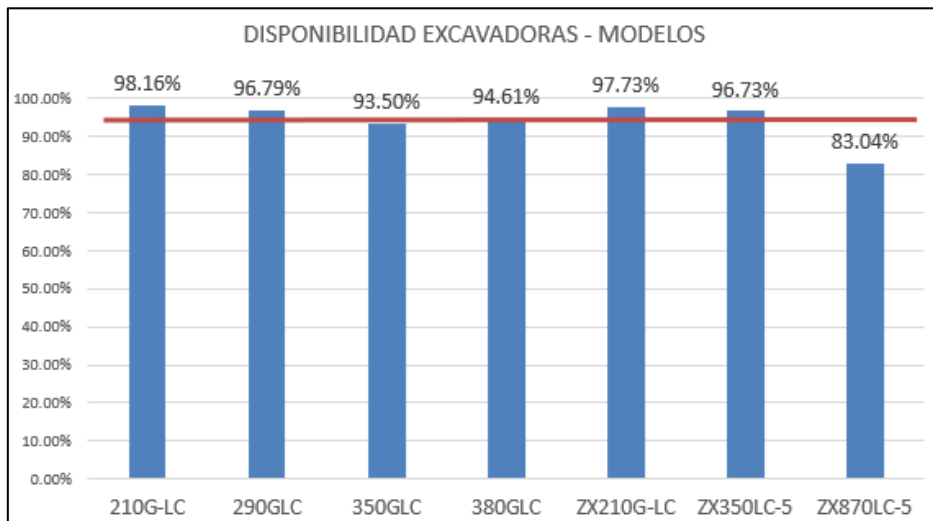
más crítico es el ZX870LC-5 de la marca Hitachi. Este modelo obtuvo una disponibilidad mecánica anual del 83.04%, lo cual está considerablemente por debajo del rango establecido por la empresa. En comparación, el modelo 210G-LC alcanzó una disponibilidad mecánica anual del 98.16%.

**Figura 15.** Disponibilidad Mecánica de las excavadoras en el año 2022

MES	EXCAVADORA - MODELO							DM. PROMEDIO
	210G-LC	290GLC	350GLC	380GLC	ZX210G-LC	ZX350LC-5	ZX870LC-5	
ENERO	100.00%	72.73%	94.75%	89.36%	98.81%	99.10%	78.06%	95.14%
FEBRERO	100.00%	97.56%	94.21%	100.00%	100.00%	100.00%	81.30%	96.50%
MARZO	87.35%	100.00%	89.06%	89.74%	92.96%	100.00%	92.82%	91.22%
ABRIL	96.25%	100.00%	96.99%	98.44%	97.14%	100.00%	75.98%	96.23%
MAYO	98.57%	100.00%	97.37%	97.85%	94.19%	90.17%	85.94%	95.99%
JUNIO	100.00%	95.56%	97.76%	95.65%	100.00%	87.17%	73.67%	95.52%
JULIO	100.00%	100.00%	92.52%	96.72%	100.00%	95.85%	89.76%	95.55%
AGOSTO	98.33%	100.00%	95.91%	93.26%	100.00%	100.00%	60.53%	96.11%
SEPTIEMBRE	97.35%	100.00%	90.97%	87.50%	95.52%	100.00%	93.08%	93.82%
OCTUBRE	100.00%	100.00%	89.64%	100.00%	99.64%	100.00%	93.52%	94.76%
NOVIEMBRE	99.19%	93.33%	90.21%	100.00%	100.00%	100.00%	82.69%	93.98%
DICIEMBRE	100.00%	96.77%	91.28%	90.32%	95.56%	100.00%	84.48%	94.51%
DM. PROMEDIO	98.16%	96.79%	93.50%	94.61%	97.73%	96.73%	83.04%	94.98%

En la figura 16 se detalla la disponibilidad mecánica de los 7 modelos en base a una gráfica de barras.

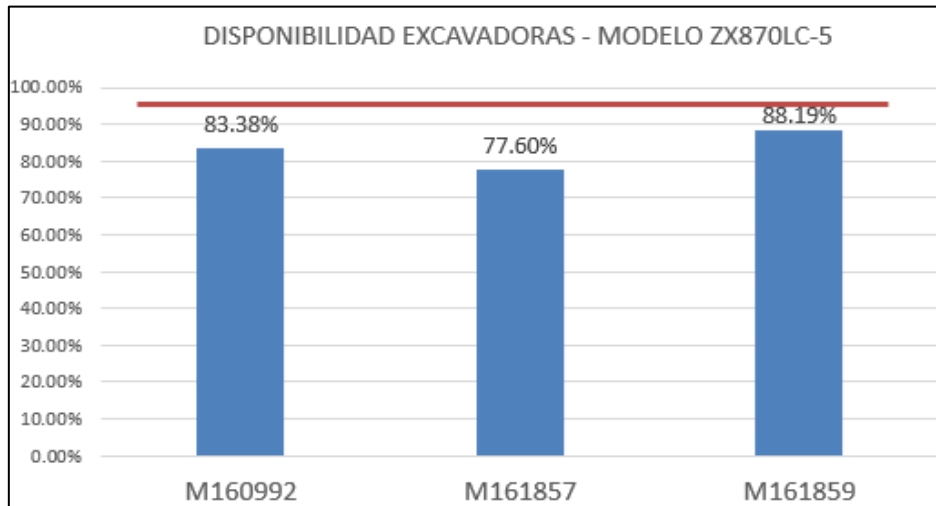
**Figura 16.** Gráfica de barras de la Disponibilidad Mecánica de las excavadoras en el año 2022



En el año 2022, se alcanzó a tener en alquiler 3 excavadoras Hitachi del modelo ZX870LC-5. La empresa asigna a todos sus equipos códigos para poder

identificarlos, en el caso de las 3 excavadoras sus códigos son M160992, M161857 y M161859. A continuación, se detalla la disponibilidad mecánica promedio anual de cada una, la cual se encuentra por debajo de las expectativas de la empresa.

**Figura 17.** Gráfica de barras de Disponibilidad Mecánica 2022 de las excavadoras Hitachi ZX870LC-5



En las siguientes tablas 7, 8 y 9 se muestran los indicadores MTBF, MTTR y disponibilidad mecánica de cada una de estas 3 excavadoras Hitachi ZX870LC-5 durante el periodo 2022.

**Tabla 7.** Indicadores MTBF, MTTR y DM de la excavadora M160992

MES	MTBF (horas)	MTTR (horas)	DM
Enero	581.50	38.50	93.79%
Febrero	428.33	131.67	76.49%
Marzo	620.00	0.00	100.00%
Abril	212.30	87.70	70.77%
Mayo	593.00	27.00	95.65%
Junio	600.00	0.00	100.00%
Julio	620.00	0.00	100.00%
Agosto	-	-	-
Septiembre	-	-	-
Octubre	545.00	75.00	87.90%
Noviembre	65.20	54.80	54.33%
Diciembre	110.44	96.22	53.44%
<b>Promedio</b>	<b>362.13</b>	<b>72.16</b>	<b>83.38%</b>

**Tabla 8.** Indicadores MTBF, MTTR y DM de la excavadora M161857

<b>MES</b>	<b>MTBF (horas)</b>	<b>MTTR (horas)</b>	<b>DM</b>
Enero	283.00	337.00	45.65%
Febrero	170.30	16.37	91.23%
Marzo	604.33	15.67	97.47%
Abril	600.00	0.00	100.00%
Mayo	485.00	135.00	78.23%
Junio	42.00	158.00	21.00%
Julio	261.33	48.67	84.30%
Agosto	83.71	226.29	27.00%
Septiembre	285.59	14.41	95.20%
Octubre	191.48	15.18	92.65%
Noviembre	600.00	0.00	100.00%
Diciembre	620.00	0.00	100.00%
<b>Promedio</b>	<b>314.72</b>	<b>90.84</b>	<b>77.60%</b>

**Tabla 9.** Indicadores MTBF, MTTR y DM de la excavadora M161859

<b>MES</b>	<b>MTBF (horas)</b>	<b>MTTR (horas)</b>	<b>DM</b>
Enero	293.75	16.25	94.76%
Febrero	426.67	133.33	76.19%
Marzo	167.39	39.28	80.99%
Abril	171.50	128.50	57.17%
Mayo	260.23	49.77	83.95%
Junio	600.00	0.00	100.00%
Julio	263.42	46.58	84.97%
Agosto	116.63	7.37	94.06%
Septiembre	136.44	13.56	90.96%
Octubre	620.00	0.00	100.00%
Noviembre	562.36	37.64	93.73%
Diciembre	620.00	0.00	100.00%
<b>Promedio</b>	<b>292.63</b>	<b>39.19</b>	<b>88.19%</b>

La disponibilidad mecánica anual que se obtuvo en la excavadora M160992 es de 83.38%, la excavadora M161857 obtuvo 77.60% y por último la excavadora M161859 tuvo una disponibilidad de 88.19%.

En la tabla 10 se detalla los indicadores MTBF, MTTR y disponibilidad mecánica que se obtuvieron en promedio de las 3 de las excavadoras Hitachi ZX870LC-5 durante el año 2022.

**Tabla 10.** Indicadores de mantenimiento de las excavadoras Hitachi ZX870LC-5 en el año 2022

<b>MES</b>	<b>MTBF (horas)</b>	<b>MTTR (horas)</b>	<b>DM</b>
Enero	363.00	102.00	78.06%
Febrero	273.18	62.82	81.30%
Marzo	431.62	33.38	92.82%
Abril	341.90	108.10	75.98%
Mayo	399.61	65.39	85.94%
Junio	442.00	158.00	73.67%
Julio	417.38	47.63	89.76%
Agosto	107.22	69.92	60.53%
Septiembre	186.16	13.84	93.08%
Octubre	434.86	30.14	93.52%
Noviembre	248.06	51.94	82.69%
Diciembre	523.78	96.22	84.48%
<b>Promedio</b>	<b>318.01</b>	<b>64.95</b>	<b>83.04%</b>

En promedio general la disponibilidad mecánica durante todo el año 2022 de las 3 excavadoras Hitachi ZX870LC-5 fue de 83.04%, el MTBF de 318.01 horas y el MTTR de 64.95 horas.

### **3.2. Modelo de solución propuesto**

#### **3.2.1 Análisis de criticidad de los sistemas de las excavadoras**

Utilizaremos el análisis de criticidad en la gestión y toma de decisiones para determinar cuáles son los sistemas más críticos en las excavadoras, con el propósito de implementar un plan de mantenimiento predictivo que nos ayude a anticipar fallos y de esta manera, aumentar la disponibilidad mecánica de los equipos.

Para el cálculo de criticidad, se requiere la frecuencia de fallos de los sistemas de las excavadoras y las consecuencias que estos fallos generan.




Por lo tanto, utilizaremos los siguientes factores de consecuencias para la elaboración del cálculo.

**Figura 18.** Factores para determinar la criticidad de los sistemas de las excavadoras

FACTORES DE CONSECUENCIAS		PUNTAJE
<b>FRECUENCIA DE FALLA</b>		
Entre 0 y 3 en un año		1
Entre 4 y 7 en un año		2
Entre 8 y 11 en un año		3
Entre 12 y 14 en un año		4
Más de 15 fallas al año		5
<b>TIEMPO MEDIO PARA REPARAR (MTTR)</b>		
Menos de 10 horas		1
Entre 11 y 24 horas		2
Entre 25 y 48 horas		3
Entre 49 y 72 horas		4
Entre 73 horas a más		5
<b>IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN</b>		
No afecta la producción		1
25% de impacto		2
50% de impacto		3
75% de impacto		4
Afecta totalmente la producción		5
<b>COSTO DE REPARACIÓN (S/.)</b>		
Menos de 500		1
Entre 501 y 1000		2
Entre 1001 y 2000		3
Entre 2001 y 3500		4
Entre 3501 a mas		5
<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>		
No origina ningun impacto ambiental		1
Contaminación ambiental baja		2
Contaminación ambiental moderada		3
Contaminación ambiental alta		4
Daños irreversibles en el Ambiente		5
<b>IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL</b>		
No ocasiona problemas en la salud ni genera lesiones		1
Puede ocasionar lesiones leves		2
Puede ocasionar lesiones severos		3
Puede ocasionar lesiones con incapacidad parcial		4
Puede ocasionar muerte o incapacidad		5

Los niveles de criticidad serán determinados colores y rangos que diferenciara desde los sistemas menos crítico hasta los más críticos.

**Tabla 11.** Escala de nivel de criticidad

NIVEL CRITICIDAD	CÓDIGO	RANGO	COLOR
CRITICIDAD BAJA	CB	0-40	
CRITICIDAD MEDIA	CM	41-80	
CRITICIDAD ALTA	CA	81-125	

**Figura 19.** Cuadro de nivel de criticidad

		CRITICIDAD																								
FRECUENCIA (FF)	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125				
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100				
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75				
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50				
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25				
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25				
		CONSECUENCIA (CO)																								

Para el cálculo de criticidad utilizaremos la siguientes formula:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times (\text{Nivel de producción} + \text{Tiempo promedio para reparar} + \text{Costo reparación} + \text{Impacto en la seguridad} + \text{Impacto ambiental})$$

### 3.2.1.1 Recolección de datos

Para la recolección de datos sobre las frecuencias y consecuencias de los sistemas, se realizó una encuesta al personal administrativo de mantenimiento para determinar el análisis de criticidad de los sistemas de las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5. En la siguiente Tabla 12 se detalla la cantidad de personal que se realizó la encuesta y el formato de la encuesta se puede ver en el Anexo 1.

**Tabla 12.** Muestra para encuesta de análisis de criticidad

Puesto	Cantidad Personal
Jefe de mantenimiento	1
Coordinador de Planeamiento	1
Supervisor de mantenimiento	3
Asistente de mantenimiento	5
<b>Total</b>	<b>10</b>

**Figura 20.** Matriz General de los sistemas de las excavadoras ZX870LC-5

ÍTEM	SISTEMA	Frecuencia de falla	Tiempo medio para reparar (MTTR)	Impacto sobre la producción	Costo de reparación	Impacto Ambiental	Impacto en Salud y seguridad Personal	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	NIVEL DE CRITICIDAD
1	Sistema hidráulico	5	5	5	5	4	3	5	22	110	CA
2	Sistema motor	5	5	5	5	4	2	5	21	105	CA
3	Sistema tren de rodamiento	5	5	5	5	2	3	5	20	100	CA
4	Sistema estructura chasis	4	5	5	5	3	3	4	21	84	CA
5	Sistema implementos de trabajo	3	5	5	5	1	2	3	18	54	CM
6	Sistema eléctrico / electrónico	3	3	4	5	2	2	3	16	48	CM
7	Sistema transmisión	2	5	5	5	2	2	2	19	38	CB
8	Sistema cabina operador	2	3	3	3	2	4	2	15	30	CB
9	Sistema de giro	1	5	5	5	2	3	1	20	20	CB

Los sistemas más críticos que se determinaron con esta técnica son el sistema hidráulico, el sistema motor, el sistema tren de rodamiento, sistema estructura chasis y el sistema de implementos de trabajo. Por lo que se llevará a cabo la implementación de técnicas predictivas, como la inspección visual, el análisis de aceite, los líquidos penetrantes, las partículas magnéticas y el ultrasonido, con el objetivo de reducir la frecuencia de estos fallos.

### 3.2.2 Análisis de modos de fallas y número de prioridad de riesgos (NPR) de las fallas críticas en las excavadoras Hitachi ZX870LC-5

En el siguiente cuadro se mostrarán los modos y efectos de falla más críticos de los sistemas de las excavadoras ZX870LC-5, así como el número de prioridad de riesgos (NPR). Además, se indicará el tipo de mantenimiento predictivo que debe aplicarse para reducir los tiempos de parada no programados y mejorar la disponibilidad mecánica de estos equipos.



**Tabla 13.** AMEF y número de prioridad de riesgos de fallas críticas de las excavadoras ZX870LC-5

SISTEMA	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	EFECTO DE FALLA	D	S	O	NPR	TIPO MANTENIMIENTO PREDICTIVO PROPUESTO
Sistema hidráulico	Perdida eficiencia del cilindro de boom	Sellos internos averiados	Mala operación Contaminación de aceite hidráulico Sellos de baja calidad Sobrecalentamiento	Pérdida fuerza del cilindro Fugas de aceite hidráulico	7	9	9	567	Ultrasonido Inspección Visual
Sistema hidráulico	Perdida eficiencia del cilindro de boom	Rayadura de vástago del cilindro	Mala operación Contaminación de aceite hidráulico	Pérdida fuerza del cilindro Daños al sello interno Fugas de aceite hidráulico	3	7	9	189	Inspección Visual
Sistema hidráulico	Perdida eficiencia del cilindro de stick	Sellos internos averiados	Mala operación Contaminación de aceite hidráulico Sellos de baja calidad Sobrecalentamiento	Pérdida fuerza del cilindro Fugas de aceite hidráulico	7	9	9	567	Ultrasonido Inspección Visual
Sistema hidráulico	Perdida eficiencia del cilindro de stick	Rayadura de vástago del cilindro	Mala operación Contaminación de aceite hidráulico	Pérdida fuerza del cilindro Daños al sello interno Fugas de aceite hidráulico	3	7	9	189	Inspección Visual
Sistema hidráulico	Perdida eficiencia del cilindro de bucket	Sellos internos averiados	Mala operación Contaminación de aceite hidráulico Sellos de baja calidad Sobrecalentamiento	Pérdida fuerza del cilindro Fugas de aceite hidráulico	7	9	9	567	Ultrasonido Inspección Visual
Sistema hidráulico	Perdida eficiencia del cilindro de bucket	Rayadura de vástago del cilindro	Mala operación Contaminación de aceite hidráulico	Pérdida fuerza del cilindro Daños al sello interno Fugas de aceite hidráulico	3	7	9	189	Inspección Visual
Sistema hidráulico	Vástago averiado del cilindro de boom	Rotura del vástago del cilindro	Mala operación Sobrecarga Impacto de agentes externos al cilindro	Accidente laboral Daños al equipo	8	10	3	240	Inspección Visual

Sistema hidráulico	Vástago averiado del cilindro de stick	Rotura del vástago del cilindro	Mala operación Sobrecarga Impacto de agentes externos al cilindro	Accidente laboral Daños al equipo	8	10	3	240	Inspección Visual
Sistema hidráulico	Vástago averiado del cilindro de bucket	Rotura del vástago del cilindro	Mala operación Sobrecarga Impacto de agentes externos al cilindro	Accidente laboral Daños al equipo	8	10	3	240	Inspección Visual
Sistema hidráulico	Fuga de aceite hidráulico por tubería hidráulica	Fisura de tubería hidráulica	Corrosión Sobrecarga de presión	Fugas de aceite hidráulico Contaminación ambiental	6	9	8	432	Inspección Visual
Sistema hidráulico	Pérdida de flujo y presión del sistema hidráulico	Avería de la bomba hidráulica	Contaminación de aceite hidráulico Componentes internos con desgaste Sellos internos Cavitación Vibración	Daños a otros componentes hidráulicos Pérdida de fuerza en los cilindros hidráulicos	9	9	4	324	Muestreo de aceite Termografía Inspección visual
Sistema hidráulico	Fuga de aceite hidráulico por manguera hidráulica	Mangueras hidráulicas dañados	Rozamiento Sobrecalentamiento Sobrecarga de presión Calidad de manguera Condiciones ambientales	Fugas de aceite hidráulico Contaminación ambiental	3	8	10	240	Inspección Visual
Sistema estructura chasis	Brazo de excavadora averiado	Fractura del brazo de excavadora	Sobrecarga de material Corrosión Puntos de soldadura deficientes Fisuras o grietas en la estructura	Accidente laboral Daños a componentes del equipo	10	10	3	300	Líquidos penetrantes Partículas magnéticas Inspección visual
Sistema estructura chasis	Pluma de excavadora averiado	Fractura de la pluma de excavadora	Sobrecarga de material Corrosión Puntos de soldadura deficientes Fisuras o grietas en la estructura	Accidente laboral Daños a componentes del equipo	10	10	3	300	Líquidos penetrantes partículas magnéticas Inspección visual

Sistema estructura chasis	Articulación de excavadora averiado	Fractura de la articulación de excavadora	Sobrecarga de material Fisuras o grietas en la estructura	Daños al cucharón	8	9	5	<b>360</b>	Líquidos penetrantes Partículas magnéticas Inspección visual
Sistema estructura chasis	Juego entre pin y bocina de la pluma	Pin y bocinas desgastados	Engrase deficiente Corrosión Sobrecalentamiento Fisuras o grietas Mala operación Calidad del componente	Daños en el alojamiento de la bocina	8	9	6	<b>432</b>	Termografía Inspección Visual
Sistema estructura chasis	Juego entre pin y bocina del brazo	Pin y bocinas desgastados	Engrase deficiente Corrosión Sobrecalentamiento Fisuras o grietas Mala operación Calidad del componente	Daños en el alojamiento de la bocina	8	9	6	<b>432</b>	Termografía Inspección Visual
Sistema estructura chasis	Juego entre pin y bocina del boom	Pin y bocinas desgastados	Engrase deficiente Corrosión Sobrecalentamiento Fisuras o grietas Mala operación Calidad del componente	Daños en el alojamiento de la bocina	8	9	6	<b>432</b>	Termografía Inspección Visual
Sistema estructura chasis	Juego entre pin y bocina de la articulación	Pin y bocinas desgastados	Engrase deficiente Corrosión Sobrecalentamiento Fisuras o grietas Mala operación Calidad del componente	Daños en el alojamiento de la bocina	6	9	9	<b>486</b>	Termografía Inspección Visual
Sistema estructura chasis	Pérdida de combustible	Fisuras en el tanque de combustible	Corrosión Defecto de fabrica Condiciones ambientales	Contaminación ambiental Consumo de combustible	5	10	5	<b>250</b>	Líquidos penetrantes Partículas magnéticas Inspección visual
Sistema de giro	Bloqueo en el giro de la excavadora	Fisura en la corona de giro	Sobrecarga de material Fisuras o grietas en la estructura Engrase deficiente	Daños a componentes del equipo	10	10	1	<b>100</b>	Inspección visual

Sistema de giro	Avería en el giro de la excavadora	Motor de giro averiado	Desgaste de los componentes internos Contaminación del aceite	Rotación lenta No hay freno en la rotación	7	10	6	420	Muestreo de aceite Inspección Visual
Sistema de giro	Avería en el giro de la excavadora	Reductor de giro averiado	Desgaste de los componentes internos Contaminación del aceite	Rotación lenta No hay freno en la rotación	7	10	6	420	Muestreo de aceite Inspección Visual
Sistema implemento de trabajo	Cucharón averiado	Fisuras / grietas en el cucharón	Corrosión Condiciones del material transportado Calidad del componente Desgaste excesivo	Inoperatividad del componente Excavadora operativa sin poder usar	4	9	8	288	Líquidos penetrantes Partículas magnéticas Inspección visual
Sistema transmisión	Pérdida de potencia en la tracción	Avería en el mando final	Sobrecalentamiento Contaminación del aceite Mala operación Fugas de aceite Desgaste en los dientes de los engranajes	Pérdida de tracción	8	10	3	240	Muestreo de aceite Termografía
Sistema transmisión	Fuga de aceite por tapa de mando final	Fisura en la tapa del mando final	Mala operación	Fugas de aceite hidráulico Contaminación ambiental	5	9	6	270	Líquidos penetrantes Partículas magnéticas Inspección visual
Sistema transmisión	Avería de la PTO	PTO con desgaste	Desgaste de los componentes internos Contaminación del aceite Desgaste de los sellos	Pérdida de fuerza	8	8	3	192	Muestreo de aceite Inspección Visual
Sistema tren de rodamiento	Zapatas fuera de su posición	Rotura de pernos de zapata	Corrosión Ajuste excesivo Calidad del perno Terrenos irregulares	Pérdida de zapata Daños en los eslabones de cadena	1	7	10	70	Inspección Visual
Sistema tren de rodamiento	Resbalamiento del equipo	Zapatas con desgaste	Condiciones ambientales Terrenos irregulares	Rotura de la zapata Daños en los eslabones de cadena Resbalamiento	6	6	7	252	Ultrasonido Inspección Visual

Sistema tren de rodamiento	Mal tensado de cadena	Templador de cadena averiado	Avería de los sellos del templador Resorte averiado Niple de engrasador averiado	Daños en los componentes del tren de rodamiento	6	9	5	<b>270</b>	Inspección Visual
Sistema tren de rodamiento	Falta de movimiento del equipo	Rotura de dientes del Sprocket	Agrietamiento Eje de rueda motriz doblado	Rayones en los bujes de la cadena Daños en los rodillos superiores e inferiores	5	10	5	<b>250</b>	Líquidos penetrantes Inspección visual
Sistema tren de rodamiento	Descarrilamiento del equipo	Rodillos inferiores averiados	Fuga de aceite por los sellos Terrenos irregulares Desgaste espesor del rodillo Traslados excesivos	Descarrilamiento Daños en los componentes del tren de rodamiento Elevación de temperatura del componente	5	10	8	<b>400</b>	Ultrasonido Termografía Inspección visual
Sistema tren de rodamiento	Descarrilamiento del equipo	Rodillos superiores averiados	Fuga de aceite por los sellos Terrenos irregulares Desgaste espesor del rodillo Traslados excesivos	Descarrilamiento Daños en los componentes del tren de rodamiento Elevación de temperatura del componente	5	10	8	<b>400</b>	Ultrasonido Termografía Inspección visual
Sistema tren de rodamiento	Descarrilamiento del equipo	Eslabón de cadena con desgaste	Terrenos irregulares Desgaste espesor del eslabón Traslados excesivos Cadena muy tensada	Descarrilamiento Daños en los componentes del tren de rodamiento	7	10	7	<b>490</b>	Ultrasonido Inspección Visual
Sistema tren de rodamiento	Descarrilamiento del equipo	Rueda guía con desgaste	Fuga de aceite por los sellos Terrenos irregulares Desgaste espesor de la rueda guía Traslados excesivos	Descarrilamiento Rotura de la rueda guía Daños en los componentes del tren de rodamiento	8	10	4	<b>320</b>	Ultrasonido Inspección Visual
Sistema tren de rodamiento	Descarrilamiento del equipo	Desgaste entre bocinas y pines	Fuga de aceite por los sellos Terrenos irregulares Desgaste espesor del buje Traslados excesivos	Descarrilamiento Daños en los componentes del tren de rodamiento	7	10	8	<b>560</b>	Ultrasonido Termografía Inspección visual

Sistema tren de rodamiento	Descarrilamiento del equipo	Desgaste del Bujes	Fuga de aceite por los sellos Terrenos irregulares Desgaste espesor del buje Traslados excesivos	Descarrilamiento Daños en los componentes del tren de rodamiento	7	10	8	<b>560</b>	Ultrasonido Termografía Inspección visual
Sistema tren de rodamiento	Descarrilamiento del equipo	Estiramiento de cadena	Bujes desgastados Traslados excesivos	Descarrilamiento Daños en los componentes del tren de rodamiento	8	10	4	<b>320</b>	Inspección Visual
Sistema eléctrico / electrónico	Motor no arranca	Arrancador averiado	Batería en mal Estado Sobrecalentamiento Avería de componentes internos	Daños en el volante de motor Elevación de temperatura del componente Daños a la batería	5	8	7	<b>280</b>	Inspección Visual
Sistema eléctrico / electrónico	Falta de suministro eléctrico del equipo	Alternador averiado	Consumo excesivo Batería en mal estado Sobrecalentamiento Contaminación ambiental Mal ajuste de la correa Avería de componentes internos	Sobrecarga eléctrica Daños en los componentes electrónicos Elevación de temperatura del componente	5	9	7	<b>315</b>	Termografía Inspección Visual
Sistema eléctrico / electrónico	Motor no arranca	Batería en mal estado	Falta de líquido (agua destilada) Alternador en mal estado Sobrecarga Corrosión en los terminales	Falta de suministro eléctricos a los componentes Motor no arranca	4	8	6	<b>192</b>	Inspección Visual
Sistema eléctrico / electrónico	Funcionamiento erróneo del sistema del equipo	Ecu averiado	Sobrecarga Componentes electrónicos internos averiados Cortocircuito Condiciones ambientales	Falta de comunicación con los componentes electrónicos	7	9	3	<b>189</b>	Inspección Visual
Sistema eléctrico / electrónico	Falta de suministro eléctrico a los componentes eléctricos	Cableado eléctrico en mal estado	Cortocircuito Condiciones ambientales	Daños en los componentes electrónicos	6	9	4	<b>216</b>	Inspección Visual Termografía
Sistema eléctrico / electrónico	Presión de aceite inadecuado	Sensor de aceite averiado	Corrosión en los terminales Sensor en mal estado	Alerta de presión inadecuado de aceite	5	9	4	<b>180</b>	Inspección Visual

Sistema cabina operador	Parabrisa averiado	Rotura de parabrisas	Mala operación Impactos por piedras del exterior	Daños al operador Ingreso de contaminantes al interior de la cabina	1	9	9	81	Inspección Visual
Sistema cabina operador	Asiento de operador averiado	Asiento de operador defectuoso	Mala operación del asiento Componentes internos en mal estado	Daños al operador	4	7	7	196	Inspección Visual
Sistema cabina operador	Falta de enfriamiento al interior de la cabina	Aire acondicionado averiado	Compresor averiado Fisura de tuberías de aire acondicionado Filtros de cabina saturados	Daños al operador	4	6	8	192	Inspección Visual
Sistema motor	Pérdida de potencia	Turbocompresor en mal estado	Fallo de lubricación Contaminación del aceite Entrada de objetos extraños Eje averiado VGT averiado	Pérdida de potencia Consumo de aceite Rotura del componente Elevación de temperatura	7	9	7	441	Termografía Muestreo de aceite Inspección visual
Sistema motor	Pérdida de potencia	Enfriador EGR averiado	Acumulación de hollín Aumento de temperatura del motor Corrosión Fugas en el componente	Elevación de temperatura Contaminación ambiental Pérdida de potencia del motor Pérdida de refrigerante	7	9	5	315	Termografía Inspección visual
Sistema motor	Pérdida de potencia	Fisura de cañería de combustible	Corrosión Vibración	Contaminación ambiental Pérdida de potencia del motor	5	9	6	270	Inspección visual
Sistema motor	Pérdida de potencia	Inyector en mal estado	Inyector obstruido Contaminación del combustible Combustible de baja calidad	Funcionamiento del motor inestable Ruidos en el motor Pérdida de potencia del motor	7	9	7	441	Inspección visual
Sistema motor	Pérdida de potencia	Bomba de inyección averiado	Desgaste interno de la bomba Contaminación del combustible Combustible de baja calidad	Funcionamiento del motor inestable Ruidos en el motor Pérdida de potencia del motor	7	9	5	315	Inspección visual
Sistema motor	Pérdida de potencia	Filtros de aire obstruidos	Condiciones ambientales Falta de cambio según frecuencia	Pérdida de potencia del motor	3	6	10	180	Inspección visual

Sistema motor	Pérdida de potencia	Múltiple de admisión obstruido	Acumulación de hollín	Elevación de temperatura Pérdida de potencia del motor Fallos en el cilindro de motor Falla del motor en ralentí	8	8	5	320	Termografía
Sistema motor	Consumo excesivo de combustible	Bomba de inyección averiado	Desgaste interno de la bomba Contaminación del combustible Combustible de baja calidad	Motor acelerado Motor falla en ralentí Humo negro por la salida del escape Contaminación ambiental	7	9	5	315	Inspección visual
Sistema motor	Consumo excesivo de combustible	Inyector en mal estado	Goteo de combustible por inyector	Motor acelerado Motor falla en ralentí Humo negro por la salida del escape Contaminación ambiental	7	9	7	441	Inspección visual
Sistema motor	Consumo excesivo de combustible	Filtro de aire obstruido	Filtro de aire tapado Ambiente con hasta polución Frecuencia de cambio no realizado	Pérdida potencia Motor acelerado Motor falla en ralentí Humo negro por la salida del escape Contaminación ambiental	3	6	10	180	Inspección visual
Sistema motor	Ruidos externos en el motor	Polea averiada	Rodaje de polea de alternador averiado Rodaje de polea de bomba de agua averiado	Ruidos en el motor Rotura de la faja Daños a los componentes internos	5	6	6	180	Inspección visual
Sistema motor	Ruidos externos en el motor	Fajas de accesorios con desgaste	Fajas reseca Fajas agrietadas	Ruidos en el motor Rotura de la faja Daños a la polea	5	6	7	210	Inspección visual
Sistema motor	Ruidos externos en el motor	Múltiple de escape averiado	Acumulación de hollina Fisura del múltiple de escape	Elevación de temperatura Pérdida de potencia Ruidos en el motor Consumo de combustible Vapores de gases en el motor	7	8	4	224	Termografía Inspección visual



Sistema motor	Recalentamiento de motor	Bomba de agua averiado	Rodamiento interno averiado Corrosión Refrigerante de baja calidad Contaminación del refrigerante Mal ajuste de la correa	Elevación de temperatura de motor Daños en las juntas de motor	6	9	5	270	Inspección Visual
Sistema motor	Recalentamiento de motor	Ventilador de motor averiado	Motor de ventilador en mal estado Rodamiento en mal estado Fugas de aceite	Elevación de temperatura de motor Daños en las juntas de motor	6	9	5	270	Inspección Visual
Sistema motor	Recalentamiento de motor	Radiador obstruido	Contaminación del refrigerante Corrosión Panel de radiador bloqueado Condiciones ambientales	Elevación de temperatura de motor Daños en las juntas de motor	7	9	7	441	Termografía Inspección Visual
Sistema motor	Recalentamiento de motor	Termostato averiado	Avería interna del componente	Elevación de temperatura de motor Daños en las juntas Daños al radiador	6	8	5	240	Inspección Visual
Sistema motor	Fugas de refrigerante	Manguera de agua en mal estado	Manguera de baja calidad Termostato averiado	Elevación de temperatura de motor Fugas de refrigerante	3	8	9	216	Inspección Visual
Sistema motor	Fugas de refrigerante	Radiador con fisuras	Contaminación del refrigerante Corrosión	Elevación de temperatura de motor Inoperatividad del equipo Fugas de refrigerante	4	9	7	252	Inspección Visual
Sistema motor	Presión de aceite de motor inadecuado	Bomba de aceite averiado	Contaminación del aceite Filtro de aceite obstruido Juntas de aceite averiados Desgaste interno del componente	Elevación de temperatura de motor Daños internos del motor Sonidos extraños del motor Baja presión de aceite	8	10	3	240	Inspección Visual
Sistema motor	Fugas de aceite de motor	Empaques externos en mal estado	Instalación incorrecta Sobrepresión de aceite Resequedad	Contaminación ambiental Contaminación con otros fluidos Pérdida de aceite de motor Daños a la bomba de aceite Baja presión de aceite	5	7	9	315	Inspección Visual

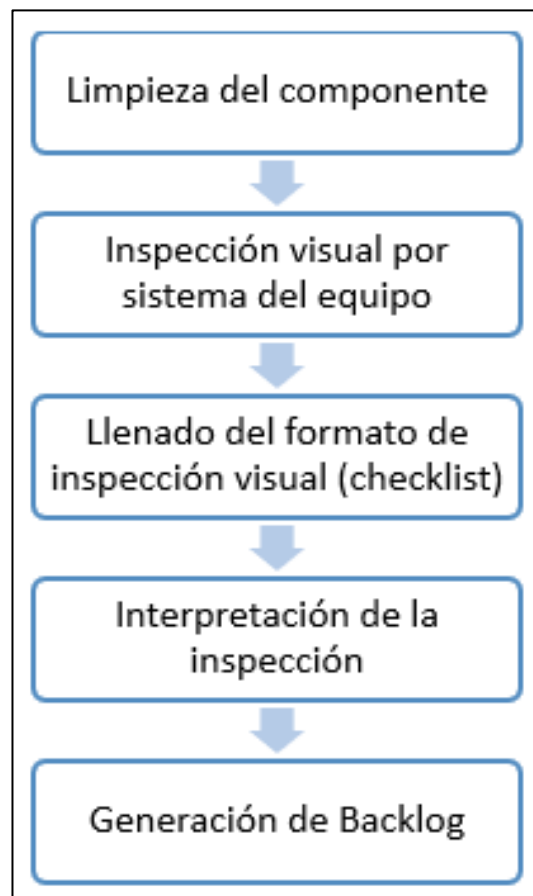
Sistema motor	Fugas de aceite de motor	Retén en mal estado	Instalación incorrecta Sobrepresión de aceite Resequedad	Contaminación ambiental Contaminación con otros fluidos Pérdida de aceite de motor Daños a la bomba de aceite Baja presión de aceite	6	7	9	<b>378</b>	Inspección Visual
Sistema motor	Aceite contaminado con refrigerante	Enfriador de aceite con fisuras	Contaminación del refrigerante Corrosión	Elevación de temperatura de motor Fugas de refrigerante Mezcla de aceite de motor con refrigerante Fugas de aceite	8	9	5	<b>360</b>	Inspección Visual Muestreo de aceite
Sistema motor	Aceite contaminado con refrigerante	Junta o empaques de motor averiado	Empaque de culata averiado Culata agrietada Sobrecalentamiento Juntas de motor averiados	Mezcla de aceite de motor con refrigerante Daños en los componentes del motor Daños en el sistema de refrigeración del motor	9	10	5	<b>450</b>	Inspección Visual Muestreo de aceite
Sistema motor	Consumo de aceite	Desgaste de componentes del motor	Guías de válvula en mal estado Anillos de pistón desgastados Cilindros con desgaste Pistón con desgaste	Quemado de aceite de motor Humo azul en los gases de escape Bajo nivel de aceite	10	10	3	<b>300</b>	Muestreo de aceite
Sistema motor	Consumo de aceite	Turbocompresor en mal estado	Fallo de lubricación Contaminación del aceite Entrada de objetos extraños Eje averiado	Pérdida de potencia Consumo de aceite Rotura del componente Elevación de temperatura Bajo nivel de aceite	6	9	7	<b>378</b>	Termografía Muestreo de aceite

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3 Propuesta de plan de mantenimiento predictivo mediante la técnica de inspección visual

Ravines (2020) en su diseño de mantenimiento predictivo para equipos de maquinaria pesada, aplica la inspección visual como una técnica del mantenimiento predictivo que permite detectar fallos que son perceptibles a simple vista, tales como desgastes en los componentes, aflojamiento de componentes de fijación, grietas, fisuras, entre otros. Considerando esto, se implementará esta técnica predictiva en las excavadoras ZX870LC-5 con el objetivo de identificar posibles fallos que puedan afectar la disponibilidad de la máquina. Para la ejecución se realizará el siguiente procedimiento.

**Figura 21.** Procedimiento para ejecución de mantenimiento predictivo por inspección visual



La inspección visual se llevará a cabo en los diversos sistemas de la excavadora y se registrará en un formato de inspección. En este formato, se proporcionarán inicialmente los datos del equipo y luego se describe el estado de los componentes que integran cada sistema. El formato de inspección se detalla en el Anexo 2.

### **Programación**

La frecuencia de inspección de los sistemas de la excavadora mediante la técnica por inspección visual es cada 250 horas de funcionamiento del equipo. Estas inspecciones se llevarán a cabo conjuntamente con el mantenimiento preventivo del equipo y el responsable de realizar dichas inspecciones y completar el formato será el técnico mecánico. El supervisor y planner de mantenimiento analizaron estos formatos de inspección y tomarán las acciones necesarias.

**Tabla 14.** Frecuencia de mantenimiento predictivo por inspección visual

<b>Sistemas del equipo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Personal encargado</b>	<b>Tiempo</b>
Sistema cabina operador	250 horas	Técnico mecánico	8 min.
Sistema Motor	250 horas	Técnico mecánico	10 min.
Sistema tren de rodamiento	250 horas	Técnico mecánico	15 min.
Sistema eléctrico / electrónico	250 horas	Técnico mecánico	10 min.
Sistema hidráulico	250 horas	Técnico mecánico	15 min.
Sistema estructura chasis	250 horas	Técnico mecánico	15 min.
Sistema de giro	250 horas	Técnico mecánico	7 min.
Sistema de transmisión	250 horas	Técnico mecánico	10 min.
Sistema implementos (Cucharón)	250 horas	Técnico mecánico	10 min.

En la tabla 14 se detalla la frecuencia de mantenimiento predictivo mediante inspección visual, así como los sistemas correspondientes, el personal encargado y además el tiempo estimado necesario para llevar a cabo la inspección, que en total suma unos 100 minutos.

### 3.2.4 Propuesta de plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite

Utilizaremos el análisis de aceite como una de las técnicas para la implementación del mantenimiento predictivo en una empresa que brinda el servicio de alquiler y venta de maquinaria pesada. Con esta técnica podremos comprobar el estado del aceite lubricante y además verificar el desgaste de los componentes internos de la máquina. Para el desarrollo del plan de mantenimiento nos basamos en el trabajo realizado por Buchelli & García (2015), donde utilizaron un enfoque parecido para identificar posibles problemas en motores diésel de combustión interna a través del análisis del aceite.

**Figura 22.** Procedimiento del análisis de aceite



Fuente: Portocarrero & Rabanal (2019)

### a) Identificación del equipo

Teniendo en cuenta la disponibilidad de los equipos que ofrece la empresa en su servicio de alquiler, se ha determinado que las excavadoras Hitachi ZX870LC-5 son los modelos de excavadoras que presentan la disponibilidad más baja. Por esta razón, se va a aplicar el muestreo de aceite con el objetivo de abordar esta problemática.

- Características del equipo o maquinaria.

Las excavadoras modelo Hitachi ZX870LC-5 son los equipos seleccionados para la ejecución del mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite. A continuación, se detallan las características más importantes de la excavadora que la empresa ofrece en su servicio de alquiler.

**Tabla 15.** Características de excavadora Hitachi ZX870LC-5

<b>EXCAVADORA HITACHI MODELO ZX870LC-5</b>	
Potencia	360 kW (483 hp) a 1800 rpm
Motor	Isuzu 6WG1
Número cilindros de motor	6
Cilindrada	15.7 L (957 pulg.3)
Peso de Operación	84,000 kg (185,188 lb)
Transmisión o tren de Potencia	Propulsión de 2 velocidades con mecanismo de cambio automático
Capacidad de cucharón	5 m <sup>3</sup>

- Especificaciones del lubricante

El fabricante, John Deere, ofrece un manual de instrucciones para la operación y el mantenimiento de sus equipos. En este manual, se especifican los tipos de lubricantes que se deben emplear, así como la cantidad y la frecuencia de cambio recomendadas. Estos lubricantes deben cumplir con la clasificación SAE y otras características relevantes que deben tenerse en cuenta. Es importante señalar que John Deere fabrica sus propios lubricantes.

**Tabla 16.** Características del lubricante de motor

<b>Lubricante</b>	<b>Descripción</b>	<b>Características</b>
Aceite de motor	Fabricante	Deere & Company
	Nombre	JD Plus 50 II 15W-40
	SAE	15W-40
	API	CI-4 / SL
	Densidad	887 kg/m <sup>3</sup> (15,0 °C / 59,0 °F)
	Viscosidad Cinemática	> 50 cSt a 40 °C / 104°F

**Tabla 17.** Características del lubricante hidráulico

<b>Lubricante</b>	<b>Descripción</b>	<b>Características</b>
Aceite hidráulico	Fabricante	Deere & Company
	Nombre	Hitachi Hydraulic Oil Super EX 46HN
	ISO	ISO 46
	Densidad	860 kg/m <sup>3</sup> (15,0 °C / 59,0 °F)
	Viscosidad Cinemática	7.83 cSt (7.83 mm <sup>2</sup> /sec) a 100°C

**Tabla 18.** Características del lubricante de engranajes

<b>Lubricante</b>	<b>Descripción</b>	<b>Características</b>
Aceite de engranajes	Fabricante	Deere & Company
	Nombre	John Deere GL-5
	SAE	80W-90
	API	GL-5
	Densidad	904 kg/m <sup>3</sup> (15,0 °C / 59,0 °F)
	Viscosidad Cinemática	15 mm <sup>2</sup> /s a 100 °C / (ASTM D445)

- Frecuencia de mantenimiento

La frecuencia de cambio de los lubricantes de las excavadoras es de acuerdo a lo recomendado por el fabricante John Deere. El cambio de estos lubricantes varía su frecuencia según el compartimiento del equipo.

A continuación, se detalla la tabla de frecuencia de cambio en horas.

**Tabla 19.** Frecuencias de cambio del lubricante en las excavadoras

Descripción	Frecuencia cambio de lubricante	Tipo lubricante
Aceite de motor	250 horas	15W-40
Aceite de caja de engranajes PTO	250 horas	15W-40
Aceite de Motor de Giro Izquierdo	1000 horas	80W-90
Aceite de Motor de Giro Derecho	1000 horas	80W-90
Aceite de Mando Final Izquierdo	1000 horas	80W-90
Aceite de Mando Final Derecho	1000 horas	80W-90
Aceite Hidráulico	4000 horas	Super EX 46HN

De acuerdo al tipo de mantenimiento creado en el plan de mantenimiento en el SAP, se detalla en la figura 23 en qué tipo de mantenimiento se realizaría el cambio de los lubricantes.

**Figura 23.** Frecuencia de cambio del lubricante por tipo de PM

DESCRIPCION	250 (PM1)	500 (PM2)	1000 (PM3)	2000 (PM4)	4000 (PM5)
Aceite de motor	X	X	X	X	X
Aceite de caja de engranajes PTO	X	X	X	X	X
Aceite de Motor de Giro Izquierdo	-	-	X	X	X
Aceite de Motor de Giro Derecho	-	-	X	X	X
Aceite de Mando Final Izquierdo	-	-	X	X	X
Aceite de Mando Final Derecho	-	-	X	X	X
Aceite Hidráulico	-	-	-	-	X

- Frecuencia de muestreo de aceite

La frecuencia de muestreo del lubricante que se está aplicando se determina según los compartimentos y el tipo de lubricante utilizado. Estos intervalos han sido analizados y evaluados con el propósito de garantizar un monitoreo efectivo del equipo y, de esta manera, anticipar posibles fallas que puedan afectar la vida útil de los componentes y la disponibilidad del equipo.



**Tabla 20.** Frecuencias de muestreo del lubricante en las excavadoras

Descripción	Intervalo muestreo del lubricante	Personal encargado	Tiempo
Aceite de motor	500 horas	Técnico mecánico	5 min.
Aceite de caja de engranajes PTO	1000 horas	Técnico mecánico	6 min
Aceite de Motor de Giro Izquierdo	1000 horas	Técnico mecánico	6 min
Aceite de Motor de Giro Derecho	1000 horas	Técnico mecánico	6 min
Aceite de Mando Final Izquierdo	1000 horas	Técnico mecánico	6 min
Aceite de Mando Final Derecho	1000 horas	Técnico mecánico	6 min
Aceite Hidráulico	1000 horas	Técnico mecánico	5 min

De acuerdo al tipo de mantenimiento creado en el plan de mantenimiento en el SAP, se detalla en la figura 24 en qué tipo de mantenimiento se realizaría el muestreo de los lubricantes.

**Figura 24.** Frecuencia de muestreo del lubricante por tipo de PM

Descripción	Cantidad Muestreo	250 (PM1)	500 (PM2)	1000 (PM3)	2000 (PM4)	4000 (PM5)
Aceite de motor	1	-	X	X	X	X
Aceite de caja de engranajes PTO	1	-	-	X	X	X
Aceite de Motor de Giro Izquierdo	1	-	-	X	X	X
Aceite de Motor de Giro Derecho	1	-	-	X	X	X
Aceite de Mando Final Izquierdo	1	-	-	X	X	X
Aceite de Mando Final Derecho	1	-	-	X	X	X
Aceite Hidráulico	1	-	-	X	X	X

## b) Análisis de aceite

- Parámetros de análisis de aceite en sistemas específicos

Señala Portocarrero & Rabanal (2019) que los criterios de análisis de aceite para los sistemas de los equipos que se están monitoreando, se definen en función de los objetivos y la metodología empleada en cada prueba, es establecida por una compañía tercera que lleva a cabo los análisis de aceite en sus laboratorios. A continuación, se detallan las

características que se obtendrán del aceite para determinar el estado del lubricante. (p. 71)

**Tabla 21.** Parámetros a analizar del lubricante de motor

<b>Ítem</b>	<b>Parámetros a medir del lubricante 15W-40</b>
1	Agua (cualitativo)
2	Dilución por combustible (%masa)
3	Hollín (%masa) / (Abs/0.1mm)
4	Indicador de Refrigerante
5	Índice PQ
6	Nitración (Abs/0.1mm)
7	Oxidación (Abs/0.1mm)
8	Sulfatación (Abs/0.1mm)
9	TBN (mgKOH/g) 4
10	Viscosidad a 100°C (cSt)
11	Desgaste (ppm)
12	Contaminantes (ppm)
13	Aditivos (ppm)

**Tabla 22.** Parámetros a analizar del lubricante de engranajes

<b>Ítem</b>	<b>Parámetros a medir del lubricante 80W-90</b>
1	Agua (cualitativo)
2	Código ISO (ISO 4406)
3	Conteo de Partículas
4	Índice PQ
5	Oxidación (Abs/0.1mm)
6	Viscosidad a 100°C (cSt)
7	Desgaste (ppm)
8	Contaminantes (ppm)
9	Aditivos (ppm)

**Tabla 23.** Parámetros a analizar del lubricante hidráulico

<b>Ítem</b>	<b>Parámetros a medir del lubricante HITACHI HYDRAULIC OIL SUPER EX 46HN</b>
1	Agua (cualitativo)
2	Código ISO (ISO 4406)
3	Conteo de Partículas
4	Índice PQ
5	Oxidación (Abs/0.1mm)
6	Viscosidad a 40°C (cSt)
7	Desgaste (ppm)
8	Contaminantes (ppm)
9	Aditivos (ppm)

- Límites aceptables de condición

Es importante tener en cuenta los límites permisibles de los valores obtenidos en el análisis de aceite, ya que esta información nos proporcionará datos sobre el desgaste, la condición del aceite y el nivel de contaminación. Estos límites varían en función del tipo de lubricante que se esté analizando.

**Figura 25.** Límites permisibles de análisis del lubricante 15W-40 proporcionado por Laboratorio Terpel

COMPARTIMIENTO	VARIABLE	UNIDADES	LÍMITES ESTADÍSTICOS		
			Normal (<=)	Precaución (>=)	Alerta (>)
Motor PTO	Cu	ppm	15	16	45
	Fe	ppm	50	51	125
	Cr	ppm	10	11	20
	Pb	ppm	10	11	20
	Sn	ppm	9	10	15
	Al	ppm	20	21	30
	Si	ppm	15	16	25
	Na	ppm	25	26	50
	K	ppm	25	26	50
	Soot	% W	2.5	2.5	2.5
	Oxi Nit	Abs/0.1 mm	0.200	0.201	0.300
	TBN	mKOH/g	<6	<5	<4
	PQ	-	30	31	50
	V100	cSt	>= 12	<12	<11

**Figura 26.** Límites permisibles de análisis del lubricante 80W-90 proporcionado por Laboratorio Terpel

COMPARTIMIENTO	VARIABLE	UNIDADES	LÍMITES ESTADÍSTICOS		
			Normal (<=)	Precaución (>=)	Alerta (>)
Mando Final Motor de giro	Cu	ppm	39	40	50
	Fe	ppm	500	500	500
	Al	ppm	10	11	20
	Si	ppm	25	26	35
	Na	ppm	70	70	70
	K	ppm	50	50	50
	PQ	-	100	101	200
	V100	cSt	>= 14.5	>= 12.8	>= 0

**Figura 27.** Límites permisibles del análisis del lubricante hidráulico proporcionado por Laboratorio Terpel

COMPARTIMIENTO	VARIABLE	UNIDADES	LÍMITES ESTADÍSTICOS		
			Normal (<=)	Precaución (>=)	Alerta (>)
Hidráulico	Al	ppm	20	21	30
	Fe	ppm	50	50	50
	Si	ppm	14	15	16
	Na	ppm	25	26	50
	K	ppm	25	26	30
	V40	cSt	78.5	82.1	100
	Oxi	Abs/0.1 mm	0.05	0.06	0.1
	Cont_4	>4	10000	10001	40000
	Cont_6	>6	2500	2501	10000
	Cont_14	>14	320	321	1300
PQ	-	30	31	50	

### c) Recolección de datos

- Extracción del aceite

Para retirar una muestra de aceite se utilizará el método de extracción por vacío. Este procedimiento se emplea en sistemas bajo presión que no disponen de válvulas para la extracción de muestras. Para obtener muestras, se necesita una Bomba de Vacío, trozo de tubo y frasco de muestreo. Queremos enfatizar la importancia de emplear un tubo nuevo cada vez que se extraigan muestras de aceite del motor, debido a la posibilidad de que el hollín y los aditivos del aceite queden adheridos al tubo y puedan contaminar las muestras posteriores. (Avendaño, 2022)

- Muestreo del aceite usado

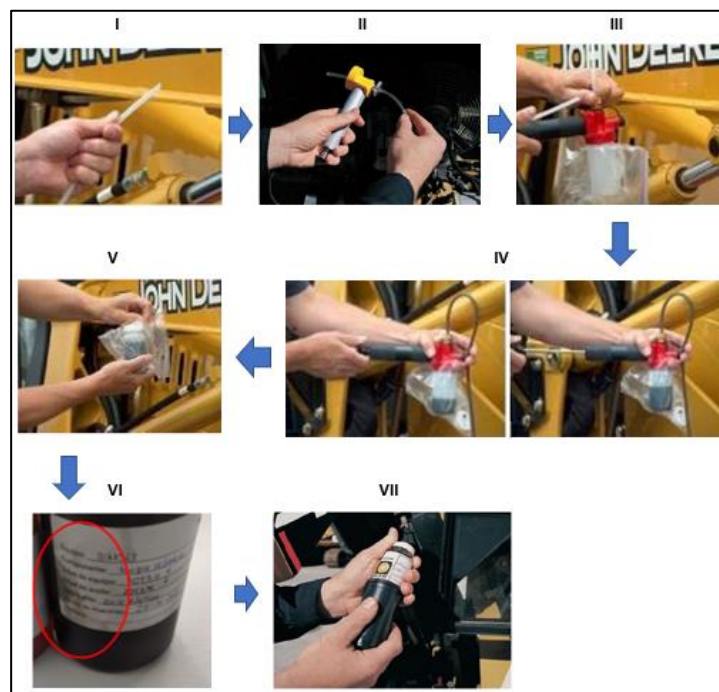
Se debe de realizar los siguientes pasos para la realización de la toma de muestra del aceite:

- I. Apague el motor y proceda a medir el tubo nuevo, luego córtalo a la longitud de la varilla indicadora de nivel. En caso de que el compartimento no cuente con una varilla, corte el tubo de manera que alcance hasta la mitad de la profundidad del aceite.
- II. Introduzca el tubo a través de la parte superior de la bomba de vacío y asegure la tuerca de sujeción. Asegúrese de que el tubo

sobresalga alrededor de 4 cm desde la base de la cabeza de la bomba de vacío.

- III. Acople un recipiente de muestra nuevo a la bomba de vacío y coloque el extremo del tubo en el aceite, asegurándose de que el tubo no entre en contacto con el fondo del compartimento.
- IV. Maniobra la manivela de la bomba para generar un vacío, asegurándose de que la bomba se mantenga en posición vertical. Evite voltearla, ya que podría contaminarse con el aceite. Si por alguna razón el aceite entra en la bomba, desmantela y límpiela antes de continuar con otra toma de muestras. Llene la botella para muestras hasta aproximadamente tres cuartas partes de su capacidad, sin llegar a llenarla por completo.
- V. Extraiga el tubo del compartimento. Retire la botella de la bomba de vacío y cierre herméticamente la tapa de la botella.
- VI. Realizar el etiquetado de la muestra indicando los datos necesarios como el CIP del equipo, sistema, horómetro, fecha del muestreo, etc.
- VII. Posteriormente coloque la botella con la etiqueta debidamente completada en el recipiente para su posterior envío al laboratorio.

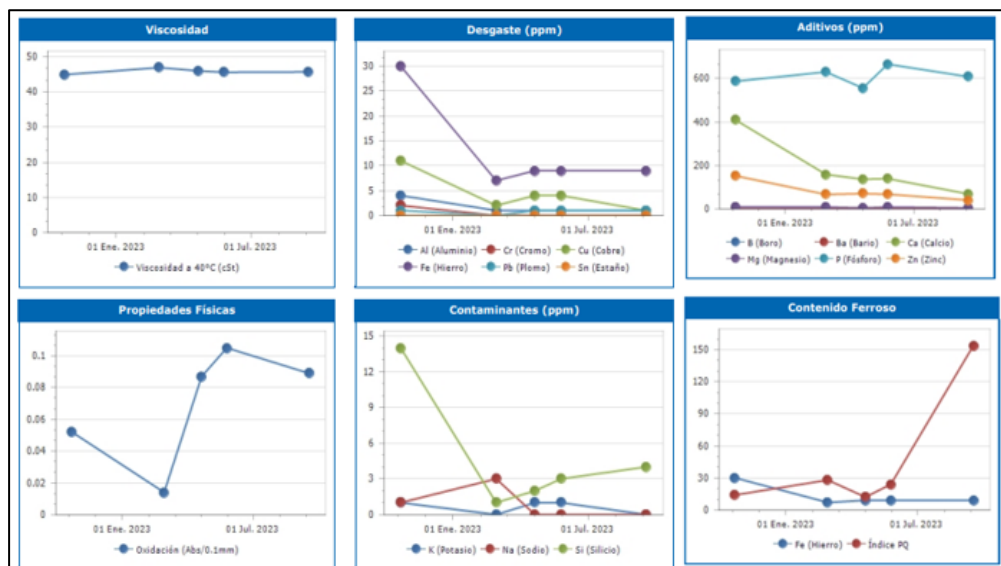
**Figura 28.** Procedimiento para la toma de muestra del lubricante



#### d) Resultado y diagnóstico

La interpretación de los resultados de los análisis de los lubricantes constituye el último paso de esta técnica predictiva, permitiendo así determinar el diagnóstico del estado de salud del lubricante, la cantidad de contaminación presente y el grado de desgaste del componente mecánico. A partir de esta interpretación, se implementan acciones preventivas o correctivas para prolongar la vida útil del componente y prevenir altos costos en reparaciones, así como paradas no programadas. A continuación, se muestran las interpretaciones de los resultados obtenidos en las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5 de códigos M161857, M161859 y M160992.

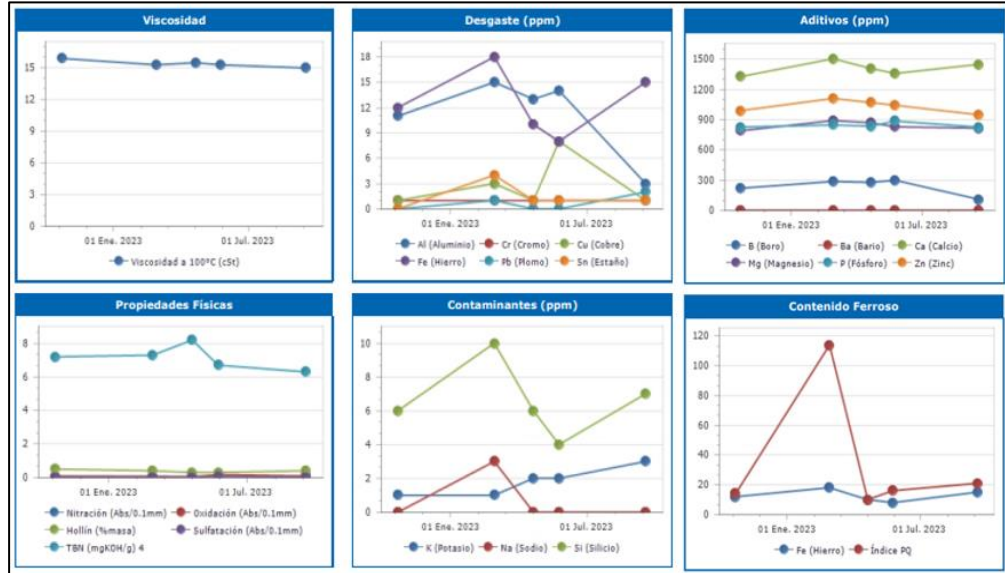
**Figura 29.** Resultados de análisis de aceite hidráulico del equipo M161857



En la figura 29, se observa los valores obtenidos del análisis del aceite hidráulico del equipo M161857. La viscosidad se mantuvo dentro de los límites normales; sin embargo, el conteo de partículas ha alcanzado un nivel de alerta, al igual que el índice PQ. El grado de oxidación alcanzó un valor de precaución, pero el nivel de desgaste (ppm), los contaminantes (ppm) y los aditivos (ppm) se encuentran dentro de los límites normales. Se recomienda cambiar el aceite, verificar el cierre de los depósitos e inspeccionar el respiradero. El alto índice de PQ indica presencia de partículas ferromagnéticas en el

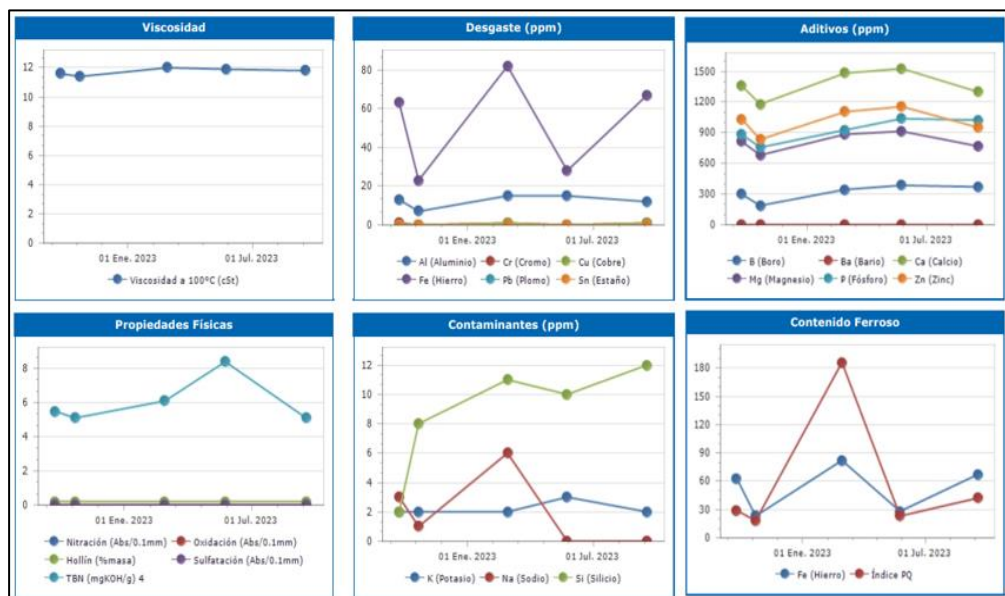
sistema, ocasionando un desgaste acelerado de los componentes internos.

**Figura 30.** Resultados de análisis de aceite de motor del equipo M161857



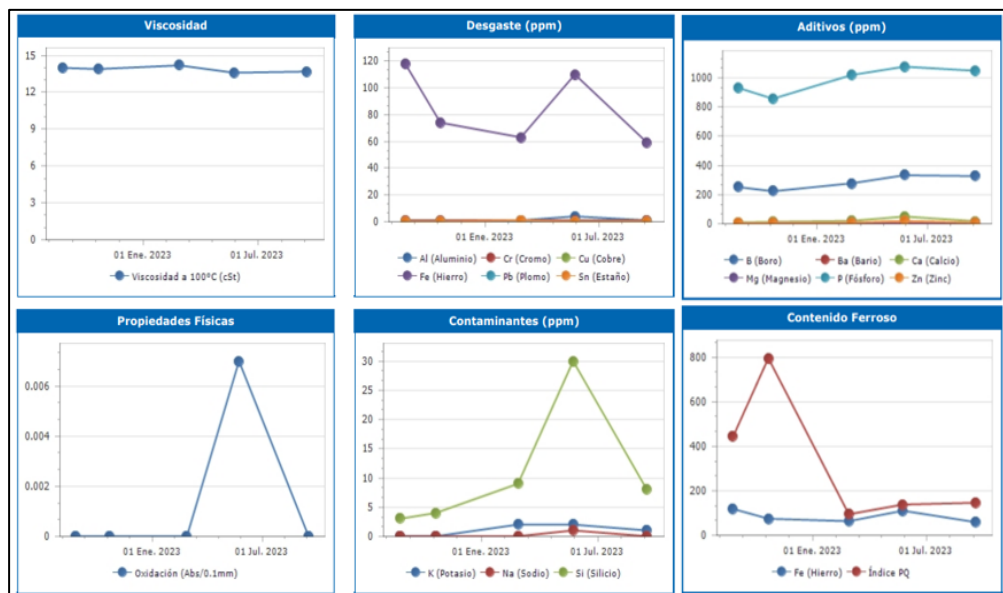
En la figura 30, podemos observar los resultados obtenidos del análisis de aceite del motor de la excavadora M161857 y podemos verificar que todos los valores se encuentran dentro de los límites normales. Se recomienda continuar con el monitoreo y mantener la frecuencia actual de cambio de aceite, realizándose cada 250 horas.

**Figura 31.** Resultados de análisis de aceite de PTO del equipo M161857



La figura 31 nos presenta resultados sobre el componente PTO de la excavadora M161857, donde se aprecia que la viscosidad del aceite se encuentra en un nivel de precaución. En cuanto al contenido ferroso, el índice PQ y el hierro muestran valores en nivel precaución. Los demás valores como el desgaste (ppm), aditivos (ppm), contaminantes (ppm) y propiedades físicas del aceite se encuentran en valores normales. Se recomienda llevar a cabo el cambio del lubricante y realizar un monitoreo continuo para detectar posibles signos de desgaste en los componentes internos.

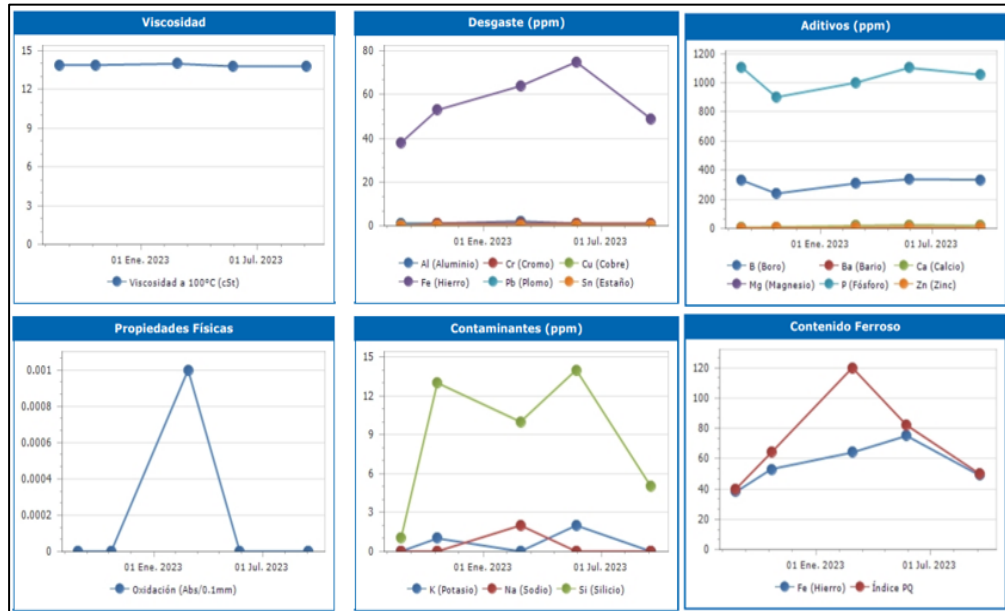
**Figura 32.** Resultados de análisis de aceite de mando final LH del equipo M161857



Los resultados del análisis de aceite del mando final izquierdo de la excavadora M161857, muestran un valor de precaución en la viscosidad del aceite. Además, el contenido ferroso revela que el índice PQ ha registrado valores de alerta y precaución, probablemente debido a la presencia de polvo en el sistema lo que estaría ocasionando desgastes abrasivos. Los demás valores como el desgaste (ppm), aditivos (ppm), contaminantes (ppm) y propiedades físicas del aceite se encuentran en valores normales. Se recomienda llevar a cabo el cambio del aceite, y al realizar esta acción, es necesario drenar completamente el aceite anterior.



**Figura 33.** Resultados del análisis de aceite de mando final RH del equipo M161857



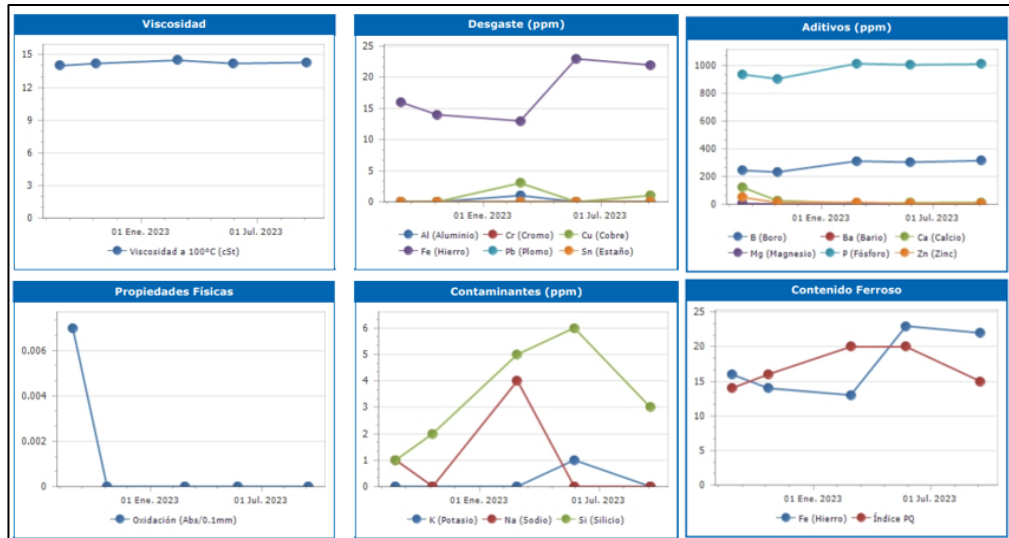
Los resultados del mando final derecho de la excavadora M161857 muestran un valor de precaución en la viscosidad del aceite. En cuanto al contenido ferroso, el índice PQ tuvo un valor de precaución, pero en la muestra actual está dentro del rango normal. Los demás valores, como el desgaste (ppm), aditivos (ppm), contaminantes (ppm) y propiedades físicas, están dentro del límite normal. Se recomienda realizar el cambio del aceite y drenar completamente el aceite anterior.

**Figura 34.** Resultados análisis de aceite del motor de giro LH del equipo M161857



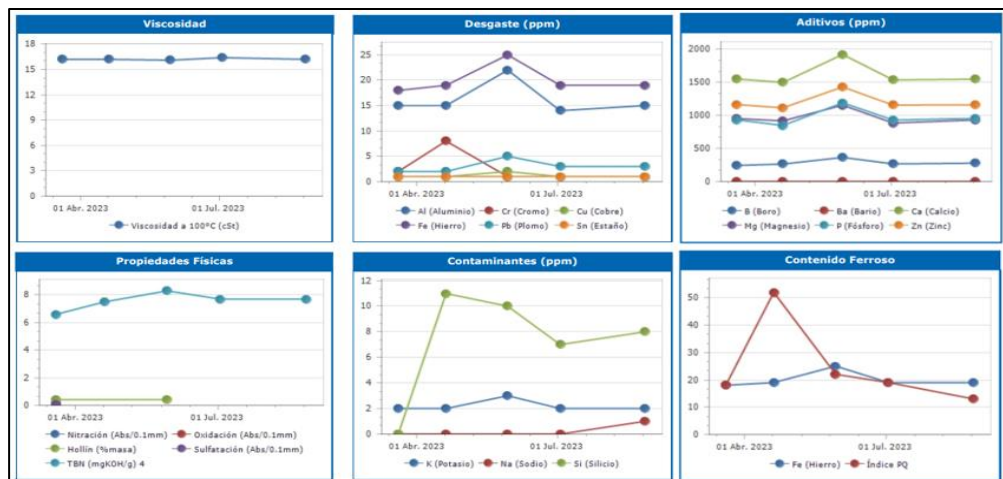
Estos resultados del motor de giro izquierdo de la excavadora M161857 indican viscosidad del aceite en un nivel de precaución, por lo que se recomienda realizar el cambio del aceite. Los valores, como el desgaste (ppm), aditivos (ppm), contaminantes (ppm), oxidación del aceite y contenido ferroso, están dentro de los valores normales.

**Figura 35.** Resultados análisis de aceite del motor de giro RH del equipo M161857



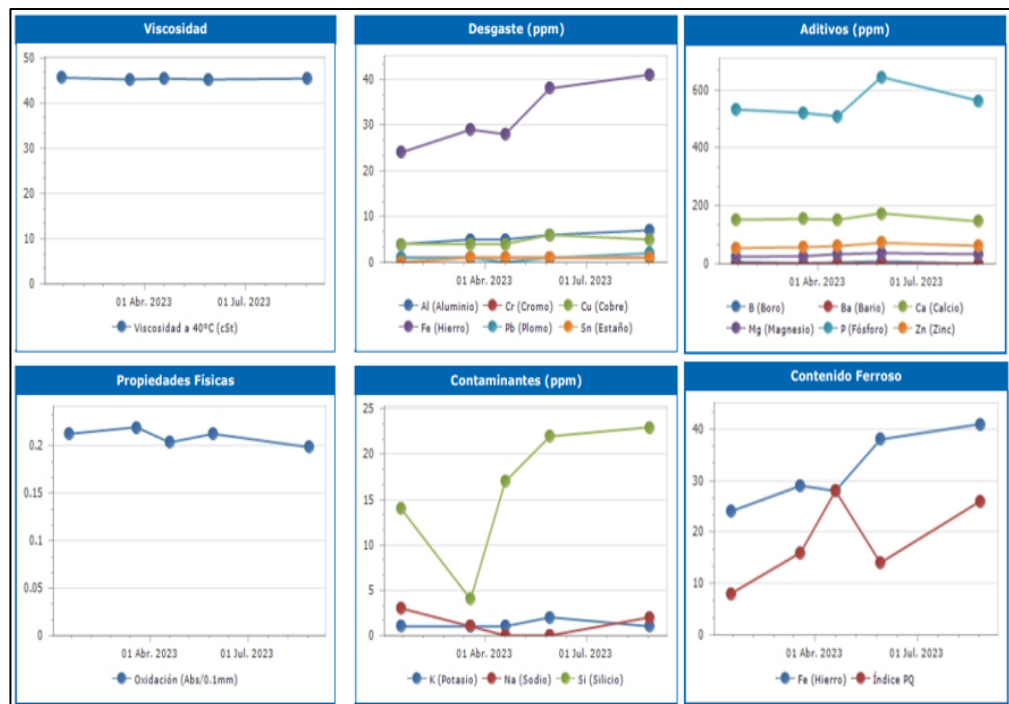
Estos resultados del motor de giro derecho de la excavadora M161857 indican viscosidad del aceite en un nivel de precaución, por lo que se recomienda realizar el cambio del aceite. Los valores, como el desgaste (ppm), aditivos (ppm), contaminantes (ppm), oxidación del aceite y contenido ferroso, están dentro de los valores normales.

**Figura 36.** Resultados de análisis de aceite de motor del equipo M16185



En los resultados obtenidos del análisis de muestreo de aceite del motor de la excavadora M161859, en el contenido ferroso, inicialmente se observó un alto índice de PQ, pero ahora se encuentra dentro del nivel normal. En cuanto al desgaste (ppm), se encontró la presencia de aluminio en un nivel de precaución, lo cual podría indicar un posible desgaste de los cojinetes de biela o de bancada del motor. Los demás valores analizados, como la viscosidad, aditivos (ppm), propiedades físicas y contaminantes (ppm), se encuentran dentro de los límites normales. Se recomienda realizar el monitoreo del aceite según la frecuencia fijada e inspeccionar posibles ingresos de polvo al sistema.

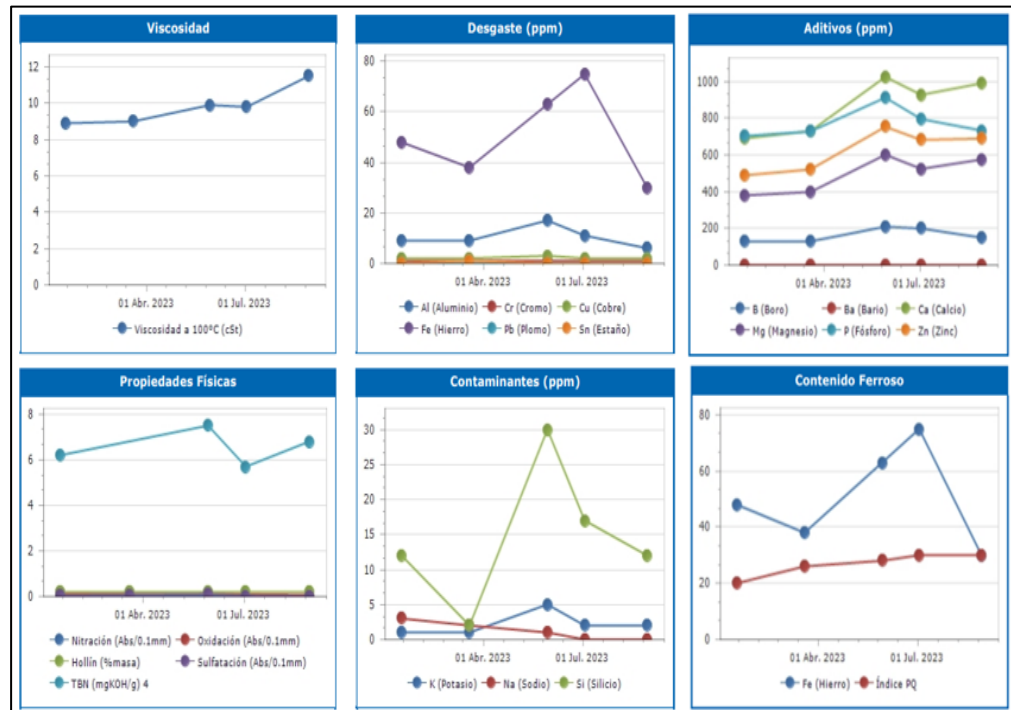
**Figura 37.** Resultados de análisis de aceite hidráulico del equipo M161859



Los resultados del aceite hidráulico de la excavadora M161859 muestran que la oxidación del fluido se encuentra en nivel de alerta, probablemente debido a la degradación del fluido a causa de altas temperaturas y la operación con un nivel bajo de fluido en el sistema. Además, en los contaminantes (ppm), se ha detectado la presencia de silicio en niveles de alerta en la muestra, indicando posible presencia de polvo o desgaste de componentes no metálicos. Los demás valores,

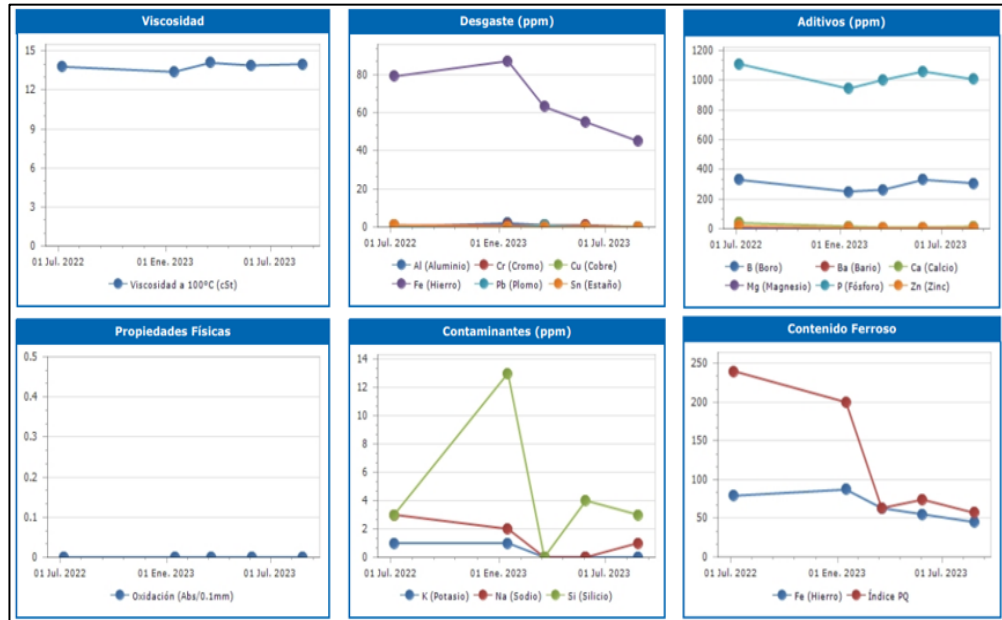
como la viscosidad, desgaste (ppm), aditivos (ppm) y contenido ferroso, se encuentran dentro de los límites normales. Se recomienda realizar el cambio del fluido, cambiar los filtros y revisar los respiraderos.

**Figura 38.** Resultados de análisis de aceite de PTO del equipo M161859



En los resultados obtenidos de la PTO de la excavadora M161859, se encontraron niveles de viscosidad en valores de alerta a precaución, por lo que se recomienda realizar el cambio del aceite. En cuanto al desgaste (ppm), se detectó la presencia de hierro en un nivel de precaución, y en los contaminantes (ppm) se encontró silicio en un nivel de precaución, indicando la posible presencia de polvo o desgaste de componentes no metálicos. Los demás valores como propiedades físicas, aditivos (ppm) y contenido ferroso se encuentran dentro de los límites normales.

**Figura 39.** Resultados de análisis de aceite del mando final RH del equipo M161859



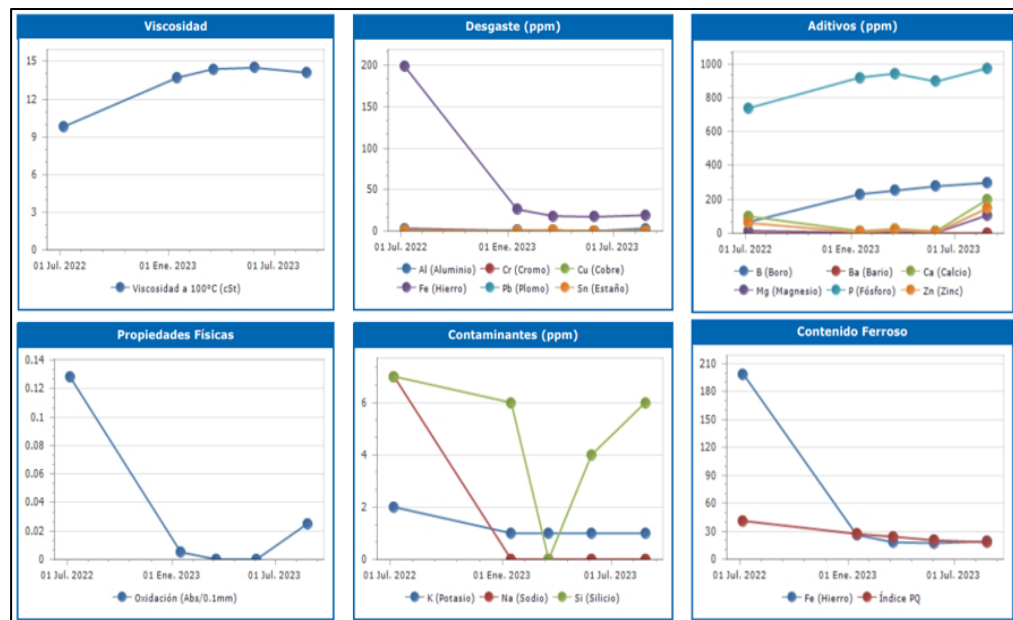
Los resultados del mando final derecho de la excavadora M161859, indica que el nivel de viscosidad se encuentra en estado de precaución, por lo que se recomienda realizar el cambio de aceite. En cuanto al contenido ferroso, el índice PQ mostró un valor de alerta, pero en la última muestra realizada se encuentra dentro del rango normal. Los demás valores, como desgaste (ppm), aditivos (ppm), propiedades físicas y contaminantes (ppm), están dentro de los valores normales.

**Figura 40.** Resultados de análisis de aceite del mando final LH del equipo M161859



La figura 40 nos muestra resultados del mando final izquierdo de la excavadora M161859, se indica que el nivel de viscosidad se encuentra en un estado de precaución, por lo que se recomienda realizar el cambio de aceite. En cuanto al contenido ferroso, el índice PQ mostró valores de alerta, pero en la última muestra realizada se encuentra dentro del valor de precaución, por lo que se recomienda inspeccionar, ya que puede haber un desgaste de los componentes internos. Los demás valores, como desgaste (ppm), aditivos (ppm), propiedades físicas y contaminantes (ppm), se encuentran dentro de los valores normales.

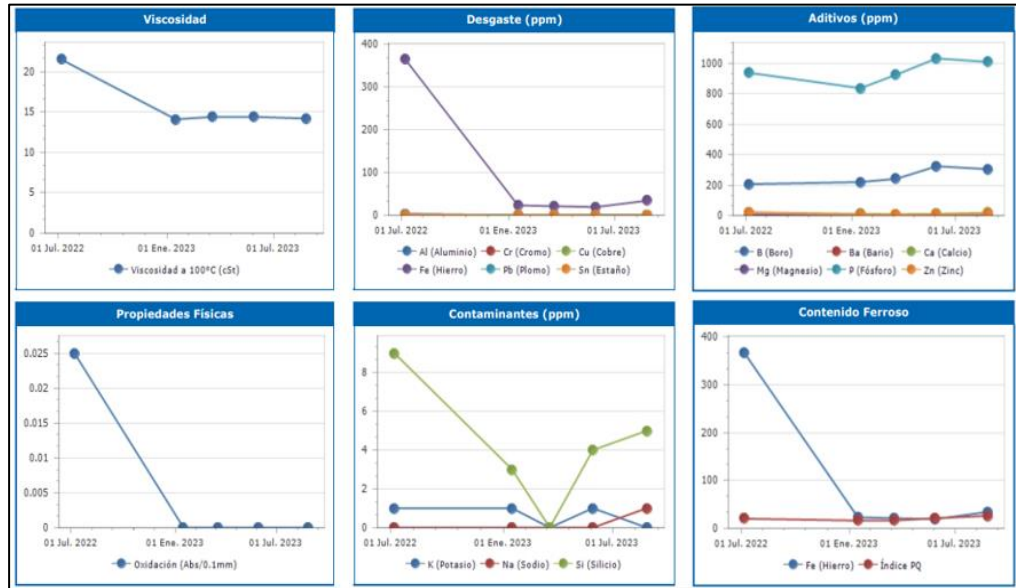
**Figura 41.** Resultados análisis de aceite del motor de giro LH del equipo M161859



La figura 41 nos muestra los resultados obtenidos de los muestreos de aceite del motor de giro izquierdo de la excavadora M161859, donde el estado de viscosidad se encuentra en un nivel de precaución, por lo que se recomienda realizar el cambio de aceite según la frecuencia establecida. Los demás valores, como desgaste (ppm), aditivos (ppm), propiedades físicas, contaminantes (ppm) y contenido ferroso, se encuentran dentro de los valores normales.

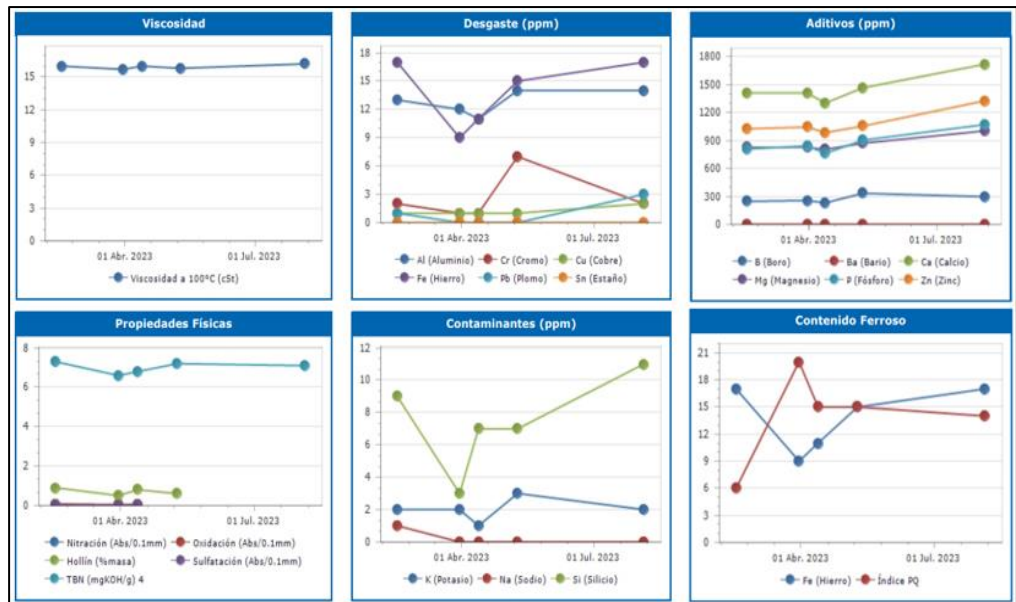


**Figura 42.** Resultados análisis de aceite del motor de giro RH del equipo M161859



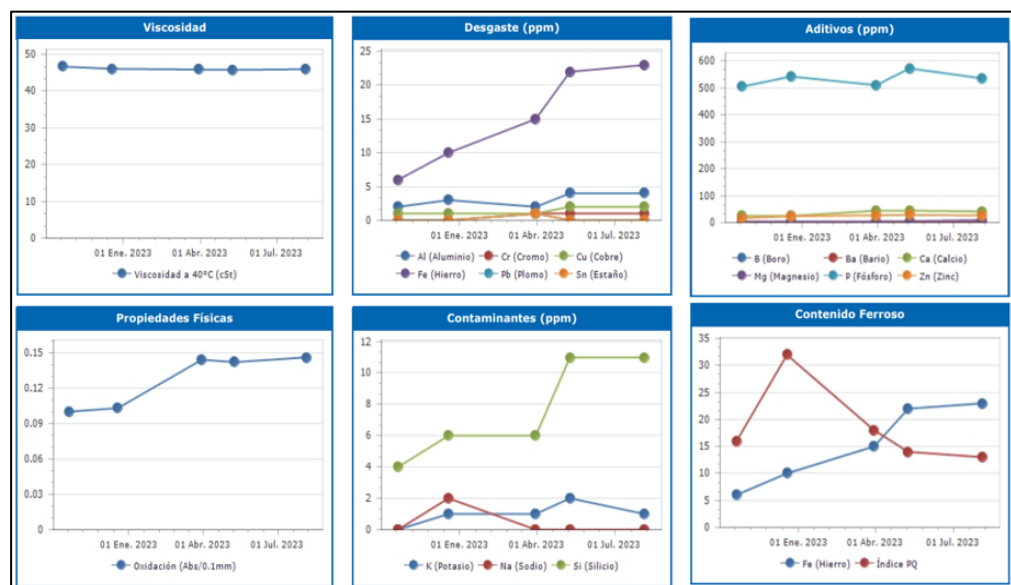
La figura 42 nos muestra los resultados obtenidos de los muestreos de aceite del motor de giro derecho de la excavadora M161859, donde el estado de viscosidad se encuentra en un nivel de precaución, por lo que se recomienda realizar el cambio de aceite según la frecuencia establecida. Los demás valores, como desgaste (ppm), aditivos (ppm), propiedades físicas, contaminantes (ppm) y contenido ferroso, se encuentran dentro de los valores normales.

**Figura 43.** Resultados de análisis de aceite de motor del equipo M160992



La figura 43 nos muestra los resultados de las muestras de aceite de motor de la excavadora M160992, donde indica la presencia de aluminio en un nivel de precaución en el desgaste (ppm), lo que podría ser una posible causa de desgaste en los cojinetes de biela o bancada del motor. Los demás valores, como desgaste (ppm), aditivos (ppm), propiedades físicas, contaminantes (ppm) y contenido ferroso, se encuentran dentro de los valores normales. Se recomienda realizar un seguimiento a este posible desgaste de los cojinetes del motor.

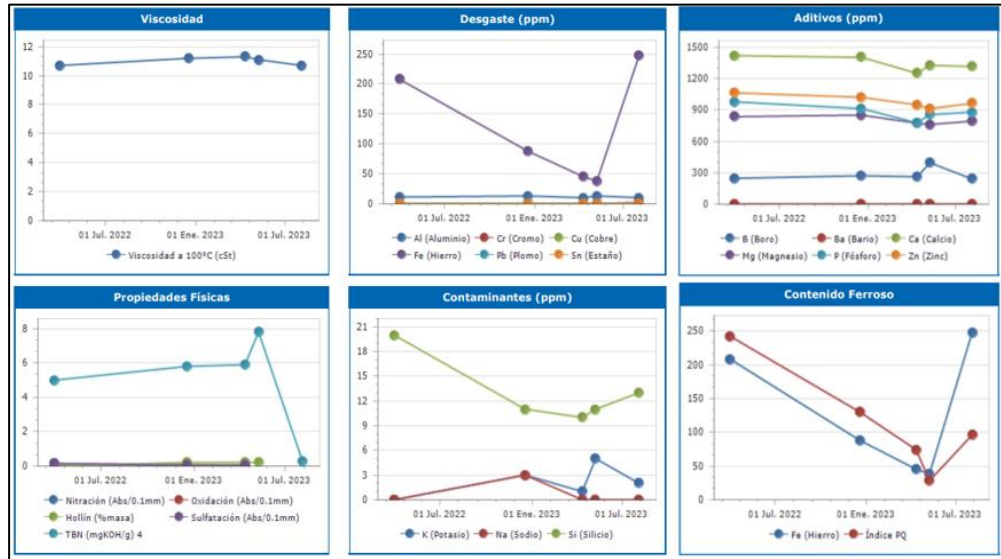
**Figura 44.** Resultados de análisis de aceite hidráulico del equipo M160992



En los resultados del muestreo del aceite hidráulico de la excavadora M160992, se observa que la oxidación del aceite está en valores de alerta debido a la degradación del fluido provocada por altas temperaturas, operación del sistema con bajo nivel y contaminación del fluido. Además, en el conteo de partículas del lubricante se encontraron valores de alerta, pero en la última muestra realizada están dentro del nivel normal. Asimismo, en el contenido ferroso, el índice PQ tuvo un valor de precaución, pero en la última muestra está dentro del valor normal. Los demás valores, como viscosidad, desgaste (ppm), aditivos (ppm), propiedades físicas y contaminantes (ppm), se encuentran dentro de los valores normales. Se recomienda realizar un seguimiento al sistema hidráulico y revisar el enfriamiento de fluido.

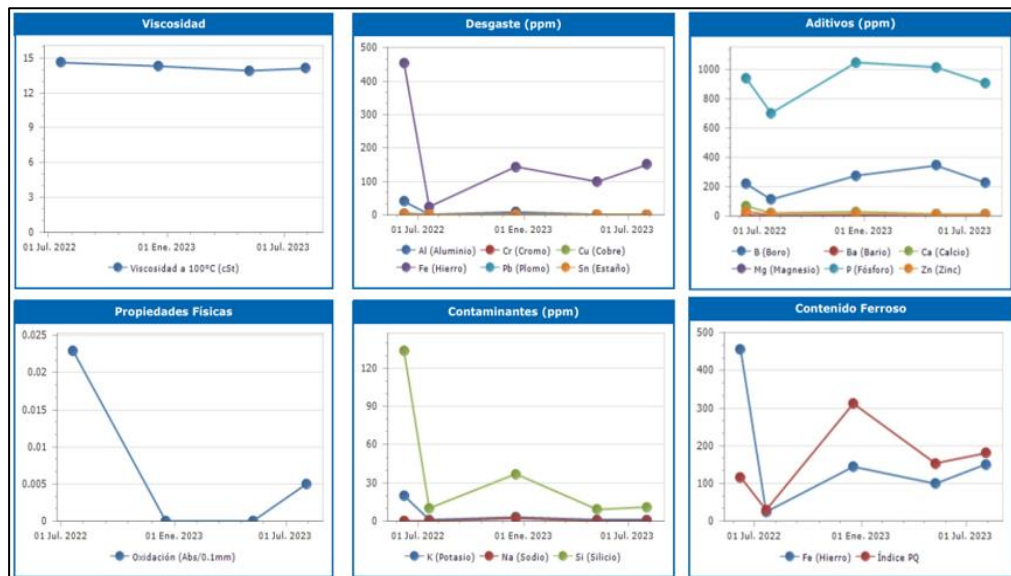


**Figura 45.** Resultados de análisis de aceite de PTO del equipo M160992



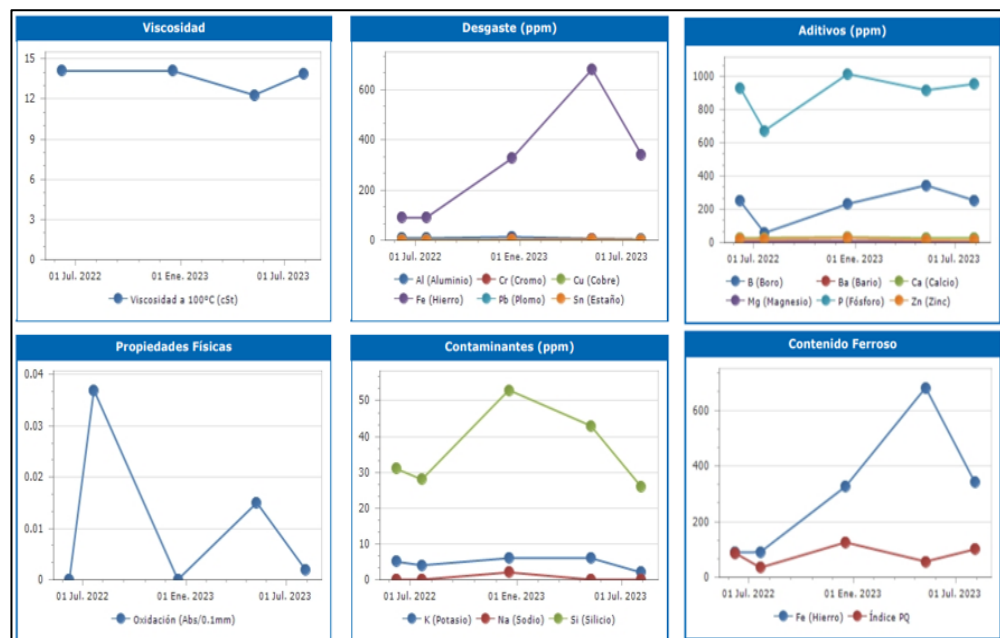
Los resultados obtenidos de la PTO de la excavadora M160992, muestran registros de alerta en la viscosidad, además el índice PQ y en el desgaste (ppm), el hierro se encuentra en niveles de alerta. Se recomienda realizar el cambio de aceite de manera inmediata y llevar a cabo una inspección a componente abierto, ya que estos valores indican la presencia de un desgaste acelerado de los componentes internos. Los demás valores, como los aditivos (ppm), propiedades físicas y contaminantes (ppm), se encuentran dentro de los valores normales.

**Figura 46.** Resultados de análisis de aceite del mando final LH del equipo M160992



En los resultados del mando final izquierdo de la excavadora M160992, se observó que la viscosidad del aceite está en un nivel de precaución. En el contenido ferroso, el índice PQ llegó a estar en un nivel de alerta, pero actualmente se encuentra en nivel de precaución. En cuanto a los contaminantes (ppm), se encontró que el silicio estaba en un nivel de alerta, pero en la última muestra realizada está en un valor normal. Estos valores encontrados pueden ser la causa de la contaminación del aceite con polvo y de un posible desgaste de componentes internos. Los demás valores, como desgaste (ppm), propiedades físicas y aditivos (ppm), se encuentran dentro de los valores normales. Se recomienda realizar el cambio del aceite y monitorear el componente.

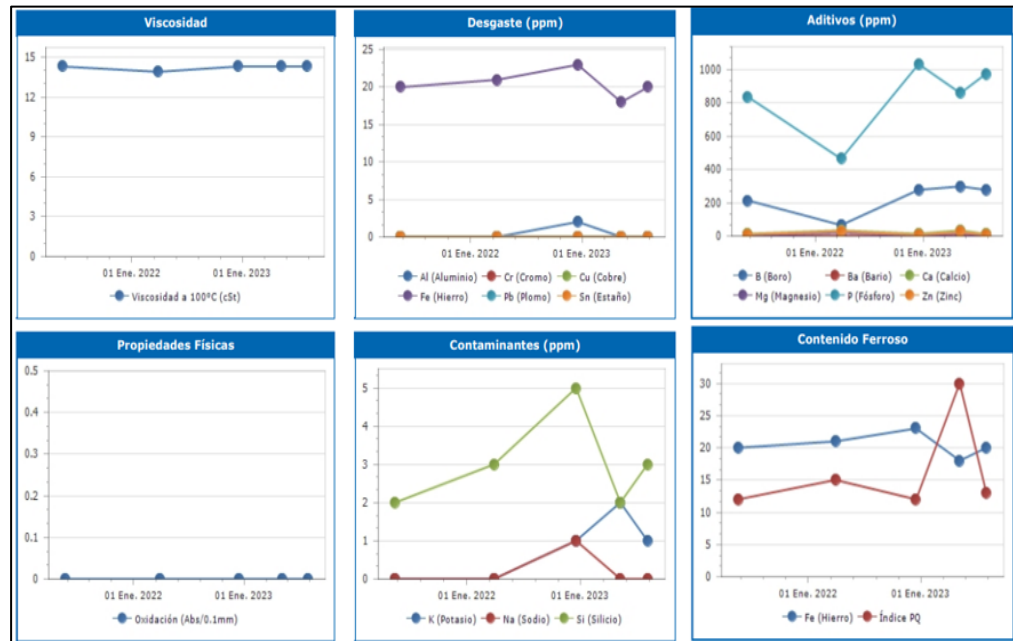
**Figura 47.** Resultados de análisis de aceite del mando final RH del equipo M160992



En los resultados del mando final derecho de la excavadora M160992 se observó que la viscosidad del aceite está en un nivel de precaución. En cuanto a los contaminantes (ppm), el silicio estuvo en un nivel de alerta, pero en la última muestra realizada se encuentra en un valor de precaución y en el desgaste (ppm) se identificó que el hierro alcanzó un nivel de alerta, pero en la última muestra realizada está en un valor normal. Estos valores encontrados pueden ser causados por la contaminación del aceite con polvo y un posible desgaste de

componentes internos. Los demás valores, como propiedades físicas y aditivos (ppm), se encuentran dentro de los valores normales. Se recomienda realizar el cambio del aceite y monitorear el componente.

**Figura 48.** Resultados análisis de aceite de motor de giro LH del equipo M160992

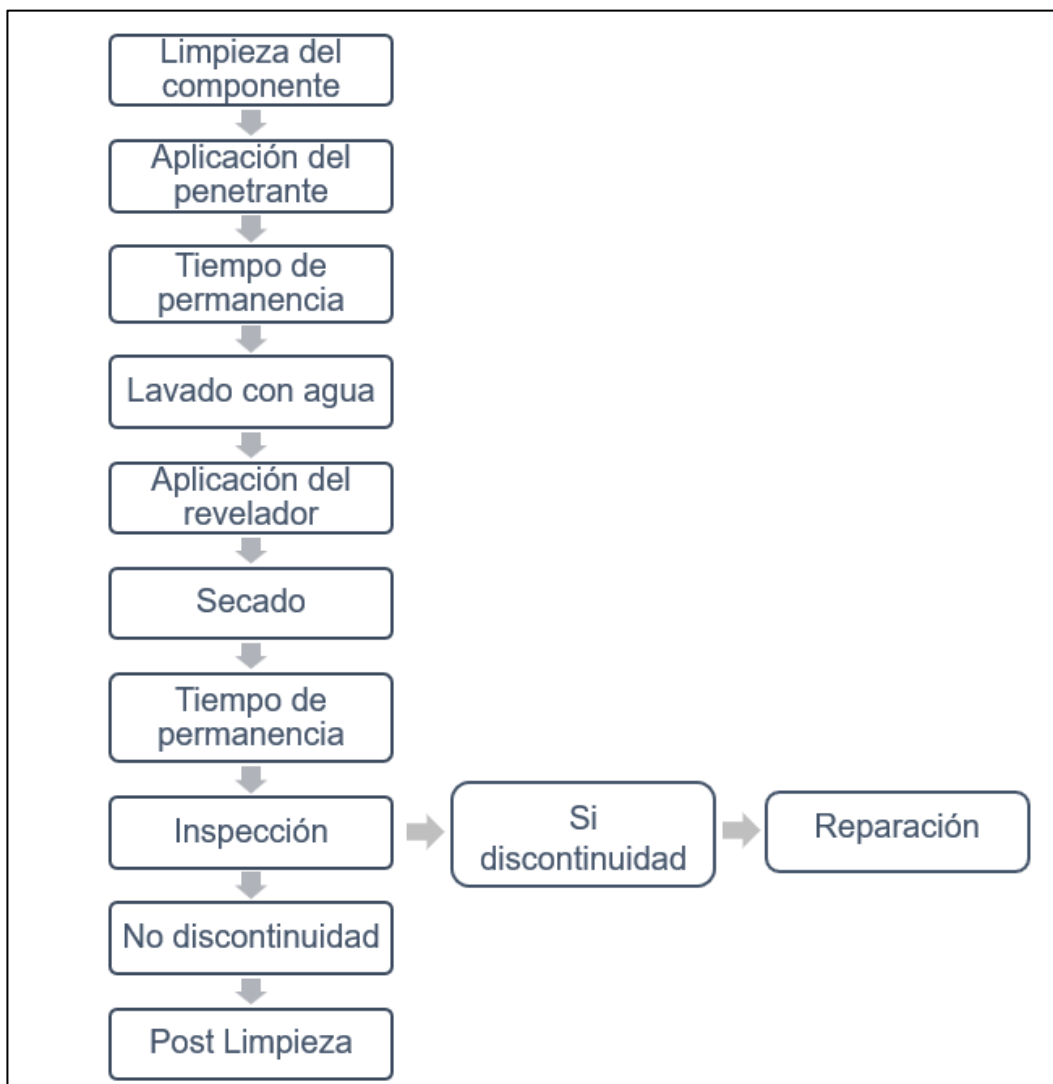


La figura 48 nos presenta los resultados del análisis de aceite del motor de giro izquierdo de la excavadora M160992, indicando que la viscosidad se encuentra en un nivel de precaución. Por lo tanto, se recomienda realizar el cambio del aceite. Los demás valores, como desgaste (ppm), aditivos (ppm), propiedades físicas, contaminantes (ppm) y contenido ferroso, se encuentran dentro de los valores normales.

### 3.2.5 Propuesta de mantenimiento predictivo por líquidos penetrantes

Suarez (2020) nos dice que la técnica de mantenimiento predictivo por líquidos penetrantes es un ensayo no destructivo que se utiliza para detectar, ubicar y evaluar discontinuidades como grietas, fisuras que se hacen visibles en la superficie o defectos internos del material que se manifiestan en la superficie. Para la ejecución de esta técnica utilizaremos el método A removible con agua. Seguidamente, se describe el procedimiento para su ejecución.

**Figura 49.** Procedimiento para ejecución de mantenimiento predictivo por líquidos penetrantes



Fuente: Suarez, (2020)

En la siguiente tabla 24, se pueden identificar los componentes de la excavadora donde se puede aplicar la técnica no destructiva por líquidos penetrantes. También se detallan las causas y efectos de las fallas que ocurren en la superficie de estos componentes, así como sus soluciones.

**Tabla 24.** Componentes para aplicación predictiva por líquidos penetrantes

<b>Técnica Predictiva</b>	<b>Componente</b>	<b>Causa</b>	<b>Efecto</b>	<b>Solución</b>
Líquido Penetrante	Cucharón Delantero	Soldadura deficiente	Grietas	Reparación del componente
	Brazo de excavadora	Componente sujeto a fatiga	Fisuras	mediante aplicación de soldadura,
	Pluma de excavadora	Componente sujeto a grandes esfuerzos	Picaduras superficiales	cambio de planchas metálicas dañadas
	Articulación		Fugas en recipientes herméticos	
	Tanque de combustible	Corrosión		
	Tapa de Mando final Sprocket			

### Programación

La frecuencia de inspección mediante la técnica por líquidos penetrantes es cada 500 horas en los componentes previamente mencionados. Estas inspecciones se llevarán a cabo cuando el equipo esté libre y el responsable de llevar a cabo dichas pruebas será el técnico mecánico con la capacitación adecuada durante un tiempo estimado de 180 minutos, en coordinación con el personal administrativo de mantenimiento.

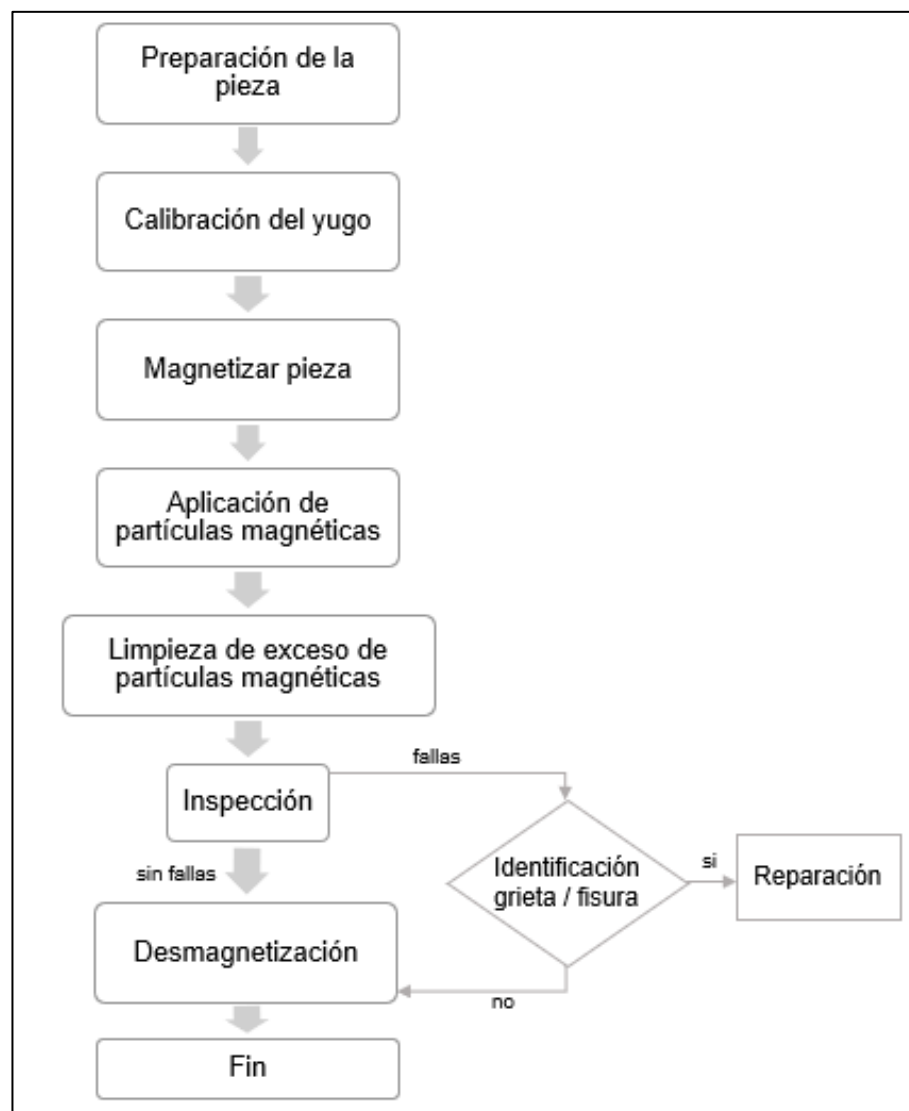
**Tabla 25.** Frecuencia de mantenimiento predictivo por líquidos penetrantes

<b>Componente</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo</b>
Cucharón Delantero	500 horas	Técnico mecánico	30 min.
Brazo de excavadora	500 horas	Técnico mecánico	40 min.
Pluma de excavadora	500 horas	Técnico mecánico	40 min.
Articulación	500 horas	Técnico mecánico	20 min.
Tanque de combustible	500 horas	Técnico mecánico	20 min.
Tapa de mando final	500 horas	Técnico mecánico	15 min.
Sprocket	500 horas	Técnico mecánico	15 min.

### 3.2.6 Propuesta de mantenimiento predictivo por partículas magnéticas

Utilizaremos el modelo de procedimiento de Espinoza (2019) para la ejecución de la técnica por partículas magnéticas que es considerado como otra inspección no destructiva. Es importante destacar que esta técnica es adecuada exclusivamente para el análisis de aceros en general y no puede ser utilizada en aluminio, zinc, cobre ni en aceros inoxidables de características especiales. El propósito es identificar tanto fisuras en la superficie como fisuras internas. Para su ejecución de esta técnica es necesario realizar el siguiente procedimiento.

**Figura 50.** Procedimiento para ejecución de mantenimiento predictivo por partículas magnéticas



En la tabla 26, se pueden reconocer los componentes de la excavadora en los cuales se puede emplear la técnica de inspección no destructiva mediante partículas magnéticas. Además, se proporcionan descripciones de las causas y efectos de los fallos que se presentan en la superficie de estos componentes, así como sus soluciones.

**Tabla 26.** Componentes para aplicación predictiva por partículas magnéticas

<b>Técnica Predictiva</b>	<b>Componente</b>	<b>Causa</b>	<b>Efecto</b>	<b>Solución</b>
Partículas Magnéticas	Cucharón Delantero	Soldadura deficiente	Grietas	Reparación del componente mediante aplicación de soldadura,
	Brazo de excavadora	Componente sujeto a fatiga	Fisuras	cambio de planchas metálicas dañadas,
	Pluma de excavadora	Componente sujeto a grandes esfuerzos	Fugas en recipientes herméticos	cambio del componente
	Articulación			

### Programación

La frecuencia de inspección mediante la técnica por partículas magnéticas es cada 500 horas en los componentes previamente mencionados en la tabla 26. Estas inspecciones se llevarán a cabo cuando el equipo esté libre y el responsable de llevar a cabo dichas pruebas será el técnico mecánico con la capacitación adecuada durante un tiempo estimado de 120 minutos.

**Tabla 27.** Frecuencia de mantenimiento predictivo por partículas magnéticas

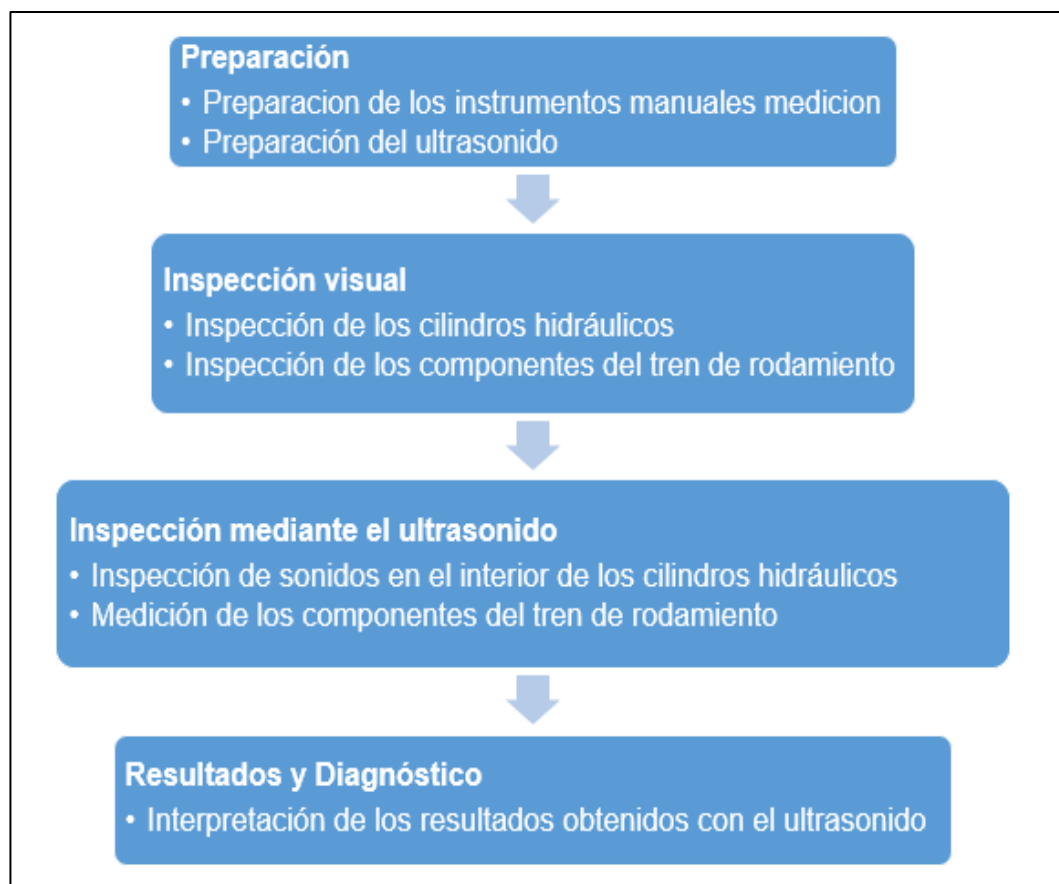
<b>Componente</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo</b>
Cucharón Delantero	500 horas	Técnico mecánico	40 min.
Brazo de excavadora	500 horas	Técnico mecánico	30 min.
Pluma de excavadora	500 horas	Técnico mecánico	30 min.
Articulación	500 horas	Técnico mecánico	20 min.

### 3.2.7 Propuesta de mantenimiento predictivo por ultrasonido

Según nos dice los autores Portocarrero & Rabanal (2019), con esta técnica podremos analizar sonidos emitidos por una máquina a frecuencias muy bajas, las cuales son inaudibles para el oído humano, por lo que es posible identificar escapes de fluidos, detectar arcos eléctricos, reconocer fricciones en las máquinas, analizar el desgaste de componentes y diagnosticar problemas como fugas en las válvulas o fallos en las juntas de estanqueidad. (p.21)

Bajo estos principios utilizaremos el ultrasonido como una técnica predictiva en las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5, para inspeccionar sonidos originados por fallo de los sellos internos de los cilindros hidráulicos de la excavadora y también en la medición del desgaste de los componentes del tren de rodamiento.

**Figura 51.** Procedimiento para ejecución de mantenimiento predictivo por ultrasonido





## Programación

La frecuencia de inspección de los componentes mediante la técnica por ultrasonido es cada 250 horas en los cilindros hidráulicos y cada 500 horas en el tren de rodamiento. Estas inspecciones se llevarán a cabo conjuntamente con el mantenimiento preventivo del equipo y el responsable de llevar a cabo dichas pruebas será el técnico mecánico con la capacitación adecuada, en coordinación con el planner y el supervisor de mantenimiento. El tiempo estimado para la ejecución es de 100 minutos.

**Tabla 28.** Frecuencia de mantenimiento predictivo por ultrasonido

<b>Componente</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo</b>
Cilindro hidráulico de Boom	250 horas	Técnico mecánico	15 min.
Cilindro hidráulico de Stick	250 horas	Técnico mecánico	15 min.
Cilindro hidráulico de Bucket	250 horas	Técnico mecánico	10 min.
Tren de rodamiento	500 horas	Técnico mecánico	60 min.

### A. Cilindros hidráulicos

Los cilindros hidráulicos son componentes de la excavadora que amplifican la fuerza necesaria para elevar y desplazar cargas pesadas. Cuando estos cilindros experimentan una pérdida de potencia, es posible que los sellos internos presenten averías, lo que podría provocar daños en la bomba hidráulica.

Mediante el ultrasonido, es posible detectar las fugas internas que se producen cuando los sellos presentan algún tipo de fallo. Para ello, se debe colocar el sensor de contacto del ultrasonido cerca del pistón interno del cilindro y medir los niveles de decibelios. Cuando un sello presenta un fallo, el aceite puede pasar de la cámara de alta presión a la cámara de baja presión, lo que resulta en un aumento en los niveles de decibelios. A medida que el ultrasonido registra niveles de decibelios superiores a los parámetros normales, mayor será la gravedad de la avería en el sello interno del cilindro. Cuando se detecta un fallo en los

sellos, es necesario realizar una acción correctiva para evitar daños en todo el sistema hidráulico.

**Figura 52.** Prueba de cilindros hidráulicos por ultrasonido

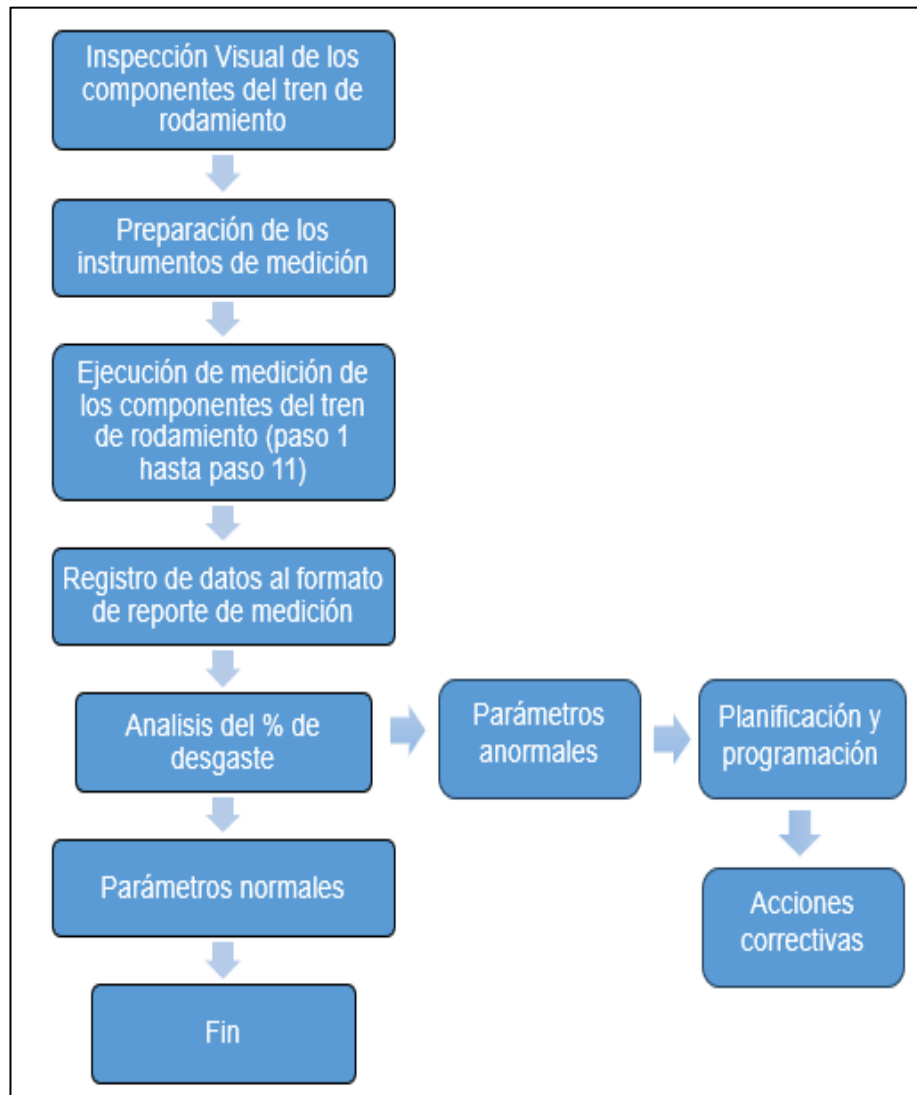


#### B. Tren de rodamiento

Utilizaremos la técnica predictiva del ultrasonido para la medición del tren de rodamiento de las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5. Como dice el autor Llanos (2020) con esta técnica, podemos medir el desgaste en los espesores de los diferentes componentes que conforman el tren de rodamiento, lo que nos permite verificar los porcentajes de desgaste. Estos porcentajes de desgaste nos ayudan a identificar si el desgaste está dentro de los parámetros normales o si se trata de un desgaste prematuro, lo que, a su vez, nos permite tomar las acciones correspondientes para la planificación, programación y ejecución del mantenimiento, según sea necesario. El monitoreo del tren de rodamiento es esencial para garantizar su vida útil y evitar paradas de emergencia, lo que mejora la disponibilidad de la máquina. Es importante tener en cuenta que el tren de rodamiento representa aproximadamente el 30% del valor de adquisición de la máquina.

A continuación, se muestra el flujograma para la ejecución de la medición del tren de rodamiento mediante la técnica de ultrasonido.

**Figura 53.** Flujograma de medición de tren de rodamiento con ultrasonido



De acuerdo al flujograma presentado, se detalla el procedimiento de la medición de espesores de los componentes del tren de rodamiento, desde el Paso 1 hasta el Paso 11. La medición de los componentes de tren de rodamiento se realiza mediante instrumentos de medición manuales y ultrasonidos.

Paso 1. Calibración de la herramienta

- Realizar la calibración de la herramienta ultrasonido.

**Figura 54.** Herramienta ultrasonido para medición de tren de rodamiento



**Paso 2:** Llenado de información

- Realizar el llenado de la información de la excavadora, lugar, características del tren de rodamiento y condiciones del terreno.

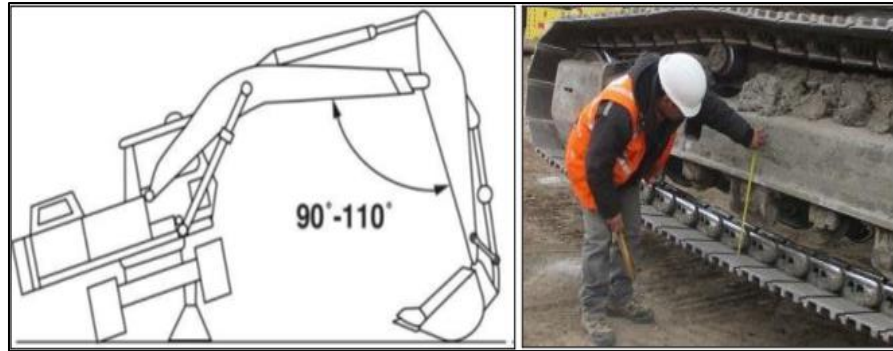
**Figura 55.** Encabezado del reporte de tren de rodamiento

CGM RENTAL		REPORTE DE TREN DE RODAMIENTO			JOHN DEERE	
CIP		FECHA		MARCA DE CADENA		NÚMERO DE OT
MARCA		ZONA		CÓDIGO ESLABÓN		AGUA/HUMEDAD
MODELO		PROYECTO		ANCHO DE ZAPATA		PIEDRAS
HOROMETRO		SUPERVISOR		CANTIDAD DE GARRAS		ROCAS
HRS DE TRASLADO		TÉCNICO INSPECTOR		BUJES VOLTEADOS		ARENA

**Paso 3:** Medición holgura de cadena

- Girar la estructura haciendo que el boom quede 90° con la cadena
- Mantener un ángulo de 90-110° entre el aguilón y el brazo
- Elevar la cadena aproximadamente 20 cm.
- Ubicar soportes debajo de la estructura de la excavadora
- Hacer rotar la cadena 2 vueltas completas en avance y retroceso.
- Limpiar puntos de medición
- Realizar la medida

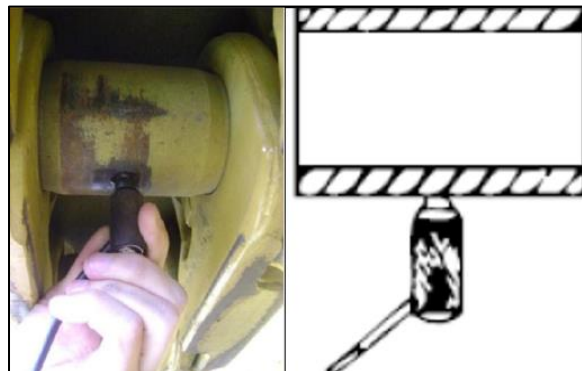
**Figura 56.** Medición de holgura de cadena



#### Paso 4. Medición de bujes

- Limpiar el buje a medir
- Colocar la punta del ultrasonido sobre una de las caras desgastadas
- Deslizar la punta del ultrasonido en forma paralela a la cara desgastada
- Realizar la medición y registrar en el formato.

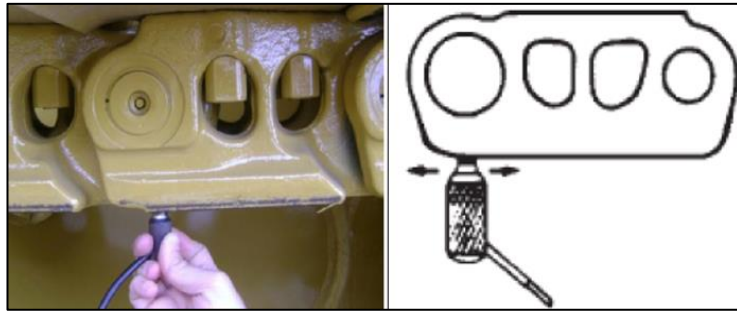
**Figura 57.** Medición de bujes con ultrasonido



#### Paso 5. Medición altura de eslabones

- Limpiar la superficie de rodaduras de los eslabones
- Posicionar y apoyar el medidor de ultrasonido sobre los 2 eslabones del mismo paso, verificar que este paralelo a la zapata.
- Realizar la medición y registrar en el formato.

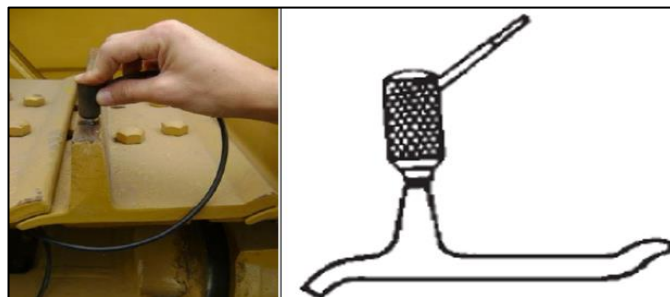
**Figura 58.** Medición de altura de eslabones con ultrasonido



**Paso 6.** Medición altura de garra de zapatas

- Seleccionar la zapata que se encuentre sobre un rodillo superior.
- Limpiar las superficies donde se ubicará el medidor ultrasonido.
- Se recomienda realizar la medición lo más próximo a los centros de las zapatas.
- Realizar la medición y registrar en el formato.

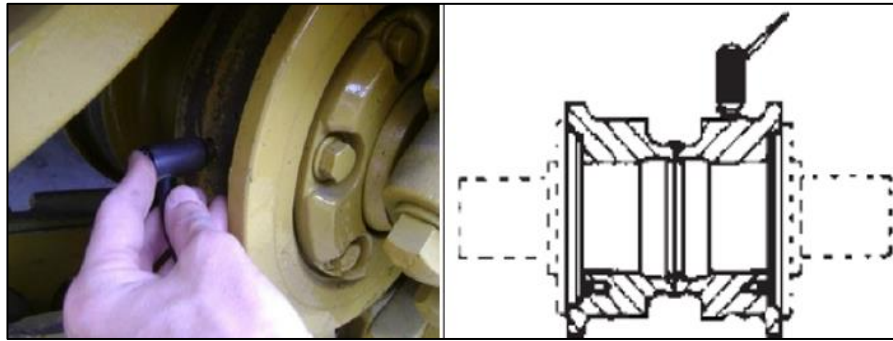
**Figura 59.** Medición de altura de garra de zapatas con ultrasonido



**Paso 7.** Medición de rodillos inferiores

- Limpiar las superficies de rodadura del rodillo
- Verificar el giro libre del rodillo y la presencia de picaduras en sus superficies de rodadura.
- Colocar la punta del ultrasonido en la superficie del rodillo.
- Realizar el procedimiento en el centro del ancho de rodadura de los rodillos.
- Realizar la medición y registrar en el formato.

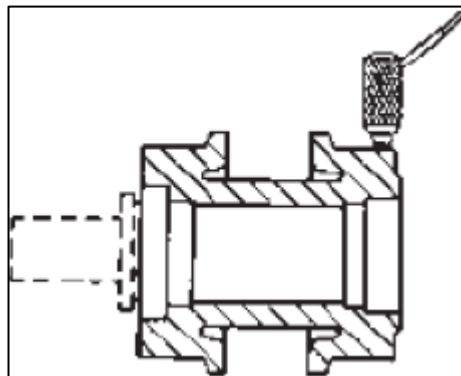
**Figura 60.** Medición de rodillos inferiores con ultrasonido



**Paso 8.** Medición de rodillos superiores

- Limpiar las superficies de rodadura del rodillo
- Verificar el giro libre del rodillo y la presencia de picaduras en sus superficies de rodadura.
- Colocar la punta del ultrasonido en la superficie del rodillo.
- Realizar el procedimiento en el centro del ancho de rodadura de los rodillos.
- Realizar la medición y registrar en el formato.

**Figura 61.** Medición de rodillos superiores con ultrasonido

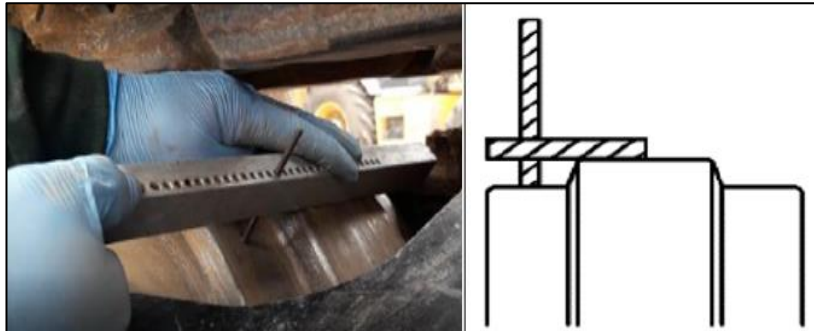


**Paso 9.** Medición de la rueda guía

- Limpiar la superficie de rodadura y la brida de la rueda guía
- Asentar correctamente el medidor de profundidad de tal forma quede paralelo al eje de la rueda guía.
- Realizar la medición de la profundidad de preferencia al centro de la pista de rodadura de la rueda guía.
- Verificar que su pestaña no posea desgaste en sus extremos

- Asentar correctamente el medidor de profundidad
- Realizar la medición asentando correctamente la herramienta

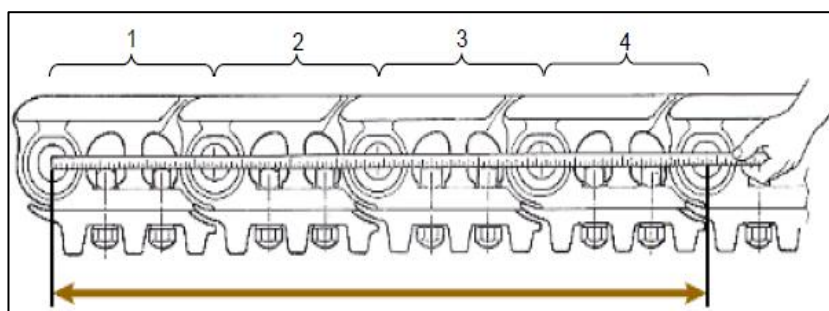
**Figura 62.** Medición de rueda guía



**Paso 10.** Medición de paso de cadena

- Realizar el procedimiento de tensado de cadena insertando un pin entre la cadena y la rueda dentada.
- Tensar la cadena hasta que su holgura entre los rodillos superiores se elimine.
- Ubicar el paso master y no considerarlo en la medición
- De preferencia realizar la medición en los eslabones periféricos a los rodillos superiores.
- Realizar la medición y registrar en el formato.

**Figura 63.** Medición de paso de cadena





### 3.2.8 Propuesta de mantenimiento predictivo por termografía

Según Ravines (2020) con la termografía, podemos detectar altas temperaturas en componentes electromecánicos, motores, líneas eléctricas y otros elementos. Para lograrlo, es necesario llevar a cabo un seguimiento y realizar monitoreos periódicos, contrastando la imagen térmica actual del componente evaluado con una imagen térmica estándar como punto de referencia.

Por lo tanto, utilizaremos su propuesta de planificación de mantenimiento predictivo mediante termografía para equipos de maquinaria pesada como modelo para aplicar esta técnica predictiva en las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5. A continuación, se presenta el procedimiento para llevar a cabo el mantenimiento predictivo a través de termografía.

**Figura 64.** Procedimiento para ejecución de mantenimiento predictivo por termografía



En la tabla 29, se pueden identificar los componentes de la excavadora en los cuales se puede aplicar la técnica predictiva mediante termografía. Además, se incluyen descripciones de las causas y efectos de los fallos que podrían manifestarse en dichos componentes.

**Tabla 29.** Componentes para aplicación predictiva por termografía

<b>Componentes</b>	<b>Causas</b>	<b>Efectos</b>
Turbocompresor	Fallo de lubricación	Pérdida de potencia
	Contaminación del aceite	Consumo de aceite
	Entrada de objetos extraños	Rotura del componente Elevación de temperatura
Sistema admisión y escape	Obstrucción/exceso de carbonilla	Pérdida de potencia
	Mezcla errónea aire-combustible	Elevación de temperatura
Radiador	Obstrucción de los conductos	Elevación de temperatura
Enfriador de aceite	Obstrucción de los conductos	Elevación de temperatura
Bombas hidráulicas	Contaminación del aceite	Desgaste excesivo en los componentes Elevación de temperatura
Pines y bocinas	Falta de engrase	Rotura de componente Elevación de temperatura
Alternador	Falta de mantenimiento	Sobrecarga eléctrica Daños internos del componente
Cableados eléctricos	Cortocircuito	Elevación de temperatura
Mando final	Contaminación del aceite	Elevación de temperatura Daños internos del componente
Bujes	Desgaste del componente	Elevación de temperatura Rotura del componente
Rodillos inferiores y superiores	Desgaste del componente	Elevación de temperatura

## **Programación**

La frecuencia de inspección mediante la técnica por termografía es cada 250 horas en los componentes previamente mencionados en la tabla anterior. Estas inspecciones se llevarán a cabo conjuntamente con el mantenimiento preventivo del equipo y el responsable de llevar a cabo dichas pruebas será el técnico mecánico con la capacitación adecuada.

**Tabla 30.** Frecuencia de mantenimiento predictivo por termografía

<b>Sistema</b>	<b>Componente</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Personal Encargado</b>
Sistema motor	Turbocompresor	250 horas	Técnico mecánico
	Sistema admisión y escape	250 horas	Técnico mecánico
	Radiador	250 horas	Técnico mecánico
Sistema hidráulico	Enfriador de aceite	250 horas	Técnico mecánico
Sistema estructura chasis	Bombas hidráulicas	250 horas	Técnico mecánico
Sistema eléctrico	Pines y bocinas	250 horas	Técnico mecánico
	Alternador	250 horas	Técnico mecánico
Sistema transmisión	Cableados eléctricos	250 horas	Técnico mecánico
Sistema tren de rodamiento	Mando final	250 horas	Técnico mecánico
	Bujes	250 horas	Técnico mecánico
	Rodillos inferiores y superiores	250 horas	Técnico mecánico

En la tabla 30 se detalla la frecuencia de mantenimiento predictivo mediante termografía, así como los sistemas y componentes correspondientes, el personal encargado de realizar dichas inspecciones. El tiempo estimado necesario para realizar toda la inspección mediante esta técnica es de unos 120 minutos.

### 3.2.9 Evaluación económica de la propuesta

En la tabla 31 se muestra la evaluación económica de las capacitaciones de mantenimiento predictivo que se realizan al personal técnico y administrativo de mantenimiento.

**Tabla 31.** Evaluación económica de capacitación al personal

<b>Personal</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo</b>
Personal técnico	2	S/3,322.00	S/6,644.00
Personal administrativo	6	S/3,322.00	S/19,932.00
Total	-	-	S/26,576.00

En la tabla 32 se detalla los costos de los equipos e instrumentos que se tienen que implementar para la propuesta de implementación del mantenimiento predictivo para las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5.

**Tabla 32.** Evaluación económica de herramientas e instrumentos

<b>Equipo / Instrumento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo</b>
kit líquido penetrante, limpiador y revelador	60	S/110.00	S/6,600.00
Análisis lubricante por el laboratorio	150	S/64.00	S/9,600.00
Kit Yugo	1	S/7,583.00	S/7,583.00
Ultrasonido	1	S/30,855.00	S/30,855.00
Ultrasonido medidor espesor	1	S/1,200.00	S/1,200.00
Cámara termográfica	1	S/8,695.00	S/8,695.00
<b>Total</b>	-	-	<b>S/64,533.00</b>

Por último, en la tabla 33 se detalla la evaluación económica total para la propuesta de la implementación del mantenimiento predictivo, el monto total es de S/91,109.00

**Tabla 33.** Evaluación económica total de la propuesta

<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Capacitación al personal	S/26,576.00
Equipos e instrumentos	S/64,533.00
<b>Total</b>	<b>S/91,109.00</b>

### 3.3 Resultados

Luego de la implementación del mantenimiento predictivo a las 3 excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5 de códigos establecidos por la empresa M160992, M161857 y M161859, se obtuvo los siguientes resultados de MTBF, MTTR y disponibilidad mecánica durante el periodo de enero a diciembre del año 2023, teniendo en cuenta que las excavadoras operan 20 horas al día, todos los días del año.

El indicador MTBF se obtuvo mediante el cálculo de la siguiente fórmula.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de paro por averías}}{\text{Número de paros por averías}}$$

**Tabla 34.** Indicador MTBF con mantenimiento predictivo implementado

<b>MES (2023)</b>	<b>Tiempo total disponible (horas)</b>	<b>Tiempo de paro por averías (horas)</b>	<b>Número de paros por averías</b>	<b>MTBF</b>
Enero	1860.00	112.97	3.00	582.34
Febrero	1680.00	117.04	6.00	260.49
Marzo	1860.00	135.83	4.00	431.04
Abril	1800.00	124.85	5.00	335.03
Mayo	1860.00	99.48	5.00	352.10
Junio	1800.00	114.21	4.00	421.45
Julio	1860.00	151.67	5.00	341.67
Agosto	1860.00	111.00	4.00	437.25
Septiembre	1800.00	202.90	3.00	532.37
Octubre	1860.00	158.70	5.00	340.26
Noviembre	1800.00	203.00	6.00	266.17
Diciembre	1860.00	146.00	5.00	342.80
<b>Total</b>	<b>21900.00</b>	<b>1677.65</b>	<b>55.00</b>	<b>367.68</b>

Durante el período de enero a diciembre del presente año 2023, se obtuvo un MTBF promedio de 367.68 horas, lo que indica el tiempo en el que las excavadoras operan sin ninguna interrupción.

El indicador MTTR se obtuvo mediante el cálculo de la siguiente fórmula.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}}$$

**Tabla 35.** Indicador MTTR con mantenimiento predictivo implementado

<b>MES (2023)</b>	<b>Tiempo total de mantenimiento (horas)</b>	<b>Número de reparaciones</b>	<b>MTTR</b>
Enero	112.97	3.00	37.66
Febrero	117.04	6.00	19.51
Marzo	135.83	4.00	33.96
Abril	124.85	5.00	24.97
Mayo	99.48	5.00	19.90
Junio	114.21	4.00	28.55
Julio	151.67	5.00	30.33
Agosto	111.00	4.00	27.75
Septiembre	202.90	3.00	67.63

Octubre	158.70	5.00	31.74
Noviembre	203.00	6.00	33.83
Diciembre	146.00	5.00	29.20
<b>Total</b>	<b>1677.65</b>	<b>55.00</b>	<b>30.50</b>

Durante el período de enero a diciembre del presente año 2023, se obtuvo un MTTR promedio de 30.50 horas, lo que indica el tiempo en el que las excavadoras están paradas por reparaciones.

El indicador disponibilidad mecánica se obtuvo mediante el cálculo de la siguiente fórmula.

$$DM = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

**Tabla 36.** Indicador disponibilidad mecánica con mantenimiento predictivo implementado

<b>MES (2023)</b>	<b>MTBF (horas)</b>	<b>MTTR (horas)</b>	<b>DM</b>
Enero	582.34	37.66	93.93%
Febrero	260.49	19.51	93.03%
Marzo	431.04	33.96	92.70%
Abril	335.03	24.97	93.06%
Mayo	352.10	19.90	94.65%
Junio	421.45	28.55	93.66%
Julio	341.67	30.33	91.85%
Agosto	437.25	27.75	94.03%
Septiembre	532.37	67.63	88.73%
Octubre	340.26	31.74	91.47%
Noviembre	266.17	33.83	88.72%
Diciembre	342.80	29.20	92.15%
<b>Promedio</b>	<b>367.68</b>	<b>30.50</b>	<b>92.34%</b>

Durante el período de enero a diciembre del presente año, se obtuvo una disponibilidad mecánica promedio de 92.34%.

Además, en las siguientes tablas se muestran los resultados de los indicadores MTTR, MTBF y disponibilidad mecánica por cada excavadora posterior a la implementación del mantenimiento predictivo.

**Tabla 37.** Indicadores de la excavadora M160992 con mantenimiento predictivo implementado

<b>MES</b>	<b>MTBF (horas)</b>	<b>MTTR (horas)</b>	<b>DM</b>
Enero	582.50	37.50	93.95%
Febrero	257.19	22.81	91.85%
Marzo	289.25	20.75	93.31%
Abril	570.92	29.08	95.15%
Mayo	293.51	16.49	94.68%
Junio	280.79	19.21	93.60%
Julio	291.75	18.25	94.11%
Agosto	579.00	41.00	93.39%
Septiembre	497.70	102.30	82.95%
Octubre	265.90	44.10	85.77%
Noviembre	252.50	47.50	84.17%
Diciembre	535.00	85.00	86.29%
<b>Promedio</b>	<b>348.78</b>	<b>35.43</b>	<b>90.78%</b>

**Tabla 38.** Indicadores de la excavadora M161857 con mantenimiento predictivo implementado

<b>MES</b>	<b>MTBF (horas)</b>	<b>MTTR (horas)</b>	<b>DM</b>
Enero	601.36	18.64	96.99%
Febrero	169.00	17.67	90.54%
Marzo	559.00	61.00	90.16%
Abril	285.56	14.44	95.19%
Mayo	591.42	28.58	95.39%
Junio	567.22	32.78	94.54%
Julio	265.00	45.00	85.48%
Agosto	297.50	12.50	95.97%
Septiembre	584.50	15.50	97.42%
Octubre	559.00	61.00	90.16%
Noviembre	179.33	20.67	89.67%
Diciembre	293.50	16.50	94.68%
<b>Promedio</b>	<b>339.53</b>	<b>25.47</b>	<b>93.02%</b>

**Tabla 39.** Indicadores de la excavadora M161859 con mantenimiento predictivo implementado

<b>MES</b>	<b>MTBF (horas)</b>	<b>MTTR (horas)</b>	<b>DM</b>
Enero	563.17	56.83	90.83%
Febrero	541.58	18.42	96.71%

Marzo	586.67	33.33	94.62%
Abril	266.56	33.44	88.85%
Mayo	291.04	18.96	93.88%
Junio	557.00	43.00	92.83%
Julio	594.83	25.17	95.94%
Agosto	575.00	45.00	92.74%
Septiembre	514.90	85.10	85.82%
Octubre	305.25	4.75	98.47%
Noviembre	554.00	46.00	92.33%
Diciembre	296.00	14.00	95.48%
<b>Promedio</b>	<b>425.30</b>	<b>30.95</b>	<b>93.22%</b>

Se puede apreciar una mejora en los indicadores de las excavadoras M160992, M161857 y M161859, las cuales experimentaron un aumento en su disponibilidad mecánica al alcanzar un 90.78%, 93.02% y 93.22%, respectivamente. Esto representa una mejora con respecto a la disponibilidad mecánica que se registró en el periodo 2022 antes de la implementación del mantenimiento predictivo.

### 3.3.1 Comparación de los indicadores de las excavadoras ZX870LC-5

**Tabla 40.** Cuadro comparativo de resultados de indicadores de mantenimiento

Descripción	AÑO	MTBF (horas)	MTTR (horas)	DM
Sin implementación mantenimiento predictivo	2022	318.01	64.95	83.04%
Con implementación mantenimiento predictivo	2023	367.68	30.50	92.34%

En la tabla 40, podemos observar un incremento positivo en los indicadores de las excavadoras Hitachi ZX870LC-5 con la implementación del mantenimiento predictivo en comparación con el período en el que no se tenía un plan de este tipo de mantenimiento. El MTBF se incrementó de 318.01 a 367.68 horas, lo que significa que el equipo opera con menos interrupciones debido a paradas no programadas. El MTTR experimentó una disminución considerable de 64.95 a 30.50 horas, lo que implica que el equipo pasó menos tiempo en reparación. Por último, la disponibilidad mecánica aumentó de



83.04% a 92.34% durante el periodo de enero a diciembre, lo que indica una mejora significativa en este indicador tan importante en la gestión de mantenimiento.

### 3.3.2 Beneficios económicos

A continuación, se presentan los beneficios económicos derivados de la reducción de las horas perdidas en los equipos debido a las reparaciones (MTTR).

**Tabla 41.** Cuadro de beneficios económicos por reducción de horas de reparación

Equipos	MTTR 2022 (Hrs/año)	MTTR 2023 (Hrs/año)	Ahorro en horas perdidas (Hrs/año)	Costo de operación (S/. / Hr)	Ahorro (S/.)
M160992	510.89	484.00	26.89	380	S/ 10,218.20
M161857	966.59	344.28	622.31	380	S/ 236,477.80
M161859	472.28	424.00	48.28	380	S/ 18,346.40
<b>Total</b>	1949.76	1252.28	697.48	380	S/ 265,042.40

En la Tabla 41, se puede observar un ahorro total anual de S/ 265,042.40.

### 3.3.3 Indicadores financieros de la propuesta

Además, se lleva a cabo el cálculo de los indicadores financieros, tales como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI), con el fin de verificar la rentabilidad de la propuesta de implementación del mantenimiento predictivo en la excavadora ZX870LC-5.

**Tabla 42.** Flujo de caja proyectado

	Año 0	Año 1	Año 2
Implementación mantenimiento predictivo	-S/ 91,109.00	S/ 265,042.40	S/ 265,042.40

En la tabla 42 se muestra el flujo de caja proyectado del proyecto propuesto. Además, considerar que en el Perú la tasa de descuento estándar es de 9%.

### **Cálculo del método de valor actual neto (VAN)**

Para el cálculo de VAN de la propuesta utilizaremos la siguiente formula.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

$$I_0 = S/ 91,109.00$$

$$F_t = S/ 265,042.40$$

$$K = 9 \%$$

$$VAN = \frac{S/ 265,042.40}{(1+0.09)^1} + \frac{S/ 265,042.40}{(1+0.09)^2} - S/ 91,109.00$$

$$VAN = \frac{S/ 265,042.40}{(1.09)^1} + \frac{S/ 265,042.40}{(1.09)^2} - S/ 91,109.00$$

$$VAN = S/ 375,130.05$$

Se verifica que la propuesta de la implementación del mantenimiento predictivo es viable ya que el VAN es mayor a cero con un valor de S/ 375,130.05

### **Cálculo de la tasa Interna de Retorno (TIR)**

Para el cálculo de TIR de la propuesta utilizaremos la siguiente formula.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} - I_0 = 0$$

Donde:

$$I_0 = S/ 91,109.00$$

$$F_t = S/ 265,042.40$$

$$0 = - S/ 91,109.00 + \frac{S/ 265,042.40}{(1+TIR)^1} + \frac{S/ 265,042.40}{(1+TIR)^2}$$

$$0 = - 91,109.00 (1+TIR)^2 + 265,042.40 (1+TIR)^1 + 265,042.40$$

$$(1+TIR) = \frac{-265,042.40 \pm \sqrt{265,042.40^2 - 4(-91,109.00)(265,042.40)}}{2(-91,109.00)}$$

$$TIR = 3.69 - 1$$

$$TIR = 2.69 = 269 \%$$

Se verifica que la propuesta de la implementación del mantenimiento predictivo es viable ya que el TIR es mayor a la tasa de descuento referencial del 20%, con un valor del 269%.

### **Cálculo del periodo de recuperación de la inversión (PRI)**

Para el cálculo de PRI o payback de la propuesta utilizaremos la siguiente formula y además el flujo de caja proyectado.

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d}$$

**Tabla 43.** Flujo de caja para el cálculo del payback

	<b>Flujo</b>	<b>Acumulado</b>
Mes 0	-S/ 91,109.00	
Mes 1	S/ 22,086.87	S/ 22,086.87
Mes 2	S/ 22,086.87	S/ 44,173.73
Mes 3	S/ 22,086.87	S/ 66,260.60
Mes 4	S/ 22,086.87	S/ 88,347.47
Mes 5	S/ 22,086.87	S/ 110,434.33

Donde:

$$a = 3$$

$$b = S/ 91,109.00$$

$$c = S/ 66,260.60$$

$$d = S/ 22,086.67$$

$$PRI = 3 + \frac{(S/ 91,109.00 - S/ 66,260.60)}{S/ 22,086.67}$$

$$PRI = 4.12 \text{ meses}$$

Multiplicaremos el resultado obtenido para transformar el PRI en días.

$$\text{PRI} = 4.12 * 30$$

$$\text{PRI} = 124 \text{ días}$$

El tiempo de recuperación de la inversión se da en 4 meses y 4 días por lo que la propuesta es rentable.

### **Cálculo del retorno de la inversión (ROI)**

$$\text{ROI} = \frac{\text{Ganancia} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} \times 100$$

$$\text{ROI} = \frac{\text{S/ } 265,042.40 - \text{S/}91,109.00}{\text{S/}91,109.00} \times 100$$

$$\text{ROI} = 1.91 \times 100 = 191\%$$

Por cada sol invertido para la implementación de la propuesta de mantenimiento predictivo se gana S/ 1.91

En la Tabla 44 se muestra un resumen de los indicadores financieros resultantes de la propuesta de implementación del mantenimiento predictivo en las excavadoras Hitachi modelo ZX870-LC. Los resultados indican claramente que la propuesta es rentable y podría generar beneficios significativos.

**Tabla 44.** Tabla de resumen de indicadores financieros

<b>Indicadores Financieros</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Resultados</b>
VAN	VAN > 0	S/375,130.05
TIR	TIR > 20%	269%
PRI o Payback	PRI = Recuperación a corto plazo	4 meses y 4 días
ROI	ROI > 0	S/1.91

## CONCLUSIONES

1. Se determinó que la disponibilidad mecánica en las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5 durante todo el año 2022 fue de 83.04%, según se constata en la tabla 10, la cual se encuentra por debajo de los estándares aceptables para la empresa.
2. Se desarrolló la implementación del plan de mantenimiento predictivo mediante el uso de técnicas predictivas con frecuencias establecidas que nos permitió detectar y abordar problemas mecánicos potenciales antes de que se conviertan en fallas graves, reduciendo los tiempos de inactividad no planificados.
3. Se verificó que la implementación del mantenimiento predictivo en las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5 generó un impacto altamente positivo, ya que la disponibilidad mecánica aumentó del 83.04% al 92.34% al comparar los años 2022 y 2023, respectivamente, como se muestra en la Tabla 40. Este incremento en el indicador refleja una mejora significativa que, a su vez, se traduce en beneficios para la empresa, tales como una mayor satisfacción del cliente y una reducción de los costos relacionados con reparaciones por fallas catastróficas.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda llevar a cabo un análisis detallado de las causas de las interrupciones más críticas y los tiempos de inactividad experimentados durante el año 2022 y 2023. Asimismo, se sugiere identificar los componentes específicos que han experimentado problemas con mayor frecuencia y las razones detrás de las fallas. Este análisis permitirá el desarrollo de una nueva estrategia destinada a mejorar la disponibilidad de los equipos.
2. Se sugiere mantener un monitoreo continuo de las técnicas predictivas implementadas y realizar un análisis detallado de los resultados obtenidos, con el propósito de identificar patrones y tendencias que puedan mejorar la eficacia de las técnicas predictivas y ajustar las estrategias según sea necesario. Además, se sugiere proporcionar capacitación constante al personal técnico y administrativo sobre el uso de técnicas predictivas para asegurar una gestión de mantenimiento predictivo de alta calidad.
3. Se recomienda analizar la implementación del mantenimiento predictivo que nos permitió incrementar la disponibilidad mecánica de las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5, con el propósito de aplicarla a los demás modelos de excavadoras y otros equipos de maquinaria pesada. El objetivo es que la empresa pueda ofrecer servicios de alquiler de equipos y soporte técnico de alta calidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña Acuña, J. (2022). *Ingeniería de Confiabilidad* (E. T. de C. Rica (ed.); 2 Edición). [https://www.google.com.pe/books/edition/Ingeniería\\_de\\_confiabilidad/QymbEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Ingeniería_de_confiabilidad/QymbEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1)
- Anchiraico Giraldo, A. L., & Rojas Oré, K. R. (2020). *Optimización del sistema de acarreo y transporte en labores de preparación de las zonas de profundización mediante la metodología Six Sigma operada por la E.C.M. ZICSA en la Unidad Minera Inmaculada*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Avendaño Chagua, F. J. (2022). Propuesta de un plan de mantenimiento predictivo basado en la norma ISO 55000 para maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial de Chucuito-Juli. Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.
- Buchelli Carpio, L., & García Granizo, V. (2015). Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diesel mediante la técnica de análisis de aceite. *Ciencia Unemi*, 8(15), 84–95. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol8iss15.2015pp84-95p>
- Chavarria Chavez, J. G. (2019). Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial de Pomabamba. En *Lima-Perú*. Universidad Tecnológica del Perú (UTP).
- Constantino Quintana, C. A. (2021). *Propuesta del plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad (RCM) para reducir costos de mantenimiento en el proceso de fundas de banano en la empresa Polisa SRL* [Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo]. <https://orcid.org/0000-0003-0781-5344>
- Contreras Alvarez, J. L. (2020). *Diseño de un modelo para mantenimiento predictivo en motores de inducción utilizando técnicas de la Industria 4.0*. Universidad Privada Del Norte.
- Espinoza Aguilar, E. E. (2019). *Elaboración de una metodología para la detección de fallas en estructuras metálicas empleando técnicas no destructivas*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

- Herráez Garrido, F., & Moreno Vega, A. (2019). *Ingeniería de Vías Agroforestales* (E. Mundi-Prensa (ed.); 1 Edición).  
[https://www.google.com.pe/books/edition/Ingeniería\\_de\\_vías\\_agroforestales/iMCXDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Ingeniería_de_vías_agroforestales/iMCXDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1)
- Iberico Robles, A. J., & Figueroa Grados, O. E. (2019). Diagnóstico de fallas, por mantenimiento predictivo, para optimizar el servicio post venta de maquinaria pesada Volvo, en una empresa Concesionaria Automotriz. Universidad César Vallejo.
- Jara Yalta, E. M., & Condori Portocarrero, Y. (2019). *“Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento predictivo y su relación con la disponibilidad mecánica de las excavadoras Hitachi 2500 en una empresa minera, 2018.”* Universidad Privada del Norte
- Jiménez Padilla, B. (2022). *Montaje y reparación de los sistemas mecánicos* (I. EDITORIAL (ed.); 2 edición).  
[https://www.google.com.pe/books/edition/Montaje\\_y\\_reparación\\_de\\_los\\_sistemas\\_me/PEqhEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Montaje_y_reparación_de_los_sistemas_me/PEqhEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1)
- Llanos Ruiz, R. A. (2020). *Análisis de falla para la determinación del desgaste de un eslabón de cadena de arrastre de excavadora 320 D2L CAT - 2020*. Universidad César Vallejo.
- Loya Ñato, D. R. (2020). Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para el área de abastecimiento corte térmico de la empresa SEDEMI. En *Quito-Ecuador*. Universidad Tecnológica Indoamérica.
- Luna Pérez, M. Á., Badillo Piña, I., & Vázquez Álvarez, G. (2020). Diseño de una metodología de mantenimiento predictivo para asegurar procesos de producción de la Industria 4.0. *South Florida Journal of Development*, 2(1), 9.  
<https://doi.org/10.46932/sfjdv2n1-074>
- Luque Romera, F. J. (2022). *UF0441: Máquinas, herramientas y materiales de procesos básicos de fabricación* (I. Editorial (ed.); 2 Edición).  
[https://www.google.com.pe/books/edition/Máquinas\\_herramientas\\_y\\_materiales\\_de\\_p/KvWbEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Máquinas_herramientas_y_materiales_de_p/KvWbEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1)



- Mafla Carlos, Castejon Cristina, R. H. (2022). *Mantenimiento predictivo en tractores agrícolas. Propuesta de metodología orientada al mantenimiento conectado*. 26(ISSN 1137-2729), 63–76.
- Mayhua Contreras, Y. B. (2020). *El acarreo de mineral y la producción de la sección I, en la mina Yauliyacu - empresa Minera los Quenuales S.A., Huarochirí - 2020*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Miranda Salinas, Y. R. (2020). *Implementación de un plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones en equipos rotativos críticos en la Central Termoeléctrica Santo Domingo de los Olleros*. Universidad Privada del Norte.
- Mosquera Peña, P. M. (2022). *Plan de mantenimiento mediante el análisis AMEF para incrementar la disponibilidad mecánica del Scoop R1600H en la unidad minera Andaychagua*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Pacheco Egas; Fiorella Angela. (2020). *Análisis de la valoración de proyectos a través del método de opciones reales: aplicación a un proyecto real del sector minero – metalúrgico en el Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Pérez Rondón, F. A. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento Industrial*. (USTA (ed.); PRIMERA).
- Portocarrero Servan, R., & Rabanal Delgado, Y. D. (2019). *Mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los remolcadores con motor CUMMINS ISX en una empresa de transporte de carga*. Universidad Nacional del Callao.
- Quispe Ramos, J. (2020). *Metodología de mantenimiento predictivo para el diagnóstico de motores eléctricos mediante termografía infrarroja*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Rajadell Carreras, M. (2021). *Lean Manufacturing: herramientas para producir mejor* (E. D. de S. S.A. (ed.); 2 Edición).[https://www.google.com.pe/books/edition/Lean\\_Manufacturing/40VIEA-AAQBAJ?hl=es&gbpv=0](https://www.google.com.pe/books/edition/Lean_Manufacturing/40VIEA-AAQBAJ?hl=es&gbpv=0)
- Ramón Ramirez, L. (2017). *Gestión de proyectos de instalaciones de*

*telecomunicaciones* (S. . Ediciones Paraninfo (ed.); 1 Edición).  
[https://www.google.com.pe/books/edition/Gesti3n\\_de\\_proyectos\\_de\\_instalaciones\\_d/NV9IDgAAQBAJ?hl=es&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Gesti3n_de_proyectos_de_instalaciones_d/NV9IDgAAQBAJ?hl=es&gbpv=1)

Ravines Abanto, S. K. (2020). *Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento predictivo para incrementar la disponibilidad mecánica de una flota de maquinaria pesada de una empresa de servicios de maquinaria*. Universidad privada del norte

Sancho Ródenas, J. (2023). *Montaje y mantenimiento mecánico* (S. Ediciones Paraninfo (ed.); 1 Edición).

[https://www.google.com.pe/books/edition/Montaje\\_y\\_mantenimiento\\_mecánico/m07IEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Montaje_y_mantenimiento_mecánico/m07IEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1)

Soret Los Santos, I., & Mercedes de Obesso Arias, M. (2020). *Gestión de la calidad* (E. Editorial (ed.); 1 Edición).

[https://www.google.com.pe/books/edition/Gesti3n\\_de\\_la\\_calidad/aFvxDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=0](https://www.google.com.pe/books/edition/Gesti3n_de_la_calidad/aFvxDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=0)

Suarez Salazar, C. J. P. (2020). *Inspección por tintes penetrantes conforme con el código ASME B31.3-2018 a las juntas soldadas del proyecto Carbon Steel Pipes And Spools en la empresa Metrain SAC- 2020*. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

Tormos Martínez, B. (2020). *Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado* (E. Reverté (ed.); 1 Edición).

[https://www.google.com.pe/books/edition/Diagn3stico\\_de\\_motores\\_di3sel\\_mediante/jpUJEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Diagn3stico_de_motores_di3sel_mediante/jpUJEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1)

Torres, L. (2015). *Gestión integral de activos físicos y mantenimiento* (A. Editorial (ed.); 1 Edición).

[https://www.google.com.pe/books/edition/Gesti3n\\_Integral\\_de\\_Activos\\_F3sicos\\_y/Cfl3EAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Gesti3n_Integral_de_Activos_F3sicos_y/Cfl3EAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1)

Zambrano Castro, J. W., & Pérez Guerrero, J. N. (2021). Estudio de la aplicación del mantenimiento predictivo en motores diésel en la provincia de Manabí. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8 Edición), 96–116. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8edespdic.0053>

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Formato de encuesta de análisis de criticidad

### ENCUESTA ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Puesto de trabajo:

Nombres y Apellidos:

Equipo:

Fecha:

#### Guía de factores de frecuencia y consecuencias

FRECUENCIA DE FALLA	PUNTAJE	COSTO DE REPARACIÓN (S/.)	PUNTAJE
Entre 0 y 3 en un año	1	Menos de 500	1
Entre 4 y 7 en un año	2	Entre 501 y 1000	2
Entre 8 y 11 en un año	3	Entre 1001 y 2000	3
Entre 12 y 14 en un año	4	Entre 2001 y 3500	4
Más de 15 fallas al año	5	Entre 3501 a mas	5
TIEMPO MEDIO PARA REPARAR	PUNTAJE	IMPACTO AMBIENTAL	PUNTAJE
Menos de 10 horas	1	No origina ningun impacto ambiental	1
Entre 11 y 24 horas	2	Contaminación ambiental baja	2
Entre 25 y 48 horas	3	Contaminación ambiental moderada	3
Entre 49 y 72 horas	4	Contaminación ambiental alta	4
Entre 73 horas a más	5	Daños irreversibles en el Ambiente	5
IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN	PUNTAJE	IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	PUNTAJE
No afecta la producción	1	No ocasiona problemas en la salud ni genera lesiones	1
25% de impacto	2	Puede ocasionar lesiones leves	2
50% de impacto	3	Puede ocasionar lesiones severos	3
75% de impacto	4	Puede ocasionar lesiones con incapacidad parcial	4
Afecta totalmente la producción	5	Puede ocasionar muerte o incapacidad	5

Llenar el siguiente cuadro de criticidad por sistemas de la excavadora Hitachi modelo ZX870LC-5, asignando puntajes del 1 al 5 de acuerdo a la guía de factores de frecuencia y consecuencias

ITEM	SISTEMA	Frecuencia de falla	Tiempo medio para reparar (MTTR)	Impacto sobre la producción	Costo de reparación	Impacto Ambiental	Impacto en Salud y seguridad Personal
1	Sistema motor						
2	Sistema hidráulico						
3	Sistema transmisión						
4	Sistema tren de rodamiento						
5	Sistema eléctrico / electrónico						
6	Sistema estructura chasis						
7	Sistema cabina operador						
8	Sistema implementos de trabajo						
9	Sistema de giro						


## Anexo 2. Formato de inspección visual de las excavadoras

INSPECCIÓN DE EXCAVADORAS JOHN DEERE / HITACHI				CGM RENTAL			
CGM Rental - Checklist de revisión de calidad previa entrega de máquina							
DATOS DE LA MÁQUINA				DATOS DEL PERSONAL TÉCNICO			
CIP:				NOMBRE Y APELLIDOS:			
MARCA:				CARGO:			
MODELO:				NÚMERO DE TELÉFONO:			
NÚMERO DE SERIE DE CHASIS:				SUCURSAL:			
NÚMERO DE SERIE DE MOTOR:				FECHA:			
HORÓMETRO:				HORA DE INICIO / HORA DE TÉRMINO:			
SISTEMA MOTOR				CABINA DEL OPERADOR			
	OK	Mal Estado	OBSERVACIONES		OK	Mal Estado	OBSERVACIONES
Nivel de aceite de motor				Barandas de seguridad de cabina			
Estado y ajuste de fajas				Chapa de puerta abre y cierra correctamente por dentro y por fuera			
Estado, juego y libre giro de poleas				Limpieza interior de la cabina y vidrios			
Estado de polea y damper				Estado del tapizado			
Fugas por tapa de balancines				Filtros de aire de la cabina y aire fresco			
Comprobación de holgura de válvulas				Manual de operación y mantenimiento			
Tapa de abastecimiento de aceite				Vidrios en buen estado con laminado			
Estado y saturación de filtros de aire				Ventana lateral y frontal abren fácilmente			
Manguera y abrazaderas del filtro de aire hacia el turbocompresor				Plumilla del limpiaparabrisas			
Manguera, tuberías y abrazaderas del turbocompresor al postenfriador				Espejo lateral izquierdo			
Manguera, tuberías y abrazaderas del postenfriador hacia la admisión				Chapa de contacto funciona suavemente			
Estado del turbocompresor y actuador de VGT				Estado de pantalla de monitor			
Estado del enfriador EGR				Estado asiento y regulación de posición			
Fugas por múltiple de escape				Cinturón de seguridad			
Pernos de múltiple de escape completos				Etiquetas de seguridad			
Fugas de aceite por retenes de cigüeñal				Parada de emergencia			
Fugas de aceite por tapa de distribución				Perillas y botones de la consola lateral			
Fugas de aceite por empaque de culata				Controles del sistema hidráulico			
Fugas de aceite por empaque de cárter				Palancas de sistema de traslación			
Nivel de refrigerante				Conductos de aire acondicionado			
Tapa original de tanque de expansión				Tapa de caja de fusibles			
Resumen de refrigerante por testigo de bomba de agua				Guardas de controladores (MCZ y DSZ)			
Fuga de refrigerante por caja de termostatos				Compartimento de almacenamiento			
Estado de estructura, pernos, soportes y limpieza de paneles de radiadores				Radio AM/FM			
Estado de paletas de ventilador				Etiqueta o placa FOPS/ROPS			
RPM máximas de ventilador				SISTEMA HIDRÁULICO			
Mangueras y abrazaderas de entrada y salida de radiador y motor				Nivel de aceite hidráulico			
Verificar presión de aceite de motor				Estado de mirilla de nivel			
Fugas por enfriador de aceite				Tapa de filtros de aceite de retorno			
Líneas y mangueras de lubricación				Válvula de despresurización de tanque			
Estado de cabezal de filtro de aceite				Fugas por bombas de alta presión			
Estado de inyectores				Fuga por bomba de pilotaje			
Estado de bomba de inyección				Mangueras y tuberías de succión bombas			
Fugas por empaque de boya de nivel				Abrazaderas de mangueras de succión			
Limpieza del tanque de combustible				Bridas de mangueras de bomba			
Mangueras y abrazaderas de salida de tanque hacia filtros y bomba de baja				Mangueras y bridas de válvula principal			
Líneas y tuberías de filtros de combustible				Mangueras y bridas de válvula de pilotaje			
Estado de filtros de combustible y cabezal				Fugas por bloque de válvula principal			
Saturación de vaso de filtro separador				Fugas por bloque de válvula de pilotaje			
Estado y ajuste de tuberías de inyección, fugas por el riel común y retorno				Fugas por electroválvula de control piloto			
Estado y funcionamiento del arrancador				Fugas por junta central			
Estado y funcionamiento del alternador				Estado de mangueras y tuberías de cilindro de boom			
Estado, funcionamiento y accionamiento del compresor de aire				Protectores de mangueras de cilindro de boom			
Estado de soportes de motor				Estado de mangueras y tuberías de cilindro de brazo			

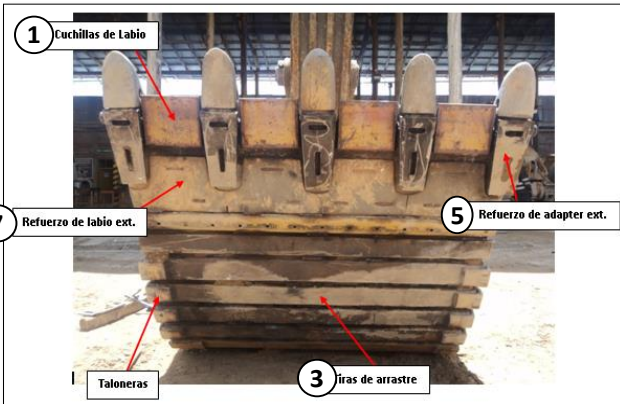
SISTEMA TREN DE RODAMIENTO	OK	Mal Estado	OBSERVACIONES			
Holgura de cadena				Protectores de mangueras de cilindro de brazo		
Pernos y tuercas de zapata flojos o faltantes				Estado de mangueras y tuberías de cilindro de cuchara		
Estado de plancha de zapatas				Picaduras/fugas en vástagos de cilindros de boom		
Estado de garras de zapatas				Manga protectora de cilindros de boom		
Nivel de aceite de rodillos superiores				Picaduras/fugas en vástago de cilindros de brazo		
Libre giro de rodillos superiores				Manga protectora de cilindro de brazo		
Juego de pin de rodillos superiores				Picaduras/fugas en vástagos de cilindro de cucharón		
Guiadores de cadena completos				Manga protectora de cilindro de cucharón		
Tapas de rodillos inferiores				Saturación de filtro dializador onboard (si tiene)		
Libre movimiento de rodillos inferiores				Código de limpieza ISO según SOS		
Templador de cadena				Presión de alivio de sistema		
Separación de eslabones				Líneas de engrase de juntas de pines y bocinas		
Estado de eslabones de cadena				Múltiple de retorno y tapones de tanque		
Estado de rueda dentada (sprocket)				<b>SISTEMA DE GIRO</b>	<b>OK</b>	<b>Mal Estado</b>
Pernos de rueda dentada completos				Engrase de corona y cojinete de giro		<b>OBSERVACIONES</b>
Ajuste y alineamiento de rueda guía				Pernos inferiores de corona y cojinete de giro		
Estiramiento de la cadena				Fugas por retenes de motor de giro RH		
Pines dentro del alojamiento de las bocinas				Fugas por retenes de motor de giro LH		
Fisuras en bocinas				Fugas por retenes de reductor de giro RH		
Seguro de pin master				Fugas por retenes de reductor de giro LH		
Estado de parte baja del bastidor				Fugas por mangueras de motores de giro		
				Nivel de aceite de motores / reductores de giro		
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>	<b>OK</b>	<b>Mal Estado</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>SISTEMA ESTRUCTURA</b>	<b>OK</b>	<b>Mal Estado</b>
Voltaje de baterías				Fisuras en la pluma		
Estado físico de baterías y densidad				Fisuras en el brazo		
Estado de bornes y cables de batería				Juego de pines y bocinas de boom		
Grupo de cables del MTG y Antena				Juego de pines y bocinas de brazo		
Grupo de cables de conexión a ServiceAdvisor				Juego de pines y bocinas de cucharón y H		
Lock-out				Regulación de juego axial entre brazo y cuchara		
Luces de la pluma y luces de trabajo				Retenes trapecoidales de grasa de cucharón		
Grupo de cables de la máquina				Engrase de pines y bocinas de boom		
Cableado de luces de trabajo y luces de pluma				Engrase de pines y bocinas de cilindros de boom		
Encendido de luces de trabajo y de pluma				Engrase de pines y bocinas de de brazo		
Grupo de cables de la cabina				Engrase de pines y bocinas de cilindro de brazo		
MCZ y conectores				Engrase de pines y bocinas de cilindro de balde		
DSZ y conectores				Engrase de pines y bocinas de eslabón de potencia		
Grupo de cables del monitor				Engrase de pines y bocinas de brazo y cuchara		
Grupo de cables del arrancador				Fisuras en cordón de soldadura de bridas de pluma y cilindros de pluma		
Grupo de cables del alternador				Placa de acoplamiento de martillo (si tiene)		
Sensor de presión de aceite				Fugas por tanque de combustible		
Sensor de presión de combustible				<b>SISTEMA TRANSMISION</b>	<b>OK</b>	<b>Mal Estado</b>
Sensores MAP / MAT				Mangueras y líneas de motores de traslación		<b>OBSERVACIONES</b>
Grupo de cables de inyectores				Fugas por motores de traslación		
Sensor de temperatura del EGR				Nivel de aceite de mandos finales		
Sensor de posición de árbol de levas				Fuga de aceite por tapa de mandos finales		
Sensor de posición de cigüeñal				Nivel de aceite de PTO y estado de respiradero		
Cableado y sensor del acionador del VGT				Fugas de aceite por PTO		
Sensor de temperatura de refrigerante				<b>INSPECCIÓN DE CUCHARÓN</b>	<b>OK</b>	<b>Mal Estado</b>
ECU y conectores				Medición juego entre brazo y bucket (0.5 mm)		<b>OBSERVACIONES</b>
Grupo de cables de la bomba hidráulica				Refuerzos de cucharón		
Electroválvula de control de par y conectores				Fisuras en cordón de soldadura de bisagra de cucharón		
Sensores de presión P1 y P2				Adapters, uñas y pines de gets		
Sensor de temperatura de aceite hidráulico						
Sensores de presión de implemento						
Bloque de solenoides de sistema hidráulico						
Cableado de válvula de corte piloto						
Fusibles						
Grupo de cables de aire acondicionado						



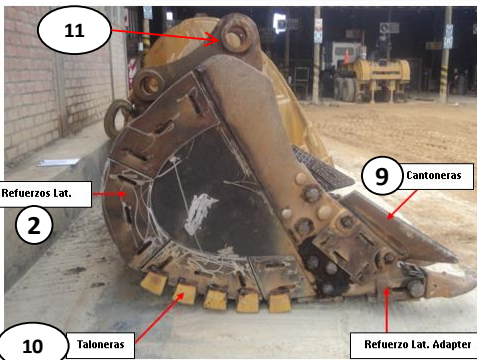
### Anexo 3. Formato de inspección del cucharón delantero



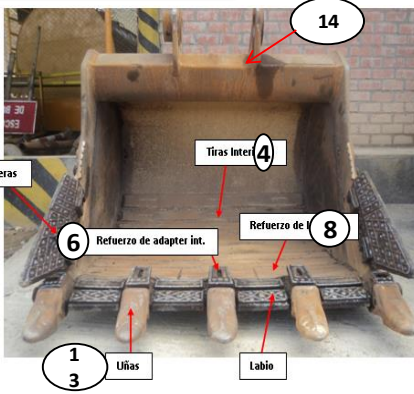
#### INSPECCIÓN DE CUCHARONES DE EXCAVADORAS



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



2 Refuerzos Lat.  
9 Cantonerías  
10 Talonerías  
11 Alojamiento de cucharón  
Refuerzo Lat. Adapter



1 Uñas  
3 Labio  
4 Tiras Inter.  
6 Refuerzo de adapter int.  
8 Refuerzo de labio int.  
14 Fisuras en orejas, "H", Adapters

EQUIPO CIP	TIPO CUCHARON	MODELO	VOLUMEN	TERRENO	
CIP CUCHARON	ROCKLAND <input type="radio"/>			COMPACTO <input type="radio"/>	
FECHA INSP.	P Y H <input type="radio"/>			IMPACTO <input type="radio"/>	
HORÓMETRO	OTRO <input type="radio"/>			HUMEDAD <input type="radio"/>	
ITEM	DESCRIPCIÓN	BUENO	MALO	OBSERVACIÓN	
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	Cantonerías				
10	Talonerías				
11	Alojamiento de cucharón				
12	Pines y bocinas				
13	Puntas				
14	Fisuras en orejas, "H", Adapters				
<b>ACCIÓN CORRECTIVA</b>					
A	Ultima reparación	Fecha Horometro	B	Ultimo cambio de cucharón	Fecha Horometro
	Horas acumuladas U.R.			Horas acumuladas U.C.	
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>					

## Anexo 4. Formato de inspección de técnica predictiva por líquidos penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonido

INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES - PARTÍCULAS MAGNÉTICAS - ULTRASONIDO					
Ensayos no destructivos (END)					
DATOS DE LA MÁQUINA			DATOS DEL PERSONAL TÉCNICO		
CIP:			NOMBRE Y APELLIDOS:		
MARCA:			CARGO:		
MODELO:			NÚMERO DE TELÉFONO:		
NÚMERO DE SERIE DE CHASIS:			SUCURSAL:		
NÚMERO DE SERIE DE MOTOR:			FECHA:		
HORÓMETRO:			HORA DE INICIO / HORA DE TÉRMINO:		
DESCRIPCIÓN					
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar mediante líquidos penetrantes y Partículas Magnéticas a fin de determinar indicaciones internas y discontinuidades superficiales y sub-superficiales de tipo fisuras, que limiten la operatividad de los componentes.</li> <li>- Evaluar las indicaciones y discontinuidades, en las zonas de interés tal como material base, cambios de secciones y puntos sometidos a esfuerzos.</li> <li>- Determinar la condición del componente y decidir su reparación y/o cambio según su estado.</li> <li>- Evaluar mediante el ultrasonido los sellos internos de los cilindros hidráulicos.</li> <li>- Determinar la condición del componente y decidir su reparación y/o cambio según su estado.</li> </ul>				
Equipos / herramientas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpiador, líquido penetrante, revelador</li> <li>- Yugo magnético</li> <li>- Ultrasonido</li> </ul>				
COMPONENTE	TIPO DE TÉCNICA PREDICTIVA	BUENO	MALO	OBSERVACIÓN	
Cucharón Delantero	Líquido Penetrantes				
	Partículas Magnéticas				
Brazo de excavadora	Líquido Penetrantes				
	Partículas Magnéticas				
Pluma de excavadora	Líquido Penetrantes				
	Partículas Magnéticas				
Articulación	Líquido Penetrantes				
	Partículas Magnéticas				
Tanque de combustible	Líquido Penetrantes				
	Partículas Magnéticas				
Cubierta de mandos finales	Líquido Penetrantes				
Sprocket	Líquido Penetrantes				
COMPONENTE	TIPO DE TÉCNICA PREDICTIVA	Valor (db)	BUENO	MALO	OBSERVACIÓN
Cilindros de Boom	Ultrasonido				
Cilindro de Stick	Ultrasonido				
Cilindro de bucket	Ultrasonido				



## Anexo 5. Formato de inspección de técnica predictiva por termografía

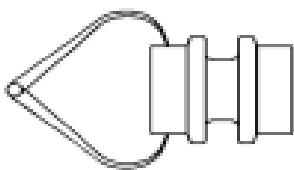
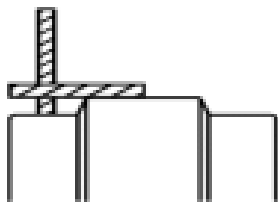

INSPECCIÓN POR TERMOGRAFÍA						
Inspección de excavadoras John Deere / Hitachi						
DATOS DE LA MÁQUINA			DATOS DEL PERSONAL TÉCNICO			
CIP:			NOMBRE Y APELLIDOS:			
MARCA:			CARGO:			
MODELO:			NÚMERO DE TELÉFONO:			
NÚMERO DE SERIE DE CHASIS:			SUCURSAL:			
NÚMERO DE SERIE DE MOTOR:			FECHA:			
HORÓMETRO:			HORA DE INICIO / HORA DE TÉRMINO:			
DESCRIPCIÓN						
Objetivos	- Evaluar mediante la termografía la temperatura y radiación infrarroja los componentes a fin de determinar sus componentes. - Evaluar las elevaciones de temperatura debidas a fricciones, lubricación inadecuada, obstrucciones, etc. - Determinar la condición del componente y decidir su reparación y/o cambio según su estado.					
Equipos / herramientas	- Cámara termográfica					
COMPONENTE	TIPO DE TÉCNICA PREDICTIVA	Tº REFERENCIA Cº	TEMPERATURA	BUENO	MALO	OBSERVACIÓN
Turbocompresor	Termografía	250 - 400				
Sistema admisión	Termografía	100 - 140				
Sistema escape	Termografía	450 - 650				
Radiador	Termografía	75 - 85				
Enfriador de aceite hidráulico	Termografía	45 - 55				
Bombas hidráulicas	Termografía	45 - 60				
Pines y bocinas	Termografía	-100 - 350				
Alternador	Termografía	80 - 100				
Cableados eléctricos	Termografía	60 - 128				
Mando final	Termografía	50 - 75				
Bujes	Termografía	-				
Rodillos superiores	Termografía	-				
Rodillos inferiores	Termografía	-				
IMAGEN TÉRMICA						

## Anexo 6. Formato de inspección de tren de rodamiento

		REPORTE DE TREN DE RODAMIENTO					
CIP		FECHA		MARCA DE CADENA		NÚMERO DE OT	
MARCA		ZONA		CÓDIGO ESLABÓN		AGUA/HUMEDAD	
MODELO		PROYECTO		ANCHO DE ZAPATA		PIEDRAS	
HOROMETRO		SUPERVISOR		CANTIDAD DE GARRAS		ROCAS	
HRS DE TRASLADO		TÉCNICO INSPECTOR		BUJES VOLTEADOS		ARENA	

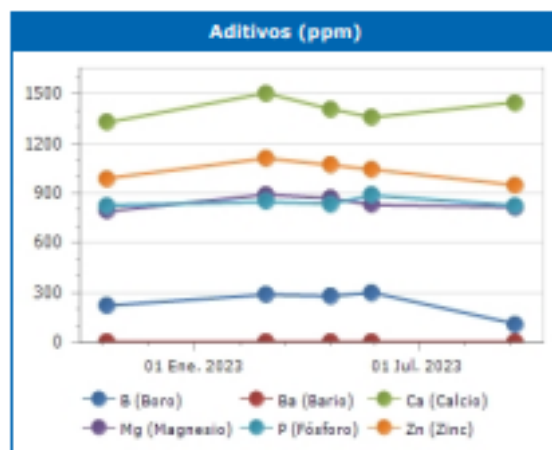
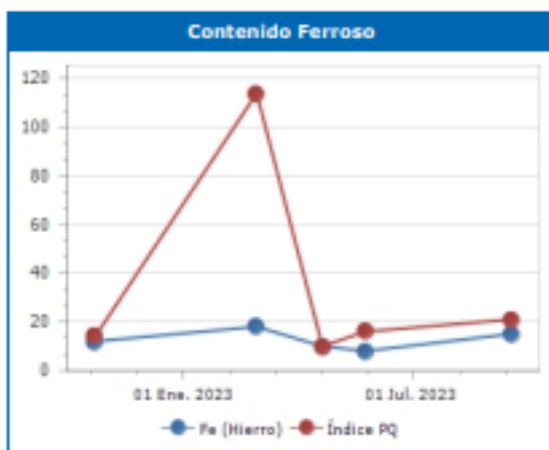
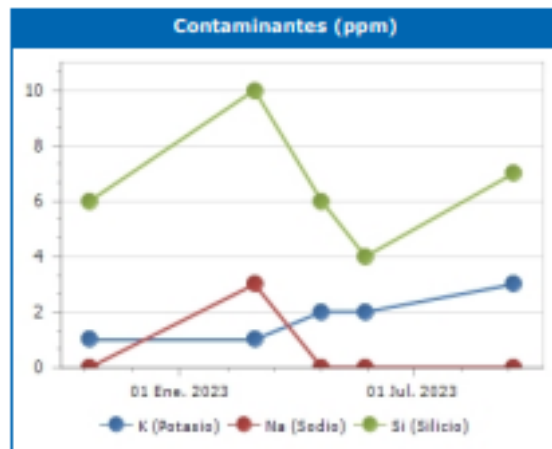
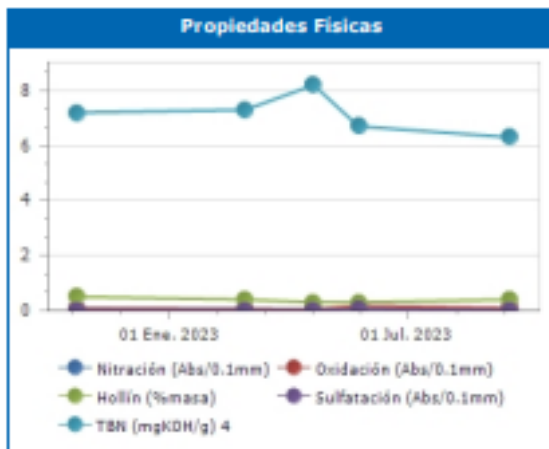
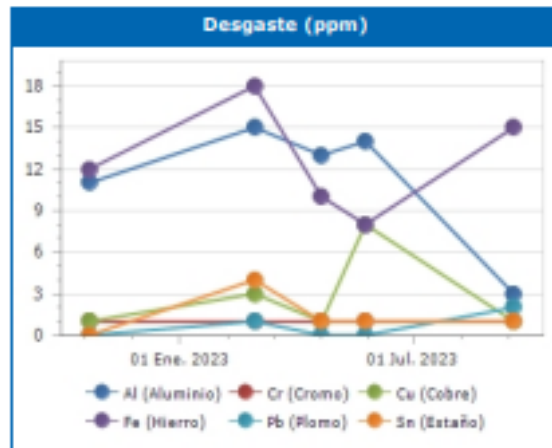
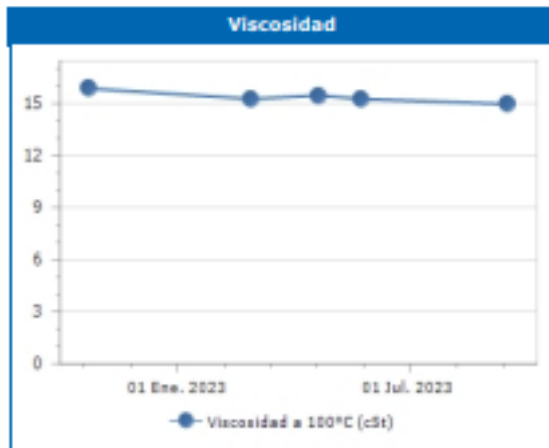
  

COMPONENTE	MODO DE INSPECCIÓN	INTERVALOS DE UTILIZACIÓN	REGISTRO DE MEDIDAS			PORCENTAJE DE DESGASTE	
			TIPO	DERECHA	IZQUIERDA	DERECHA	IZQUIERDA
HOLGURA DE CADENA	 EXCAVATOR TRACK SAG	530.00	MEDIDA				
		470.00					
DIÁMETRO DE BUJE		78.55	MEDIDA 1				
		85.35	MEDIDA 2				
		PROMEDIO DE BUJES					
ALTURA DE ESLABÓN		147.20	MEDIDA 1				
		155.00	MEDIDA 2				
		PROMEDIO DE ESLABONES					
ALTURA DE GARRA DE ZAPATAS		24.00	MEDIDA 1				
		50.00	MEDIDA 2				
		PROMEDIO DE ALTURA DE ZAPATAS					
RODILLOS INFERIORES		220.00	MEDIDA 1				
			MEDIDA 2				
			MEDIDA 3				

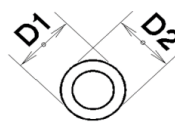
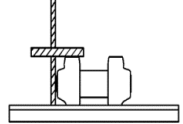
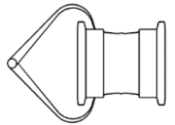
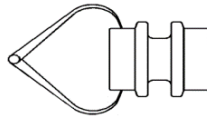
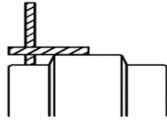
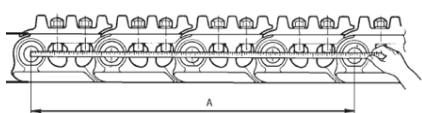
			MEDIDA 4				
		240.00	MEDIDA 5				
			MEDIDA 6				
			MEDIDA 7				
			MEDIDA 8				
			MEDIDA 9				
		PROMEDIO DE RODILLOS INFERIORES					
RODILLOS SUPERIORES		202.00	RODILLO DELANTERO				
		210.00	RODILLO POSTERIOR				
		PROMEDIO DE RODILLOS SUPERIORES					
RUEDA GUIA		32.50	RUEDA GUIA DELANTERA				
		21.50	RUEDA GUIA POSTERIOR				
		PROMEDIO RUEDA GUÍAS					
PASO DE LA CADENA		1,062.20	MEDIDA 1				
		1,041.40	MEDIDA 2				
		PROMEDIO DE PASO DE CADENA					
PANEL FOTOGRÁFICO							
BASTIDOR DERECHO				BASTIDOR IZQUIERDO			

**Anexo 7. Modelo de ficha de resultados de análisis de aceites de la excavadora entregado por el laboratorio Terpel**

Smart Lab		Reporte de Análisis		NORMAL		
Lubricant Analysis		Fecha de reporte: 5 Oct. 2023		Cuenta: CGM RENTAL S.A.C		
		Cuenta Padre: TERPEL		Flota o Área: CGM RENTAL		
		Equipo: M161857				
Información del componente						
Componente: <b>MOTOR</b>		Fabricante: <b>ISUZU</b>				
Clase de Componente: <b>Motor</b>		Modelo:				
		Lubricante: <b>MOBIL DELVAC MX ESP 15W-40</b>				
Datos y Resultados de la muestra	Estado del Reporte	Normal	Alerta	Normal	Precaución	Normal
	ID de la muestra	A004255624	A004865070	A004907336	A004597904	A005208713
	Nivel de servicio	Premium	Premium	Premium	Premium	Premium
	Identificación de la botella	00291578	00322285	00336896	00343425	00373455
	Lubricante utilizado	JOHN DEERE PLUS-50	JOHN DEERE PLUS-50	JOHN DEERE PLUS-50	MOBIL DELVAC MX ESP 15W-40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W-40
	Fecha de muestreo	23 Oct. 2022	28 Feb. 2023	21 Abr. 2023	25 May. 2023	17 Set. 2023
	Fecha de reporte	11 Nov. 2022	8 Mar. 2023	16 May. 2023	9 Jun. 2023	5 Oct. 2023
	Hrs/Km de Equipo	13021 Hrs	14012 Hrs	14470 Hrs	14891 Hrs	16065 Hrs
	Hrs/Km de Aceite	270 Hrs	250 Hrs	250 Hrs	250 Hrs	250 Hrs
	Volumen de Relleno					
Cambio de Aceite	Si		Si	Si	Si	
Cambio de Filtro	Si		Si	Si	Si	
Comentarios de muestra	SHOUGANG	PROYECTO SHOUGANG	PROYECTO SHOUGANG	PROYECTO SHOUGANG	PROYECTO SHOUGANG	
Lubricante	Clasificación de Contaminación	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
	Clasificación de Equipo	Normal	Alerta	Normal	Precaución	Normal
	Clasificación de Aceite	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
	Agua (Cualitativo)	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
	Dil. por Combustible (%masa)	-	-	-	-	-
	Hollín (%masa)	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4
	Hollín (Abs/0.1mm)	0.286	0.206	0.159	0.143	0.194
	Indicador de Refrigerante	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
	Índice PQ	14	11.4	10	16	21
	Nitración (Abs/0.1mm)	0.069	0.050	0.039	0.059	0.070
Oxidación (Abs/0.1mm)	0.076	0.056	0.038	0.173	0.087	
Sulfatación (Abs/0.1mm)	0.001	0.000	0.000	0.060	0.000	
TBN (mgKOH/g) 4	7.2	7.3	8.2	6.7	6.3	
Viscosidad a 100°C (cSt)	15.9	15.3	15.5	15.3	15.0	
Desgaste (ppm)	Ag (Plata)	0	0	0	0	0
	Al (Aluminio)	11	15	13	14	3
	Cd (Cadmio)	0	0	0	0	0
	Cr (Cromo)	1	1	1	1	1
	Cu (Cobre)	1	3	1	8	1
	Fe (Hierro)	12	18	10	8	15
	Mo (Molibdeno)	259	271	274	261	34
	Ni (Níquel)	0	0	0	0	0
	Pb (Plomo)	0	1	0	0	2
	Sn (Estaño)	0	4	1	1	1
Ti (Titanio)	0	0	0	0	0	
Contaminantes (ppm)	K (Potasio)	1	1	2	2	3
	Mn (Manganeso)	0	1	1	0	1
	Na (Sodio)	0	3	0	0	0
	Si (Silicio)	6	10	6	4	7
	V (Vanadio)	0	0	0	0	0
Aditivos (ppm)	B (Boro)	220	286	277	298	110
	Ba (Bario)	0	0	0	0	0
	Ca (Calcio)	1328	1505	1409	1359	1449
	Mg (Magnesio)	790	891	869	829	816
	P (Fósforo)	827	847	836	886	826
	Zn (Zinc)	990	1111	1070	1043	949
Recomendación y Comentarios						
-No se requiere acción alguna sobre el aceite o el equipo. Todos los resultados de las pruebas realizadas están dentro de los rangos aceptables. Examine cambios progresivos y resultados moderados en busca de tendencias cambiantes. Retorne la muestra en el próximo intervalo programado.						



### Anexo 8. Cuadro de límites permisibles de componentes del tren de rodamiento


DESCRIPCIÓN	ESTÁNDAR (mm)	LÍMITE PERMISIBLE (mm)	REFERENCIA
HOLGURA DE CADENA	470.00	530.00	
DIÁMETRO DE BUJE	85.35	78.55	
ALTURA DE ESLABÓN	155.00	147.20	
ALTURA GARRA DE ZAPATA	50.00	24.00	
RODILLO INFERIOR	240.00	220.00	
RODILLO SUPERIOR	210.00	202.00	
RUEDA GUÍA	21.50	32.50	
PASO DE LA CADENA	1041.40	1062.20	

### Anexo 9. Programa de mantenimiento predictivo aplicado a las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5

TIPO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA	250	500	1000	RESPONSABLE	TIEMPO
Inspección visual	Todos los sistemas de la excavadora	250 horas	X			Técnico mecánico	100 min.
Análisis de aceite	Aceite de motor	500 horas		X		Técnico mecánico	40 min.
	Aceite de caja de engranajes PTO	1000 horas			X	Técnico mecánico	
	Aceite de Motor de Giro Izquierdo y derecho	1000 horas			X	Técnico mecánico	
	Aceite de Mando Final Izquierdo y derecho	1000 horas			X	Técnico mecánico	
	Aceite Hidráulico	1000 horas			X	Técnico mecánico	
Líquidos penetrantes	Cucharón Delantero	500 horas		X		Técnico mecánico	180 min.
	Brazo y pluma de excavadora	500 horas		X		Técnico mecánico	
	Articulación	500 horas		X		Técnico mecánico	
	Sprocket	500 horas		X		Técnico mecánico	
	Tapa de mando final	500 horas		X		Técnico mecánico	
	Tanque de combustible	500 horas		X		Técnico mecánico	
Partículas magnéticas	Cucharón Delantero	500 horas		X		Técnico mecánico	120 min.
	Brazo y pluma de excavadora	500 horas		X		Técnico mecánico	
	Articulación	500 horas		X		Técnico mecánico	
Ultrasonido	Cilindros hidráulicos de la excavadora	250 horas	X			Técnico mecánico	100 min.
	Tren de rodamiento	500 horas		X		Técnico mecánico	
Termografía	Turbocompresor	250 horas	X			Técnico mecánico	120 min.
	Sistema admisión y escape	250 horas	X			Técnico mecánico	
	Radiador y enfriador de aceite	250 horas	X			Técnico mecánico	
	Bombas hidráulicas	250 horas	X			Técnico mecánico	
	Mando final	250 horas	X			Técnico mecánico	
	Pines y bocinas	250 horas	X			Técnico mecánico	
	Alternador y cableados eléctricos	250 horas	X			Técnico mecánico	
	Bujes, rodillos inferiores y superiores	250 horas	X			Técnico mecánico	



## Anexo 10. Fotografías de inspecciones realizadas en la implementación del mantenimiento predictivo aplicado a las excavadoras Hitachi modelo ZX870LC-5

INSPECCIÓN DE EXCAVADORAS JOHN DEERE / HITACHI							
CGM Rental - Checklist de revisión de calidad previa entrega de máquina							
DATOS DE LA MÁQUINA				DATOS DEL PERSONAL TÉCNICO			
CP: <u>HITACHI</u> MARCA: <u>HITACHI</u> MODELO: <u>ZX870LC-5</u> NÚMERO DE SERIE DE CHASIS: <u>HCH17BKA00000223</u> NÚMERO DE SERIE DE MOTOR: <u>1E061061621443</u> HORÓMETRO: <u>165026.00</u>				NOMBRE Y APELLIDOS: <u>César Díaz Ortega</u> CARGO: <u>Técnico Mecánico</u> NÚMERO DE TELÉFONO: _____ CURSUAL: <u>CENTRO</u> FECHA: <u>20/10/23</u> HORA DE INICIO / HORA DE TÉRMINO: <u>06:00 / 07:30</u>			
SISTEMA MOTOR	SI	NO	OBSERVACIONES	CABINA DEL OPERADOR	SI	NO	OBSERVACIONES
Nivel de aceite de motor	✓			Barandales de seguridad de cabina	✓		
Estado y ajuste de fajas	✓			Chapa de puerto aire y tierra correctamente por dentro y por fuera	✓		
Estado, juego y libre giro de poleas	✓			Limpieza interior de la cabina y vidrios	✓		
Estado de polea y damper	✓			Estado del tapizado	✓		
Fugas por tapa de balancines		X	<u>Cambiar aceite</u>	Filtros de aire de la cabina y aire fresco			
Comprobación de bulgura de válvulas	✓			Manual de operación y mantenimiento	✓		
Tapa de abastecimiento de aceite	✓			Vidrios en buen estado con laminado	✓		
Estado y saturación de filtros de aire			<u>Filtro sucio</u>	Ventana lateral y frontal abren fácilmente	✓		
Manguera y abrazaderas del filtro de aire hacia el turbocompresor	✓			Manilla del respiraparabrisas		✓	<u>Cambiar</u>
Manguera, tuberías y abrazaderas del turbocompresor al gobernador	✓			Tapajo lateral izquierdo	✓		
Manguera, tuberías y abrazaderas del gobernador hacia la admisión	✓			Chapa de contacto funciona suavemente	✓		
Estado del turbocompresor y actuador de VGT	✓			Estado de pantalla de monitor	✓		
Estado del enfriador EGR	✓			Estado asiento y regulación de posición	✓		
Fugas por múltiple de escape	✓			Ombón de seguridad	✓		
Pernos de múltiple de escape completos	✓			Coque de seguridad		✓	<u>Cambiar</u>
Fugas de aceite por retenes de cigüeñal	✓			Parada de emergencia	✓		
Fugas de aceite por tapa de distribución	✓			Pantallas y botones de la consola lateral	✓		
Fugas de aceite por empuje de calata	✓			Controles del sistema hidráulico	✓		
Fugas de aceite por empuje de cárter	✓			Palancas de sistema de tracción	✓		
Nivel de refrigerante		X	<u>Reponer a nivel</u>	Conductos de aire acondicionado	✓		
Tapa original de tanque de expansión	✓			Tapa de caja de fusibles	✓		
Resumen de refrigerante por testigo de bomba de agua	✓			Garantías de controladoras (MC2 y DS2)	✓		
Fuga de refrigerante por caja de servostatos	✓			Compartimento de almacenamiento	✓		
Estado de estructura, pernos, soportes y fijación de paneles de radiadores	✓			Radio AM/FM		✓	<u>No funciona</u>
Estado de paletas de ventilador	✓			Etiqueta o placa FOPS/ROPS	✓		
RPM máximas de ventilador	✓			SISTEMA HIDRÁULICO	SI	NO	OBSERVACIONES
Mangueras y abrazaderas de entrada y salida de radiador y motor	✓			Nivel de aceite hidráulico	✓		
Verificar presión de aceite de motor	✓			Estado de manilla de nivel	✓		
Fugas por enfriador de aceite	✓			Tapa de filtro de aceite de retorno	✓		
Líneas y mangueras de lubricación	✓			Válvula de despresurización de tanque	✓		
Estado de cabezal de filtro de aceite	✓			Fugas por bombas de alta presión	✓		
Estado de inyectores	✓			Fuga por bomba de pilotaje	✓		
Estado de bomba de inyección	✓			Mangueras y tuberías de succión bombas	✓		
Fugas por empuje de boya de nivel	✓			Abrazaderas de mangueras de succión	✓		
Impresión del tanque de combustible	✓			Bridas de mangueras de bomba	✓		
Mangueras y abrazaderas de salida de tanque hacia filtros y bomba de baja	✓			Mangueras y bridas de válvula principal	✓		
Líneas y tuberías de filtros de combustible	✓			Mangueras y bridas de válvula de pilotaje	✓		
Estado de filtros de combustible y cabezal		✓	<u>Cambiar filtros</u>	Fugas por bloque de válvula principal	✓		
Servición de vaso de filtro separador	✓			Fugas por bloque de válvula de pilotaje	✓		
Estado y ajuste de tuberías de inyección, fugas por el riel común y externo	✓			Fugas por desbrotaválvula de control piloto	✓		
Estado y funcionamiento del arrancador		X	<u>Falta mantenimiento</u>	Fugas por junta central	✓		
Estado y funcionamiento del alternador	✓			Estado de mangueras y tuberías de cilindro de boost	✓		<u>Fugas por mangueras</u>
Estado, funcionamiento y accionamiento del compresor de aire	✓			Protectores de mangueras de cilindro de boost	✓		<u>Cambiar protectores</u>



SISTEMA TIEN DE RODAMIENTO	SI	NO	OBSERVACIONES	SI	NO	OBSERVACIONES	
Protección de mangueras de cilindro de brazo	✓			✓			
Estado de mangueras y tuberías de cilindro de cachara	✓			✓			
Picaduras/fugas en estopos de cilindro de brazo	✓			✓			
Manga protectora de cilindro de brazo	✓			✓			
Picaduras/fugas en estopos de cilindro de brazo	✓			✓			
Manga protectora de cilindro de brazo	✓			✓			
Picaduras/fugas en estopos de cilindro de cachara	✓			✓			
Manga protectora de cilindro de cachara	✓			✓			
Tanques de filtro alfa-lavador (ambos)	✓			✓			
Cable de limpieza ISO según M2	✓			✓			
Presión de aceite de sistema	✓			✓			
Unidad de engrase de juntas de pistón y pistones	✓			✓			
Múltiple de retorno y tapones de la zona	✓			✓			
Estado de sellos de cadena	✓			✓			
Estado de rueda dentada (principal)	✓			✓			
Puntas de rueda dentada completas	✓			✓			
Ajuste y alineamiento de rueda guía	✓			✓			
Estado de la cadena	✓			✓			
Pines dentro del alojamiento de las buchas	✓			✓			
Evitar en buchas	✓			✓			
Seguro de pin master	✓			✓			
Estado de parte baja del bastidor	✓			✓			
SISTEMA ELÉCTRICO	SI	NO	OBSERVACIONES	SISTEMA DE GIRO	SI	NO	OBSERVACIONES
Voltaje de baterías	✓			Engrase de corona y cojinete de giro	✓		
Estado físico de bornes y dirección	✓			Puntas inferiores de corona y cojinete de giro	✓		
Estado de bornes y cables de batería	✓			Pagos por retenes de motor de giro BH	✓		
Grupo de cables del MFD y Armada	✓			Pagos por retenes de motor de giro DP	✓		
Grupo de cables de conexión a servicio auxiliar	✓			Pagos por retenes de inductor de giro BH	✓		
Jack-out	✓			Pagos por retenes de reductor de giro LH	✓		
Luzes de la grama y luces de trabajo	✓			Pagos por mangueras de motores de giro	✓		
Grupo de cables de la máquina	✓			Nivel de aceite de motores / reductores de giro	✓		
Cableado de luces de trabajo y luces de grama	✓						
Encendido de luces de trabajo y de grama	✓						
Grupo de cables de la cabina	✓						
MCT y conexiones	✓						
OS2 y conexiones	✓						
Grupo de cables del motor	✓						
Grupo de cables del arrancador	✓						
Grupo de cables del alternador	✓						
Sensor de presión de aceite	✓						
Sensor de presión de combustible	✓						
Sensores MDP / MAT	✓						
Grupo de cables de inyección	✓						
Sensor de temperatura del EGR	✓						
Sensor de posición de pedal de freno	✓						
Sensor de posición de cigüeñal	✓						
Cableado y sensor del acelerador del VCR	✓						
Sensor de temperatura de refrigerante	✓						
ELU y conexiones	✓						
Grupo de cables de la bomba hidráulica	✓						
Electroválvula de control de par y conexiones	✓						
Sensores de presión P1 y P2	✓						
Sensor de temperatura de aceite hidráulico	✓						
Sensores de presión de implemento hidráulico	✓						
Bloque de solenoides de sistema hidráulico	✓						
Cableado de solenoide de corte piloto	✓						
Pantales	✓						
Grupo de cables de aire acondicionado	✓						
Protección de mangueras de cilindro de brazo	✓						
Estado de mangueras y tuberías de cilindro de cachara	✓						
Picaduras/fugas en estopos de cilindro de brazo	✓						
Manga protectora de cilindro de brazo	✓						
Picaduras/fugas en estopos de cilindro de brazo	✓						
Manga protectora de cilindro de brazo	✓						
Picaduras/fugas en estopos de cilindro de cachara	✓						
Manga protectora de cilindro de cachara	✓						
Tanques de filtro alfa-lavador (ambos)	✓						
Cable de limpieza ISO según M2	✓						
Presión de aceite de sistema	✓						
Unidad de engrase de juntas de pistón y pistones	✓						
Múltiple de retorno y tapones de la zona	✓						
Estado de sellos de cadena	✓						
Estado de rueda dentada (principal)	✓						
Puntas de rueda dentada completas	✓						
Ajuste y alineamiento de rueda guía	✓						
Estado de la cadena	✓						
Pines dentro del alojamiento de las buchas	✓						
Evitar en buchas	✓						
Seguro de pin master	✓						
Estado de parte baja del bastidor	✓						
SISTEMA ELÉCTRICO	SI	NO	OBSERVACIONES	SISTEMA DE GIRO	SI	NO	OBSERVACIONES
Voltaje de baterías	✓			Engrase de corona y cojinete de giro	✓		
Estado físico de bornes y dirección	✓			Puntas inferiores de corona y cojinete de giro	✓		
Estado de bornes y cables de batería	✓			Pagos por retenes de motor de giro BH	✓		
Grupo de cables del MFD y Armada	✓			Pagos por retenes de motor de giro DP	✓		
Grupo de cables de conexión a servicio auxiliar	✓			Pagos por retenes de inductor de giro BH	✓		
Jack-out	✓			Pagos por retenes de reductor de giro LH	✓		
Luzes de la grama y luces de trabajo	✓			Pagos por mangueras de motores de giro	✓		
Grupo de cables de la máquina	✓			Nivel de aceite de motores / reductores de giro	✓		
Cableado de luces de trabajo y luces de grama	✓						
Encendido de luces de trabajo y de grama	✓						
Grupo de cables de la cabina	✓						
MCT y conexiones	✓						
OS2 y conexiones	✓						
Grupo de cables del motor	✓						
Grupo de cables del arrancador	✓						
Grupo de cables del alternador	✓						
Sensor de presión de aceite	✓						
Sensor de presión de combustible	✓						
Sensores MDP / MAT	✓						
Grupo de cables de inyección	✓						
Sensor de temperatura del EGR	✓						
Sensor de posición de pedal de freno	✓						
Sensor de posición de cigüeñal	✓						
Cableado y sensor del acelerador del VCR	✓						
Sensor de temperatura de refrigerante	✓						
ELU y conexiones	✓						
Grupo de cables de la bomba hidráulica	✓						
Electroválvula de control de par y conexiones	✓						
Sensores de presión P1 y P2	✓						
Sensor de temperatura de aceite hidráulico	✓						
Sensores de presión de implemento hidráulico	✓						
Bloque de solenoides de sistema hidráulico	✓						
Cableado de solenoide de corte piloto	✓						
Pantales	✓						
Grupo de cables de aire acondicionado	✓						
Protección de mangueras de cilindro de brazo	✓						
Estado de mangueras y tuberías de cilindro de cachara	✓						
Picaduras/fugas en estopos de cilindro de brazo	✓						
Manga protectora de cilindro de brazo	✓						
Picaduras/fugas en estopos de cilindro de brazo	✓						
Manga protectora de cilindro de brazo	✓						
Picaduras/fugas en estopos de cilindro de cachara	✓						
Manga protectora de cilindro de cachara	✓						
Tanques de filtro alfa-lavador (ambos)	✓						
Cable de limpieza ISO según M2	✓						
Presión de aceite de sistema	✓						
Unidad de engrase de juntas de pistón y pistones	✓						
Múltiple de retorno y tapones de la zona	✓						
Estado de sellos de cadena	✓						
Estado de rueda dentada (principal)	✓						
Puntas de rueda dentada completas	✓						
Ajuste y alineamiento de rueda guía	✓						
Estado de la cadena	✓						
Pines dentro del alojamiento de las buchas	✓						
Evitar en buchas	✓						
Seguro de pin master	✓						
Estado de parte baja del bastidor	✓						
SISTEMA ELÉCTRICO	SI	NO	OBSERVACIONES	SISTEMA DE GIRO	SI	NO	OBSERVACIONES
Voltaje de baterías	✓			Engrase de corona y cojinete de giro	✓		
Estado físico de bornes y dirección	✓			Puntas inferiores de corona y cojinete de giro	✓		
Estado de bornes y cables de batería	✓			Pagos por retenes de motor de giro BH	✓		
Grupo de cables del MFD y Armada	✓			Pagos por retenes de motor de giro DP	✓		
Grupo de cables de conexión a servicio auxiliar	✓			Pagos por retenes de inductor de giro BH	✓		
Jack-out	✓			Pagos por retenes de reductor de giro LH	✓		
Luzes de la grama y luces de trabajo	✓			Pagos por mangueras de motores de giro	✓		
Grupo de cables de la máquina	✓			Nivel de aceite de motores / reductores de giro	✓		
Cableado de luces de trabajo y luces de grama	✓						
Encendido de luces de trabajo y de grama	✓						
Grupo de cables de la cabina	✓						
MCT y conexiones	✓						
OS2 y conexiones	✓						
Grupo de cables del motor	✓						
Grupo de cables del arrancador	✓						
Grupo de cables del alternador	✓						
Sensor de presión de aceite	✓						
Sensor de presión de combustible	✓						
Sensores MDP / MAT	✓						
Grupo de cables de inyección	✓						
Sensor de temperatura del EGR	✓						
Sensor de posición de pedal de freno	✓						
Sensor de posición de cigüeñal	✓						
Cableado y sensor del acelerador del VCR	✓						
Sensor de temperatura de refrigerante	✓						
ELU y conexiones	✓						
Grupo de cables de la bomba hidráulica	✓						
Electroválvula de control de par y conexiones	✓						
Sensores de presión P1 y P2	✓						
Sensor de temperatura de aceite hidráulico	✓						
Sensores de presión de implemento hidráulico	✓						
Bloque de solenoides de sistema hidráulico	✓						
Cableado de solenoide de corte piloto	✓						
Pantales	✓						
Grupo de cables de aire acondicionado	✓						
Protección de mangueras de cilindro de brazo	✓						
Estado de mangueras y tuberías de cilindro de cachara	✓						
Picaduras/fugas en estopos de cilindro de brazo	✓						
Manga protectora de cilindro de brazo	✓						
Picaduras/fugas en estopos de cilindro de brazo	✓						
Manga protectora de cilindro de brazo	✓						
Picaduras/fugas en estopos de cilindro de cachara	✓						
Manga protectora de cilindro de cachara	✓						
Tanques de filtro alfa-lavador (ambos)	✓						
Cable de limpieza ISO según M2	✓						
Presión de aceite de sistema	✓						
Unidad de engrase de juntas de pistón y pistones	✓						
Múltiple de retorno y tapones de la zona	✓						
Estado de sellos de cadena	✓						
Estado de rueda dentada (principal)	✓						
Puntas de rueda dentada completas	✓						
Ajuste y alineamiento de rueda guía	✓						
Estado de la cadena	✓						
Pines dentro del alojamiento de las buchas	✓						
Evitar en buchas	✓						
Seguro de pin master	✓						
Estado de parte baja del bastidor	✓						
SISTEMA ELÉCTRICO	SI	NO	OBSERVACIONES	SISTEMA DE GIRO	SI	NO	OBSERVACIONES
Voltaje de baterías	✓			Engrase de corona y cojinete de giro	✓		
Estado físico de bornes y dirección	✓			Puntas inferiores de corona y cojinete de giro	✓		
Estado de bornes y cables de batería	✓			Pagos por retenes de motor de giro BH	✓		
Grupo de cables del MFD y Armada	✓			Pagos por retenes de motor de giro DP	✓		
Grupo de cables de conexión a servicio auxiliar	✓			Pagos por retenes de inductor de giro BH	✓		
Jack-out	✓			Pagos por retenes de reductor de giro LH	✓		
Luzes de la grama y luces de trabajo	✓			Pagos por mangueras de motores de giro	✓		
Grupo de cables de la máquina	✓			Nivel de aceite de motores / reductores de giro			

PANEL FOTOGRÁFICO



Equipo M161857



Inspección de baterías



Inspección de fajas / rodajes



Calibración de válvulas



Inspección fugas



Inspección cilindros



Inspección brazo y Pluma



Inspección radiador



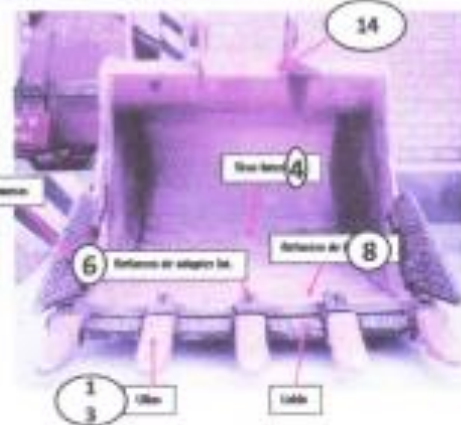
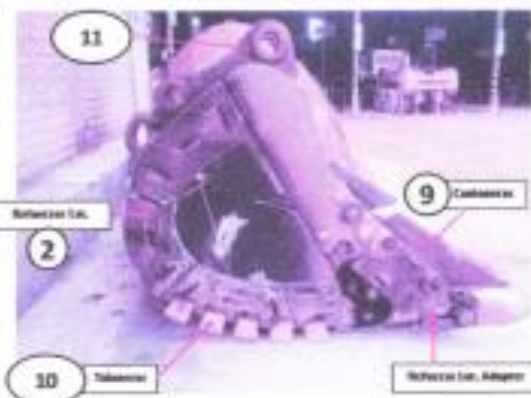
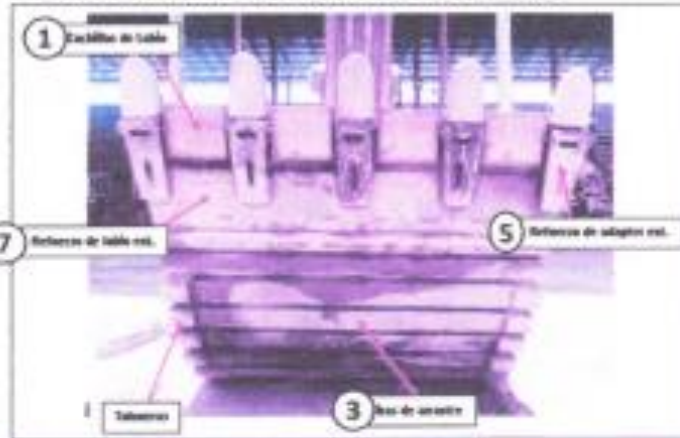
Inspección alternador



Inspección Sprocket



### INSPECCIÓN DE CUCHARONES DE EXCAVADORAS



EQUIPO CIP	M161857	TIPO CUCHARÓN	ROCKLAND <input checked="" type="checkbox"/>	MODELO		VOLUMEN	5 m <sup>3</sup>	TERRENO	COMPACTO <input checked="" type="checkbox"/>
CIP CUCHARÓN	M412466		P Y H <input type="checkbox"/>					IMPACTO <input type="checkbox"/>	
FECHA INSP.	09-12-23		OTRO <input type="checkbox"/>					HUMEDAD <input checked="" type="checkbox"/>	
HORÓMETRO	17015,00								
ITEM	DESCRIPCIÓN	BUENO	MALO	OBSERVACIÓN					
01	Labio, cuchillas de labio	✓		CAMBIO RECIENTE					
02	Refuerzos Laterales		✓	REFUERZO CON DESGASTE					
03	Tiras de arrastre	✓		MONITOREAR (DESGASTE INICIAL)					
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		✓	REALIZAR CAMBIO					
10	Taloneras	✓							
11	Alojamiento de cucharón	✓							
12	Pines y bocinas	✓		MONITOREAR ENGRASE DIARIO					
13	Puntas	✓							
14	Fisuras en orejas, "H", Adapters	✓							
<b>ACCIÓN CORRECTIVA</b>									
A	Última reparación	Fecha	25/05/23	B	último cambio de cucharón	Fecha	—		
		Horómetro	13451.0			Horómetro	—		
Horas acumuladas U.R.			3064.00	Horas acumuladas U.C.			—		

PANEL FOTOGRÁFICO DE INSPECCIÓN DE CUCHARÓN



**INSPECCIÓN POR TERMOGRAFÍA**  
Inspección de excavadoras John Deere / Hitachi



DATOS DE LA MÁQUINA		DATOS DEL PERSONAL TÉCNICO	
CP:	H161857	NOMBRE Y APELLIDOS:	Cesar Diaz Noriega
MARKA:	HITACHI	CARGO:	Técnico Residente
MODELO:	2X810LC-5	NÚMERO DE TELÉFONO:	
NÚMERO DE SERIE DE CHASIS:	HCAJDEK0A00050223	SUCURSAL:	ZONA CENTRO
NÚMERO DE SERIE DE MOTOR:	1EUGW01621943	FECHA:	05-11/23
HORÓMETRO:	16731.00	HORA DE INICIO / HORA DE TÉRMINO:	06:30 / 08:30

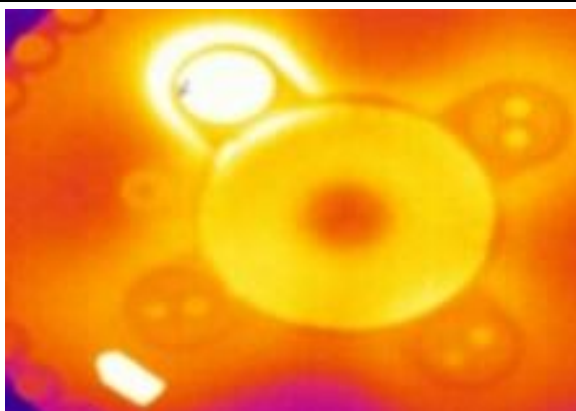
DESCRIPCIÓN	
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar mediante la termografía la temperatura y radiación infrarroja los componentes a fin de determinar sus componentes.</li> <li>- Evaluar las elevaciones de temperatura debido a fricciones, lubricación inadecuada, obstrucciones, etc.</li> <li>- Determinar la condición del componente y decidir su reparación y/o cambio según su estado.</li> </ul>
Equipos / Herramientas	- Cámara termográfica

COMPONENTE	TIPO DE TÉCNICA PREDICTIVA	T° REFERENCIA °C	TEMPERATURA	BUENO	MALO	OBSERVACIÓN
Turbocompresor	Termografía	250 - 400	375 °C	✓		Turbocompresor en buen estado
Sistema admisión	Termografía	100 - 140	120 °C	✓		T° en parámetros correctos
Sistema escape	Termografía	450 - 650	600 °C	✓		T° en parámetros correctos
Radiador	Termografía	75 - 85	88 °C		✓	Radiador obstruido
Enfriador de aceite hidráulico	Termografía	45 - 55	60 °C		✓	Enfriador obstruido
Bombas hidráulicas	Termografía	45 - 60	58 °C	✓		En buen estado
Pines y bocinas	Termografía	-100 - 350	120 °C	✓		Monitorar engrase diario
Alternador	Termografía	80 - 100	85 °C	✓		Alternador en buen estado
Cableados eléctricos	Termografía	60 - 128	80 °C	✓		Cableado en buen estado
Mando final	Termografía	50 - 75	70 °C	✓		T° del mando final en parámetros correctos
Bujes	Termografía	-	75 °C	✓		Bujes en buen estado
Rodillos superiores	Termografía	-	60 °C	✓		Rodillos superiores en buen estado
Rodillos inferiores	Termografía	-	60 °C	✓		Rodillos inferiores en buen estado

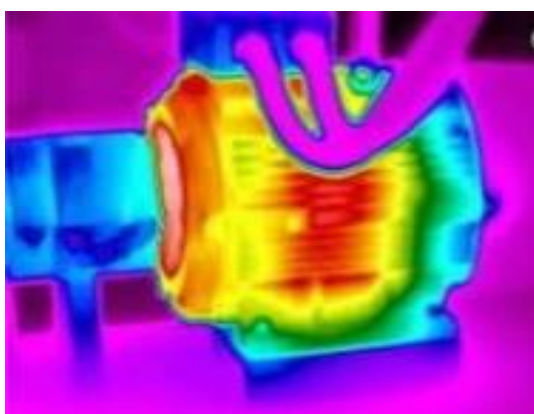
IMAGEN TÉRMICA			
----------------	--	--	--



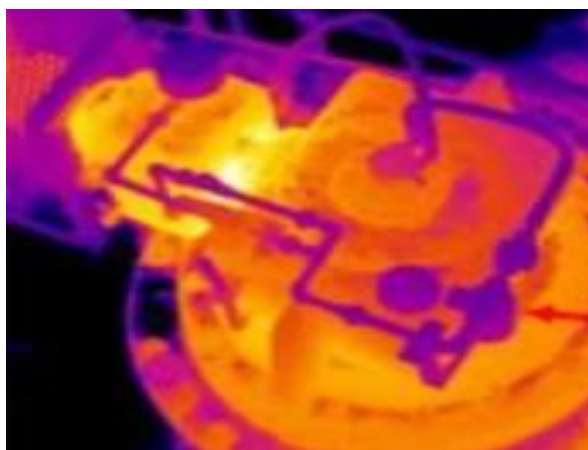
IMAGEN TÉRMICA



MANDO FINAL



ALTERNADOR



BOMBA HIDRÁULICA

**INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES - PARTÍCULAS MAGNÉTICAS - ULTRASONIDO**  
**Ensayos no destructivos (END)**

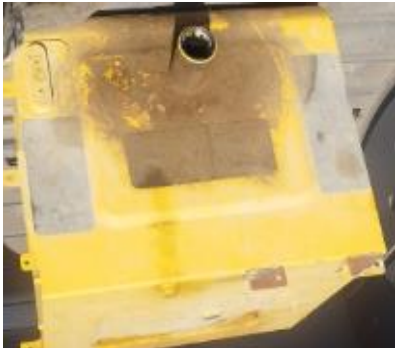
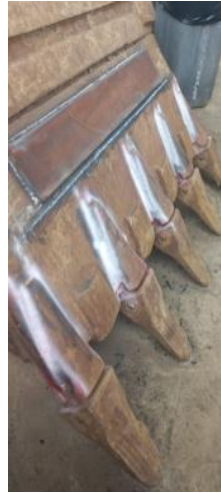


DATOS DE LA MÁQUINA		DATOS DEL PERSONAL TÉCNICO	
OP:	MARSH	NOMBRE Y APELLIDOS:	César Machuca
MARCA:	HYDRA	CARGO:	Técnico Mecánico
MODELO:	ZX 870LC-5	NÚMERO DE TELÉFONO:	-
NÚMERO DE SERIE DE CHASIS:	MCHJBEK0A00050023	SUCURSAL:	Zona Centro
NÚMERO DE SERIE DE MOTOR:	32U5W91621443	FECHA:	05/12/2023
HORÓMETRO:	76771.00	HORA DE INICIO / HORA DE TÉRMINO:	08:30 / 10:30

DESCRIPCIÓN	
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar mediante líquidos penetrantes y Partículas Magnéticas a fin de determinar indicaciones internas y discontinuidades superficiales y sub-superficiales de tipo fisuras, que limiten la operatividad de los componentes.</li> <li>- Evaluar las indicaciones y discontinuidades, en las zonas de interés tal como material base, cambios de secciones y puntos sometidos a esfuerzos.</li> <li>- Determinar la condición del componente y decidir su reparación y/o cambio según su estado.</li> <li>- Evaluar mediante el ultrasonido los sellos internos de los cilindros hidráulicos.</li> <li>- Determinar la condición del componente y decidir su reparación y/o cambio según su estado.</li> </ul>
Equipos / herramientas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpiador, líquido penetrante, revelador</li> <li>- Yugo magnético</li> <li>- Ultrasonido</li> </ul>

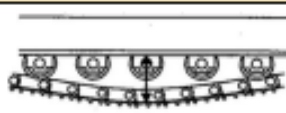
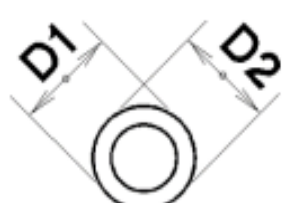
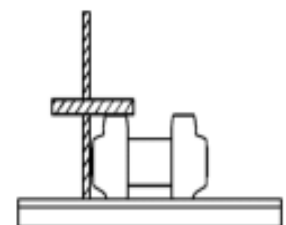
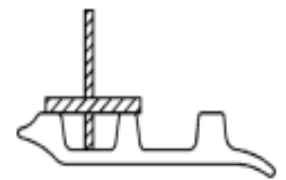
COMPONENTE	TIPO DE TÉCNICA PREDICTIVA	BUENO	MALO	OBSERVACIÓN	
Cucharón Delantero	Líquido Penetrantes	✓	✓	No hay presencia de fisura	
	Partículas Magnéticas	-	-		
Brazo de excavadora	Líquido Penetrantes	✓	✓	No hay presencia de fisuras	
	Partículas Magnéticas	✓	✓		
Pluma de excavadora	Líquido Penetrantes	✓	✓	Componente en buen estado	
	Partículas Magnéticas	✓	✓		
Articulación	Líquido Penetrantes	✓	✓	Articulación sin fisura	
	Partículas Magnéticas	✓	✓		
Tanque de combustible	Líquido Penetrantes	✓	✓	No hay presencia de fuga	
	Partículas Magnéticas	-	-		
Cubierta de mandos finales	Líquido Penetrantes	✓	✓	Tapa de mundo finales en buen estado	
Sprocket	Líquido Penetrantes	✓	✓	Hay presencia de fisura de dientes de sprocket, por alto horómetro se necesita cambio	
COMPONENTE	TIPO DE TÉCNICA PREDICTIVA	Valor (db)	BUENO	MALO	OBSERVACIÓN
Cilindros de Boom	Ultrasonido	35 db		✓	Presencia de sello interno desgastado (avariado)
Cilindro de Stalk	Ultrasonido	20 db	✓		Sello del cilindro en buen estado, no hay fuga de aceite
Cilindro de bucket	Ultrasonido	22 db	✓		Sellos en buen estado

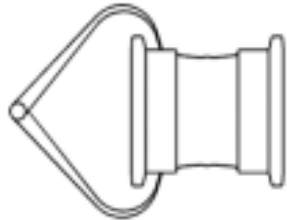
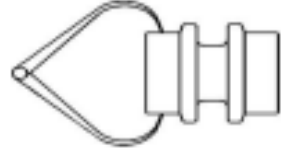
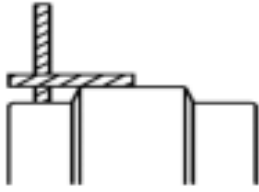
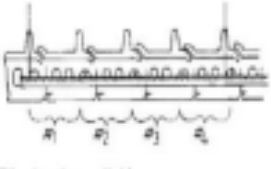
PANEL FOTOGRÁFICO















CIP	M161857	FECHA	20/10/2023	MARCA DE CADENA	ITR	NÚMERO DE OT	4000130525
MARCA	HITACHI	ZONA	CENTRO	CÓDIGO ESLABÓN		AGUA/HUMEDAD	ALTO
MODELO	ZX870LC	PROYECTO	PROYECTO SHOUGANG	ANCHO DE ZAPATA		PIEDRAS	ALTO
HOROMETRO	16506.00	SUPERVISOR	E. RODRÍGUEZ	CANTIDAD DE GARRAS		ROCAS	ALTO
HRS DE TRASLADO		TÉCNICO INSPECTOR	DÍAZ NORIEGA, CESAR MANUEL	BUJES VOLTEADOS		ARENA	ALTO

COMPONENTE	MODO DE INSPECCIÓN	INTERVALOS DE UTILIZACIÓN	REGISTRO DE MEDIDAS			PORCENTAJE DE DESGASTE	
			TIPO	DERECHA	IZQUIERDA	DERECHA	IZQUIERDA
HOLGURA DE CADENA	 <small>EXCAVATOR TRACK SAG</small>	530.00	MEDIDA	51.00	51.00	-	-
		470.00					
DIÁMETRO DE BUJE		78.55	MEDIDA 1	85.00	85.00	5.15 %	5.15 %
		85.35	MEDIDA 2	85.00	85.00	5.15 %	5.15 %
		PROMEDIO DE BUJES		85.00	85.00	5.15 %	5.15 %
ALTURA DE ESLABÓN		147.20	MEDIDA 1	154.00	154.00	12.82 %	12.82 %
		155.00	MEDIDA 2	154.00	154.00	12.82 %	12.82 %
		PROMEDIO DE ESLABONES		154.00	154.00	12.82 %	12.82 %
ALTURA DE GARRA DE ZAPATAS		24.00	MEDIDA 1	43.00	44.00	26.92 %	23.08 %
		50.00	MEDIDA 2	43.00	44.00	26.92 %	23.08 %
		PROMEDIO DE ALTURA DE ZAPATAS		43.00	44.00	26.92 %	23.08 %

RODILLOS INFERIORES		220.00	MEDIDA 1	234.00	234.00	30.00 %	30.00 %
			MEDIDA 2	234.00	234.00	30.00 %	30.00 %
			MEDIDA 3	234.00	234.00	30.00 %	30.00 %
			MEDIDA 4	234.00	234.00	30.00 %	30.00 %
		240.00	MEDIDA 5	234.00	234.00	30.00 %	30.00 %
			MEDIDA 6	234.00	234.00	30.00 %	30.00 %
			MEDIDA 7	234.00	234.00	30.00 %	30.00 %
			MEDIDA 8			0.00 %	0.00 %
			MEDIDA 9	234.00	234.00	30.00 %	30.00 %
		PROMEDIO DE RODILLOS INFERIORES		234.00	234.00	30.00 %	30.00 %
RODILLOS SUPERIORES		202.00	RODILLO DELANTERO	208.00	208.00	25.00 %	25.00 %
		210.00	RODILLO POSTERIOR	208.00	208.00	25.00 %	25.00 %
		PROMEDIO DE RODILLOS SUPERIORES		208.00	208.00	25.00 %	25.00 %
RUEDA GUIA		32.50	RUEDA GUIA DELANTERA	24.00	24.50	22.73 %	27.27 %
		21.50	RUEDA GUIA POSTERIOR	24.00	24.50	22.73 %	27.27 %
		PROMEDIO RUEDA GUÍAS		24.00	24.50	22.73 %	27.27 %
PASO DE LA CADENA		1,062.20	MEDIDA 1	1,048.00	1,046.00	31.73 %	22.12 %
		1,041.40	MEDIDA 2	1,048.00	1,046.00	31.73 %	22.12 %
		PROMEDIO DE PASO DE CADENA		1,048.00	1,046.00	31.73 %	22.12 %
Presenta roturas de eslabones Presenta rueda dentada con desgaste Presenta pernos rotos , de rueda dentada RH, tiene pernos alternativos de grado 8.8 El grado requerido es 10.9							
PANEL FOTOGRÁFICO							

<p><b>BASTIDOR DERECHO</b></p>	<p><b>BASTIDOR IZQUIERDO</b></p>
	
<p><b>BUJE DERECHO</b></p>	<p><b>BUJE IZQUIERDO</b></p>
	
<p><b>ESLABÓN DERECHO</b></p>	<p><b>ESLABÓN IZQUIERDO</b></p>

	
ZAPATAS DERECHO	ZAPATAS IZQUIERDO
	
RODILLO SUPERIOR DERECHO	RODILLO SUPERIOR IZQUIERDO
	
RODILLO INFERIOR DERECHO	RODILLO INFERIOR IZQUIERDO
	
RUEDA GUIA DERECHA	RUEDA GUIA IZQUIERDA
	



## ENCUESTA ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Puesto de trabajo: *Asistente de Planeamiento*

Nombres y Apellidos: *Frank Felix Suarez Quispe*

Equipo: *M161857*

Fecha: *15/01/2023*

### Guía de factores de frecuencia y consecuencias

FRECUENCIA DE FALLA	PUNTAJE	COSTO DE REPARACIÓN (\$/)	PUNTAJE
Entre 0 y 3 en un año	1	Menos de 500	1
Entre 4 y 7 en un año	2	Entre 501 y 1000	2
Entre 8 y 11 en un año	3	Entre 1001 y 2000	3
Entre 12 y 14 en un año	4	Entre 2001 y 3500	4
Más de 15 fallas al año	5	Entre 3501 a más	5
TIEMPO MEDIO PARA REPARAR	PUNTAJE	IMPACTO AMBIENTAL	PUNTAJE
Menos de 10 horas	1	No origina ningún impacto ambiental	1
Entre 11 y 24 horas	2	Contaminación ambiental baja	2
Entre 25 y 48 horas	3	Contaminación ambiental moderada	3
Entre 49 y 72 horas	4	Contaminación ambiental alta	4
Entre 73 horas a más	5	Daños irreversibles en el Ambiente	5
IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN	PUNTAJE	IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	PUNTAJE
No afecta la producción	1	No ocasiona problemas en la salud ni genera lesiones	1
25% de impacto	2	Puede ocasionar lesiones leves	2
50% de impacto	3	Puede ocasionar lesiones severas	3
75% de impacto	4	Puede ocasionar lesiones con incapacidad parcial	4
Afecta totalmente la producción	5	Puede ocasionar muerte o incapacidad	5

Llenar el siguiente cuadro de criticidad por sistemas de la excavadora Hitachi modelo ZX870LC-5, asignando puntajes del 1 al 5 de acuerdo a la guía de factores de frecuencia y consecuencias

ÍTEM	SISTEMA	Frecuencia de falla	Tiempo medio para reparar (MTTR)	Impacto sobre la producción	Costo de reparación	Impacto Ambiental	Impacto en Salud y seguridad Personal
1	Sistema motor	5	5	5	5	4	2
2	Sistema hidráulico	5	5	5	5	4	3
3	Sistema transmisión	2	5	5	4	2	2
4	Sistema ben de rodamiento	5	5	5	5	2	3
5	Sistema eléctrico / electrónico	3	3	3	5	2	2
6	Sistema estructura chasis	4	5	5	5	3	2
7	Sistema cabina operador	2	3	3	3	2	4
8	Sistema implementos de trabajo	3	5	5	5	1	2
9	Sistema de giro	1	5	5	5	2	3