



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento

**DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CERO HORAS PARA GARANTIZAR LA
VIDA ÚTIL Y DISPONIBILIDAD DE UNA EXCAVADORA HIDRÁULICA MODELO 336D
MARCA CATERPILLAR**

Lic. Ismael Esaú Mejía Guarcas

Asesorado por el Mtro. Ing. William Giovanni Colindres Velásquez

Guatemala, septiembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CERO HORAS PARA GARANTIZAR LA
VIDA ÚTIL Y DISPONIBILIDAD DE UNA EXCAVADORA HIDRÁULICA MODELO 336D
MARCA CATERPILLAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LIC. ISMAEL ESAÚ MEJIA GUARCAS
ASESORADO POR EL MTRO. ING. WILLIAM GIOVANNI COLÍNDRES
VELÁSQUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Javier Fidelino García Tetzaguic
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CERO HORAS PARA GARANTIZAR LA
VIDA ÚTIL Y DISPONIBILIDAD DE UNA EXCAVADORA HIDRÁULICA MODELO 336D
MARCA CATERPILLAR**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 19 de junio de 2021.

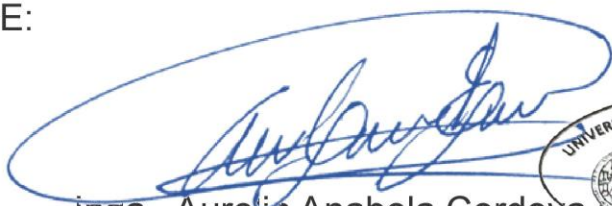


Lic. Ismael Esaú Mejía Guarcas

LNG.DECANATO.OI.616.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CERO HORAS PARA GARANTIZAR LA VIDA ÚTIL Y DISPONIBILIDAD DE UNA EXCAVADORA HIDRÁULICA MODELO 336D MARCA CATERPILLAR**, presentado por: **Ismael Esaú Mejía Guarcas**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, septiembre de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, septiembre de 2022

LNG.EEP.OI.616.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CERO HORAS PARA GARANTIZAR LA VIDA ÚTIL Y DISPONIBILIDAD DE UNA EXCAVADORA HIDRÁULICA MODELO 336D MARCA CATERPILLAR”

presentado por **Ismael Esaú Mejía Guarcas** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





Guatemala 10 de Febrero 2022

M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación titulado: **“DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CERO HORAS PARA GARANTIZAR LA VIDA ÚTIL Y DISPONIBILIDAD DE UNA EXCAVADORA HIDRÁULICA MODELO 336 D MARCA CATERPILLAR ”** del estudiante Lic. **Ismael Esaú Mejía Guarcas** quien se identifica con número de carné **200813325** del programa de **Maestría en Ingeniería de Mantenimiento**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
Coordinadora
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, 21 de octubre 2021

**Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12**

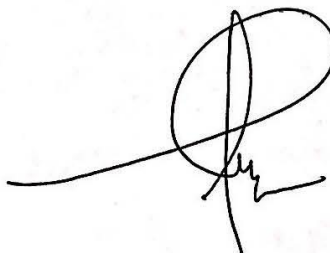
Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor del trabajo de graduación del estudiante Ismael Esaú Mejía Guaracas, Carné número 200813325, cuyo título es "**DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CERO HORAS PARA GARANTIZAR LA VIDA ÚTIL Y DISPONIBILIDAD DE UNA EXCAVADORA HIDRÁULICA MODELO 336D MARCA CATERPILLAR**", para optar al grado académico de Maestro en Ingeniería de mantenimiento, he procedido a la revisión del INFORME FINAL y del ARTÍCULO.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Ismael Mejía, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



Ing. William Giovanni Colindres Velásquez
Mtro. en Ingeniería de mantenimiento
Asesor

Ing. Mec. Ind. William Giovanni Colindres V.
M.A. Ingeniería de Mantenimiento
Colegiado 17,542

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por la vida, salud y sabiduría que me brindó durante mi formación profesional.
Mi hermana	Feliza Mejia Guarcas (q.e.p.d.), quien partió este año a la presencia de Dios y que fue mi mayor ejemplo de superación personal y el pilar fundamental de mis logros.
Mis padres	Por el apoyo incondicional, valores y conocimientos inculcados en mi desarrollo personal.
Mi esposa e hijos	Mayra Vásquez, que me apoyó incondicionalmente.
Mis hijos	Rabí y Yair Mejia, por ser quienes me motivan a perseguir mis sueños.
Mis compañeros	Por el apoyo y amistad brindados durante el desarrollo del programa de maestría.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la institución que me ha llenado de conocimientos y otorgado la facilidad de poder alcanzar mis objetivos a nivel académico.
Facultad de Ingeniería	Por facilitar y poner a disposición de la población guatemalteca este nivel de conocimientos profesionales.
Empresa constructora	Por permitirme desarrollar el presente trabajo de graduación.
Mis amigos	Por las palabras de ánimo brindadas durante del desarrollo de la carrera.
Mi asesor	Mtro. Ing. William Giovanni Colíndres Velásquez, por el tiempo y conocimientos compartidos durante el trabajo de graduación.
Jeovani Fuentes	Amigo y compañero de trabajo que me apoyó incondicionalmente para culminar esta etapa de mi vida.
Mis hermanos	Por la amistad y palabras de ánimo para poder culminar la carrera.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS	XIX
OBJETIVOS.....	XXIII
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XXV
INTRODUCCIÓN	XXIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Mantenimiento	1
1.1.1. Evolución del mantenimiento	2
1.1.2. Tipos de mantenimiento	4
1.2. Mantenimiento predictivo.....	5
1.2.1. Parámetros de monitoreo de condición	7
1.2.2. Técnica VOSO	9
1.2.3. Técnica de líquidos penetrantes	11
1.2.4. Ultrasonido pulso eco contacto directo	12
1.2.5. Análisis de lubricantes	13
1.2.5.1. Sistema tribológico.....	14
1.2.5.2. Nivel de contaminación de fluidos ISO 4406.....	18
1.3. Tribología.....	22
1.3.1. Fricción	23

1.3.2.	Desgaste	24
1.3.3.	Lubricación	26
1.3.4.	Factores para seleccionar un lubricante	27
1.3.5.	Normas relativas a los lubricantes	28
1.3.6.	Refrigerante	29
1.4.	Mantenimiento cero horas	30
1.5.	Gestión del mantenimiento	31
1.5.1.	Planeación del mantenimiento	32
1.5.2.	Programación del mantenimiento	32
1.5.2.1.	Orden de trabajo	33
1.5.2.2.	Repuestos	34
1.5.2.3.	Mano de obra	36
1.5.2.4.	Externalización (servicios)	36
1.5.2.5.	Diagrama de Gantt	37
1.5.3.	Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento	38
1.5.3.1.	Información e indicadores de la gestión del mantenimiento	39
1.5.4.	Indicadores de mantenimiento	39
1.5.4.1.	Mantenibilidad de activos	40
1.5.4.2.	Disponibilidad de activos	41
1.6.	Activos	42
1.6.1.	Vida útil de activos	42
1.6.2.	Vida útil consumida	43
1.6.3.	Vida útil remanente	44
1.6.4.	Vida útil económica	44
1.6.5.	Gestión de activos	45
1.6.5.1.	Reemplazo de activos	46
1.6.5.2.	Valor neto de reposición (VNR)	47

	1.6.5.3.	Factor de depreciación	47
	1.6.5.4.	Método Ross Heidecke	48
1.7.		Maquinaria pesada	50
	1.7.1.	Tipos de maquinaria pesada.....	51
	1.7.1.1.	Excavadora hidráulica.....	51
	1.7.2.	Sistema de tren de potencia hidrostático	52
	1.7.2.1.	Motor de combustión interna	54
	1.7.2.2.	Mandos finales.....	55
	1.7.3.	Sistema hidráulico	56
	1.7.4.	Sistema de enfriamiento	57
	1.7.5.	Sistema de tren de rodaje.....	59
	1.7.6.	Sistema de implementos.....	60
	1.7.7.	Sistema eléctrico y electrónico	61
	1.7.8.	Sistema de calefacción y aire acondicionado	61
2.		DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	63
	2.1.	Reconocimiento de la ubicación de la máquina.....	63
	2.2.	Visita preliminar	64
	2.3.	Inspección de condición y recolección de muestras de aceite usado.....	69
	2.4.	Ensayos no destructivos.....	72
	2.5.	Recolección de datos de vida útil del equipo	73
	2.6.	Recolección de datos de disponibilidad de la máquina	76
3.		PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	79
	3.1.	Diagnóstico y monitoreo de condición de componentes principales	79
	3.1.1.	Pruebas del motor de combustión interna	79
	3.1.2.	Pruebas de la bomba hidráulica principal	85

3.1.3.	Pruebas de funcionamiento componentes sistema hidráulico.....	88
3.1.4.	Análisis de lubricantes usados	92
3.1.4.1.	Análisis de aceite usado mandos finales	92
3.1.4.2.	Análisis de aceite usado mando de giro (swing drive)	93
3.2.	Técnicas de ensayos no destructivos (END).....	94
3.2.1.	Inspección visual	95
3.2.2.	Verificación de implementos con líquidos penetrantes	97
3.2.3.	Medición de parámetros de desgaste mediante ultrasonido pulso eco.....	100
3.3.	Vida útil de la máquina	102
3.4.	Disponibilidad y utilización del activo	106
3.4.1.	Tiempo medio entre paradas (MTBS)	106
3.4.2.	Tiempo medio para reparar (MTTR).....	107
3.4.3.	Disponibilidad mecánica.....	108
3.4.4.	Utilización de la máquina.....	109
4.	PLAN DE MANTENIMIENTO CERO HORAS.....	111
4.1.	Diseño de programa de mantenimiento cero horas.....	111
4.1.1.	Objetivos del plan del plan de mantenimiento	111
4.1.2.	Alcance del programa de mantenimiento	112
4.1.3.	Diagnóstico de estado de operación del equipo	113
4.1.4.	Preparación de la lista de trabajo	114
4.1.5.	Orden de trabajo	115
4.1.6.	Repuestos	115
4.1.7.	Servicios externos	117

4.1.8.	Programación de actividades para mantenimiento	117
4.1.9.	Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento	121
4.2.	Diagrama de flujo del programa propuesto.....	124
CONCLUSIONES		127
RECOMENDACIONES		129
REFERENCIAS		131
APÉNDICES		139
ANEXOS		145

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura del sistema tribológico.....	14
2.	Evolución de parámetros ferrográficos	15
3.	Tipos de desgaste	26
4.	Evolución del outsourcing en la mayoría de las empresas.....	37
5.	Vida útil de maquinaria pesada	45
6.	Excavadora hidráulica Caterpillar	52
7.	Sistema de tren de potencia hidrostático	53
8.	Motor de combustión interna C9 ACERT™ Caterpillar	55
9.	Mando final de excavadora hidráulica	56
10.	Sistema de refrigeración típico de un motor de combustión interna.....	58
11.	Tren de rodaje de una excavadora hidráulica	59
12.	Implementos o equipo de trabajo de una excavadora hidráulica.....	60
13.	Sistema típico de aire acondicionado	62
14.	Ubicación de excavadora REC3-82 (s/n J2F01072)	63
15.	Caterpillar blowby group 8T2700 y magnehelic.....	84
16.	Líneas hidráulicas dañadas.....	95
17.	Contaminación por exceso de lubricante	96
18.	Bomba hidráulica y válvula de alivio principal	96
19.	Radiador y enfriador del aceite hidráulico	97
20.	Desgaste en extremo inferior del brazo.....	98
21.	Revisión parte exterior del brazo	99
22.	Base cilindro de la pluma lado derecho.....	99
23.	Imagen condición actual excavadora 336D (J2F01072)	100

24.	Gráfica factor de depreciación Ross-Heidecke	105
25.	Gráfica de Gantt.....	121
26.	Evaluación de componentes	122
27.	Flujograma programa de mantenimiento ceros horas.....	125

TABLAS

I.	Evolución del mantenimiento	4
II.	Mediciones y parámetros usados para diagnósticos	8
III.	Parámetros de monitoreo de condición por tipo de máquina.....	9
IV.	Tiempos de permanencia mínimos recomendados	12
V.	Asignación de la escala de números	20
VI.	Parámetros Caterpillar para análisis de aceite usado	21
VII.	Factores que afectan la fricción entre los sólidos	24
VIII.	Criterio Ross-Heidecke	49
IX.	Fallos y parámetros de medición para motores de combustión MCI	65
X.	Fallas y parámetros de medición para bombas	66
XI.	Técnicas y herramientas de diagnóstico para MCI	68
XII.	Técnicas y herramientas de diagnóstico para bombas	69
XIII.	Alerta baja presión del aceite del motor alerta baja presión del aceite del motor	71
XIV.	Vida útil de componentes excavadora hidráulica 336D	75
XV.	Historial de fallas y paros	77
XVI.	Datos y especificaciones del motor de combustión	80
XVII.	Parámetros del motor a plena carga.....	81
XVIII.	Parámetros del motor a plena carga.....	82
XIX.	Especificaciones bomba hidráulica principal.....	86
XX.	Medición de presiones con Caterpillar ET	87
XXI.	Medición de presiones sistema hidráulico	89

XXII.	Velocidad de operación de cilindros y motores hidráulicos	90
XXIII.	Conteo de partículas mando de giro	94
XXIV.	Condición de desgaste tren de rodaje.....	100
XXV.	Informe de resultados de medición de desgaste	101
XXVI.	Valor neto de reposición según vida útil y conservación del equipo	104
XXVII.	Tiempo medio entre paradas MTBS.....	106
XXVIII.	Tiempo medio para reparar	107
XXIX.	Disponibilidad mecánica excavadora hidráulica.....	108
XXX.	Utilización reportada por el equipo	109
XXXI.	Lista de trabajo.....	114
XXXII.	Lista general de recursos necesarios.....	116
XXXIII.	Programa de reparación para excavadora hidráulica.....	118
XXXIV.	Programa de reparación para excavadora hidráulica.....	120
XXXV.	Costo reparaciones anteriores	123

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Pas 55	<i>British Standard Institute Pas 55 Asset Management.</i>
HP	Caballos de fuerza
Cat	Caterpillar
cSt	Centistokes
C9	Familia y modelo de motores Caterpillar
h	Hora
≥	Igual o mayor que
kg	Kilogramo
kW	Kilovatio
psi	Libras por pulgada cuadrada
l	Litro
l/min	Litros por minuto
>	Mayor que
pH	Medida de acidez o alcalinidad de una sustancia
<	Menor que
μm	Micrón
mm	Milímetro
336D	Modelo de excavadoras Caterpillar
ft ³ /h	Pies cúbicos por hora
%	Porcentaje
in.H ₂ O	Pulgadas de agua
Q	Quetzal
s	Segundo

TM

Trademark

w

Winter

GLOSARIO

ACERT	<i>Advanced Combustion Emissions Reduction Technology</i> , tecnología Caterpillar para cumplir con las regulaciones EPA Tier 3.
Aditamento	Implemento o accesorio adicional a la configuración de una máquina.
AM	<i>Asset Management</i> .
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Bearing	Cojinete o rodamiento
Benchmarking	Término administrativo que significa copiar y mejorar.
Blowby	Flujo de aire o gases internos de un motor de combustión.
Boom	Herramienta de levante (pluma) de una excavadora hidráulica.
Bucket	Herramienta principal de excavación (cucharón) de una excavadora hidráulica.

Buje	Cojinete de fricción.
Caterpillar	Marca reconocida a nivel mundial de maquinaria pesada para construcción, generación, minería entre otros.
Caterpillar ET	Herramienta electrónica de diagnóstico, consiste en un <i>software</i> , <i>hardware</i> y un juego de cables para interfaz.
Condición de calado	Carga de trabajo aplicada a un motor de combustión en operación.
CPM	<i>Critical Path Method</i> , herramienta administrativa que permite estimar el tiempo más corto para finalizar un proyecto.
END	Ensayo no destructivo, técnica de mantenimiento predictivo o monitoreo de condición.
EPA	Environmental Protection Agency, agencia estadounidense para proteger la salud de los seres humanos, el medio ambiente y los recursos naturales.
HEUI	<i>Hydraulic Electronic Unit Injection</i> , sistema de inyección para motores <i>Caterpillar</i> .
ISO	International Organization of Standardization.
MCI	Motor de combustión interna.

Micrón	Unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro.
MTBS	<i>Mean Time Between Shutdown.</i>
Overhaul	Conjunto de tareas que tienen como finalidad dejar el equipo a cero horas de mantenimiento.
Parámetro	Elemento de un sistema que ayuda a identificar o evaluar su rendimiento, estado, condición, entre otros.
PERT	<i>Program Evaluation and Review Techniques.</i>
Power shift	Presión de servocontrol en sistema hidráulico de excavadoras hidráulicas <i>Caterpillar</i> .
ROA	<i>Return on Assets</i> , ratio que indica la rentabilidad sobre el total de activos.
RPM	Revoluciones por minuto.
Stage II Tier 2/3	Regulación de emisiones para equipo móvil fuera de carretera.
Stick	Herramienta de extensión (brazo) de una excavadora hidráulica.

<i>Stocks</i>	Conjunto de insumos o materiales en almacenamiento.
<i>Upper frame</i>	Estructura superior.

RESUMEN

La excavadora hidráulica es el equipo con mayor porcentaje de utilización cuando se inicia un proyecto de movimiento de tierras. Es por ello por lo que algunos de estos equipos en la constructora objeto de estudio, en el año 2020, alcanzan las 10,000 horas de trabajo. Esta condición genera el aumento de paros por fallas, afectando la disponibilidad y la vida útil del equipo.

Para establecer la condición de la excavadora hidráulica, se realizó trabajo de campo, se verificó la condición de operación por medio de pruebas de monitoreo de condición y ensayos no destructivos. Se llevó a cabo el monitoreo de condición de la máquina, midiendo los parámetros de cambio en los componentes principales.

Los datos obtenidos de las mediciones se analizan con las especificaciones del fabricante y conocimientos del investigador para determinar el estado de condición de la máquina. Se verificó la disponibilidad y vida útil del equipo para analizar juntamente con el estado de condición, y así poder desarrollar un programa de mantenimiento para garantizar la disponibilidad y vida útil de la excavadora hidráulica.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

La empresa constructora de proyectos de infraestructura vial posee varios equipos de excavación modelo 336D marca Caterpillar (excavadora hidráulica), los cuales, en el año 2020, algunos de estos equipos están por alcanzar y sobrepasar diez mil horas de operación. Lo anterior significa que las máquinas están propensas a presentar fallas de componentes principales de los sistemas del equipo, tales como: motor de combustión, bomba hidráulica principal, entre otros.

- Descripción del problema

Las fallas de los componentes principales repercuten en paradas intermitentes o definitivas del equipo y pérdidas de producción por la falta de disponibilidad. La inexistencia de un dato confiable de la vida útil y del estado de condición de la máquina, implica incurrir en abuso de operación durante el tiempo de vida, ocasionando gastos de mantenimiento elevados; por la fatiga que sufren las partes sometidas a desgaste y por el recambio de piezas que aún pueden estar en condiciones de operación.

Las causas principales son: inexistencia de dato de vida útil consumida de los equipos, no existe información del estado de condición de la máquina, fallas recurrentes y tiempo de reparación prolongado.

Los efectos principales son: aumento del costo de reparación por fatiga de los componentes principales, pérdidas de producción por paros prolongados, falta de programación de las actividades de mantenimiento.

Diseñar un programa de mantenimiento que garantice la disponibilidad y vida útil de la excavadora modelo 336D, permite conocer la vida útil de los equipos, disminuir los costos de reparación, reducir los paros por falla en periodos de producción y mejorar la confiabilidad de los equipos. Se establecen parámetros de reutilización de las piezas sometidas a desgaste y especificaciones de estados de condición de los componentes principales.

Pregunta central de investigación

¿Qué programa de mantenimiento se puede utilizar para garantizar la vida útil y disponibilidad de las excavadoras hidráulicas modelo 336D marca Caterpillar?

Preguntas auxiliares de investigación

- ¿Qué actividades y técnicas de mantenimiento se llevan a cabo, para reparar los componentes principales de la excavadora hidráulica modelo 336D marca Caterpillar a la fecha de investigación?
- ¿Cuáles son las horas de mantenimiento y el estado de operación, que tiene el equipo de acuerdo con las horas de operación, al periodo de investigación?

- ¿Qué tiempo de vida útil consumida y horas totales de operación pueden ser el punto conveniente de decisión para brindar un mantenimiento cero horas para garantizar la disponibilidad del equipo objeto de estudio?

OBJETIVOS

General

Establecer un programa de mantenimiento cero horas adecuado para garantizar la vida útil y disponibilidad de la excavadora hidráulica modelo 336D marca Caterpillar.

Específicos

1. Identificar las reparaciones y técnicas de mantenimiento necesarias, para implementar un programa de mantenimiento cero horas para una excavadora hidráulica modelo 336D Caterpillar.
2. Verificar las horas de mantenimiento en los que ha incurrido el equipo, de acuerdo con las horas de operación y estado de condición, a la fecha de investigación.
3. Determinar la vida útil consumida y horas totales de operación, en las cuales es factible realizar un mantenimiento cero horas a la excavadora modelo 336D Caterpillar, a la fecha de investigación.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

La ruta de investigación que se utilizó fue mixta, esto debido a que se reunió información cuantitativa a partir de la medición de los parámetros de funcionamiento de los componentes principales del equipo y mediante la revisión documental y tendencias de las condiciones o especificaciones de los parámetros de operación de los componentes. De igual manera, se recabó información cualitativa mediante técnicas de inspección visual para conocer la condición externa del equipo.

El alcance de la investigación es descriptivo. Tras la revisión documental se logró generar un procedimiento para realizar el diseño de un programa de mantenimiento cero horas para garantizar la vida útil y disponibilidad de una excavadora modelo 336D marca Caterpillar.

El tipo de investigación es experimental. Se realizaron mediciones de los parámetros de operación del motor de combustión, la bomba hidráulica principal y otros componentes complementarios, se realizó análisis de aceites lubricantes de los mecanismos mencionados para determinar si existen evidencias de desgaste de las partes internas.

Durante el desarrollo de la investigación se realizó una visita preliminar en la cual los objetivos fueron determinar la ubicación del equipo, verificar si la máquina estaba en condiciones de operación para realizar las pruebas de diagnóstico y las mediciones pertinentes al tren de rodaje. En esta etapa se logró observar que el equipo tenía una falla en el sistema de lubricación del motor de combustión, se solicitó a la empresa objeto de estudio corregir esta anomalía.

Después de la corrección de los inconvenientes encontrados, la empresa notificó la corrección de estas; por lo que se procedió a realizar la visita de inspección en donde se realizaron las pruebas de diagnóstico y medición de parámetros de funcionamiento del motor de combustión, la bomba hidráulica principal, componentes del sistema hidráulico y la inspección mediante la técnica VOSO a los implementos de trabajo del equipo (pluma, brazo, estructura superior e inferior). Se recolectaron muestras de aceite usado de los compartimientos de los componentes principales, para el análisis de conteo de partículas mediante el laboratorio que se especializa en este tipo de actividad. Esto con la finalidad de determinar indicios de desgaste interno de los componentes.

Con los datos obtenidos durante las inspecciones y pruebas de parámetros realizados se procedió a analizarlos y compararlos con las especificaciones brindadas por el fabricante, ello mediante consulta de los manuales de operación del equipo, el sistema de información en línea que brinda la fábrica de los equipos Caterpillar y la bibliografía consultada durante el desarrollo de la investigación. Se solicitó apoyo al personal de soporte al producto del distribuidor para que realizará la inspección del desgaste del tren de rodaje de la máquina, ello mediante la técnica de END de ultrasonido pulso eco.

Con los resultados de las pruebas de laboratorio de las muestras de lubricantes usados, el informe de la inspección del rodaje realizado por el personal del distribuidor, la inspección visual y pruebas de diagnóstico de los parámetros de funcionamiento, se logró determinar que el equipo se encontraba en condiciones aceptables de operación y necesitaba reparaciones medias, es decir, medio *overhaul* del motor de combustión, cambio de líneas hidráulicas, reacondicionamiento del brazo, reparaciones de mandos finales. Con ello se

procedió a diseñar el plan de mantenimiento para garantizar el estado de funcionamiento y durabilidad de la máquina.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo constituye un emprendimiento para diseñar un programa de mantenimiento.

El mantenimiento en una organización va más allá de realizar reparaciones preventivas y correctivas cuando el equipo lo requiere, es importante que el mantenimiento se planifique según la condición de la máquina a intervenir, así como la disponibilidad de los materiales necesarios para poder llevarlo a cabo.

En esta investigación se analizó una excavadora hidráulica modelo 336D marca Caterpillar que se puede utilizar con herramienta martillo hidráulico o bien cucharón (balde) para excavación, el equipo cuenta con 9 835 horas de operación aproximadamente, operando con martillo hidráulico; esta condición de operación acelera el desgaste de los componentes hidráulicos por la contaminación del aceite hidráulico en la operación del aditamento (martillo hidráulico). Debido a las horas trabajadas los demás componentes también inician a presentar fallas por fatiga de los elementos sometidos a desgaste.

La disponibilidad y duración del equipo objeto de estudio se ve afectada por las circunstancias mencionadas, incurriendo en altos costos de reparaciones y paros no programados. Determinar la vida útil y el estado de condición de operación de los sistemas del activo es importante para prevenir fallos catastróficos y altos costos de mantenimiento por reemplazo de piezas principales. Esta información puede servir para programar actividades de

mantenimiento y planificar reparaciones mayores, como la puesta a punto o mantenimiento cero horas para mejorar la operación de la máquina.

La investigación permitió establecer la vida útil consumida, el estado de condición y el programa de mantenimiento cero horas para el reacondicionamiento del equipo estudiado. La información mencionada se obtuvo mediante formatos de evaluación del estado de condición del equipo, determinación de parámetros de funcionamiento y especificaciones de reusabilidad sugeridos por el fabricante y por criterio propio del investigador. Se pudo contribuir con información que permite estandarizar algunos repuestos necesarios de reemplazar en un mantenimiento de este tipo, así como, las técnicas de medición necesarias para futuras intervenciones.

Posterior a la investigación, la empresa y el personal de mantenimiento involucrado en la investigación, contará con un procedimiento técnico-sistemático para poder realizar un mantenimiento cero horas y los procedimientos para monitorear la condición de excavadoras similares. El estudio puede servir de base para el crecimiento profesional del personal, en los temas de mantenimiento abordados en la investigación.

La investigación se divide en cuatro capítulos, los cuales se describen con brevedad a continuación:

En el capítulo I, se describe el marco teórico que detalla la información técnica científica necesaria para abordar la investigación. Se describen los temas principales para elaborar un programa de mantenimiento, monitorear el estado de condición de los equipos basados en las normas ISO 17359, ISO 13379 y otras que abordan el tema. Así mismo se detalla las partes y sistemas principales de una excavadora hidráulica del modelo en estudio.

En el capítulo II se presenta el desarrollo general de la investigación, se realizan las actividades principales: recolección de muestras de aceite usado de los componentes y sistemas principales de la máquina, se detallan las pruebas de operación para conocer el estado de condición del activo, previo a lo anterior se establecen los criterios de prueba, parámetros y especificaciones de funcionamiento de la máquina. Se determinó el desgaste de los componentes del tren de rodaje mediante inspección realizada por personal del distribuidor de maquinaria Caterpillar.

En el capítulo III se realiza la presentación y discusión de resultados, mediante la interpretación de los datos de pruebas de diagnóstico realizadas, los resultados de laboratorio del análisis del aceite usado, el informe de la inspección del personal del distribuidor Caterpillar, el criterio propio y experiencia en el campo del investigador. De lo anterior se determinó que la condición de operación del equipo era aceptable por encontrarse dentro del rango de funcionamiento de las pruebas realizadas, sin embargo, debido a la falla encontrada en la visita preliminar y los niveles de desgaste en los resultados de prueba se identificó la necesidad de realizar reparaciones medias significativas, ello permitió evaluar físicamente los componentes internos y determinar el horómetro adecuado para una intervención de mantenimiento cero horas.

En el capítulo IV se describe la propuesta de solución al tema abordado, se describen los objetivos que se persiguen con la implementación del programa de mantenimiento cero horas, así como el procedimiento de implementación, el alcance, los controles y evaluaciones necesarias para la ejecución eficiente de este tipo de mantenimiento. Se describe el flujograma del procedimiento en donde se resalta el seguimiento de la reparación con mantenimiento predictivo para los componentes que no se intervienen en la reparación.

1. MARCO TEÓRICO

A continuación, se describen los términos, definiciones y conceptos necesarios para la comprensión y realización de la investigación, los anteriores conforman la teoría para los conocimientos que permitan el correcto análisis y ejecución de la investigación.

1.1. Mantenimiento

Según García (2003) mantenimiento es el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.

Se puede definir mantenimiento como las tareas que se realizan en un determinado equipo para garantizar su funcionamiento durante su ciclo de vida con una rentabilidad significativa. Es decir, son las actividades que se ejecutan para mantener cualquier tipo de maquinaria en condiciones aceptables de operación.

El mantenimiento es el tipo de intervención que se realiza a los mecanismos que lo requieren antes o posteriormente a la presencia de una falla, existen diversos tipos de mantenimiento que se pueden acoplar a las necesidades de las organizaciones. El mantenimiento incluye todas las actividades involucradas en conservar el equipo de un sistema en funcionamiento. (Heizer y Render, 2009)

Mantener un activo conlleva un conjunto de actividades que optimizan el desempeño del equipo y garantizan su funcionamiento durante el tiempo de vida útil para el que fue diseñado y fabricado.

1.1.1. Evolución del mantenimiento

El arte del mantenimiento ha evolucionado durante las diferentes etapas que ha tenido el crecimiento de la industria, de la incorporación de nuevas técnicas y tecnologías en el desarrollo de equipos nuevos; surge la necesidad del avance del mantenimiento paralelo al crecimiento industrial.

De acuerdo con García, (2012) la primera generación del mantenimiento tiene lugar a inicios del siglo XX y con ello la creación de las primeras instalaciones de mantenimiento, algunas de sus características principales fueron:

- Equipos más duraderos, sobredimensionados y simples
- La prevención de fallas en los equipos no era importante
- Mantenimiento reactivo o de reparación
- No existía necesidad de un mantenimiento sistemático

La segunda guerra mundial originó necesidades de anticipación de fallas y disminución de costos de mantenimiento, dando importancia a la disponibilidad y duración de la máquina, entre sus principales características están:

- Comienzo del mantenimiento preventivo
- Incremento de los costos de mantenimiento
- Sistemas de planeación y control de mantenimiento
- Ampliación de la vida útil de los sistemas y equipos

- Inicio de la sistematización del mantenimiento

La tercera generación del mantenimiento surgió en los años setenta con la utilización de nuevas metodologías de mantenimiento predictivo y algunas consideraciones hacia el cuidado del medio ambiente entre sus características primordiales están:

- Incremento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos
- Protección integral de las personas, equipos y medio ambiente
- Prolongar la vida útil de los equipos
- Desarrollo de Técnicas de Mantenimiento Basado en Condición
- Filosofía Mantenimiento Productivo Total (TPM) y del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

Es en este periodo en donde comienzan a tener importancia los términos de disponibilidad y confiabilidad de los activos.

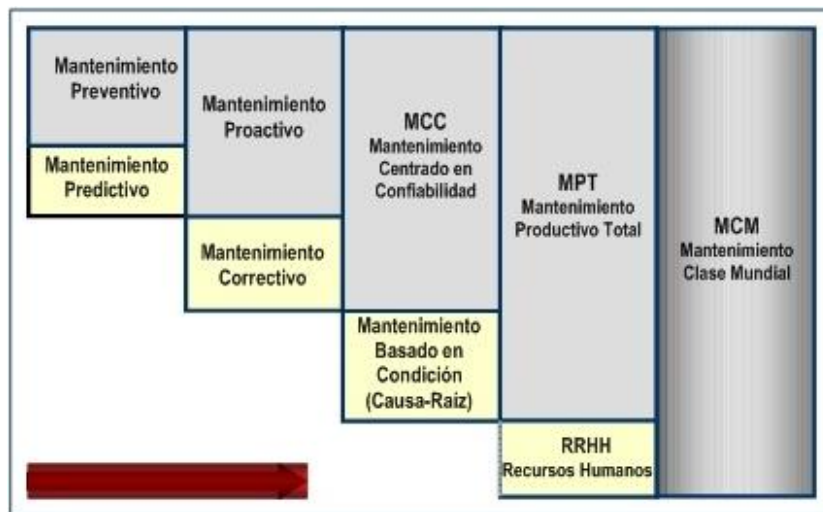
La cuarta generación, se extiende desde principios del siglo hasta nuestros días, donde destacan como principales características:

- Gestión de Activos (AM) y la PAS 55
- Énfasis en los indicadores de fiabilidad
- Confiabilidad y excelencia operacional
- Optimización del mantenimiento planeado (PMO)
- Estudios del costo del ciclo de vida (LCC)

La quinta generación del mantenimiento, la ingeniería del mantenimiento significa estar a un nivel de mantenimiento de clase internacional y trabajar para conseguir altos niveles de desempeño. La utilización del *benchmarking* para la

implementación y ejecución del mantenimiento, basado en la confiabilidad, representa aplicar técnicas y tecnologías disponibles, con una orientación basada en riesgo y con la participación del capital humano (Linares y del Centro, 2012).

Tabla I. **Evolución del mantenimiento**



Fuente: Narciso, Ríos, Rodríguez, y Valero. (2008). *Evolución del mantenimiento*.

1.1.2. Tipos de mantenimiento

Actualmente la disponibilidad de activos en las organizaciones es de carácter primordial, es importante buscar un modelo de mantenimiento que cumpla con los objetivos de las empresariales, según García (2003):

Tradicionalmente, se han distinguido cinco tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el contenido de las tareas que incluyen:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo

- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento *hard time* o cero horas
- Mantenimiento en uso

La ejecución de cada tarea de mantenimiento conlleva a realizar actividades y técnicas de diferente alcance en los sistemas de la maquinaria. La prioridad en la que se realiza cada tipo de mantenimiento es importante.

Existen diferentes tipos de mantenimiento, están los que se realizan para la corrección de una falla que se ha presentado, los que se ejecutan para evitar fallas posteriores, los que sirven para determinar la condición de un componente para fijar la acción de mantenimiento necesaria y los que se realizan para reemplazar piezas críticas en el funcionamiento de un activo.

1.2. Mantenimiento predictivo

González, Medrano y Díaz (2017), definen el mantenimiento predictivo como:

El mantenimiento predictivo o mantenimiento basado en la condición se apoya en un conjunto de actividades que permiten predecir y prevenir el desarrollo de fallas en equipo e instalaciones. La aplicación de técnicas especializadas ayuda a detectar con anticipación un desperfecto en el equipo, el mal funcionamiento o el cambio de estado de un equipo o máquina durante su operación.

Es posible determinar, mediante un diagnóstico, si existe algún deterioro en la maquinaria que pudiera provocar una falla inminente, así como identificar qué tan necesario es efectuar algún trabajo de mantenimiento en el equipo.

Mantenimiento predictivo está compuesto por dos conceptos fundamentales; *mantener*, es decir conservar el estado de condición de una máquina o cualquier otro activo y *predecir*, se refiere a pronosticar el comportamiento o rendimiento de un equipo o maquina específica.

El mantenimiento predictivo consiste en una serie de técnicas y operaciones que se adoptan para detectar una falla o problema en un elemento o instalación antes de que suceda, con el objeto de poder corregirla sin que se produzcan detecciones de producción, averías mayores, accidentes, etc. Las técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo consisten en medir la variación de alguna característica física o química de los elementos o máquinas. Por lo tanto, existen técnicas como:

- Análisis de temperatura mediante cámaras infrarrojas
- Análisis de motores eléctricos
- Análisis de vibraciones producidas por elementos mecánicos
- Análisis del estado de aceites y lubricantes
- Análisis mediante corrientes de Eddy
- Análisis mediante ultrasonidos
- Análisis mediante métodos humanos, como, la vista, el oído, olfato, entre otros.
- Análisis mediante rayos X, entre otros. (Jiménez, 2015)

1.2.1. Parámetros de monitoreo de condición

Los parámetros de monitoreo de condición son rangos de especificaciones de diseño y construcción de un equipo o máquina específica, dentro de las cuales la máquina puede operar satisfactoriamente en un ambiente operativo que le permita un rendimiento óptimo. Los factores que afectan comúnmente el rendimiento de los equipos son la velocidad, carga, temperatura y el contexto operativo.

Una amplia gama de parámetros de rendimiento puede ser medidos para propósitos de establecer criterios de rendimiento, tanto para las pruebas de aceptación como para el seguimiento de la vida útil. Los parámetros para considerar son aquellos que indicarán una condición de falla, es decir; por un aumento o disminución de los valores generales medibles o por algún otro cambio a un valor característico. La curva de rendimiento de una bomba o compresor, curvas de presión-volumen de un motor de combustión interna u otras curvas de rendimiento.

Los parámetros medidos pueden ser mediciones simples de valores superiores o valores promediados en el tiempo. Para ciertos parámetros, como corriente, voltaje y vibraciones, las mediciones simples de los valores generales podrían no ser suficientes para mostrar la ocurrencia de un fallo. Técnicas como la medición de tiempo, espectral y fase pueden ser necesarias para revelar los cambios causados por fallas. (ISO 13380, 2002)

Según ISO 13379 (2003), los descriptores pueden ser obtenidos desde el sistema de monitoreo de condición, directamente o después del procesamiento de las mediciones. Los descriptores son preferidos a menudo sobre las mediciones por razones de selectividad. Los más selectivos descriptores, los más

selectivos síntomas y, por lo tanto, el diagnóstico más fácil. La selectividad de los descriptores reduce el número de fallas hipotéticas cuando se deduce el síntoma de la falla.

Tabla II. Mediciones y parámetros usados para diagnósticos

Rendimiento	Mecánica	Eléctricidad	Análisis de lubricantes, calidad del producto y otros
Consumo de potencia	Dilatación térmica	Corriente eléctrica	Análisis de aceite
Eficiencia	Posición	Voltaje	Ferrografía análisis de partículas de desgaste
Temperatura	Nivel de fluido	Resistencia	Dimensiones del producto
Termografía Infraroja	Desplazamiento de vibraciones	Inductancia	Propiedades físicas del producto
Presión	Velocidad de vibraciones	Capacitancia	Propiedades químicas del producto
Flujo	Aceleración de vibraciones	Campo magnético	• Color • Aspecto visual • Olor • otra prueba no-destructiva
	Ruido audible	Resistencia del aislamiento	
	Ondas ultrasónicas	Descarga parcial	

Fuente: ISO 13379 (2003). *Lineamientos generales sobre interpretación de datos y técnicas de diagnóstico.*

A continuación, se mencionan algunos ejemplos de parámetros de rendimiento por tipo de máquina, cabe mencionar que existen distintos parámetros que se pueden considerar al momento de realizar un diagnóstico específico; estos van a depender de las indicaciones del fabricante de la máquina o del equipo.

Tabla III. **Parámetros de monitoreo de condición por tipo de máquina**

Parámetro	Tipo de Máquina									
	Motor eléctrico	Turbina de vapor	Turbina de gas aerodinámico	Turbina de Gas industrial	Bomba	Compresor	Generador eléctrico	Motor de combustión interna recíprocante	Ventilador	Transformador de potencia
Temperatura	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Presión		*	*	*	*			*	*	*
Presión (head)					*					
Relación de presión			*	*		*				
Presión (vacío)		*			*					
Flujo de aire			*	*		*		*	*	
Flujo de combustible			*	*				*		
Flujo de fluido		*			*	*				
Corriente	*						*			*
Voltaje	*						*			*
Resistencia	*						*			*
Fase eléctrica	*						*			
Entrada de potencia	*				*	*	*		*	*
Salida de potencia	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ruido	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Vibración	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Emisión acústica	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ultrasonido	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Presión de aceite	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Consumo de aceite	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Lubricación (Tribología)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Termografía	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Torque	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Velocidad	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Longitud		*	*	*		*				
Posición angular		*	*	*		*				
Eficiencia (derivada)		*	*	*	*	*		*		
* Indica que el parámetro de medición de monitoreo de condición es aplicable. Clave RIC: Combustión interna recíproca NOTE: Esta tabla contiene ejemplos y no es una lista exhaustiva. Otros parámetros pueden ser apropiados a considerar.										

Fuente: ISO 17359, (2018). *Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas.*

1.2.2. Técnica VOSO

Es una técnica de mantenimiento predictivo de aplicación sencilla y con un bajo costo de implementación, sin embargo, puede contribuir con ahorros en costos de mantenimiento en cantidades considerables, es por ello por lo que se

considera dentro de las técnicas de mantenimiento para predecir y monitorear el estado de condición de los activos de una organización. Esta técnica se compone de los siguientes elementos:

- Ver (vista), con ello se pueden determinar fugas, movimientos, cambios físicos de los equipos, cambios de color, y cualquier cambio ajeno que se pueda detectar en los equipos. Puede complementarse con la utilización de herramientas auxiliares como el baroscopio para tener acceso a localizaciones con difícil acceso.
- Oír (auditivo), se pueden detectar ondas sonoras anormales en los equipos. Pueden utilizarse herramientas complementarias como estetoscopios para facilitar su aplicación.
- Sentir (tacto), se puede determinar elevaciones o descensos de temperatura, vibraciones repentinas en los equipos, palpar diferentes texturas en bandas, hendiduras en ejes, entre otras.
- Oler (olfato), se puede identificar cualquier olor extraño al ambiente del equipo que se analice. (Ortíz, 2015)

Este procedimiento se puede aplicar en los diferentes tipos de mantenimiento, es de gran utilidad como técnica de ensayo no destructivo (END), para analizar fallas y modos de fallos con la finalidad de determinar la causa raíz de estas. Generalmente no tiene ningún costo extra para su aplicación, solamente requiere de la experiencia del técnico que la aplica. No obstante, hay ocasiones en que genera un costo extra cuando se utiliza una herramienta o equipo que mejore su aplicación.

1.2.3. Técnica de líquidos penetrantes

La técnica de líquidos penetrantes puede considerarse una herramienta con gran utilidad dentro del mantenimiento predictivo, es de utilización sencilla y su bajo costo permite la aplicación de este método en las áreas de mantenimiento de varias industrias. También se considera una técnica dentro del concepto de ensayos no destructivos, para detectar y determinar discontinuidades superficiales en los materiales. Cabe mencionar que se puede aplicar en diversos tipos de materiales ferrosos y no ferrosos.

La aplicación de la técnica de líquidos penetrantes se considera una práctica estándar y está regulada bajo la norma ASTM E165E/E165M-18, la cual establece los criterios y procedimientos de aplicación. La norma establece la técnica de líquidos penetrantes como:

Los métodos de examinación de líquido penetrante indican la presencia, ubicación y, para una extensión delimitada, la naturaleza y magnitud de las discontinuidades detectadas. Cada uno de los métodos se ha designado para usos específicos, tales como los límites de servicio crítico, el volumen de las piezas, la portabilidad o áreas localizadas de examinación. El método seleccionado dependerá de los requerimientos de servicio. (Asociación Americana de Ensayos de Materiales [ASTM], 2018)

La aplicación de líquidos penetrantes como técnica de mantenimiento predictivo aporta resultados significativos en la detección de discontinuidades en diferentes tipos de materiales. La aplicación de esta técnica es sencilla y no requiere de mucha experiencia la ejecución, sin embargo, existen procedimientos estandarizados que se deben de seguir para una aplicación eficiente. Los

factores por considerar son: la secuencia de aplicación de los líquidos, la limpieza del componente a probar y el tiempo de aplicación de cada elemento.

A continuación, se muestran los tiempos mínimos recomendados que describen la norma ASTM citada anteriormente.

Tabla IV. Tiempos de permanencia mínimos recomendados

Material	Forma	Tipo de Discontinuidad	Tiempos de permanencia A (minutos)	
			Penetrante B	Revelador C
Aluminio, magnesio, acero, latón y bronce, titanio y aleaciones de alta temperatura	Fundiciones y soldaduras	cierres fríos, porosidad, falta de fusión, grietas (todas las formas)	5	10
	Materiales forjados -extrusiones, forjas, placas	traslapes, grietas (todas las formas)	10	10
Herramientas con punta de carburo		falta de fusión, porosidad, grietas	5	10
Plástico	todas las formas	grietas	5	10
Vidrio	todas las formas	grietas	5	10
Cerámico	todas las formas	grietas	5	10
(A) Rango de temperatura de 50° a 125° [10° a 52° °C]. Para temperaturas entre 40° y 50° °F [4.4° y 10° °C], recomiendan un tiempo de permanencia mínima de 20 minutos.				
(B) Tiempo de permanencia máxima de penetración de acuerdo con 8.5.1.				
(C) El tiempo de desarrollo inicia tan pronto como el revestimiento revelador se seca en la superficie de las partes (mínimo recomendado). Tiempo máximo de desarrollo de acuerdo con 8.8.5.				

Fuente: ASTM. (2018). *Aplicación de líquidos penetrantes*.

1.2.4. Ultrasonido pulso eco contacto directo

La técnica de ultrasonido se utiliza en los procedimientos de mantenimiento predictivo como un ensayo no destructivo para identificar y determinar desgaste y magnitud de discontinuidad de los materiales. Su aplicación se limita al conocimiento especializado del personal, así como también por los costos de las herramientas por utilizar, sin embargo, presenta resultados muy satisfactorios y con gran exactitud.

Las ondas ultrasónicas son refractadas y reflejadas, si existe una variación de la reflectancia a la onda sonora, esto en el caso de presentarse algún defecto.

De ello se derivan dos procedimientos de ensayo, basados en la evaluación de la parte transmitida de la onda o de la parte reflejada de la misma.

Pulso Eco: este método utiliza la porción del sonido para la evaluación de los defectos. El oscilador piezoeléctrico funciona como emisor y receptor a la vez, ya que la energía recibida es mucho más débil que la emitida. En este caso no se puede operar sobre la base de sonido continuo, por lo cual se emplean exclusivamente pulsos de sonido. Puesto que se puede medir el tiempo recorrido y se conoce la velocidad del sonido en la mayor parte de materiales conocidos, este método permite conocer la posición del reflector y además presenta la ventaja de utilizar una sola superficie de acoplamiento en el transductor y la pieza; permitiendo mantener un sencillo acoplamiento constante. (Ballesteros, 2010)

1.2.5. Análisis de lubricantes

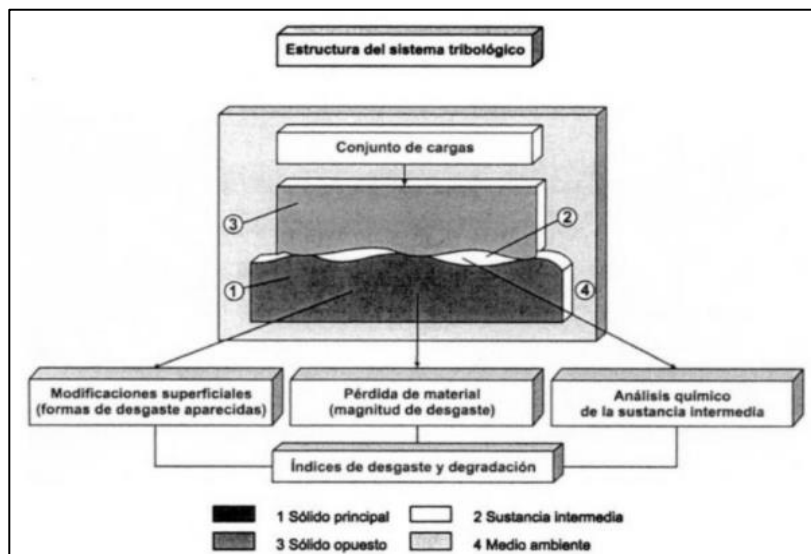
El análisis y monitoreo de condición de lubricantes en los equipos, es una práctica importante del mantenimiento predictivo; a través de esta técnica se puede determinar condiciones de desgaste de los mecanismos que se desean analizar; así como también la condición del aceite lubricante para verificar que cumpla con la labor de lubricación.

Otro método de mantenimiento predictivo, en clara evolución al alza por la relativa facilidad e interpretación de resultados y su relativo bajo coste de implantación, es el *análisis de lubricantes*. El mantenimiento predictivo basado en los análisis químicos de aceites y de partículas que tienen los mismos en suspensión es un método extremadamente útil y, lamentablemente, poco extendido en nuestro entorno de mantenimiento industrial. (González, 2005)

1.2.5.1. Sistema tribológico

Actualmente existen varias fuentes de datos que deducen que la principal causa de las fallas se debe al desgaste que sufren los materiales. Debido a la fricción que existe en el funcionamiento continuo de las máquinas. González (2005), menciona que el 70 % de los fallos catastróficos se debe al desgaste. El estudio de la degradación de las máquinas por este sistema predictivo se basa en el tamaño y forma de las partículas en suspensión en el mismo, de la naturaleza de éstas y del análisis químico del lubricante utilizado.

Figura 1. Estructura del sistema tribológico



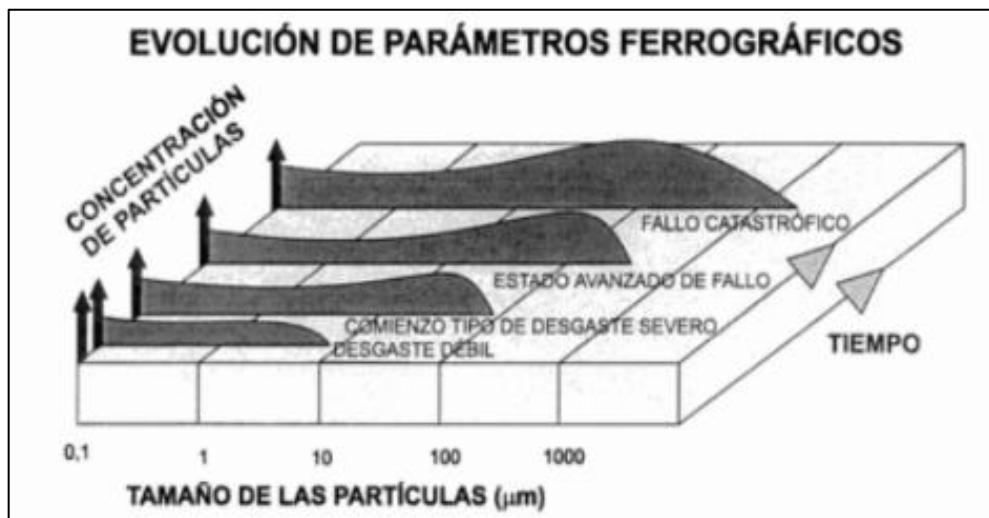
Fuente: González. (2005). *Sistema tribológico*.

El sistema tribológico que se muestra puede aplicarse a cualquier máquina, este se basa en un proceso continuo y progresivo de pérdida de material de las superficies que se encuentran en movimiento relativo dentro de una máquina.

En un sistema tribológico, las razones del origen de las diversas partículas sólidas que encontramos en el aceite de máquinas, y que contaminan éste, son relativamente fáciles de detectar. El compuesto químico o mineral detectado (tanto en tamaño de partículas como en porcentajes en ppm) puede ser seguido en tiempo como una variable determinante del funcionamiento de la máquina. (González, 2005)

A continuación, se presenta de forma gráfica lo mencionado en el párrafo anterior.

Figura 2. **Evolución de parámetros ferrográficos**



Fuente: González. (2005). *Parámetros ferrográficos*.

Existen dos técnicas utilizadas para determinar el estado de condición el aceite lubricante por contaminación con partículas, según González (2005):

- Ferrografía, para detectar tamaños de partículas y concentraciones de estas.

- Espectrometría, por medio de esta se determina la procedencia de una anomalía que se evidencia en el aceite.

También está disponible la prueba de conteo de partículas, basada en la norma ISO 4406, la cual permite clasificar las partículas en tamaños de igual o mayor que 4,6 y 14 micrones (Albarracín). La técnica de análisis del aceite lubricante permite determinar la condición o degradación de éste, por medio de esta prueba se puede establecer si el lubricante aún está en óptimas condiciones para ejercer su labor principal, a través de la comparación con una muestra de aceite relativamente nueva. Los parámetros por considerar son:

- Viscosidad, se considera la propiedad más importante de los aceites; consiste en la resistencia que el fluido ofrece al fluir (movimiento cortante); es decir, su rozamiento interno. La viscosidad de los lubricantes líquidos comúnmente se expresa en centistokes (cSt) a 40 y 100 grados Centígrados (104 y 212 grados Fahrenheit). La viscosidad expresada en centistokes se le denomina viscosidad cinemática.
- Índice de viscosidad, medida empleada para determinar la variación de la viscosidad con los cambios de temperatura. Las reglas fundamentales son: la viscosidad varía de manera inversa con la temperatura y la variación no es igual en todos los aceites.
- Resistencia a la oxidación, la combinación lenta del aceite con el oxígeno se llama oxidación, y los componentes que se forman en esta reacción incluyen depósitos de carbón, lodos, barnices, resinas y ácidos (corrosivos y no corrosivos). La oxidación suele estar acompañada por un aumento de la viscosidad en el aceite. La rapidez con que ocurre la oxidación depende de factores como la composición química del aceite, la temperatura del

ambiente, el tamaño del área de la superficie expuesta al aire, el tiempo que el lubricante ha estado en servicio y la presencia de contaminantes que actúen como catalizadores en la reacción de oxidación. (González et al., 2017)

- Contaminación, es el resultado de reacciones químicas no intencionales entre los materiales que deben de estar presentes y los que no deberían” (Gresham, 2015). Cualquier partícula extraña que se mezcla con el lubricante proveniente del medio ambiente operativo o bien de otra parte de la pieza a lubricar se le llama contaminante, por ejemplo, agua, aceite de otro compartimiento entre otros. La contaminación es la causa número uno de fallo de cualquier elemento mecánico lubricado. Un control efectivo del desgaste se consigue controlando los contaminantes presentes en el contaminante. (Bilbao y Málaga, 2014)
- Disolución de combustibles, la disolución de derivados del petróleo en una máquina puede originar una inadecuada lubricación, sobre todo cuando se superan porcentajes del 2.5 %, que ya son considerados excesivos.
- Carbonilla, su aparición en el aceite es un importante indicador predictivo en el funcionamiento de los motores diésel fundamentalmente.
- Nitruración, la nitruración acelera los procesos de oxidación y es el resultado, sobre todo, aunque no exclusivamente, de los procesos de combustión de motores.
- Acidez, la acidez o *total acid number* (TAN) es una medida típica comparativa entre aceites lubricantes nuevos y usados para verificar su nivel de degradación. En un aceite su grado de acidez o alcalinidad puede

venir expresado por su número de neutralización, que se define como la cantidad de álcali o de ácido (ambos expresados en miligramos de hidróxido potásico) que se requiere para neutralizar el contenido, ácido o básico, de un gramo de muestra, en las condiciones de valoración normalizadas del correspondiente ensayo.

El TAN es una medida específica para aceites industriales, es decir, aceites hidráulicos.

- Basicidad, la basicidad o *total base number* (TBN) indica lógicamente la capacidad de un lubricante para neutralizar la acidez. Su análisis también caracteriza las periodicidades de cambio. El TBN es una medida específica para los lubricantes para motores de combustión interna y es considerado el indicador primordial para verificar la degradación del aceite. (González, 2005)

1.2.5.2. Nivel de contaminación de fluidos ISO 4406

El aceite hidráulico es el encargado de transmitir potencia y generar movimiento en los distintos dispositivos dentro de un sistema hidráulico. La presión, temperatura y el medio ambiente operativo; generan partículas contaminantes, estas deben de ser determinadas para evitar daños en el sistema.

El nivel de contaminación de un fluido puede ser determinado mediante la mediante análisis de aceite usado y la interpretación de los resultados se puede realizar en base a la norma ISO 4406 que determina el código del nivel de limpieza del lubricante analizado. Los resultados se deben de comparar con los requisitos mínimos aceptados por los fabricantes de los dispositivos hidráulicos, con ello, evitar fallas prematuras y catastróficas de los componentes.

El propósito de este código es simplificar el informe de los datos de recuento de partículas mediante la conversión de los números de partículas en clases o códigos amplios, donde un aumento en un código es generalmente una duplicación del nivel de contaminación. Los tamaños reportados son $\geq 4 \mu\text{m}$, $\geq 6 \mu\text{m}$ y $\geq 14 \mu\text{m}$, siendo los dos últimos equivalentes a los tamaños de partícula de $5 \mu\text{m}$ y $15 \mu\text{m}$ obtenidos utilizando el método ISO 11171. (ISO 4406, 2017)

Los tres tamaños de partículas mencionados corresponden a una cantidad de contaminantes de esas dimensiones en micrones por cada mililitro de fluido. Ver tabla IV.

Es decir, un código 22/18/13 significa que hay más de 20,000 e inclusive hasta 40,000 partículas iguales o superiores a 4 micrones, más que 1 300 e inclusive 2 500 partículas iguales o superiores a 6 micrones y más que 40 e incluso hasta 80 partículas iguales o mayores a 14 micrones en 1 mililitro de una muestra de fluido obtenida. (ISO 4406, 2017)

Se deben contemplar ciertos cuidados al momento de obtener una muestra de aceite usado, la calidad de la muestra influye considerablemente en los resultados de análisis del lubricante. La limpieza en la obtención de la muestra es primordial para la calidad de los resultados.

Tabla V. Asignación de la escala de números

Número de partículas por mililitro		Número de escala
Más que	Hasta e incluyendo	
2 500 000		> 28
1 300 000	2 500 000	28
640 000	1 300 000	27
320 000	640 000	26
160 000	320 000	25
80 000	160 000	24
40 000	80 000	23
20 000	40 000	22
10 000	20 000	21
5 000	10 000	20
2 500	5 000	19
1 300	2 500	18
640	1 300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
Note: La reproducibilidad debajo del número de escala 8 se ve afectada por el número real de partículas contabilizadas en la muestra del fluido. Los recuentos brutos deben ser mas de 20 partículas. Si esto no es posible, consulte 3,4,7.		

Fuente: ISO 4406, (2017). *Método para codificar el nivel de contaminación por partículas sólidas.*

La tabla anterior muestra la escala de números de los códigos o niveles de contaminación de los fluidos por mililitro de muestra. Observe que el incremento de un código de limpieza incrementa el doble del nivel de contaminación del fluido. La muestra obtenida debe de ser representativa del fluido en circulación en el circuito o sistema hidráulico que se desea analizar.

Los fabricantes de maquinaria pesada y vehículos sugieren ciertas especificaciones y parámetros dentro de los cuales deberían de operar satisfactoriamente los componentes diseñan y fabrican. En el caso de la

maquinaria de la marca Caterpillar esta información se encuentra en los manuales de operación y mantenimiento de los equipos.

Tabla VI. Parámetros Caterpillar para análisis de aceite usado

Pautas para el análisis S.O.S. de aceite	
Parámetro de prueba	Pauta
Oxidación	(1)
Hollín	(1)
Sulfatación	(1)
Metales de desgaste	Análisis de tendencias y normas de la Tabla de desgaste Cat (1)
Agua	0.5% máximo
Glicol	0%
Dilución de combustible	4% máximo
Viscosidad – motores: ASTM D445 Medida a 100°C	Cambio de +/- 3 centistoke (cSt) de la viscosidad de un aceite nuevo
Viscosidad – sistema hidráulico y tren de fuerza: ASTM D445 Medida a 100°C	Cambio de +/- 2 centistoke (cSt) de la viscosidad de un aceite nuevo
Limpieza del sistema hidráulico	ISO 18/15 máximo
Limpieza del sistema de transmisión sin válvulas electro – hidráulicas	ISO 21/17 máximo
Limpieza de sistema de transmisión con válvulas electro - hidráulicas	ISO 18/15 máximo

(1) Los valores aceptables para estos parámetros son propiedad del programa de análisis S.O.S. de aceite.

Fuente: Caterpillar Inc. (2004). *Recomendaciones de fluidos para maquinas Caterpillar*.

En la tabla anterior se muestran algunos de las especificaciones importantes que Caterpillar recomienda para el análisis de aceite usado de sus componentes. Es importante tomar en cuenta estos datos para el buen funcionamiento de estos equipos.

1.3. Tribología

Es un concepto que en la actualidad ha tomado relevancia, debido a los beneficios que aporta en la ejecución del monitoreo de condición en la maquinaria industrial o cualquier otro activo de las organizaciones.

La tribología es la ciencia que estudia la fricción, la lubricación y el desgaste de dos superficies en contacto. Esta ciencia reviste gran importancia en la industria debido, sobre todo, a que el correcto entendimiento de como la teoría de superficies en contacto aporta importantes ahorros de energía. Además, ayuda a aumentar la vida útil de los elementos mecánicos de la maquinaria.

La tribología se maneja en dos niveles:

- Básica, para conocer el aspecto teórico del fenómeno físico
- Aplicada, para resolver problemas prácticos industriales

La aplicación más importante que se tiene de esta técnica es en la lubricación elastohidrodinámica, que es el tipo de lubricación presente en los elementos mecánicos muy cargados, donde debe considerarse la deformación elástica de los mismos, así como el espesor de película y las presiones desarrolladas. Los elementos mecánicos que suelen funcionar bajo este tipo de lubricación son engranes, cojinetes de elementos rodantes y sistemas leva-seguidor, entre otros.

La aplicación de la tribología está encaminada a la detección de posibles fallas en los elementos mecánicos de un equipo o máquina, mediante un análisis de los lubricantes y partículas microscópicas que están relacionados con la condición de los rodamientos o engranes. (González *et al.*, 2017)

La tribología puede aplicarse en el mantenimiento de cualquier tipo de industria que posea activos que requieran lubricación, bien como herramienta para predecir comportamiento o fallas de las máquinas o bien como herramienta indispensable para determinar el tipo de lubricante que se debe de utilizar en algún equipo específico, así como también poder determinar rutas de mantenimiento o lubricación debido al rango de vida útil o degradación de los lubricantes.

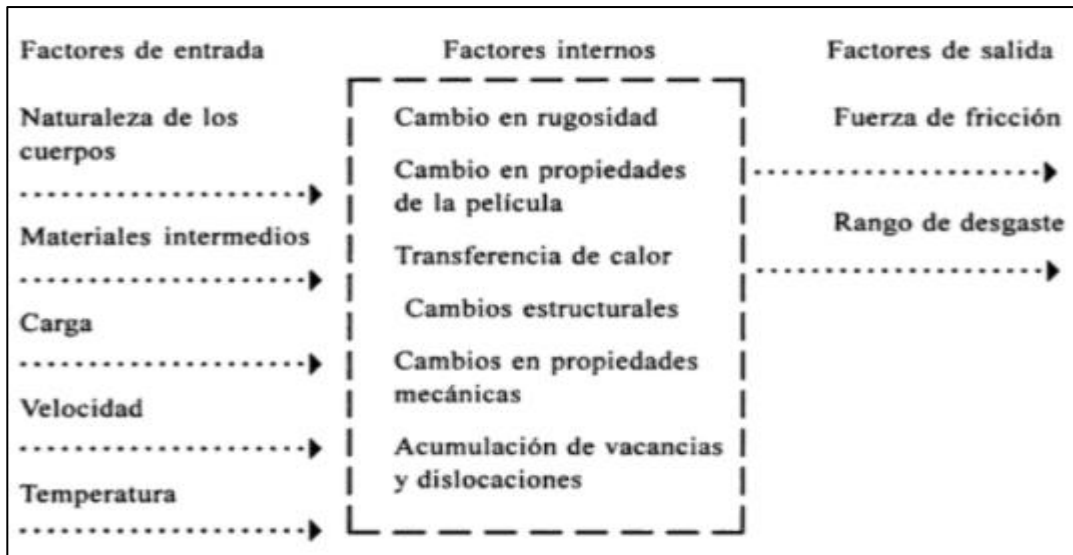
1.3.1. Fricción

La fricción es un factor estudiado por la tribología y es el que primordialmente se debe de controlar en las piezas en movimiento de las máquinas. Castillo y Toapanta (2019) definen la fricción como la acción y efecto de friccionar o rozar o lo que es lo mismo desplazar con una determinada fuerza un objeto sobre otro. El término “rozamiento” se define como la fuerza que se resiste al movimiento recíproco de dos cuerpos siempre que exista el movimiento o cuanto existan otras fuerzas que tiendan a producir movimiento.

En el año 1939 Kragelski elaboró la teoría mecánico-molecular, de acuerdo con la cual, la superficie de fricción presentaba una naturaleza dual, que es determinada por las fuerzas de atracción molecular entre las superficies y por la resistencia mecánica asociada con los cambios en el perfil, en la capa superficial. (Martínez, 2002)

Existen varios factores que afectan la fricción y aceleran el proceso de desgaste de los materiales, estos factores tienden a transformar las capas superficiales de los materiales. A continuación, se detallan los principales factores que afectan la fricción y el desgaste.

Tabla VII. Factores que afectan la fricción entre los sólidos



Fuente: Martínez, (2002). *Factores que afectan la fricción y el desgaste*.

1.3.2. Desgaste

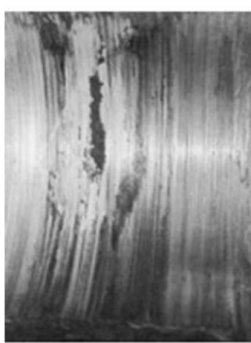
El desgaste es otro de los elementos o factores que estudia la tribología, según Castillo y Toapanta (2019) el desgaste es el proceso de destrucción y desprendimiento de material de las superficies de contacto, acumulación de deformaciones remanentes durante la fricción y acompañado de variaciones paulatinas de las dimensiones micro y macro geométricas de los cuerpos.

De acuerdo con Albarracín (2015) desgaste es pérdida de material entre dos superficies que se encuentran en movimiento relativo y que se manifiesta por su funcionamiento errático, siendo necesario en la mayoría de los casos sacar de servicio el equipo rotativo del cual hacen parte esencial y cambiarle las piezas defectuosa.

Existen varias formas en que los materiales pueden sufrir desgaste en sus superficies, depende de la dureza de los metales en contacto y del tipo de desprendimiento o adherencia del material en contacto. Entre los tipos de desgaste se pueden mencionar:

- Desgaste adhesivo, este tipo de desgaste no es más que la transferencia de partículas metálicas entre las superficies frotantes implicando una pérdida de peso y desgaste mayor para el material más blando.
- Desgaste abrasivo, es el efecto del limado que desarrolla la superficie dura sobre otra blanda, o bien las partículas más duras libres existentes entre ellas dos.
- Desgaste corrosivo, es producida por elementos nocivos que, en combinación con las superficies metálicas dan lugar a productos de reacción, que, aunque son posteriormente eliminados por el frotamiento reaccionan ocasionando pérdida de peso y material.
- Fatiga de las superficies metálicas, los efectos continuados de fricciones de rodadura y de deslizamiento bajo fuertes cargas y con deformaciones más o menos reversibles correspondiente, provocan la creación y preparación de fisuras microscópicas que dan lugar al picado de las superficies metálicas [rodamientos, engranajes que están sometidos a fuertes cargas]. (Losada y Rodríguez, 2008)

Figura 3. Tipos de desgaste

Tipos de desgaste			
Corrosivo	Abrasivo	Adhesivo	Fatiga
			

Fuente: [Fotografía de Ismael Mejía]. (Villa Nueva. 2020). Colección particular. Guatemala.

En la figura anterior se pueden visualizar los tipos de desgaste que con frecuencia se dan entre las piezas de diferentes componentes en los equipos industriales, maquinaria pesada y de aplicaciones agrícolas.

1.3.3. Lubricación

Es el tercer elemento de la tribología y es mediante ésta que se controla y se reduce la fricción, con lo cual también se reduce el desgaste y el impacto de este último en los costos de mantenimiento.

La lubricación consiste en aplicar un producto que permita reducir el coeficiente de fricción entre dos superficies de rozamiento. La lubricación de los equipos mecánicos representa una actividad fundamental en el mantenimiento industrial. Dependiendo de la importancia que se le dé, tendrá un impacto directo sobre la eficiencia de los equipos y los costos de producción, pues se logra

reducir los gastos por reparaciones, los paros innecesarios y, por tanto, incrementar la producción.

Los beneficios de la lubricación en las actividades de mantenimiento son significativos e impactan en los costos de producción y mantenimiento, lo cual asegura una rentabilidad considerable para el sector industrial donde se aplique con eficiencia.

Una buena lubricación permite asegurar un periodo largo de operación o de vida útil del equipo o maquinaria; sin embargo, aunque la lubricación es capaz de retardar el desgaste, no puede evitarlo en su totalidad. El desgaste sobreviene cuando el lubricante se contamina con partículas, ha envejecido o existen fallas en el sistema de lubricación. Existe una lubricación correcta en las siguientes circunstancias:

- Cuando se utiliza el lubricante apropiado
- Cuando se emplea la cantidad adecuada
- Cuando es aplicado en el momento preciso. (González *et al.*, 2017)

1.3.4. Factores para seleccionar un lubricante

En la selección del lubricante más adecuado se deberá tener en cuenta:

- El diseño del equipo
- Las condiciones de operación (velocidad, carga y temperatura)
- El tipo de cojinete (plano o antifricción)
- La temperatura de operación de la máquina
- El tipo de contaminantes que pueden estar en contacto con el lubricante
- La duración de la vida útil del lubricante

- El método de aplicación para una lubricación correcta

Considerando lo antes mencionado, la selección del lubricante más adecuado no es algo sencillo. Sin embargo, siempre que sea posible se deben considerar las recomendaciones de lubricación de los fabricantes de equipo, además de las tablas editadas por los proveedores de lubricantes especializados. (González *et al.*, 2017)

1.3.5. Normas relativas a los lubricantes

De acuerdo con Ordoñez (2012) la designación y aplicación de los lubricantes están normalizados por instituciones reconocidas a nivel mundial que se encargan de validar y dar soporte a las propiedades y cualidades de los lubricantes. Los aceites están graduados o clasificados por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), el Instituto Americano de Petróleo (API) o la Asociación de Constructores Europeos de Automóviles (ACEA).

- Normas API (American Petroleum Institute)
- Normas ACEA (Motor)
- Normas SAE

Las normas anteriores son para lubricantes de aplicación automotriz, para lubricantes industrial, las normas que rigen son las normas ISO. En la actualidad los lubricantes deben de cumplir con varios criterios de aceptación debido al constante crecimiento en la importancia del cuidado del medio ambiente y la utilización de los recursos renovables.

1.3.6. Refrigerante

Los motores de combustión interna de los equipos de automoción deben de operar a temperaturas relativamente altas, debido a las presiones de trabajo, la carga y velocidad a las que comúnmente son sometidos. Para mantener una temperatura de operación optima, los fabricantes de motores recomiendan la utilización de un líquido refrigerante que garantice la operación normal de los motores en diferentes rangos de temperatura, siempre que no se exceda de lo especificado.

El anticongelante es el compuesto que se añade al agua en el circuito de refrigeración para enfriar el motor durante su funcionamiento y ayudar así a la disipación del calor de la combustión. Desempeña un papel muy importante, tanto en verano como en invierno. Su función la realiza en el circuito que “refrigera” al motor, por esa razón se le llama también líquido refrigerante. La norma ASTM D 25770 es la encargada de regular las condiciones de los líquidos refrigerantes, teniendo en cuenta un pH no menor de 7.5 y una reserva de alcalinidad no menor de 5 ml.

Los refrigerantes normalmente están compuestos por agentes químicos que mejoran el punto de ebullición y el punto de congelamiento del agua.

Etilenoglicol. Tras el metanol, se empezó a utilizar etilenoglicol (desde 1937). Gracias a su elevado punto de ebullición, este no se disipaba a temperaturas altas, presentando mejorías en el sistema de refrigeración tanto en frío como en caliente. Su ventaja frente al metanol hizo que se le empezara a conocer como el “anticongelante permanente”. (Ordóñez, 2012)

1.4. Mantenimiento cero horas

Según la definición que proporciona García (2003) el mantenimiento *hard time* es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente, de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a *cero horas* de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo.

En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad, un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.

El mantenimiento cero horas o *hard time* posee algunas ventajas en relación con otros tipos de mantenimiento, las cuales son:

La posibilidad de programar las revisiones para cuando menos impacto tenga en la producción y la posibilidad de preparar el trabajo y el aprovisionamiento de materiales. Estas ventajas se traducen en un aumento de la disponibilidad al poder realizar las revisiones fuera del tiempo destinado a producir, una plantilla de mantenimiento más optimizada al conocer de antemano la carga de trabajo y una reducción del valor de los *stocks* de almacén al poder aprovisionar justo antes de las revisiones. (Navarro, Pastor, y Mugaburu, 2009)

El mantenimiento cero horas es el que se lleva a cabo en un periodo de funcionamiento determinado de un equipo, con la finalidad de reemplazar piezas sometidas a desgaste y evitar que fallen durante el proceso productivo. El objetivo primordial es mejorar la disponibilidad y garantizar la vida útil de la maquinaria.

1.5. Gestión del mantenimiento

La gestión del mantenimiento abarca las actividades relacionadas en el control y ejecución de las tareas de mantenimiento, según Rodríguez, (2012) es el proceso de planificación, organización, ejecución e intervención en las tareas relacionadas con el mantenimiento, buscando la forma de retroalimentar el ciclo para en la medida de lo posible mejorar la gestión, logrando un alto índice de calidad de los productos o servicios y una mayor disponibilidad de los activos físicos.

Existen diferentes métodos para la gestión del mantenimiento, sin embargo, el objetivo primordial de todos es garantizar la disponibilidad de los equipos dentro de una industria determinada. El objetivo básico de cualquier gestión de mantenimiento consiste en incrementar la disponibilidad de los activos, a bajos costos, permitiendo que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional. (Ortiz, Rodríguez y Izquierdo, 2013)

Hoy en día la gestión del mantenimiento tiene gran relevancia en la mantenibilidad de los equipos. El mantenimiento con una administración eficaz ayuda a garantizar la disponibilidad y vida útil de los equipos, disminuyendo los costos por intervenciones y por ende un incremento en la rentabilidad que generan los activos.

1.5.1. Planeación del mantenimiento

La planeación en el contexto del mantenimiento se refiere al proceso mediante el cual se determinan y preparan todos los elementos requeridos para efectuar una tarea antes de iniciar el trabajo. El proceso de planeación comprende todas las funciones relacionadas con la preparación de la orden de trabajo, la lista de materiales, la requisición de compras, los planos y dibujos necesarios, la hoja de planeación de la mano de obra, los estándares de tiempo y todos los datos necesarios antes de programar y liberar la orden de trabajo. (Duffuaa, Raouf, y Campbell, 2007)

En la planificación del mantenimiento definimos la ruta para el cumplimiento de las tareas, así como la identificación y determinación de los recursos que se utilizarán para realizar las actividades de intervención.

Una vez fijado el punto de partida y el de destino, debemos gestionar los recursos disponibles para alcanzar los objetivos. Los recursos de la empresa son numerosos pero los de mantenimiento los podríamos simplificar en dos: la mano de obra y los recambios. (Navarro *et al.*, 2009)

1.5.2. Programación del mantenimiento

La programación del mantenimiento es el proceso mediante el cual se acoplan los trabajos con los recursos y se le asigna una secuencia para ser ejecutadas en ciertos puntos del tiempo. Un programa confiable debe tomar en consideración lo siguiente:

- Una clasificación de prioridades de trabajos que refleje la urgencia y el grado crítico del trabajo.

- Si todos los materiales necesarios para la orden de trabajo están en la planta (si no, la orden de trabajo no debe de programarse).
- El programa maestro de producción y estrecha coordinación con la función de operaciones.
- Estimaciones realistas y lo que probablemente sucederá, y no lo que el programador desea.

Flexibilidad en el programa [el programador debe de entender que se necesita flexibilidad, especialmente en el mantenimiento; el programa se realiza y se actualiza con frecuencia]. (Duffuaa *et al.*, 2007)

1.5.2.1. Orden de trabajo

La orden de trabajo es una forma en donde se detallan las instrucciones escritas para el trabajo que se va a realizar y debe ser llenada para todos los trabajos. La orden de trabajo, cuando se emplean en toda su extensión puede ser utilizada como una forma de solicitud de trabajo, un documento de planeación, una gráfica de asignación de trabajos, un registro histórico, una herramienta para monitoreo y control, y una notificación de trabajo completado. (Duffuaa *et al.*, 2007)

La gestión de las ordenes de trabajo requiere de un procedimiento que permita la inmediata apertura, cierre y consulta del estado de estas, deberá mostrar toda la información relacionada con el mantenimiento o reparación que se realiza y puede servir de base para futuras intervenciones de mantenimiento.

Sistema de órdenes de trabajo de mantenimiento, el primer paso en la planeación y control del trabajo de mantenimiento se realiza mediante un sistema eficaz de órdenes de trabajo. El propósito del sistema de órdenes de trabajo es proporcionar medios para:

- Solicitar por escrito el trabajo que va a realizar el departamento de mantenimiento.
- Seleccionar por operación el trabajo solicitado.
- Asignar el mejor método y los trabajadores más calificados para el trabajo.
- Reducir el costo mediante una utilización eficaz de los recursos (mano de obra, material).
- Mejorar la planeación y la programación del trabajo de mantenimiento.
- Mantener y controlar el trabajo de mantenimiento.
- Mejorar el mantenimiento en general mediante los datos recopilados de la orden de trabajo que serán utilizados para el control y programas de mejora continua. (Duffuaa *et al.*, 2007)

1.5.2.2. Repuestos

Los repuestos son todos aquellos insumos necesarios para la solución de fallas o reparaciones de equipos, según algunos autores estos difieren de acuerdo con clasificaciones como su función o utilidad dentro de la máquina y las necesidades de almacenamiento dentro de la organización.

Según García (2003) los repuestos se clasifican según trabajo dentro del equipo, en seis categorías:

- Piezas sometidas a desgaste. A este grupo pertenecen aquellos elementos que unen piezas fijas y móviles, o aquellas partes en contacto

con fluidos, como cojinetes, casquillos, retenes, juntas. Son piezas sometidas a desgaste y abrasión. En este grupo también podemos incluir, juntas, retenes, rodetes y tuberías sujetas a fatiga, corrosión y cavitación.

- Consumibles. Son aquellos elementos de duración inferior a un año (8.000 horas de uso), con una vida fácilmente predecible, de bajo coste, que generalmente se sustituyen sin esperar a que den síntomas de mal estado. Su fallo y desatención pueden provocar graves averías.
- Elementos de regulación y mando mecánicos. Son aquellos elementos cuya misión es controlar los procesos y el funcionamiento de la instalación: válvulas, muelles, cigüeñales, entre otros. Son elementos que a pesar de no estar sometidos a condiciones desfavorables de funcionamiento tienen una importancia de capital dentro del equipo. Su fallo frecuente es por fatiga.
- Piezas móviles. Son aquellas destinadas a transmitir movimiento. Son engranajes, ejes, correas, cadenas, reductores, entre otros. Su fallo habitual es por fatiga.
- Componentes electrónicos (instrumentación). A pesar de su altísima fiabilidad, un problema en ellos suele suponer una parada del equipo. Su fallo habitual es por calentamiento, cortocircuito o sobretensión, y generalmente se producen al someter al equipo en unas condiciones de trabajo diferentes para las que fueron diseñados.
- Piezas estructurales. Difícilmente fallan, al estar trabajando en condiciones muy por debajo de sus capacidades. Son bastidores, soportes, basamentos, entre otros. (García, 2003)

1.5.2.3. Mano de obra

La cantidad de trabajo del recurso humano invertido para la fabricación y mantenimiento de cualquier activo, comúnmente se le llama mano de obra, en mantenimiento suele denominarse horas hombre. Puede ser mano de obra directa invertida en las actividades de mantenimiento o bien mano de obra indirecta, tal como las actividades complementarias a las actividades de mantenimiento (supervisión y administración).

En los años sesenta y setenta, por cada dólar gastado en mano de obra de mantenimiento las empresas gastaban dos dólares en materiales y repuestos. La situación, hoy en día, es claramente opuesta: por cada euro gastado en repuesto los departamentos de mantenimiento gastan dos euros de mano de obra.

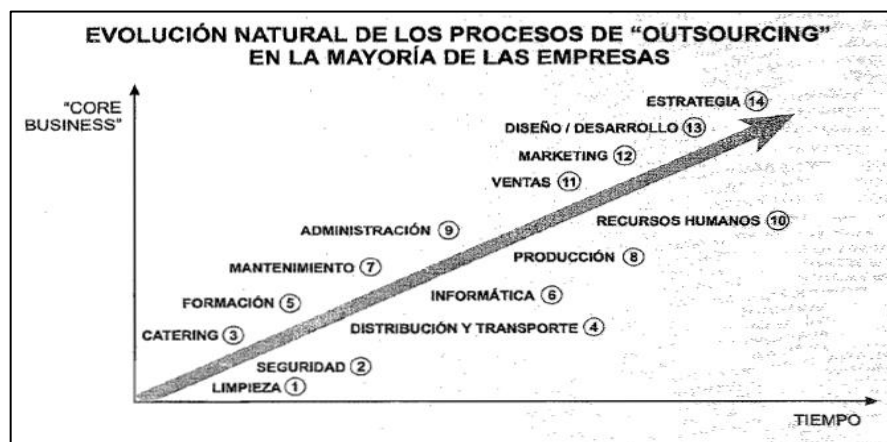
Conviene entonces preocuparse por la mano de obra. Si queremos optimizar (y optimizar significa generalmente gastar menos para hacer lo mismo o más), los recursos humanos son ahora la pieza más importante, al punto que debemos dirigir nuestras miradas buscando ese ahorro que haga a la empresa ser más competitiva. (García, 2003)

1.5.2.4. Externalización (servicios)

La externalización u *outsourcing*, actualmente es una estrategia de operación de muchas organizaciones que les permite dedicarse solamente a su actividad principal, para otras empresas, la externalización es una necesidad de adquirir un servicio de mantenimiento o reparación de algún activo para el cual la organización no tiene la experiencia ni la tecnología para realizar un trabajo de calidad.

En el mundo actual, en el que la competitividad de las empresas es un objetivo común en todos los sectores, la mejora de los costes y resultados en los que tiene una enorme participación el mantenimiento es una línea de trabajo comúnmente aceptada. Una de las estrategias claras para mejorar la eficiencia de nuestro mantenimiento, entendiendo como tal los resultados técnicos y los costes en los que incurrimos para conseguirlos, es la contratación externa de toda una parte de nuestra actividad. (González, 2005)

Figura 4. **Evolución del outsourcing en la mayoría de las empresas**



Fuente: González, (2005). *Evolución del outsourcing*.

1.5.2.5. Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt es un programa de gestión indispensable para la elaboración y control de proyectos. Esta herramienta permite representar de forma gráfica los avances del proyecto y con ello corregir desviaciones y/o pronosticar las fechas de entrega de los proyectos que desarrolle cualquier organización.

Los diagramas de Gantt son representaciones graficas (mediante barras) de la duración de dichas actividades y de la dependencia entre unas y otras. La realización de diagramas de Gantt se basa en pasos muy racionales: primero identificamos las actividades principales (revisiones, reformas, entre otros), con sus duraciones estimadas según tiempos preasignados a rutas u órdenes (bien simples como CPM o bien corregidas según probabilidades como PERT) y fechas de comienzo.

Posteriormente identificamos todas y cada una de las actividades secundarias o desagregadas en que se descomponen las principales.

Estas se encadenan entre sí y, a su vez, con las actividades secundarias de otras actuaciones. El resultado más normal es que el plazo final que surja del conjunto de encadenamiento exceda del plazo máximo previsto para finalizar la revisión. Es necesario entonces que el planificador de mantenimiento “fuerce” actividades, bien haciéndolas iniciar antes o minimizando la duración mediante mayor participación de recursos. (González, 2005)

1.5.3. Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento

En esta etapa se comparan los resultados obtenidos con las metas y objetivos fijados durante la planeación del mantenimiento, es importante medir y controlar todos los estándares medibles, tales como, mano de obra, repuestos y servicios que se utilicen para ejecutar el mantenimiento.

Navarro *et al.*, (2009) sugieren que el control de los resultados se realizará en comparación a un modelo prefijado. Cuando más concreto, especificado y simple sea éste, más fácil será determinar el grado de cumplimiento de los objetivos. Las desviaciones entre el modelo prefijado y los resultados deben

corregirse actuando sobre la planificación y la ejecución, así como en los recursos.

1.5.3.1. Información e indicadores de la gestión del mantenimiento

Para una ejecución adecuada del mantenimiento es primordial contar con la información pertinente para la evaluación de los resultados obtenidos, esta información debe de proporcionar los indicios necesarios para una toma de decisiones eficiente en las actividades de mantenimiento y producción en una industria.

Para cada tipo empresa y para cada situación conviene desarrollar los indicadores propios que analicen el alcance de los objetivos fijados. En ocasiones, el exceso de información o sus defectos de presentación puede ocasionar confusiones en la valoración de los resultados. Es más práctico tomar sólo unos pocos parámetros importantes y profundizar en los que se desvíen de lo esperado. Podemos hacer una diferencia entre el control y los datos necesarios para la Dirección de mantenimiento y los necesarios para la gestión operativos. (Navarro *et al.*, 2009)

1.5.4. Indicadores de mantenimiento

Para la mejora continua, evaluación y control de proyectos de mantenimiento es importante fijar parámetros o indicadores para una gestión eficiente de los resultados y para la toma de decisiones correctas de retroalimentación de las actividades.

Los indicadores servirán para que el responsable del mantenimiento sepa si existe algún problema en la gestión. La organización que se tenga para la gestión del mantenimiento servirá para que se pueda reaccionar rápida y eficientemente, así como para tener los datos e información de manera oportuna. Los valores de los indicadores deberán ser establecidos de acuerdo con la realidad de cada operación y empresa. (Zegarra, 2016)

Un indicador se define como “la relación entre las variables cuantitativas o cualitativas, que permite observar la situación y las tendencias de cambio generadas en el objeto o fenómeno observado, respecto de objetivos y metas previos e influencias esperadas” (Beltrán, 2000, p.35). Los indicadores permiten conocer si se están cumpliendo la misión, objetivos y metas, y esto conforma la filosofía de gestión de las organizaciones, por ello, los indicadores permiten evaluar la gestión (Zambrano, Prieto, y Castillo, 2015).

1.5.4.1. Mantenibilidad de activos

Esta es la rapidez con la cual las fallas o el funcionamiento defectuoso en las máquinas son diagnosticados y corregidos, o el mantenimiento programado se ejecuta con éxito. Durante el diseño, debe procurarse que la máquina cuente, en lo posible, con lo siguiente:

- Las partes y componentes deben ser estandarizados para permitir su minimización e intercambio en forma sencilla y rápida.
- La herramienta necesaria para intervenir la máquina debe ser, en lo posible, común y no especializada, en caso contrario surgiría la necesidad de tener una gran cantidad de herramienta, con los consiguientes problemas complicados de mano de obra y control.

- Los conectores que unen a los diferentes subsistemas deben estar hechos de tal modo que no puedan intercambiarse por error.
- Las labores de operación y conservación pueden ejecutarse sin poner en peligro a las personas, a la máquina o a otros recursos cuyo funcionamiento dependa del primero. (Dounce, 2014)
- La máquina debe tener soportes, asas, apoyos y sujetadores que permitan mover sus partes con facilidad y apoyarlas sin peligro mientras se interviene.
- La máquina debe poseer ayudas de diagnóstico o elementos de autodiagnóstico que permitan una rápida identificación de la causa de la falla.
- La máquina debe contar con un sistema adecuado de identificación de puntos de prueba y componentes que sean fácilmente vistos e interpretados. (Dounce, 2014)

1.5.4.2. Disponibilidad de activos

En relación con la gestión de activos y al mantenimiento de los mismos, es importante la calidad y la eficiencia con que se realizan ambas actividades, es decir la calidad y el costo de la ejecución. En cuanto a nivel de servicio, el indicador más importante de dicho nivel es la *disponibilidad*, entendida esta como la proporción del tiempo en que el equipo está en condiciones de producir. Los indicadores MTBF (*Mid Time Between Failure*, tiempo medio entre fallos), MTTR (*Mid Time To Repair*, tiempo medio de reparación), están relacionadas con ella. (García, 2003)

La disponibilidad de un activo es el tiempo que se supone que esté a disposición de la empresa para cumplir una tarea o función específica. Puede determinarse a través de indicadores de mantenimiento que determinan el tiempo

de ocurrencia de las fallas y el tiempo en que se incurre para la corrección de estas.

1.6. Activos

Los activos de una organización son todos aquellos bienes que se utilizan para la elaboración, transformación y almacenamiento de materia prima, productos en proceso y productos terminados. Estos activos son conocidos en la industria como activos fijos y estos son considerados inversiones en equipamiento para la operación de una organización. Las inversiones en activos fijos son todas aquellas que se realizan en los bienes tangibles que se utilizarán en el proceso de transformación de los insumos o que sirvan de apoyo a la operación normal del proyecto. (Sapag, 2008)

Los activos son todos aquellos equipos, maquinas, construcciones e instalaciones que una empresa posee para la conversión de la materia prima o bien para la prestación de servicios, con el objetivo de generar beneficios económicos a los inversionistas o propietarios. Los activos generalmente poseen un tiempo de vida estimada en cual se presume estarán en condiciones de realizar las funciones para las cuales se diseñó y fabricó.

1.6.1. Vida útil de activos

El tiempo útil de un activo, se plantea como la vida estimada de operación o duración del mismo, se debe de tomar en cuenta que la vida de un activo tiene una etapa de asentamiento, es decir cuando el activo inicia operación es común que presente fallas durante esta etapa, después de esta etapa inicia su operación normal presentando fallas o desgaste en sus componentes mientras avanza en el tiempo, posteriormente en la última etapa de su vida útil, el activo está más

propenso a presentar fallas recurrentes principalmente por fatiga de sus componentes.

La vida útil de cada activo se puede determinarse en función de cuatro criterios básicos: la vida útil contable (plazo a depreciar), la técnica (número de horas de uso, por ejemplo), la comercial (por imagen corporativa) y la económica que define el momento óptimo para hacer el reemplazo. (Sapag Chain, 2008, p.269)

La determinación del tiempo esperado de vida del equipo o proyecto es una decisión económica para tomar analizando cada caso en particular y dependerá tanto de la rapidez que el propietario desea de recuperación de su inversión como de las condiciones del mercado. (Zegarra, 2016, p.27)

La vida útil que se estima que tendrá un bien, se determina por medio de boletines especializados, consulta de proveedores y de la experiencia directa del perito evaluador y de la empresa. Desde el punto de vista financiero, la vida útil total es el periodo en que un bien es económicamente productivo. (Romero, 2010)

1.6.2. Vida útil consumida

La vida útil consumida de un equipo es el tiempo de operación en horas o bien en años que tiene un activo con respecto a su tiempo de vida útil total. Es decir, un equipo nuevo tiene 100 % de su vida útil remante, mientras avanza el tiempo en uso de la máquina el valor restante del porcentaje mencionado es el tiempo de vida útil consumida que tendrá el equipo.

La vida consumida se determina tomando en cuenta la información de acuerdo con la investigación que el evaluador de maquinaria y equipo

realice la inspección física, para conocer realmente el tiempo de vida consumida en términos económicos y de producción. (Romero, 2010, p.40)

1.6.3. Vida útil remanente

La vida útil remanente o restante, es la vida útil que probablemente tendrá un equipo posterior a cierto tiempo de operación. Es decir, la edad restante del equipo con respecto a su edad actual y su tiempo de vida útil total.

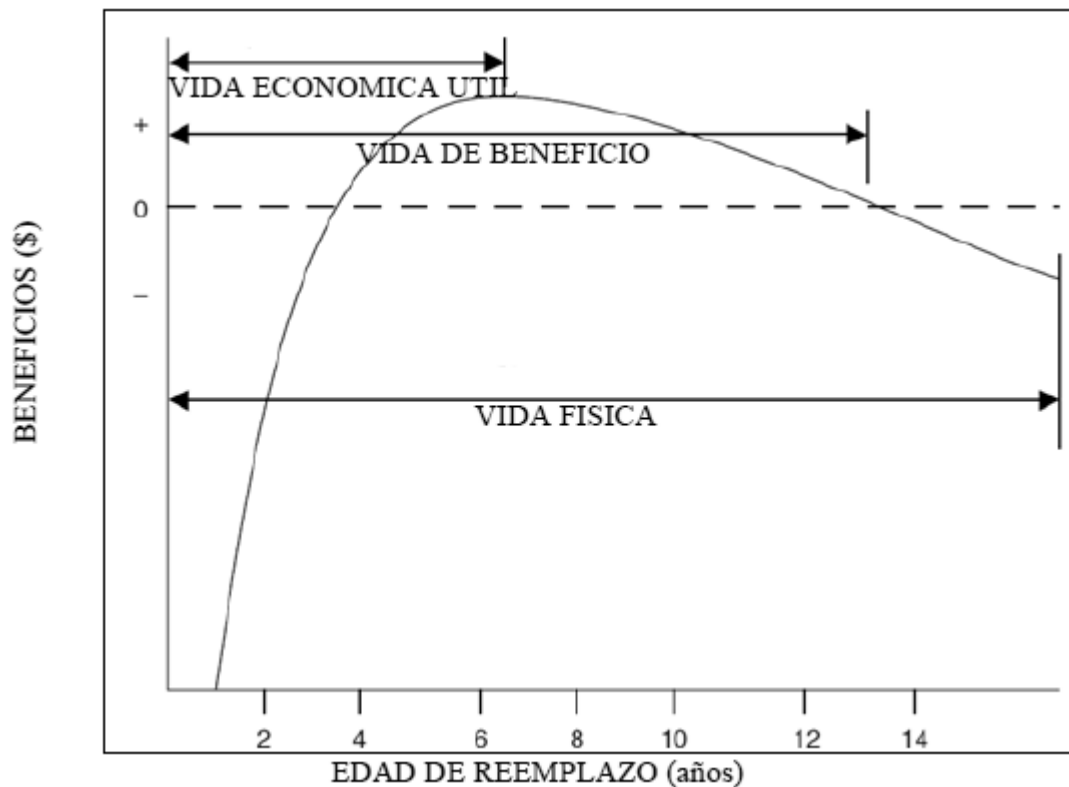
Según Romero (2010): “La vida útil remanente se entiende como la vida útil probable que se estima tendrán los bienes en el futuro, dentro de los límites de eficiencia productiva y económica, para la empresa en cuestión” (p.40).

1.6.4. Vida útil económica

La vida útil económica se enfoca en las ganancias que genera la maquinaria en toda su vida útil, ya que así podemos decidir cuándo sustituirla, se puede decir que la vida económica útil es más corta que la vida física y termina cuando el beneficio alcanza su punto más alto, para saber exactamente cuándo cambiar la maquinaria se toma en cuenta el costo de posesión y el costo de operación además de los gastos asociados ellos. (Pilay, 2018)

Se puede deducir que la vida económica es el tiempo económicamente rentable de la maquinaria, es decir, con poca inversión en mantenimiento por fallas y el valor de alquiler y de operación es relativamente bajo. La vida física útil es la edad promedio que debería de durar un equipo pesado de movimiento de tierras o bien de minería, algunos propietarios, investigadores e incluso algunos fabricantes estiman la vida física útil de estos equipos en 15 años.

Figura 5. Vida útil de maquinaria pesada



Fuente: Pilay, (2018). *Gráfica vida útil*.

1.6.5. Gestión de activos

La gestión apropiada de los activos de las organizaciones permite que las mismas sean más rentables con respecto a sus principales competidores.

Mitchel *et al.*, (2006) definen la gestión de activos como: un programa estratégico amplio, completamente integrado y dirigido a conseguir de forma segura y sostenible la mayor duración, utilización, productividad, eficacia, valor, rentabilidad y retorno (ROA) de activos físicos de fabricación, producción e infraestructura.

Hasting (2010) define la gestión de activos como un conjunto actividades realizadas para conseguir los objetivos del negocio u organización y asociadas con la identificación de los activos necesarios, la identificación de las necesidades de financiación, la adquisición de activos, el suministro de sistemas de apoyo logístico y mantenimiento de los activos, y la eliminación o renovación de activos, siempre con el fin de satisfacer con eficacia y eficiencia los objetivos deseados. (Sola y Crespo, 2016)

La gestión de activos son todas las actividades involucradas en obtener la máxima rentabilidad operativa de los activos de una empresa, a través de técnicas de mantenimiento y apalancamiento financiero; para inversiones de carácter estratégico en la administración de la maquinaria en una industria determinada. La gestión de activos está directamente vinculada con la planeación estratégica de la empresa, su finalidad es el alcance de los objetivos organizacionales a mediano y largo plazo.

1.6.5.1. Reemplazo de activos

La necesidad o conveniencia de efectuar un reemplazo se origina por cuatro razones básicas: a) capacidad insuficiente de los equipos actuales, b) aumento de costos de mantenimiento y reparación por antigüedad de la maquinaria, c) disminución de la productividad por aumento en las horas de detención para enfrentar periodos crecientes de reparación o mantenimiento, y d) obsolescencia comparativa de la tecnología. (Sapag Chain, 2008)

El reemplazo de una máquina se debe de programar al tomar en cuenta las horas de operación del equipo, así como el estado de condición o de operación en que se encuentra, un equipo puede tener varios años de antigüedad, pero si se le ha brindado un mantenimiento de altura, el equipo puede

operar o seguir operando por mucho tiempo y solamente tendrá como inconveniente la obsolescencia, sin embargo, también se puede realizar actualización por medio de automatización y con ello mejorar su rendimiento.

1.6.5.2. Valor neto de reposición (VNR)

De acuerdo con Romero (2010), “es la cantidad estimada en términos monetarios, a partir del valor de reposición nuevo, disminuyendo los deméritos debidos al deterioro físico y a la obsolescencia funcional y económica de cada bien evaluado” (p.64). Es decir, el valor que posee un equipo en el momento en cual es evaluado, tomando en cuenta su estado de condición. Para establecer este valor es necesario calcular el factor de depreciación que determine con mayor exactitud la condición económica del activo.

1.6.5.3. Factor de depreciación

Es el porcentaje de pérdida de valor de un bien como resultado del desgaste a través del tiempo y la utilización de este.

La depreciación inmobiliaria, corresponde a la pérdida de un porcentaje del valor de un bien, esto a causa del paso del tiempo, el estado de conservación y la obsolescencia. Para el cálculo de este valor se crearon diversos métodos aplicables en el campo inmobiliario. De estos métodos el más utilizado corresponde al de Ross Heidecke; este método depende de dos factores fundamentales que son, la edad del bien y el estado de conservación. (Artavia, 2012.p.2)

1.6.5.4. Método Ross Heidecke

El criterio de Ross Heidecke es un método que determina un valor en porcentaje de depreciación que sufren los bienes por el paso del tiempo, tomando en cuenta su conservación y mantenimiento.

En el momento de contemplar un mantenimiento inadecuado, Heidecke contempla que la pérdida de valor ya existente no se puede recobrar invirtiendo en gastos de mantenimiento y la recomendación que hace es aumentar el valor de la depreciación, según los porcentajes que en su método plantea. Algunas de las premisas de este método son:

- Las reparaciones realizadas a los bienes solo aumentan su durabilidad.
- Si un bien es mantenido regular y adecuadamente su depreciación es menor y regular. (Artavia, 2012.p.24)

Tabla VIII. **Criterio Ross-Heidecke**

$$FD = [1 - (E / VT)^{1.40}] C$$

Donde:

FD Factor de depreciación

E Edad

VT Vida útil total

C Calificación

Tabla de calificación del estado de conservación

Calificación	Factor (C)	Estado de conservación
10	1.000	Nuevo
9	0.990	Bueno
8	0.975	Regular
7	0.920	Regular-medio
6	0.820	Reparaciones sencillas
5	0.550	Reparaciones medias
4	0.470	Reparaciones importantes
3	0.250	Reparaciones complejas
2	0.135	En desecho

Fuente: Mijares (2006). *Factores de depreciación por estado de conservación y edad.*

En la figura anterior se muestra la ecuación y las variables que se utilizan para el cálculo del factor de depreciación por el método expuesto. El valor de calificación que se designa a un bien depende del estado de conservación y de las necesidades de mantenimiento que requiere.

El valor del factor obtenido se multiplica por el costo inicial del bien evaluado obteniendo como resultado el valor neto de reposición, es decir el valor a la fecha de la valoración del activo, tomando en cuenta su edad y estado de condición.

1.7. Maquinaria pesada

Se entiende por maquinaria pesada todos aquellos equipos que necesitan de un operador para poder movilizarse y realizar la labor para la que fueron diseñados. Estos equipos normalmente necesitan de otro medio de transporte para poder llegar al sitio o lugar de trabajo, debido a sus características de fabricación no pueden circular por ellos mismos en las carretas de transporte público.

Generalmente, la diferenciación entre maquinaria y herramienta se efectúe según se precise, o no, un conductor de esta. Se considera maquinaria aquella que precisa un conductor (una excavadora, un camión grúa, etc.) y herramienta aquella que no lo precisa (un martillo picador, un vibradora, etc.). Habitualmente, el tiempo de utilización de la maquinaria se cuenta en horas (h excavadoras, h camión grúa, etc.), mientras que el tiempo de utilización de la herramienta se cuenta en días [días martillo picador, días vibrador, entre otros]. (Boquera, 2015)

Se considera maquinaria pesada a aquellos activos que están diseñados para operar fuera de carretera y que necesitan del recurso humano para realizar la función por la cual se fabricaron. Existe diversidad de quipos pesados, entre los cuales podemos mencionar: equipos de movimientos de tierras, maquinaria para minería a cielo abierto, equipos de minería subterránea, pavimentadoras hidráulicas, entre otros. Esta maquinaria está conformada por excavadoras hidráulicas de cadenas o neumáticos sólidos, tractores de orugas, camiones articulados, camiones rígidos, perforadoras, pavimentadoras de concreto hidráulico, por mencionar algunos.

1.7.1. Tipos de maquinaria pesada

La norma ISO 6165 (2012), brinda los términos y definiciones y una estructura de identificación para clasificar la maquinaria de movimiento de tierras diseñadas para ejecutar las siguientes operaciones:

- Excavación
- Carga
- Transporte
- Perforación, esparcimiento, compactación o zanjeo de tierra, roca y otros materiales durante el trabajo, por ejemplo, en carreteras y presas, en canteras y minas, y en sitios de construcción.

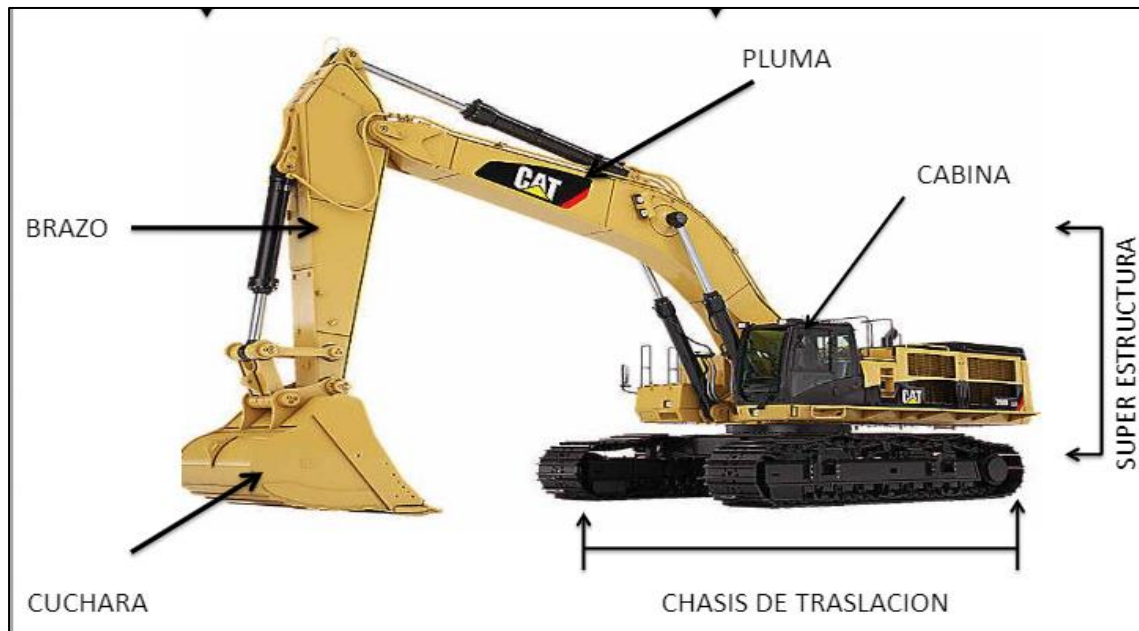
1.7.1.1. Excavadora hidráulica

Maquinaria pesada de gran versatilidad y rendimiento por tonelada métrica producida en condiciones óptimas de operación. Posee un sistema de tren de potencia que está compuesto por el motor de combustión, mandos finales; un sistema hidráulico complejo, formado por bombas hidráulicas y motores hidrostáticos; su principal herramienta o implemento es el cucharón o balde.

Las excavadoras hidráulicas están constituidas principalmente por una estructura superior que es la parte en donde se encuentran instalados el motor de combustión, los componentes hidráulicos principales, la cabina del operador y los implementos principales como; boom (pluma) *stick* (brazo) y *bucket* (balde o cucharón). Una estructura inferior que es la encargada de soportar la estructura superior con todo lo antes mencionado, además en ella van instalados los componentes principales del sistema de rodaje, que es el encargado de brindar el desplazamiento de la máquina.

La excavadora hidráulica modelo 336D de la marca Caterpillar es un equipo que promete un mejor rendimiento y versatilidad, con un motor de combustión interna a diésel de la familia C9 con tecnología ACERT y potencia de 200 kW (268 Hp), con una capacidad por orden de trabajo o peso de 33 750 kg [34 toneladas métricas aproximadamente]. (Caterpillar, 2008)

Figura 6. **Excavadora hidráulica Caterpillar**



Fuente: Caterpillar, (2008). *Partes de una excavadora hidráulica.*

1.7.2. Sistema de tren de potencia hidrostático

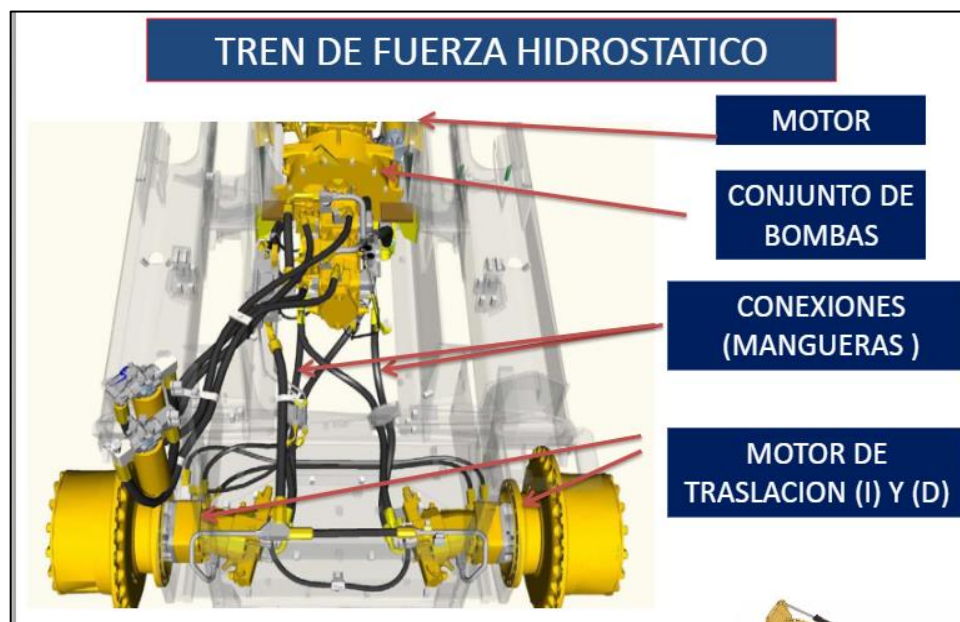
Maquinarias Pesadas (2020) menciona que:

En los mandos hidrostáticos se usa fluido para transmitir la potencia del motor al mando final de la máquina. La potencia del motor se transfiere a una bomba hidráulica. La bomba hidráulica suministra el flujo de aceite a un motor de

impulsión o hidrostático, este motor transfiere la potencia a la transmisión o directamente al mando final.

El objetivo de este sistema es transmitir la potencia que genera el motor de combustión interna hacia las ruedas motrices o de tracción y de esta manera permitir que la máquina se mueva sobre el suelo. En el caso de una excavadora hidráulica la transmisión de la potencia del motor de combustión debe de llegar hasta el tren de rodaje que permite el desplazamiento de la máquina.

Figura 7. **Sistema de tren de potencia hidrostático**



Fuente: Maquinarias Pesadas, (2020). *Elementos del tren de potencia.*

1.7.2.1. Motor de combustión interna

En un motor endotérmico se realiza una combustión interna en el propio mecanismo, con lo que se transforma la energía química de un combustible en calor. Mediante un ciclo termodinámico posterior se transforma este calor en trabajo mecánico. A partir de aquí, un generador eléctrico accionado por el motor térmico transformaría este trabajo mecánico en un flujo eléctrico. (Carreras, Álvarez, y Callejón, 2015, p.34)

El motor de combustión interna está compuesto por varios sistemas tales como; sistema de enfriamiento, sistema de lubricación, sistema de combustible, sistema de admisión y escape, dichos sistemas trabajan de forma sinérgica para la correcta operación y rendimiento del motor de combustión, este puede ser de gasolina, diésel o gas natural.

El motor Caterpillar C9 con tecnología ACERT™ introduce una serie de mejoramientos evolutivos y progresivos que ofrecen tecnología de motor innovadora. Los componentes básicos de la tecnología ACERT son el suministro de combustible, la administración de aire y el control electrónico. La tecnología ACERT optimiza el rendimiento del motor al mismo tiempo que cumple las normas locales sobre emisiones de motores para aplicaciones fuera de carretera. Al combinar la Tecnología ACERT con la nueva modalidad económica, los clientes pueden equilibrar las exigencias del rendimiento y el ahorro del combustible conforme a sus requisitos y aplicaciones. (Caterpillar, 2008)

Actualmente la marca Caterpillar ha estandarizado la fabricación de sus motores de combustión interna, a la familia “C”, la excavadora Caterpillar modelo 336D, posee un potente motor de esta familia.

Figura 8. **Motor de combustión interna C9 ACERT™ Caterpillar**



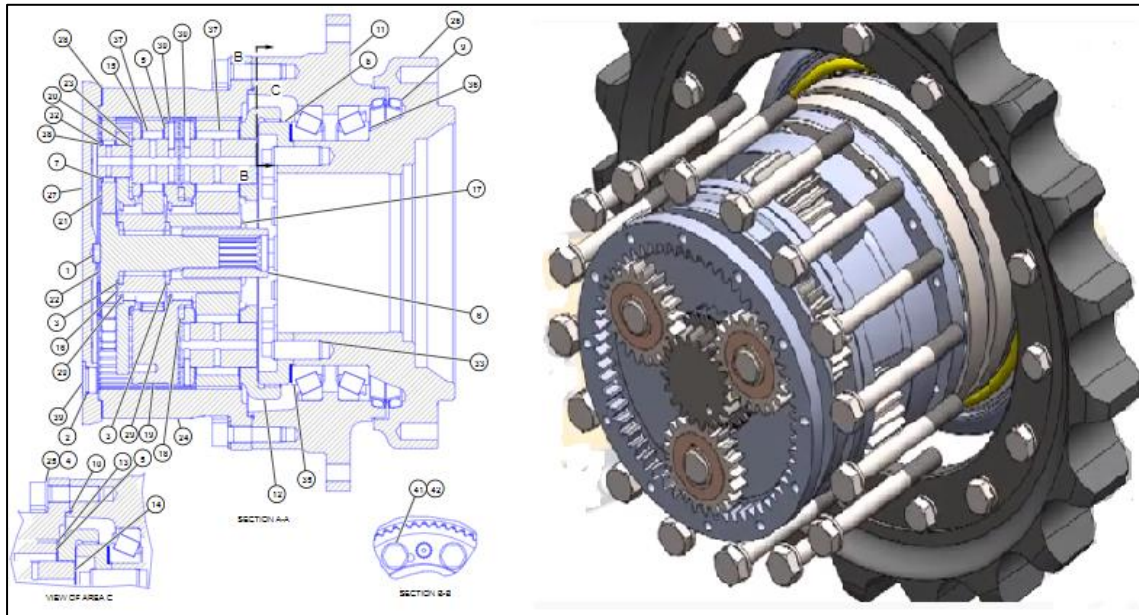
Fuente: Caterpillar, (2008). *Motor C9 ACERT Caterpillar*.

1.7.2.2. Mandos finales

Los mandos finales están instalados en la estructura inferior de una excavadora hidráulica y transmiten la potencia de los motores hidrostáticos hacia las cadenas de tracción. El grupo planetario o mando final, proporciona la última reducción de velocidad y aumento de torque en la rueda motriz o rodaje de la máquina. (Maquinarias Pesadas, 2020)

Es el último componente que forma parte del sistema de tren de potencia hidrostático y que su finalidad es transmitir la velocidad reducida hacia el suelo, con ello lograr el mayor torque posible y la potencia de tracción de la máquina. Esto se consigue mediante una serie de engranajes que reducen la velocidad y aumentan el torque al rango requerido por el fabricante del equipo pesado.

Figura 9. **Mando final de excavadora hidráulica**



Fuente: Caterpillar Inc., (2020). *Mando final Caterpillar*.

1.7.3. Sistema hidráulico

El sistema hidráulico es un conjunto de componentes o elementos de este que trabajan de manera sinérgica para convertir la energía hidráulica producida por una bomba hidráulica (mediante una fuente de poder; motor de combustión interna, motor eléctrico) en energía mecánica para accionar o controlar un subsistema o bien un elemento propio del mismo sistema.

Una excavadora hidráulica es accionada y controlada por los siguientes sistemas:

- El sistema hidráulico principal controla los cilindros hidráulicos, los motores de traslación y el motor de giro de la estructura superior.

- El sistema hidráulico piloto suministra aceite a las bombas principales, la válvula de control principal, al freno del motor de giro y a los motores de traslación.
- El sistema de control electrónico controla las salidas de potencia (flujo hidráulico y RPM) del motor de combustión y las bombas.
- El sistema de enfriamiento del aceite hidráulico provee aceite al motor hidráulico del ventilador para enfriar el fluido hidráulico.

El sistema hidráulico principal entrega flujo de aceite desde las bombas hidráulicas para controlar los siguientes componentes:

- Cilindro del *bucket*
- Cilindro del *stick*
- Cilindros del *boom*
- Motores de traslación [derecho e izquierdo]. (Caterpillar Inc., 2020)

El sistema hidráulico de una excavadora es muy complejo y está compuesto por varios elementos como el control principal, bombas hidráulicas auxiliares, accionadores o cilindros, motores hidrostáticos, un subsistema hidráulico piloto, líneas hidráulicas (mangueras), válvulas de alivio, entre otros. En el anexo 2 se muestra un diagrama hidráulico para una excavadora Caterpillar modelo 336D.

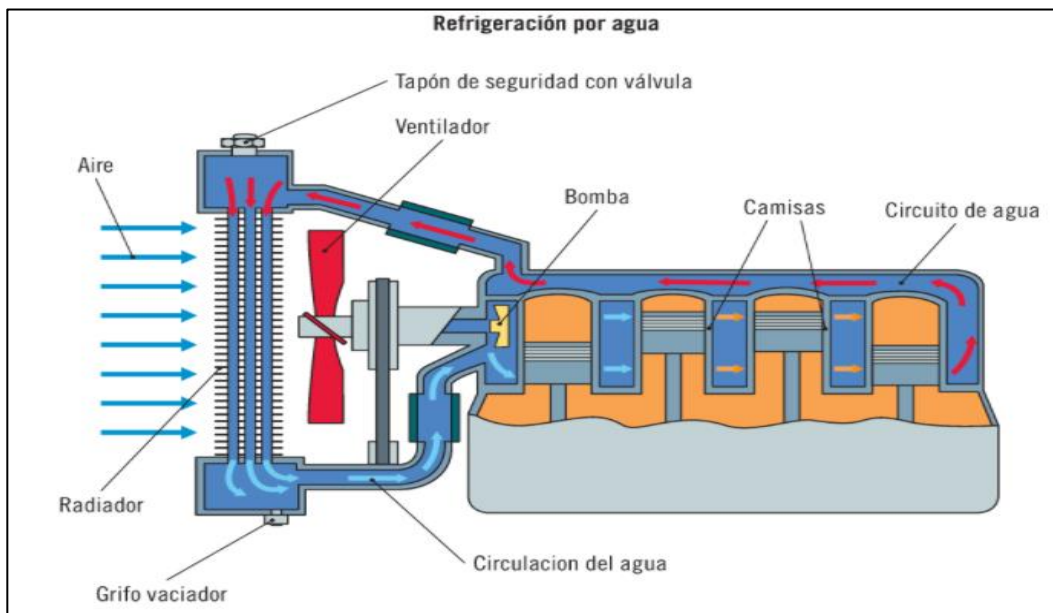
1.7.4. Sistema de enfriamiento

El medio de enfriamiento en un equipo o maquinaria pesada es el encargado de enfriar todos los elementos en contacto o fricción para mantener una temperatura de operación óptima para el buen funcionamiento de la máquina. El sistema de enfriamiento consta primordialmente de un medio

enfriante o líquido refrigerante, el cual puede ser aceite, agua o bien aire, un intercambiador de calor, radiador y núcleos de enfriamiento, líneas de enfriamiento y un ventilador que impulsa o succiona aire del ambiente.

Se entenderá, por tanto, que el sistema de refrigeración ha de ser eficaz y capaz de evacuar una cantidad de calor bastante grande, pero, al mismo tiempo, esta evacuación no debe de ser excesiva, para evitar una bajada de rendimiento, y además debe de estar bastante regulada para mantener la temperatura interna dentro de los límites de tolerancia de los materiales y de operación de los equipos. (Ordóñez, 2012)

Figura 10. **Sistema de refrigeración típico de un motor de combustión interna**

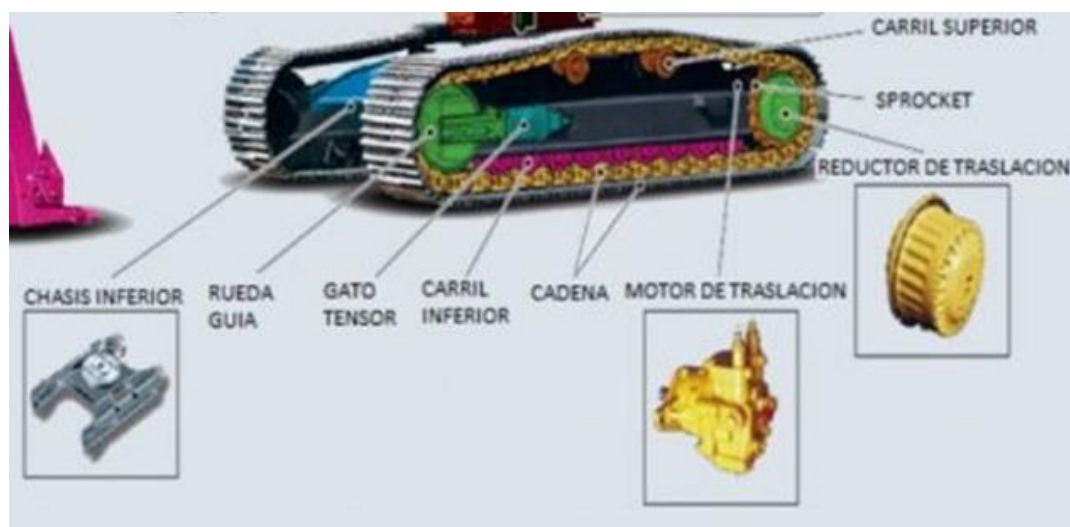


Fuente: Ordóñez Ramírez, (2003). *Sistema de enfriamiento*.

1.7.5. Sistema de tren de rodaje

El sistema de tren de rodaje de una excavadora hidráulica es el encargado de proveer la traslación de la maquina hacia el sitio deseado por el operador de esta, esta acción se lleva a cabo mediante los motores de traslación que son los que transmiten la potencia hidráulica a los mandos finales y estos últimos a la cadena del tren de rodaje. La cadena va soportada sobre guías y rodillos que son los encargados mantener en posición y guiar la cadena durante el proceso de traslación. La tensión de rodadura la mantiene un cilindro tensor, un resorte y una guía tensora.

Figura 11. Tren de rodaje de una excavadora hidráulica



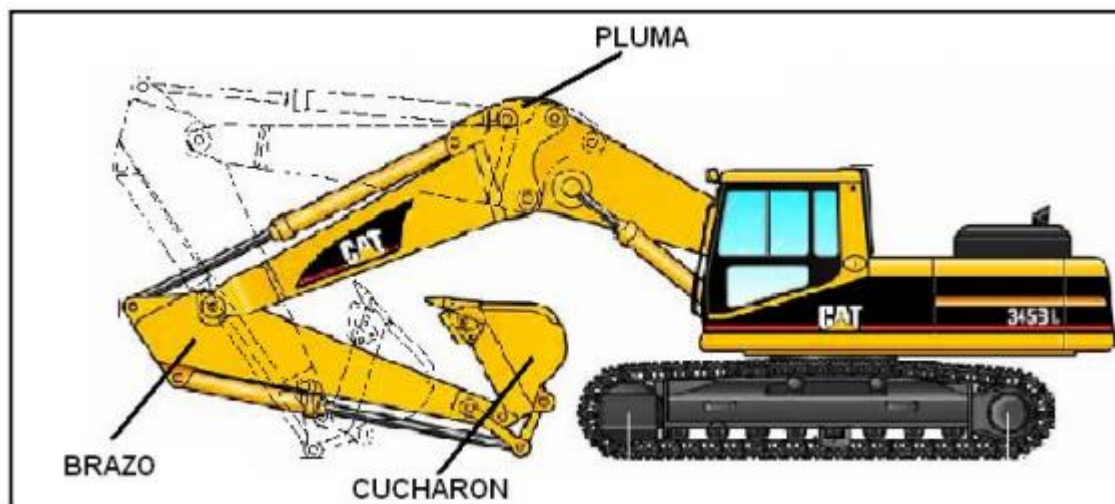
Fuente: Volvo Construction Equipment, (2020). *Estructura del tren de rodaje*.

Las partes del tren de rodaje van instaladas en la estructura inferior de la máquina. Las partes como la cadena, las zapatas, las ruedas motrices, guías y rodillos están sometidos a condiciones extremas de desgaste y constituyen uno de los repuestos de más valor económico en la maquinaria.

1.7.6. Sistema de implementos

El sistema de implementos está formado por la pluma, el brazo, el cucharón, bujes o cojinetes de fricción, pines y líneas de lubricación. Los implementos son los encargados de transmitir el movimiento de los cilindros hidráulicos al material que se desea manipular. Es decir, transforman la energía hidráulica a través de los accionadores a trabajo de movimiento de tierra u otro material. El cucharón posee herramienta de corte (dientes de penetración) que se incrustan en el material cuando se desea excavar o bien cargar material suelto.

Figura 12. **Implementos o equipo de trabajo de una excavadora hidráulica**



Fuente: Pacheco y Vizuite, (2020). *Implementos excavadora hidráulica*.

1.7.7. Sistema eléctrico y electrónico

La maquinaria pesada o de movimientos de tierra posee dentro de todos los sistemas que la componen un sistema eléctrico y un sistema electrónico. El sistema eléctrico es el encargado de brindar el arranque al motor de combustión mediante un motor eléctrico de arranque. También es el encargado de mantener la corriente directa de 24 voltios en el sistema para que los demás dispositivos eléctricos y electrónicos funciones. Dentro del sistema eléctrico también se encuentran: las luces para la iluminación, alternador, bocina, batería o acumulador y cableado eléctrico.

Por otro lado, el sistema electrónico; es el encargado de brindar el control electrónico tanto del motor de combustión, así como del sistema de control electrónico de la máquina.

El sistema electrónico de una excavadora consiste en el monitor en la cabina del operador, el ECM (módulo de control electrónico) de la máquina y del motor de combustión, y los sensores y actuadores. El sistema de control electrónico controla la velocidad del motor de combustión y el flujo de entrega de las bombas hidráulicas a través del ECM de la máquina. (Caterpillar Inc., 2020)

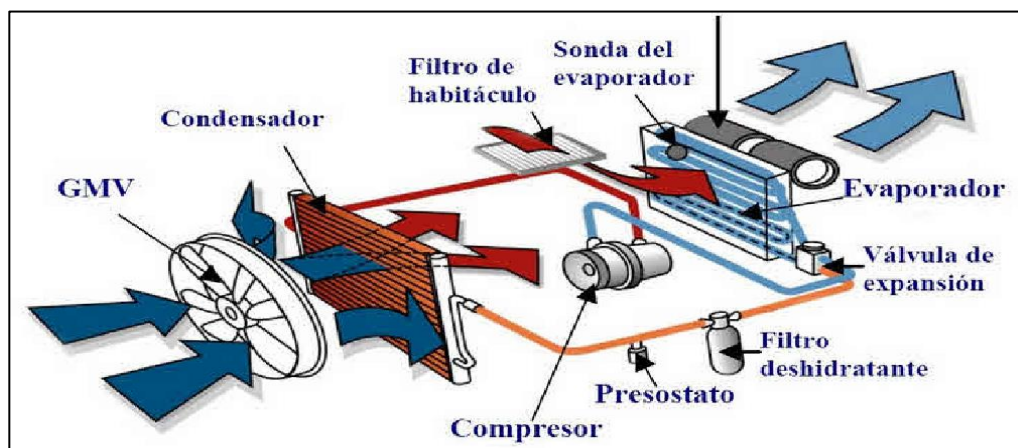
1.7.8. Sistema de calefacción y aire acondicionado

El sistema de calefacción y aire acondicionado de los equipos pesados es importante dentro de la operación del equipo, debido a la comodidad del operador y ergonomía del equipo. Algunos de las partes de este sistema van instalados en la cabina del operador, el evaporador, ventiladores, tubería, filtro de aire y otros van en la parte externa a la cabina, el condensador, el ventilador, el compresor del refrigerante. El sistema de aire acondicionado mantiene la temperatura dentro

de la cabina de acuerdo con las necesidades del operador cuando la maquina se trabaja en ambientes cálidos o bien en ambientes con demasiada contaminación con polvos de algún material.

La calefacción es la circulación del refrigerante del motor de combustión a temperatura de operación, dentro de tuberías en la cabina y es distribuido por los mismos ventiladores del aire acondicionado. Para garantizar una temperatura de acuerdo con el ambiente o sitio de operación.

Figura 13. **Sistema típico de aire acondicionado**



Fuente: FULLCAT, (2020). *Partes del sistema de aire acondicionado.*

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Reconocimiento de la ubicación de la máquina

Durante esta fase de la investigación se realizó el reconocimiento de la ubicación del equipo de forma virtual, se aprovechó la herramienta de monitoreo satelital con que cuenta el equipo para identificar los posibles accesos y salidas que se utilizaron para poder llegar al lugar de trabajo de la excavadora hidráulica modelo 336D de la marca Caterpillar con el código interno de la empresa REC3-82, el cual fue el activo objeto de estudio.

La máquina con número de serie J2F01072 y año de fabricación 2013, según la plataforma de monitoreo My.Cat.com se ubicó durante el desarrollo de la investigación en el municipio de Villa Canales del departamento de Guatemala. El equipo desarrolla trabajos de excavación y demolición de piedra con martillo hidráulico en la ejecución del proyecto de la vía alterna sur (VAS).

Figura 14. **Ubicación de excavadora REC3-82 (s/n J2F01072)**



Fuente: Google Earth Pro (2020). Consultado el 2 de marzo de 2021. Recuperado de
Lansat/Copernicus 2021 INEGI.

2.2. Visita preliminar

Se realizó una visita preliminar para verificar la operación de la máquina y establecer la factibilidad para realizar las pruebas de monitoreo de condición a los sistemas principales del equipo, tales como; motor de combustión, bomba hidráulica principal y cilindros hidráulicos. Esta visita se llevó a cabo con dos técnicos en mantenimiento de maquinaria pesada, un auxiliar y el investigador.

Anterior a la visita se verificó por medio de la plataforma de monitoreo a distancia, la existencia de códigos de falla que pudieran afectar las pruebas de operación de la máquina, con ello poder corregir las fallas al comprobar su existencia y poder realizar las pruebas de funcionamiento. Según la información obtenida por la plataforma de monitoreo, el equipo tenía códigos de falla activos, entre los cuales se identificó la alerta de presión de lubricación baja, del motor de combustión.

Los equipos y herramientas de diagnóstico para verificar la operación del motor de combustión y establecer la existencia y causa de la falla alertada por el sistema de monitoreo en línea, se determinaron en esta fase. Así como los parámetros de cambio necesarios a medir para establecer la condición de operación del motor de combustión, bomba hidráulica principal, cilindros hidráulicos.

Se logró determinar la existencia de baja presión de lubricación del motor de combustión, también se encontró en mal estado el acople flexible del motor de combustión y la bomba hidráulica. Las fallas encontradas no permitían realizar con eficiencia las pruebas operacionales al equipo, por lo que se procedió a reportar las anomalías y solicitar la corrección de las fallas para poder continuar con la investigación.

Tabla IX. Fallos y parámetros de medición para motores de combustión MCI

Tipo de Máquina	MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CATERPILLAR C9 ACERT											
Ejemplos de fallas	SÍNTOMA O PARÁMETRO DE CAMBIO											
	Temperatura del motor	Presión cilindro	Flujo del Aire	Presión de combustible	Flujo de combustible	Temperatura de escape por cilindro	Presión de escape	Vibración	Potencia de salida	Consumo de aceite	Contaminación del aceite lubricante	Fuga líquido refrigerante
Obstrucción administración de aire	x	x	x				x					
Inyectores de combustible	x	x	x		x	x		x	x	x		
Falla de Ignición	x	x			x	x		x	x	x		
Desgaste de cojinetes								x			x	
Obstrucción de filtros de combustible				x	x		x					
Deficiencia de sellado (seal leakage)						x	x			x		
Anillos de pistones		x							x	x	x	
Sistema de enfriamiento					x		x			x	x	
Amortiguador de Vibraciones de Vibraciones (damper)								x				
Defectos de engranajes								x			x	
Daños en el volante (Flywheel)								x			x	
Falla de montage								x				
Desbalance								x				
Desalineamiento								x				
"x" indica el síntoma que podría ocurrir o el parámetro que podría cambiar si ocurre una falla.												

"x" indica el síntoma que podría ocurrir o el parámetro que podría cambiar si ocurre una falla.

Fuente: ISO 17359 (2018). *Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas.*

En la tabla anterior se describen los síntomas o parámetros de cambio que se pueden monitorear en los motores de combustión interna. Así mismo, se distinguen las fallas asociadas a los sistemas y componentes de los motores. Esta descripción se basa en la norma ISO 17359, que brinda los lineamientos generales para el monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas.

Tabla X. **Fallas y parámetros de medición para bombas**

Tipo de Máquina	BOMBA HIDRÁULICA DE PISTONES, DESPLAZAMIENTO VARIABLE S/N 12420304								
Ejemplos de fallas	SÍNTOMA O PARÁMETRO DE CAMBIO								
	Fuga de fluido	Velocidad	Potencia	Presión de vacío	Presión de salida	Vibración	Temperatura	Contaminación del lubricante	Fuga de aceite
Pistones y barril dañados		x	x	x	x	x	x	x	x
Plato oscilante dañado			x		x	x	x	x	x
Sellos dañados	x								
Cojinetes dañados		x	x	x	x	x	x	x	x
Cojinetes desgastados						x	x	x	
Montaje defectuoso						x			
Desbalance						x			
Desalineamiento						x			

"x" Indica el síntoma que podría ocurrir o el parámetro que podría cambiar si ocurre una falla.

Fuente: ISO 17359 (2018). *Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas*.

La tabla X detalla los síntomas y fallas que se pueden monitorear en las bombas hidráulicas. Cabe mencionar que el acople flexible defectuoso que se encontró durante la visita preliminar se evidencio mediante ruido excesivo y exceso de vibración en el arranque y parada del motor de combustión, el ruido y la vibración provenían de la caja del volante del motor de combustión, por lo que esta falla severa se logró identificar simplemente mediante la técnica VOSO.

En la siguiente tabla se indican los parámetros medidos y las herramientas utilizadas para determinar el estado de operación del motor de combustión de la máquina objeto de estudio.

Tabla XI. Técnicas y herramientas de diagnóstico para MCI

Tipo de Máquina	MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CATERPILLAR C9 ACERT	
Parámetro de cambio	Método o técnica de prueba (diagnóstico)	Herramienta de diagnóstico
Temperatura del motor	• medición de temperatura entrada y salida del refrigerante • variación de temperatura radiador • VOSO (temperatura excesiva)	• Pistola para medir temperatura • Caterpillar ET
Presión del cilindro	• Blow by • Medición de gases de cárter • Prueba de desconexión de cilindros • VOSO (fugas de aceite)	• Manómetro Magnehelic • Caterpillar Blow by • Caterpillar ET
Flujo de Aire	• VOSO (filtros, fugas) • Presión de turbocargador • Prueba de inyectores	• Caterpillar ET • Equipo para prueba de presión de motores
Presión de combustible	• VOSO (filtros) • Presión de combustible	• Caterpillar ET • Equipo para prueba de presión de motores
Flujo de combustible	• Presión de combustible • VOSO (revisión entrada de aire)	• Caterpillar ET • Equipo para prueba de presión de motores
Temperatura de escape por cilindro	• Prueba de inyectores • VOSO	• Pistola para medir temperatura • Caterpillar ET
Presión de escape	• VOSO (fugas, indicio de sobrecalentamiento)	• Pistola para medir temperatura • Caterpillar ET • Equipo para prueba de presión de motores
Vibración	• VOSO (inspección de tornillería, amortiguadores) • Prueba de desconexión de cilindros • Análisis de aceite usado	• Caterpillar ET • S.O.S. muestreo de lubricantes
Potencia de salida	• Prueba de RPM's • Prueba de calado (carga) • VOSO (tiempo de encendido) • Prueba de desconexión de cilindros • Blow by • Medición de gases de cárter • Presión de turbocargador	• Caterpillar ET • Multitach (medidor de rpm) • Manómetro Magnehelic • Equipo para prueba de presión de motores
Consumo de aceite	• VOSO (fugas) • Prueba de desconexión de cilindros • Blow by • Medición de gases de cárter • Variación de temperatura del radiador	• Caterpillar ET • Multitach (medidor de rpm) • Manómetro Magnehelic • S.O.S. muestreo de lubricantes
Contaminación del aceite lubricante	• Análisis de aceite usado • VOSO • Medición de gases de cárter	• Caterpillar ET • Manómetro Magnehelic • S.O.S. muestreo de lubricantes
Fuga líquido refrigerante	• VOSO (fugas, variación de temperatura)	• Pistola para medir temperatura

Fuente: ISO 17359 (2018). *Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas.*

Tabla XII. **Técnicas y herramientas de diagnóstico para bombas**

Tipo de Máquina	BOMBA HIDRÁULICA DE PISTONES, DESPLAZAMIENTO VARIABLE S/N 12420304	
Parámetro de cambio	Método o técnica de prueba (diagnóstico)	Herramienta de diagnóstico
Fuga de fluido	• VOSO (fuga externa)	• Inspección visual
Potencia	• Presión de entrega de las bombas • VOSO	• Manómetros para medir presión hidráulica • Caterpillar ET • Inspección visual
Velocidad	• VOSO • Flujo de entrega de fluido • Rendimiento de cilindros hidráulicos • Presión de entrega de las bombas	• Caterpillar ET • Manómetros para medir presión hidráulica • Inspección visual • Cronómetro
Vibración	• VOSO (excesos de vibración visibles) • Presión de entrega de las bombas	• Caterpillar ET • Manómetros para medir presión hidráulica • Inspección visual
Temperatura	• VOSO (indicios de sobrecalentamiento) • Temperatura de operación	• Caterpillar ET • Pistola para medir temperatura • Inspección visual
Contaminación del aceite	• Análisis de aceite usado • VOSO	• Inspección visual • Pruebas de laboratorio
Fuga de aceite	• VOSO	• Pistola para medir temperatura • Caterpillar ET • Equipo para prueba de presión de motores

Fuente: ISO 17359 (2018). *Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas.*

La tabla anterior muestra los parámetros de cambio, los métodos y herramientas de diagnóstico para la evaluación de las bombas hidráulicas, para esta investigación se utilizaron las más comunes y esenciales para establecer la condición de los componentes principales del equipo, juntamente con la evaluación de los aceites de los sistemas evaluados.

2.3. Inspección de condición y recolección de muestras de aceite usado

Para realizar esta etapa de la investigación se establecieron como técnicas de mantenimiento predictivo y monitoreo de condición del activo las siguientes:

- Medición de parámetros de funcionamiento
- Análisis de aceite usado
- VOSO
- Líquidos penetrantes
- Ultrasonido pulso eco

Previo a la realización de esta etapa la empresa notificó la corrección de las fallas encontradas en la visita preliminar, con lo cual, la máquina está en condiciones de operación satisfactoria durante las pruebas de funcionamiento requeridas para establecer la condición general del equipo. Cabe mencionar que la baja presión de aceite fue provocada por la ruptura del tubo de lubricación principal, de la bomba de lubricación hacia el bloque del motor de combustión.

Se procedió a la instalación de las herramientas de diagnóstico en los puntos recomendados por el fabricante para la toma de parámetros de funcionamiento. Se elaboraron cuadros y tablas con los datos de funcionamiento de los sistemas principales de la máquina, se tomaron fotografías de anomalías como fugas, exceso de suciedad o contaminación del ambiente de trabajo sobre el equipo. Se evidenció exceso de grasa lubricante en los puntos de lubricación.

Se anotaron los parámetros y especificaciones del motor de combustión, con estos datos se logró determinar la condición de este componente a la fecha de investigación y con 9,835 horas de trabajo. El horómetro en que falló la bomba de lubricación y el acople flexible fue 9,808 horas, el cual se verificó con la herramienta de diagnóstico electrónica Caterpillar ET.

Tabla XIII. **Alerta baja presión del aceite del motor alerta baja presión del aceite del motor**

Códigos de eventos registrados [Reloj de diagnóstico = 9808.1626 horas] - C9 330D (TXD01745)				
Código	Descripción	Veces	Primera	Última
E198 (2)	Presión baja de combustible	109	9685	9722
E360 (1)	Baja presión del aceite del motor	8	9784	9807
E390 (1)	Restricción del filtro de combustible	28	9686	9722

Fuente: elaboración propia.

El diseño de fabricación del motor de combustión permitió que se obtuvieran datos reales de operación del mismo mediante la herramienta de diagnóstico electrónico, por medio del cual se monitorearon los parámetros de funcionamiento en tiempo real y generar un informe detallado de los últimos sucesos detectados en el funcionamiento del componente.

Se anotaron los parámetros, especificaciones de trabajo y control de funcionamiento de la bomba hidráulica. Estos datos permitieron establecer el rendimiento de este componente. Las pruebas se basaron en verificación de presiones mediante manómetros para medición de presión hidráulica para determinar el rango de presiones de funcionamiento en que se encuentra este componente. Para complementar y determinar la operación satisfactoria de la bomba hidráulica principal, se realizó medición de tiempos de trabajo de los cilindros hidráulicos, esta actividad también permite establecer el estado de los accionadores hidráulicos.

En la sección de apéndices se adjunta los resultados de laboratorio de los análisis de aceites usados de los componentes principales de la máquina, los aceites lubricantes analizados fueron:

- Lubricante del motor de combustión interna
- Lubricante del sistema hidráulico principal
- Lubricante del motor de rotación
- Lubricante de los mandos finales

El análisis de aceites usados aportó información valiosa sobre los componentes hidráulicos en relación con presencia de partículas de desgaste en el aceite lubricante. Así como, la presencia de otro tipo de contaminante en el motor de combustión y los mandos finales, que puedan dar indicios de alguna anomalía interna de los componentes.

2.4. Ensayos no destructivos

Se utilizó la técnica de ensayo no destructivo de líquidos penetrantes para identificar posibles grietas en los puntos de unión de las masas o alojamientos de pasadores de los implementos del equipo: pluma (*boom*), brazo (*stick*), estructura superior (*upper frame*). Este método también se puede aplicar en los componentes sometidos a desgaste en el motor de combustión, tales como: bielas, faldas de pistones, eje cigüeñal, para identificar indicios de anomalías por fatiga durante la operación.

Mediante la técnica VOSO se determinaron posibles fugas externas de líneas hidráulicas, golpes en guardas ocasionadas por la operación rutinaria del equipo, desgaste y exposición de mallas de las mangueras hidráulicas, inspección de uniones por soldadura, para este último se utilizó la técnica de líquidos penetrantes. La metodología VOSO también se aplicó para el monitoreo de condición del motor de combustión y bomba principal, para identificar ruidos y vibraciones en la operación, así como también la identificación de puntos sometidos a elevaciones de temperatura de operación.

Se solicitó apoyo al distribuidor de equipos Caterpillar, para determinar la condición de desgaste en el tren de rodaje de máquina, para ello se midieron espesores de los componentes y determinar los porcentajes de desgastes en cadenas, rodillos y zapatas del tren de rodaje. Esta inspección se realizó con equipo de medición ultrasónico de pulso eco. También se utilizó la técnica VOSO como complemento para la ejecución de esta medición de parámetros de desgaste permisibles en este equipo.

El mantenimiento del sistema del aire acondicionado de la cabina del operador se realiza mediante proveedor externo a la organización.

2.5. Recolección de datos de vida útil del equipo

La vida útil de los equipos de movimientos de tierra normalmente oscila entre los 15 y 20 años, para algunos fabricantes de estos equipos y para algunos expertos en la materia. Para este caso el fabricante de maquinaria Caterpillar sugiere 15 años de vida útil de la maquinaria pesada, debido a que constantemente desarrolla equipos con nuevas tecnologías que mejoran el desempeño de las máquinas; por lo que los equipos enfrentan el tema de la obsolescencia frente a estas nuevas tecnologías que desarrollan los fabricantes.

La máquina fue fabricada en el mes de febrero del año 2013 y la empresa propietaria del activo adquirió la máquina en junio del año 2014 con 18.8 horas de servicio, por lo que la vida de servicio del equipo inicia en esta última fecha.

A la fecha de la investigación el activo cuenta con siete años de servicio y 9 835 horas de trabajo. Ver anexo 1.

Según las fuentes consultadas la vida útil de un activo no se puede definir por simple resta de la edad a la vida útil total del mismo, se deben de tomar en cuenta otros factores; tales como: el estado de condición o deterioro, la calidad del mantenimiento, la utilización en este caso las horas trabajadas. De esta manera se calcula un porcentaje de depreciación en base a la conservación del activo, la edad y la vida útil total.

De acuerdo con lo anterior, para este caso, se calculó la vida útil de la máquina en base a los factores mencionados. Para ello se utilizó el criterio de Ross Heidecke para establecer el factor de depreciación de la máquina a la fecha de investigación. El producto del factor de depreciación y el valor de adquisición del activo, da como resultado el valor económico estimado a la fecha y por lo tanto la vida útil del equipo en valor monetario.

Tabla XIV. Vida útil de componentes excavadora hidráulica 336D

VIDA ÚTIL COMPONENTES DE LA MÁQUINA				
EXCAVADORAS HIDRÁULICAS CATERPILLAR MODELO 336 D				
CAT 336 serie J2F01071		Rango horas trabajadas		
ítem	Descripción de opciones de reparación	primero	siguiente	tarea
1	Motor de combustion interna	10 000	20 000	overhaul
2	Turbocargador	5 000	10 000	reemplazo
3	Inyector de combustible	5 000	10 000	reemplazo
4	Radiador y enfriador hidráulico	8 000	16 000	overhaul
5	Bomba de agua	5 000	10 000	reemplazo
6	Baterias	5 000	10 000	reemplazo
7	Alternador	5 000	10 000	reemplazo
8	Motor eléctrico de arranque	5 000	10 000	reemplazo
9	Bomba hidráulica de activación de la inyección	5 000	10 000	reemplazo
10	Mandos finales	8 000	16 000	reemplazo
11	Cilindro tensor de cadenas de rodaje	6 000	12 000	reempacar
12	Rueda guia de la cadena de rodaje	12 300	24 600	reemplazo
13	Sprocket de mandos finales	11 000	22 000	reemplazo
14	Rodillos de la cadena de rodaje	11 000	22 000	reemplazo
15	Motores hidráulicos de traslación	10 000	20 000	overhaul
16	Control hidráulico principal	15 000	30 000	overhaul
17	Motor hidráulico del giro	10 000	20 000	overhaul
18	Distribuidor del giro	10 000	20 000	reempacar
19	Acople flexible de la bomba hidráulica principal	10 000	20 000	reemplazo
20	Bomba hidráulica principal	10 000	20 000	overhaul
21	Cilindros hidráulicos del boom	10 000	20 000	overhaul
22	Cilindro hidráulico del cucharón	10 000	20 000	overhaul
23	Cilindro hidráulico del brazo	10 000	20 000	overhaul
24	Mando del giro	10 000	20 000	overhaul
25	Anclaje del boom	10 000	20 000	overhaul
26	Anclaje del brazo	10 000	20 000	overhaul
27	Anclaje del cucharón	10 000	20 000	overhaul
28	Cojinete del engranaje de giro	15 000	30 000	reempacar
29	sistema del aire acondicionado	2 000	4 000	reparar

Fuente: Distribuidor Caterpillar (2021). *Intervalos de tiempo para intervenciones.*

En la tabla anterior se muestran los intervalos de las opciones de mantenimiento que el fabricante sugiere para algunos componentes, así como los tiempos de vida útil de algunos de ellos. La unidad de medición de la vida de

servicio de estos componentes esta dado en horas de operación de cada componente.

2.6. Recolección de datos de disponibilidad de la máquina

Para conocer la disponibilidad que ha tenido la máquina dentro de la organización, se solicitó información al encargado de ejecución de licitaciones de proyectos, quien informo que en los procesos de licitación de trabajos no se toma en cuenta este indicador. Para este caso establecen un número mínimo de requerimiento de máquinas por proyecto sin tomar en cuenta la disponibilidad que tendrá cada activo de manera individual.

Por otra parte, también se solicitó información al encargado de ejecución de proyectos para saber si en la elaboración de la programación de los trabajos pertinentes a la utilización de equipos de movimientos de tierras, consideran algún porcentaje de disponibilidad de los equipos. La persona que se cuestionó mencionó que no se tiene estimado un porcentaje de disponibilidad de las máquinas. Sin embargo, informó que le dan seguimiento a la utilización de los activos, según la cantidad de horas de trabajo programadas para cada máquina y las horas efectivas realizadas por equipo.

El personal de mantenimiento brindó información importante para el cálculo del porcentaje de disponibilidad que ha tenido la excavadora hidráulica objeto de estudio. Estos datos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla XV. **Historial de fallas y paros**

Fallas y horas de paro		
Excavadora hidráulica 336D (10 768 horas trabajadas)		
Descripción	No. Ordenes	Horas de paro
Cantidad de fallas o paros	233	1 689,25
Paros por mantenimiento correctivo programado	122	627
Paros por mantenimiento correctivo no programado	111	1 062,25

Fuente: elaboración propia.

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Diagnóstico y monitoreo de condición de componentes principales

Posterior a la realización de las visitas de campo para la toma de datos y ejecución de las pruebas de funcionamiento de los componentes principales, se presenta el detalle de los resultados obtenidos, mediante el análisis de los datos obtenidos y las especificaciones encontradas en el manual del fabricante, se logró evidenciar el estado de la máquina. Para ello se utilizaron los métodos, técnicas y herramientas descritos en el capítulo anterior. En la sección de apéndices se adjuntan fotografías de este apartado.

3.1.1. Pruebas del motor de combustión interna

Las pruebas realizadas en el motor de combustión se basaron según la experiencia del investigador y las sugerencias del manual del fabricante. para la ubicación de los puntos de prueba en el motor. La interpretación de los resultados se basa en la comparación de los parámetros especificados del fabricante y los datos actuales obtenidos durante la medición. Para la ejecución de las pruebas es necesario tomar en cuenta algunas consideraciones, tales como:

- Las pruebas las deberá realizar solamente el personal con la experiencia comprobada en este tipo de diagnóstico.
- Haber leído y comprendido las sugerencias del manual del fabricante antes de llevar a cabo cualquier tipo de trabajo.
- Realizar las pruebas en un con suficiente espacio alrededor del equipo.

- Llevar el motor a la temperatura de operación recomendado por el fabricante, para obtener un diagnóstico satisfactorio del componente.
- El motor debe de contar con sus niveles de lubricante y refrigerante apropiados para la prueba.
- Los filtros de aire y combustible deben de estar limpios para obtener un mejor rendimiento del motor.
- No deben de existir fallas electrónicas activas.

Tabla XVI. **Datos y especificaciones del motor de combustión**

ESPECIFICACIONES DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA			
Tipo de máquina:	Motor de Combustión interna	Marca:	Caterpillar
Velocidad nominal:	2200 rpm	Modelo:	C9
Rango de velocidad:	800-1980 rpm	Serial No.:	TXD01745
Potencia nominal:	286 a 1800 rpm	Horómetro:	9835
Tipo de soporte:	flexible	Cilindros:	6 en línea
Tipo de acoplamiento:	flexible	Inyección de combustible:	HEUI
Tipo de combustible:	Diesel	Desplazamiento:	8.8 L
Función:	Fuente de poder	Aspiración:	Sobrealimentado
Tipos de fluidos:	aceite 15W40 refrigerante Cat DEAC	Control de emisiones:	Acert Cat stage II Tier 2 / 3 EPA

Fuente: ISO 17359 (2018). *Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas.*

En la tabla anterior se muestran los datos del motor de combustión que se evaluó, así como el horómetro u horas de trabajo del mismo al momento de la evaluación, estos datos fueron extraídos de las etiquetas de identificación del motor y del manual del fabricante. El formato en que se presenta se tomó de la norma ISO 17359, que proporciona algunos lineamientos generales que se pueden adaptar para el monitoreo de condición de este tipo de máquinas.

Tabla XVII. **Parámetros del motor a plena carga**

MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A PLENA CARGA PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO CON HERRAMIENTA CATERPILLAR ET						
Parámetro	Unidad	Valor actual	valor mínimo	valor máximo	valor especificado	observaciones
Velocidad del motor	rpm	1 787	776	2 044	1 880	1 620 mínimo
posición del acelerador	%	100	2.8	100		
factor de carga	%	100	0	100		
presión atmosférica	psi	12.3	12.1	12.3		
presión de aceite del motor	psi	59	34	69	40-59	a 1 800 rpm
presión de aceite del motor (absoluta)	psi	71	46	82		
presión de activación de inyección	psi	3 664	1712	4 525	807-4 061	
presión de combustible	psi	69	63	74	87	
presión de combustible (absoluta)	psi	81	76	86		
presión de refuerzo	psi	17	0	17	20	presión de turbo
presión de salida del turbo (absoluta)	psi	29	12	29		
corriente de activación del inyector	%	82	24	84		
temperatura del aire de admisión	°F	98	85	103		
temperatura del refrigerante del motor	°F	180	174	180	192	igual o mayor a 180
factor de carga basado en consumo de combustible	%	100	0	100		
velocidad deseada del motor	rpm	1 980	801	1 980	1 880	
volumen de combustible de límite de par	mm³	156.38	26.13	203.5	>21	por cada inyector

Fuente: elaboración propia, utilizando datos del diagnóstico con herramienta electrónica Caterpillar.

La tabla muestra los parámetros obtenidos con la herramienta de diagnóstico electrónica, todos los valores son importantes para la operación correcta del motor, sin embargo, los parámetros a observar son; el factor de carga 100 % a 1,787 rpm, presión de refuerzo del turbo 17 psi y la presión de aceite del motor 59 psi, todo lo anterior a una temperatura de 180 °F. Estos parámetros

indican que el motor tiene una buena respuesta al aplicarle carga de trabajo y que las revoluciones están en el rango aceptable de caída, es decir una condición de calado aceptable y una condición de operación aceptable.

Tabla XVIII. **Parámetros del motor a plena carga**

PRUEBAS DE OPERACIÓN						
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A PLENA CARGA 1770 RPM (9835hrs)						
Parámetro medible	Unidad	Valor actual	valor especificado	valor mínimo	valor máximo	Observación
Sistema de Enfriamiento						
temperatura del motor	°F	190	192	187	212	
variación de temperatura del radiador	°F	21	10	1	19	
superior	°F	151				
inferior	°F	130				
presión de bomba de agua	psi	17		15	18	
Sistema de admisión y escape						
presión aire de refuerzo (turbo)	psi	17	20	16	23	
temperatura del turbo	°F	630				
temp. entrada postenfriador	°F	145				
temp. salida postenfriador	°F	100				
Sistema de combustible						
presión de combustible	psi	71	87	66	84	
Sistema de lubricación						
presión de aceite de lubricación	psi	60	>18	40	59	a 1 800 rpm
Desempeño del motor de combustión						
presión del cárter del motor	FT ³ /HR	366	286	250	270	1 x hp
	L/min	172.73	143	118	127	0.50 x hp
presión del cárter del motor	ln.H ₂ O	1.5		1	2	
velocidad baja en vacío	rpm	800	800	750	850	
sin carga						
velocidad alta en vacío	rpm	1 880	1 980	1 830	1 930	
sin carga						
velocidad máxima con carga	rpm	1 770	1 880	1 620	1 670	

Fuente: elaboración propia.

La información que contiene la tabla fue obtenida con las técnicas y herramientas detalladas anteriormente, con ello se verifican los datos obtenidos

con la herramienta electrónica y se obtienen algunos parámetros importantes; como la presión de cárter, para complementar la información y determinar el estado de condición del motor.

La presión de cárter es la presión de gases generada en el interior del motor debido a la fuga o deficiencias de sellado entre los anillos de los pistones y las camisas de cilindros, guías y asientos de válvulas, incluso los anillos que sirven de sello en el eje del turbocargador también contribuyen a que aumente este parámetro. El incremento sobre el valor especificado de este parámetro, indica un incremento del desgaste de las partes mencionadas dentro del motor de combustión.

Para llevar a cabo esta prueba se utilizaron dos métodos y tipos de herramientas para determinar de manera confiable la condición actual de motor, en cuanto a este parámetro se refiere. Los métodos y herramientas son:

- Indicador de flujo de aire (blowby): mide la cantidad de flujo de aire del cárter que el motor expulsa por el respiradero de este, la medición se puede obtener en ft^3/hr y en L/min . Según el fabricante de motores Caterpillar este parámetro puede incrementar hasta dos veces o más en un motor desgastado comparado a un motor nuevo; para un motor Caterpillar modelo C9 nuevo este parámetro debería estar en $1 \text{ ft}^3/\text{hp}$ por hora (0.47 litros por minuto) ver anexo 3.

Figura 15. Caterpillar blowby group 8T2700 y magnehelic



Fuente: [Fotografía de Ismael Mejia]. (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

- Manómetro *magnehelic*: se mide la presión de gases del cárter que el motor expulsa por el tubo de la varilla para medir el nivel del aceite, la medición se obtiene en in H₂O (pulgadas de agua). El rango aceptable para un motor es de 1 a 2 pulgadas de agua, siendo 2 in H₂O el máximo aceptable para la operación eficiente de un motor de combustión. El rango de medición de la herramienta debe ser adecuado a la presión que se desea medir. En este caso se utilizó un manómetro de 0-5 in H₂O.

Los dos métodos expuestos se basan en el diseño del motor con tres anillos por pistón. El parámetro obtenido en las condiciones que se especifican en la tabla XVIII fue de 366 ft³/hr y 1.5 in H₂O, considerando que el máximo permisible para un motor con desgaste es el doble del valor para un motor nuevo, según sus HP, en este caso sería 572 ft³/hr y 2 in H₂O. Los datos obtenidos indican que el motor está en condiciones de operación aceptables y su rendimiento según el porcentaje de carga analizado en la tabla XIII coinciden con esta prueba.

Para determinar el estado de condición del motor de combustión es importante complementar las pruebas realizadas y analizadas con anterioridad, con el análisis del aceite usado, para ello se tomaron 2 muestras con diferentes horas de trabajo, la primera muestra con 27 horas y la segunda con 56 horas de operación del lubricante.

En el anexo 4, se muestra reporte del resultado del análisis del aceite lubricante, el laboratorio responsable de la prueba indica que el estado del lubricante en cuanto a partículas de desgaste del motor; se encuentra en rango normal. Con ello se aduce que el motor de combustión analizado no presenta síntomas de desgaste interno considerables. Por lo tanto, se puede considerar que el motor se encuentra en condición de operación aceptable.

3.1.2. Pruebas de la bomba hidráulica principal

Para determinar el estado de operación de la bomba hidráulica principal, se realizaron varias pruebas; estas consistieron en medir las presiones de funcionamiento de las bombas, así como las presiones de alivio de los diferentes componentes que dependen de la correcta operación de la bomba hidráulica principal. A continuación, se detallan los datos de la bomba hidráulica que utiliza la máquina objeto de estudio.

Tabla XIX. **Especificaciones bomba hidráulica principal**

ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA HIDRÁULICA PRINCIPAL			
Tipo de máquina:	Bomba hidráulica Dual	Marca:	Caterpillar
Velocidad nominal:	1980 rpm	Modelo:	
Rango de velocidad:	800-1980 rpm	Serial No.:	12420304
Flujo nominal:	272 L/min, 1025 psi, 1800 rpm del motor, 390 psi servocontrol	Horómetro:	9835
Tipo de acoplamiento:	flexible	Tipo de soporte:	rigido
Desplazamiento:	variable	Tipos de fluidos:	SAE 30 Hidráulico
Función:	impulsada	Componentes:	pistones, cojinetes, platos oscilantes, servocontrol

Fuente: elaboración propia.

Las especificaciones de la bomba hidráulica se obtuvieron del manual del fabricante y de la prueba inicial de la máquina posterior a su ensamble. Para determinar la condición de la bomba hidráulica, se extrajo una muestra de aceite del sistema hidráulico, con la finalidad de verificar la existencia de partículas de desgaste presentes en el lubricante. El análisis del aceite lubricante también permite determinar el grado de contaminación del aceite y verificar si está en condiciones de uso adecuado. Según el distribuidor el nivel o código de limpieza mínimo del aceite lubricante debería de ser ISO -/18/15.

Para poder realizar las mediciones de la bomba y los componentes principales del sistema hidráulico se deben de tomar las siguientes consideraciones:

- Realizar las pruebas en un espacio amplio y libre de personal ajeno a la actividad.

- Llevar el motor a las revoluciones adecuadas para la prueba, 1,850 rpm como mínimo.
- La temperatura del aceite hidráulico debe de estar al menos en 122 °F.
- Los manómetros de prueba deber de ser del rango de medición adecuados.
- El motor de combustión debe de estar en condiciones aceptables para esta prueba, es decir, con un desempeño adecuado.
- Las presiones de control de flujo de las bombas deben de operar correctamente.
- Verificar existencia de fugas en las líneas hidráulicas, para evitar rupturas durante las pruebas.

Tabla XX. **Medición de presiones con Caterpillar ET**

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA HIDRÁULICA					
Parámetro	unidad	actual	mínimo	máximo	observaciones
temperatura del aceite hidráulico	°F	111	120	150	
velocidad del motor	rpm	1 792	1 620	1 880	
presión de salida bomba No. 1	psi	5 145	4 931	5 149	presión de alivio principal
presión de salida bomba No. 2	psi	5 131	4 931	5 149	presión de alivio principal
presión power shift	psi	107	103	424	servocontrol
*parametros medidos con caterpillar electronic technician					
*presión power shift, presión de control de flujo de las bombas					

Fuente: elaboración propia.

La información de la tabla se obtuvo con la herramienta de diagnóstico Caterpillar ET (*electronic technician*). Las presiones de alivio que alcanzan las bombas están en el rango especificado por el manual del fabricante. Durante las pruebas no se presentó ningún ruido anormal como indicio de alguna anomalía en las bombas, así mismo, no hubo presencia de alteración de la vibración en la

operación; que por experiencia propia del investigador se consideró normal. No se presentaron indicios de cavitación y aireación observables en la mirilla del nivel del depósito del aceite lubricante.

La presión de control o *presión power shift*, se observó en el rango aceptable, el rango de operación de esta presión de control va de 72 a 365 psi; siendo esta presión inversamente proporcional a la entrega de flujo de las bombas, es decir, a menor presión *power shift* mayor flujo de entrega y viceversa. De acuerdo con estas consideraciones la bomba hidráulica está en condiciones de operación aceptables, sin embargo, hay que medir presiones a todo el sistema para validar la información obtenida.

3.1.3. Pruebas de funcionamiento componentes sistema hidráulico

Para establecer un mejor diagnóstico de la condición de las bombas y del sistema hidráulico en general, se verificaron las presiones de alivio en condición de calado del motor de combustión, es decir, aplicando carga de trabajo con el mismo sistema hidráulico y siguiendo las indicaciones del fabricante para cada prueba específica.

También se midieron los tiempos o ciclos de trabajo de los accionadores hidráulicos, motores de traslación y el motor hidráulico de giro de la máquina. El desempeño adecuado de estos componentes depende del correcto funcionamiento de la bomba hidráulica.

Tabla XXI. **Medición de presiones sistema hidráulico**

PRESIONES DE ALIVIO DEL SISTEMA HIDRÁULICO					
Parámetro	unidad	actual	límite de operación		observaciones
			mín. espec	máx. espec	
válvula de control principal					
bomba No.1	psi	5 000	4 786	5 149	
bomba No.2	psi	5 080	4 786	5 149	
extensión de la pluma	psi	5 500	5 221	5 800	*363 +- 7 psi (PS)
retracción de la pluma	psi	6 000	5 076	5 656	*363 +- 7 psi (PS)
extensión del brazo	psi	5 820	5 076	5 656	*406+-7 psi (PS)
retracción del brazo	psi	5 800	5 221	5 800	*363 +- 7 psi (PS)
extensión del cucharón	psi	5 600	5 076	5 656	*537 +- 7 psi (PS)
retracción del cucharón	psi	5 800	5 076	5 656	*537 +- 7 psi (PS)
válvula de control piloto					
válvula de alivio piloto	psi	640	566	624	
válvulas de alivio del giro (swing)					
válvula de alivio lado derecho	psi	5 100	4 264	4 700	
válvula de alivio lado izquierdo	psi	5 000	4 264	4 700	
válvulas de alivio de traslación					
presión de servocontrol fijada	psi	508			
traslación hacia adelante					
lado izquierdo	psi	6 000	5 004	5 656	
traslación hacia atrás					
lado izquierdo	psi	5 800	5 004	5 656	
traslación hacia adelante					
lado derecho	psi	6 000	5 004	5 656	
traslación hacia atrás					
lado derecho	psi	5 800	5 004	5 656	

*PS, presión power shift (presión de servocontrol de la bomba principal)

Fuente: elaboración propia.

Los parámetros medidos que se muestran en la tabla anterior indican que las presiones de alivio de las bombas son similares a los obtenidos con la herramienta de diagnóstico electrónico. Se puede observar que las presiones están en el rango normal especificado, solamente con una mínima variación en algunas de ellas. No se observa a ninguna de ellas que no alcance su valor mínimo. Por lo tanto, puede considerarse que la bomba hidráulica está en condiciones de poder accionar los sistemas medidos con la eficiencia esperada.

Tabla XXII. Velocidad de operación de cilindros y motores hidráulicos

OPERACIÓN DE CILINDROS Y MOTORES DE TRASLACIÓN					
Parámetro	unidad	actual	límite de operación		observaciones
			mín. espec	máx. espec	
velocidad de operación					
cilindros hidráulicos					
extensión de la pluma	s	4.26	5	4.3	
retracción de la pluma	s	1.9	3.8	3.1	
extensión del brazo	s	3.42	4.5	3.9	
retracción del brazo	s	3.42	4	3.3	
extensión del cucharón	s	3.54	7.7	6.4	
retracción del cucharón	s	3.81	4.6	4	
deslizamiento de cilindros hidráulicos (fuga interna)					
pluma extendida	mm	1	24	6	180 s
brazo retraído	mm	0	30	12	180 s
brazo extendido	mm	3	30	12	180 s
cucharón extendido	mm	1	45	18	180 s
cucharón retraído	mm	1	45	18	180 s
velocidad de traslación lado derecho					
alta hacia adelante	s	22.2	<26.5	<24.5	
alta hacia atrás	s	22.3	<26.5	<24.5	
baja hacia adelante	s	35	<39	<37	
baja hacia atrás	s	35	<39	<37	
velocidad de traslación lado izquierdo					
alta hacia adelante	s	22.19	<26.5	<24.5	
alta hacia atrás	s	22.2	<26.5	<24.5	
baja hacia adelante	s	34.9	<39	<37	
baja hacia atrás	s	34.9	<39	<37	
velocidad de rotación de máquina (swing)					
rotación a la derecha	s	5	<6	<4.9	180°
rotación a la izquierda	s	4.87	<6	<4.9	180°
sobreoscilación de rotación de máquina (swing)					
rotación a la derecha	mm	1200	<1600	<1300	
rotación a la izquierda	mm	1140	<1600	<1300	

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior se detalla la velocidad en tiempo de operación de los cilindros hidráulicos y de los motores de traslación de la máquina. También muestra la longitud de caída de los cilindros, esta prueba evidencia la posibilidad de existencia de fuga interna en los componentes. Como se puede observar todos los parámetros medidos están en el rango especificado, lo cual liquidifica que la bomba hidráulica entrega la cantidad de flujo adecuado para una operación eficiente del equipo. Sin embargo, para determinar el flujo de entrega de la bomba es necesario realizar la medición con un medidor de flujo en la máquina o bien desmontar la bomba y enviarla a realizar esta prueba a los talleres del distribuidor, si fuera necesario.

Para este caso, con las pruebas realizadas se puede considerar que la bomba hidráulica principal de la máquina se encuentra en condiciones aceptables de operación. Se complementó el diagnóstico con el análisis del aceite usado para determinar las condiciones de desgaste en el sistema hidráulico y la respectiva limpieza del lubricante. Los resultados del análisis de laboratorio indican que el aceite presenta un nivel de grado de contaminación ISO 21/19/14.

Según la recomendación del fabricante los resultados exceden el requerimiento de limpieza mínimo aceptable para esta máquina ISO -/18/15, sin embargo, cabe mencionar que a la fecha de la investigación el equipo estaba operando con martillo hidráulico, lo que significa que este nivel de contaminación pudo deberse a esa condición de operación. Por lo que se debe reemplazar el aceite o como mínimo realizar una limpieza de este para alcanzar el nivel de limpieza adecuado; posterior a ello se deberá analizar el aceite a intervalos considerables para monitorear la contaminación del lubricante.

En el anexo 5 se muestra el resultado del análisis del laboratorio para el aceite del sistema hidráulico, el cual indica que el resultado obtenido es normal.

3.1.4. Análisis de lubricantes usados

Para determinar la condición interna de los componentes principales en cuanto a desgaste, se utilizó esta técnica de mantenimiento. Debido a la complejidad del desarme de las piezas, este método de diagnóstico tiene un nivel de confiabilidad aceptable para establecer la condición de las piezas sometidas a desgaste y de los lubricantes conjuntamente.

La aplicación de esta técnica se basa en el conteo de partículas contaminantes que contiene el lubricante según el código de limpieza recomendado por el fabricante. Para el caso de los mandos finales y el mando de giro de la excavadora, el nivel o código de limpieza ISO -/21/17, es el nivel máximo para estos componentes. El código 22/17 es considerado normal en algunas aplicaciones.

3.1.4.1. Análisis de aceite usado mandos finales

Los resultados de los análisis de aceites usado de los mandos finales se detallan a continuación:

- Mando final izquierdo: los resultados de laboratorio correspondientes a este componente indican un estado anormal nivel 2, según el laboratorio que realizó el análisis. Con un alto contenido de hierro, aluminio y silicio (tierra) y código de limpieza ISO 25/24/18, excediendo el ISO 21/17 recomendado para este tipo de componentes. Por lo tanto, se sugiere desarmar el componente y verificar el nivel de desgaste de las partes internas.

Tomando en cuenta que el tiempo de vida útil recomendado por el fabricante es de 8,000 horas y los componentes tienen 9,835 horas trabajadas, es recomendable monitorear constantemente el estado del aceite lubricante.

- Mando final derecho: de igual manera que el mando final izquierdo, este componente presenta indicios elevados y del mismo tipo de contaminantes. El resultado indica que tiene un estado anormal nivel 3 y un nivel o código de limpieza ISO 26/15/18, por lo tanto, también excede el máximo permitido para estos componentes.

Estos componentes, debido a las horas de trabajo y al medio ambiente operativo a que se someten; deben de monitorearse constantemente para evitar daños catastróficos. De acuerdo con los resultados obtenidos, se sugiere el desarme de los componentes y evaluar el estado físico de las piezas internas para su reutilización o reemplazo. Tomando en cuenta los resultados se solicitó el reemplazo del aceite lubricante. Para verificar los resultados ver anexos 6 y 7.

3.1.4.2. Análisis de aceite usado mando de giro (swing drive)

Los resultados de laboratorio de la muestra de aceite usado para este componente indican que el aceite está en un nivel o código de limpieza aceptable ISO 24/21/16, es decir en el rango permisible por el fabricante. Lo anterior, tomando en cuenta que el máximo permisible para este componente es ISO - 21/17, según lo mencionado con anterioridad. A continuación, se muestra una pequeña reseña de los resultados, el detalle completo se muestra en el anexo 8.

Tabla XXIII. **Conteo de partículas mando de giro**

Muestra #	Conteo de Particulas (particulas/mL)									
	Código ISO Basado en 4/6/14	> 4 µm	> 6 µm	> 10 µm	> 14 µm	> 21 µm	> 38 µm	> 70 µm	> 100 µm	Método de prueba
1	24/21/16	94269	12592	1167	371	92	6	0	0	ISO-11500

Fuente: Laboratorios Polaris (2021). *Resultado conteo de partículas.*

3.2. **Técnicas de ensayos no destructivos (END)**

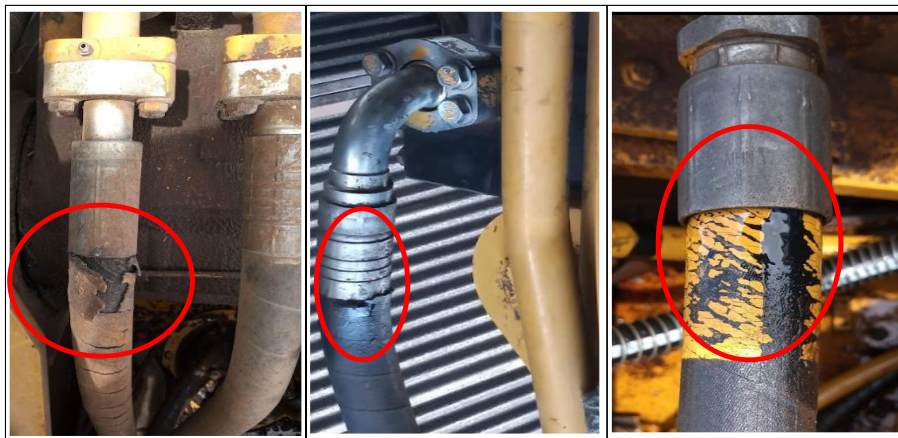
A demás de las técnicas mencionadas con anterioridad, se realizó una inspección visual a todo el equipo para verificar datos en las líneas hidráulicas, estructura inferior y superior de la máquina. Con la finalidad de establecer la condición del equipo en cuando a daños superficiales recibidos durante su tiempo de operación. Con ello se logró determinar la existencia de fugas de fluidos hidráulicos y presencia excesiva de contaminantes por falta de mantenimiento en sitio del activo.

Se verificaron los puntos de unión de los alojamientos de los pasadores o pines de los implementos con líquidos penetrantes para verificar de forma práctica y rápida la presencia de fisuras o rajaduras en estas piezas. En este tipo de máquinas es común la presencia de grietas por el trabajo de aplicación de estas. En este caso, el activo está sometido a vibración constante por operar con aditamento martillo hidráulico. Por lo que este tipo de ensayo es de mucha utilidad.

3.2.1. Inspección visual

Se llevó a cabo una inspección visual en todo el equipo para determinar la existencia de fugas de fluido hidráulico, contaminación por exceso de material acumulado, líneas hidráulicas dañadas, indicios de fallas por prácticas inadecuadas de mantenimiento. El propósito fue determinar necesidades de mantenimiento antes de la limpieza general del equipo, debido al exceso de suciedad que presentaba.

Figura 16. Líneas hidráulicas dañadas



Fuente: [Fotografía de Ismael Mejía.] (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

En la figura anterior se muestran los hallazgos encontrados referente a las líneas hidráulicas con daños y presencia de fuga de fluido hidráulico. La ruptura en operación de estos componentes puede provocar daños catastróficos y pérdidas considerables por parada del equipo.

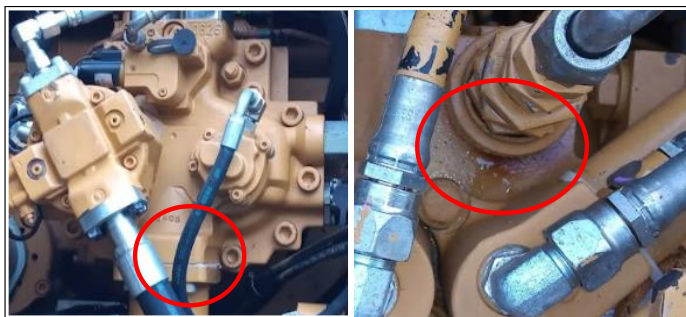
Figura 17. **Contaminación por exceso de lubricante**



Fuente: [Fotografía de Ismael Mejía]. (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Se evidenció práctica inadecuada de mantenimiento la aplicación de grasa en exceso favoreciendo el desgaste acelerado de las piezas en movimiento. Es exceso de desgaste en estos componentes puede provocar golpes en la estructura y con ello provocar grietas en las soldaduras de las partes.

Figura 18. **Bomba hidráulica y válvula de alivio principal**



Fuente: [Fotografía de Ismael Mejía]. (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Se observó fuga de aceite hidráulico en el cuerpo de la válvula de alivio principal, lo que puede provocar pérdida de presión de trabajo y entrada de contaminantes al aceite hidráulico, provocando aceleración del desgaste de los

componentes internos del sistema hidráulico. La bomba hidráulica presentaba una operación inadecuada de mantenimiento en el tubo de succión de esta, ello podría provocar ruidos por aireación y cavitación de la bomba y una posible falla importante.

Figura 19. **Radiador y enfriador del aceite hidráulico**



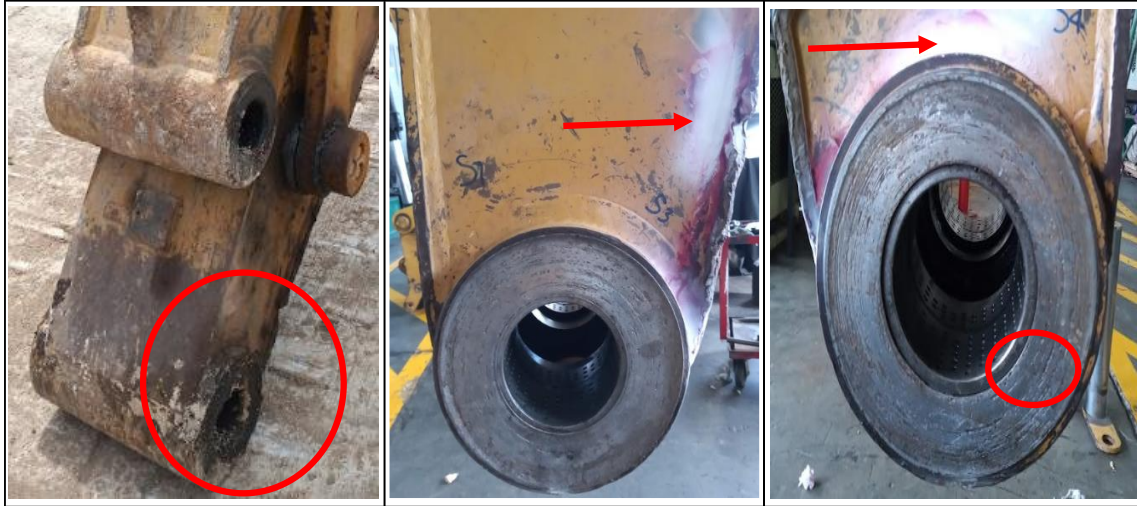
Fuente: [Fotografía de Ismael Mejia]. (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Se evidenció contaminación que podría dificultar la operación del sistema de enfriamiento de la máquina, por obstrucción de los enfriadores.

3.2.2. Verificación de implementos con líquidos penetrantes

Se realizó la verificación de los implementos del equipo por medio de inspección visual y aplicación de líquidos penetrantes, con la finalidad de identificar partes con desgaste provocado por el exceso de grasa contaminada en las áreas que requieren lubricación, posibles grietas resultantes de la operación con martillo hidráulico por un intervalo de tiempo prolongado. La vibración a que está sometida un equipo que opera con aditamento como lo es el martillo hidráulico puede provocar deterioro en las uniones de las partes de los implementos.

Figura 20. **Desgaste en extremo inferior del brazo**



Fuente: [Fotografía de Ismael Mejía]. (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

En la imagen anterior se observan que se observaron áreas con exceso de grasa contaminada con material abrasivo, provocando desgaste en las superficies de fricción del aditamento con el brazo. También se observó golpe en uno de los bordes cercano al alojamiento del buje o *bearing* del pasador que sujeta el aditamento, con el ensayo de líquidos penetrantes se determinó que no existían grietas o fisuras en las uniones.

Figura 21. **Revisión parte exterior del brazo**



Fuente: [Fotografía de Ismael Mejía]. (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Se inspeccionó la parte exterior del alojamiento del buje del pasador central del brazo debido a que presentaba indicios de golpes recibidos por la operación habitual de la máquina. Se logró determinar que no existen fisuras o grietas que se hubieran provocado durante la operación. En la figura anterior se puede verificar los resultados de la prueba.

Figura 22. **Base cilindro de la pluma lado derecho**



Fuente: [Fotografía de Ismael Mejía]. (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Se realizó la prueba en las bases del cilindro derecho de la pluma y se determinó que estaba en condiciones aceptables, sin fisuras ni grietas.

3.2.3. Medición de parámetros de desgaste mediante ultrasonido pulso eco

El tren de rodaje del equipo se inspeccionó mediante el ensayo no destructivo ultrasonido pulso eco, esta técnica la aplicó personal técnico del distribuidor del equipo, este servicio lo brinda el distribuidor como parte del soporte que ofrece al producto que representa. Este servicio es una muy buena opción de monitoreo de condición de las partes del sistema de tren de rodaje.

Tabla XXIV. Condición de desgaste tren de rodaje

Información general				
Fecha de inspección	10/09/2021	No. Parte de eslabón	6Y-2589/90	
Ubicación de la máquina	VAS, Guatemala	Paso de cadena	215.9 mm	
Modelo de máquina	338DL	Secc. De cadena	49	
Serie de máquina	J2F01072	Ancho de zapata	900 mm	
ID del equipo	REC3-82	Horómetro	10860.2	

Desgaste en Componentes				
Componente	Medición (mm)		Porcentaje de desgaste (%)	
	Lado izquierdo	Lado derecho	Lado izquierdo	Lado derecho
Eslabón	32.0	32.1	22	20
Buje interno	866.0	865.0	10	0
Buje externo	10.9	10.5	33	35
Zapata	35.5	34.6	45	48
Ruedas guías delanteras	20.0 (PRFND), 13.8 (Sonic)	20.5 (PRFND), 13.6 (Sonic)	15	8
Rodo superior 1	157.0	159.0	12	4
Rodo superior 2	158.0	157.0	8	12
Rodo inferior 1	177.0	177.0	16	18
Rodo inferior 2	172.0	180.0	45	0
Rodo inferior 3	175.0	185.0	30	0
Rodo inferior 4	178.0	178.0	9	12
Rodo inferior 5	177.0	180.0	16	0
Rodo inferior 6	172.0	177.0	45	18
Rodo inferior 7	175.0	179.0	30	6
Rodo inferior 8	179.0	175.0	6	30
Rodo inferior 9	174.0	-	33	-

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Gentrac Guatemala.

En la información compartida por el distribuidor se enmarca la palabra *Sonic*, en referencia a la técnica utilizada.

Tabla XXV. **Informe de resultados de medición de desgaste**

GENTRAC 
una empresa 
INFORME:
Cómo se puede observar en la tabla anterior, el mayor desgaste se encuentra en las zapatas de las cadenas.
1. <u>Eslabones</u> : Estos se encuentran al 20% de desgaste. Aún pueden utilizarse.
2. <u>Bujes</u> : Estos se encuentran al 35% de desgaste; internamente tienen solo un 10% de desgaste. Aún pueden utilizarse.
3. <u>Zapatas</u> : Las zapatas se encuentran al 45% de desgaste. Aún pueden utilizarse.
4. <u>Ruedas guías tensoras</u> : Estas se encuentran al 14% de desgaste. Aún pueden utilizarse.
5. <u>Rodos superiores</u> : Estos se encuentran al 12% de desgaste. Aún pueden utilizarse.
6. <u>Rodos inferiores</u> : En general, estos poseen un bajo porcentaje de desgaste. Aún pueden utilizarse.
7. <u>Sprockets</u> : Estos se encuentran en una buena condición de operación.

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Gentrac Guatemala.

Según las mediciones realizadas por el personal técnico del distribuidor de maquinaria Caterpillar, el desgaste de las partes del tren de rodaje a la fecha de la investigación se encuentran en condiciones aceptables de operación. Por lo que con las horas de trabajo que tiene el equipo el desgaste que presenta no requiere reparación o reemplazo alguno de las partes de este sistema. Cabe mencionar que las partes del tren de rodaje constituyen un valor significativo en las actividades de mantenimiento.

En este caso la excavadora hidráulica objeto de estudio puede seguir operando en condición normal con el desgaste que presentan las piezas del tren de rodaje. Posteriormente se podrá solicitar otra inspección para dar seguimiento a la condición de las piezas.

3.3. Vida útil de la máquina

Según los datos mencionados con anterioridad la excavadora hidráulica fue adquirida en el año 2014 con 18,8 horas, es decir, la máquina lleva siete años de vida útil consumida, de 15 años que normalmente se considera en este tipo de activos. Sin embargo, la bibliografía consultada menciona que no se debe de considerar esta simple diferencia de edad de la máquina. La vida útil del equipo se debe de expresar en valor monetario hasta la fecha, tomando en cuenta algunos factores importantes, tales como; su estado de conservación, el tiempo de producción (horómetro) y el mantenimiento brindado hasta el momento de la valoración.

Para conocer el valor monetario y condición del equipo a la fecha de la investigación, se determinó su valor neto de reposición (VNR) en base a los resultados de las evaluaciones realizadas para determinar el estado físico y de operación. Para ello se encontró el porcentaje de depreciación con el método de Ross-Heidecke, este método toma en cuenta el estado de conservación del equipo y otros factores que afectan el valor monetario de la máquina.

El valor de adquisición del activo fue de Q2,478,940, cabe mencionar que el equipo se adquirió con una garantía extendida de tres años, este arreglo es una consideración importante para la conservación de la máquina. Debido a que durante el periodo de garantía el mantenimiento y recambio de las piezas que

fallaron fueron reemplazadas por el distribuidor. Por lo que el mantenimiento brindado al equipo se considera de buena calidad. Ver anexos 9 y 10.

Figura 23. **Imagen condición actual excavadora 336D (J2F01072)**



Fuente: [Fotografía de Ismael Mejía]. (Villa Nueva. 2021). Colección particular. Guatemala.

En la imagen anterior se puede apreciar el estado físico de la excavadora hidráulica, durante la visita no se encontraron daños considerables, se identificó exceso de material acumulado y algunos rayones en la pintura causados por la operación habitual de la máquina. Por simple inspección se puede deducir que el equipo no presenta daños estructurales significativos.

El mantenimiento del activo se realiza por personal técnico calificado con experiencia en este tipo de maquinaria y poseen experiencia específica por haber laborado en los talleres del distribuidor. Los repuestos utilizados son genuinos de la marca del equipo y no se utilizan repuestos genéricos por disposición de los

inversionistas. Estos factores son importantes en la valoración de la máquina, considerados en la calidad del mantenimiento.

Tabla XXVI. **Valor neto de reposición según vida útil y conservación del equipo**

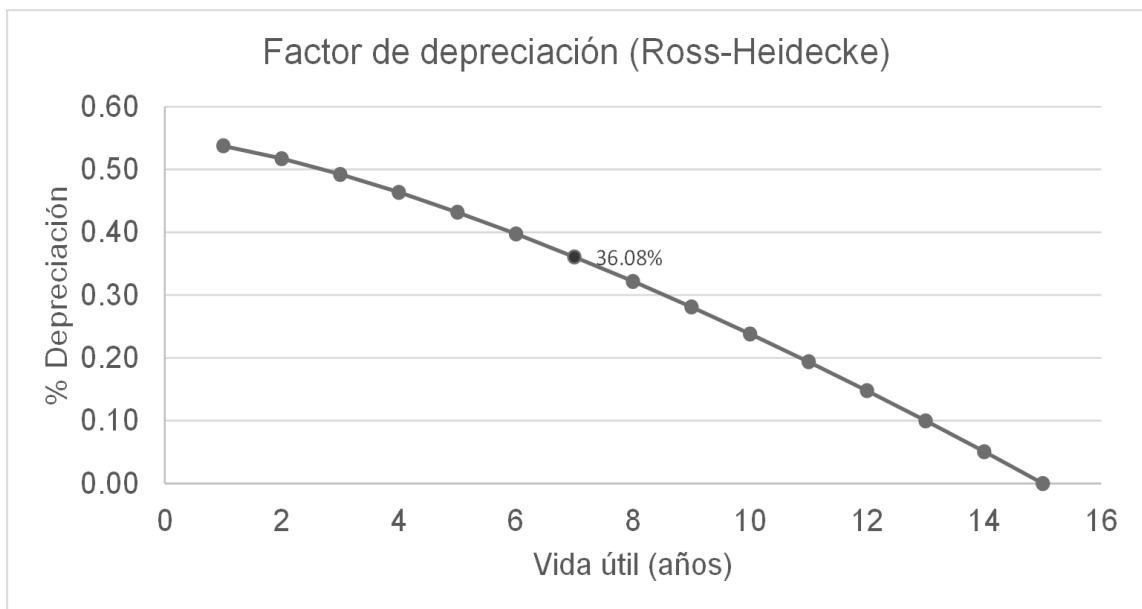
VALOR NETO DE REPOSICIÓN EXCAVADORA HIDRÁULICA J2F01071 9835 HR									
Vida útil años	Edad años	Vida útil remante (años)	Factor de calificación	Calificación	FD= (1-(E/VT) ^{1.40}) C			Valor inicial Q2,478,940.00	
15	1	14	0.55	5	0.0226	0.9774	0.5376	Q	1,332,648.88
15	2	13	0.55	5	0.0596	0.9404	0.5172	Q	1,282,219.45
15	3	12	0.55	5	0.1051	0.8949	0.4922	Q	1,220,174.89
15	4	11	0.55	5	0.1572	0.8428	0.4636	Q	1,149,135.38
15	5	10	0.55	5	0.2148	0.7852	0.4319	Q	1,070,557.75
15	6	9	0.55	5	0.2773	0.7227	0.3975	Q	985,398.81
15	7	8	0.55	5	0.3440	0.6560	0.3608	Q	894,346.42
15	8	7	0.55	5	0.4148	0.5852	0.3219	Q	797,924.40
15	9	6	0.55	5	0.4891	0.5109	0.2810	Q	696,548.11
15	10	5	0.55	5	0.5669	0.4331	0.2382	Q	590,556.80
15	11	4	0.55	5	0.6478	0.3522	0.1937	Q	480,234.00
15	12	3	0.55	5	0.7317	0.2683	0.1476	Q	365,821.03
15	13	2	0.55	5	0.8185	0.1815	0.0999	Q	247,526.36
15	14	1	0.55	5	0.9079	0.0921	0.0506	Q	125,532.31
15	15	0	0.55	5	1	0	0	Q	-

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se muestra el valor neto de reposición del activo, considerando un factor de calificación de 0,550, según las evaluaciones realizadas del estado de condición del equipo, este necesita reparaciones medias. La máquina está en condiciones de seguir operando satisfactoriamente cierta cantidad de horas y superar la vida útil de los componentes que sugiere el fabricante. Algunos de los componentes exceden este tiempo y aun no presentan indicios de fallas.

El valor de reposición actual para la máquina según los cálculos realizados es de Q 894,346.42, con una vida útil remante de ocho años para seguir operando. Este valor se obtiene del producto del factor de depreciación y el valor de adquisición del equipo. El valor determinado del equipo, es similar a los valores encontrados en el mercado de ventas de maquinaria. Ver anexo 11.

Figura 24. **Gráfica factor de depreciación Ross-Heidecke**



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica anterior se muestra la tendencia del factor de depreciación que se obtiene mediante el criterio de Ross-Heidecke. Como se puede observar con este criterio el factor de depreciación disminuye proporcionalmente con el consumo de la vida útil total de la máquina. Para este caso el factor de depreciación aplicado al equipo con la vida útil actual es del 38.08 %. Este porcentaje es con respecto al valor de adquisición.

Las intervenciones de mantenimiento en el transcurso de la vida útil de los activos para la conservación y optimización de la vida útil brindan una mejor valoración económica al equipo en el mercado, sin embargo, se enfrentan a la obsolescencia por los avances en la tecnología. Cabe mencionar que, para las decisiones de mantenimiento mayores, hay que tomar en cuenta otros factores para beneficio propio de las organizaciones. En esta investigación se considera la vida útil para conocer el estado económico del activo.

3.4. Disponibilidad y utilización del activo

Los datos obtenidos en la tabla se determinaron con los indicadores para el cálculo de la disponibilidad de la excavadora hidráulica objeto de estudio. Tomando en cuenta que la disponibilidad mecánica del equipo es la relación existente entre las horas de trabajo totales y las horas usadas en reparación en que ha incurrido la máquina.

3.4.1. Tiempo medio entre paradas (MTBS)

Este indicador se obtuvo del total de horas trabajadas de la máquina y el total del número de paradas presentadas durante las horas de operación mencionadas.

Tabla XXVII. Tiempo medio entre paradas MTBS

MTBS (tiempo medio entre paradas)	
Horas trabajadas	10 768
Número de paros	233
MTBS (horas)	46,21

Fuente: elaboración propia.

El tiempo medio entre paradas determinado para este equipo es de 46,21 horas, la maquina presenta una falla en este intervalo de tiempo. Este indicador obtenido se considera bajo, debido a que significa que la máquina pasa menor tiempo produciendo y más tiempo en el taller, por la cantidad de fallas que ha presentado. Sin embargo, hay que continuar hasta determinar la disponibilidad teórica real del activo.

3.4.2. Tiempo medio para reparar (MTTR)

El tiempo medio para reparar se estimó del total de horas en reparación dividido entre el número de fallas o paros en que ha incurrido la máquina. Este indicador proporcionó pautas sobre la inmediatez de la solución de los problemas mecánicos y así como las horas de inactividad del equipo.

Tabla XXVIII. **Tiempo medio para reparar**

MTTR (tiempo medio para reparar)	
Horas en reparación	1 689,25
Número de paros	233
MTTR (horas)	7,25

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior indica que, por cada problema mecánico presentado por el equipo, el personal de mantenimiento demora siete horas aproximadamente para corregir la falla y poner en operación la máquina. Debido a que no hay un detalle del tipo de fallas incurridas, no se pudo deducir si el tiempo determinado perjudica la operación del activo. Esto se tendrá con mayor claridad al establecer el porcentaje de disponibilidad.

El personal de mantenimiento indicó que este tiempo incluye todo el necesario para intervenir un equipo, inclusive el tiempo que toma llegar hasta la ubicación o sitio de trabajo. El valor de este indicador debería de estar entre 3 y 6 horas, cuando las habilidades en el mantenimiento son las adecuadas.

3.4.3. Disponibilidad mecánica

Con los indicadores obtenidos con anterioridad se procede a estimar la disponibilidad de la excavadora hidráulica. El dato obtenido debe de expresarse en porcentaje para tener una mejor visualización del contexto de operación de la máquina.

Tabla XXIX. **Disponibilidad mecánica excavadora hidráulica**

Disponibilidad mecánica	
MTBS (tiempo medio entre paradas)	46,21
MTTR (tiempo medio para reparar)	7,25
Disponibilidad %	0,86

Fuente: elaboración propia.

La disponibilidad que ha tenido la máquina objeto de estudio es del 86 %, considerándose un valor porcentual bajo según algunos autores con experiencia en el establecimiento y gestión de indicadores de mantenimiento. Un valor aceptable es 90 % de disponibilidad, algunas empresas con buenas prácticas de producción y mantenimiento establecen valores de 95% de disponibilidad de los equipos.

Según información proporcionada por el personal de mantenimiento este porcentaje bajo de disponibilidad pudo deberse a la falta de recursos para la

adquisición de repuestos que la empresa atravesó en cierto periodo de sus operaciones.

3.4.4. Utilización de la máquina

De acuerdo con la información brindada, el trabajo requerido para esta máquina es de ocho horas diarias; por 22 días al mes. Las horas de trabajo total reportadas por la máquina, durante el período evaluado, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla XXX. Utilización reportada por el equipo

HISTORIAL DE UTILIZACIÓN			
Periodo 2020-2021 años	Horas trabajadas	Horas programadas	% utilización x mes
Agosto	13,5	176	8%
2 Septiembre	16,6	176	9%
0 Octubre	0	176	0%
2 Noviembre	0	176	0%
0 Diciembre	0	176	0%
Enero	2,8	176	2%
2 Febrero	24,2	176	14%
0 Marzo	150,7	176	86%
2 Abril	193,4	176	110%
2 Mayo	187,8	176	107%
1 Junio	164,6	176	94%
Julio	98,6	176	56%
Total	150,7	2 112	40%

Fuente: elaboración propia.

El porcentaje de utilización determinado es del 40 %, el cual es notoriamente bajo, sin embargo, los meses que muestran valor cero, es el tiempo de inactividad del equipo por la falta de recursos. Quitando este período el porcentaje sube considerablemente a 54 %. Aun así, el porcentaje sigue siendo bajo, probablemente por el bajo índice de disponibilidad o deficiencia en la programación de las actividades de producción.

4. PLAN DE MANTENIMIENTO CERO HORAS

4.1. Diseño de programa de mantenimiento cero horas

Posterior a la realización de las actividades de diagnóstico y conocer el estado de operación o condición del equipo a la fecha de la investigación, se realiza el programa de reparación completa o mantenimiento cero horas de la máquina tomando en cuenta los resultados de las pruebas y el estado de los componentes internos, para considerar la reutilización de los mismos.

El plan de mantenimiento que se propone va desde realizar el monitoreo de condición del activo para identificar los componentes que necesitan intervención y los que podrían seguir operando en condiciones normales según los resultados obtenidos, los repuestos y servicios necesarios, hasta sugerir tareas de mantenimiento predictivo para dar seguimiento a los componentes que no se intervienen, así como las condiciones de operación posterior a la reparación de los componentes reparados.

4.1.1. Objetivos del plan de mantenimiento

Para que un programa o plan de mantenimiento sea eficiente se deben de plantear los objetivos que se persiguen, con el fin de obtener los resultados esperados en la ejecución del programa de mantenimiento, a continuación, se plantean los objetivos que se persiguen con el presente programa de mantenimiento cero horas de la excavadora hidráulica modelo 336D marca Caterpillar.

Objetivos del programa de mantenimiento cero horas que se propone:

- Garantizar la disponibilidad del equipo.
- Garantizar la vida útil de la máquina
- Mejorar la vida útil de los componentes internos o piezas sometidas a desgaste.
- Reducir el costo de los mantenimientos mayores.
- Sugerir actividades de mantenimiento predictivo.
- Identificar los recursos necesarios para las intervenciones.

4.1.2. Alcance del programa de mantenimiento

Las actividades de mantenimiento involucran varias áreas de operación dentro de la organización. Estas áreas deberán ejecutar cada una de sus responsabilidades con la mayor eficiencia, con la finalidad de lograr la consecución de los objetivos planteados con anterioridad. Las áreas de interés para la programación del mantenimiento cero horas dentro la empresa son:

- Operaciones, deberá de reportar cualquier anomalía identificada durante la operación de la máquina, evaluar la calidad de operación del equipo por parte del personal operativo, tomar en cuenta las paradas de mantenimiento predictivo dentro de la planificación de operaciones, realizar inspecciones durante el inicio de la utilización de los equipos.
- Mantenimiento, es el responsable de establecer la condición general de los componentes de la máquina de manera acertada, evaluar de forma exhaustiva la reutilización de componentes principales, utilizar tiempos eficientes en la reparación de los componentes, seguir los procedimientos del fabricante en cuanto al reacondicionamiento de las partes.

Proponer y ejecutar actividades de mantenimiento predictivo. El área de mantenimiento será el responsable de la programación de las actividades de reparación y mantenimiento de la máquina. También es el responsable de identificar y solicitar los recursos necesarios para llevar a cabo el mantenimiento del equipo.

- Administración, es el responsable de poner a disposición de las demás áreas los recursos necesarios para la ejecución de las actividades programadas. Deberá de facilitar el suministro de los repuestos de forma eficaz, es decir, en el momento adecuado y reportando cualquier retraso en la entrega.
- Proveedores externos, serán los encargados de aportar los servicios requeridos por la empresa, estos servicios pueden ser, la medición del desgaste del tren de rodaje y el reacondicionamiento de las partes desgastadas de los implementos.

4.1.3. Diagnóstico de estado de operación del equipo

Determinar la condición del equipo antes de su intervención es primordial para la programación del mantenimiento cero horas, de ello depende el requerimiento anticipado de las piezas necesarias y la programación de la lista de actividades para ejecutar el reacondicionamiento de los componentes. Establecer la condición de los componentes permite formular un escenario claro en el despiece de las partes y enfocarse en revisiones físicas minuciosas según los resultados de la medición de parámetros de operación del equipo.

Los componentes en los que se debe de establecer su condición son; motor de combustión, bomba hidráulica principal, mandos finales, cilindros hidráulicos, líneas hidráulicas, tren de rodaje, implementos y los sistemas eléctrico y electrónico.

4.1.4. Preparación de la lista de trabajo

Para la elaboración del programa de mantenimiento es sustancial identificar y formular el listado de actividades de trabajo desde el establecimiento del estado de condición del equipo hasta la ejecución de las reparaciones dispuestas en el programa de mantenimiento. Para el mantenimiento cero horas de la excavadora hidráulica objeto de estudio se establecieron las siguientes tareas de mantenimiento:

Tabla XXXI. Lista de trabajo

Listado de actividades de mantenimiento			
No.	Tarea	Responsables	Observaciones
1	realizar programa de mantenimiento	jefe y supervisor de taller	
2	pruebas de diagnóstico de componentes	técnico y auxiliar	
3	recolección de muestras de aceite usado	técnico y auxiliar	
4	inspección visual del equipo	técnico y auxiliar	
5	información de fallas de operación	operador de máquina	
6	medición de desgaste tren de rodaje	soporte de producto	distribuidor
7	análisis de aceite usado	servicios externos	laboratorio polaris
8	determinar condición de equipo	supervisor y técnico	
9	apertura de orden de trabajo	supervisor	
10	realizar requerimiento de repuestos	supervisor, técnico	
11	asignar tareas y responsabilidades	personal de compras	
12	reparar motor de combustión	supervisor	
		técnico y auxiliar	medio overhaul
13	reparar mandos finales	técnico y auxiliar	cambio de sellos evaluar desgaste interno
14	reemplazar líneas hidráulicas	técnico	
15	ajustar pluma	técnico y auxiliar	
16	reparar brazo (desgaste partes móviles)	servicios externos	proveedor de servicios
17	revisar bomba hidráulica (desarmar)	técnico y auxiliar	evaluar piezas internas
18	reparar cilindro del la pluma (lado derecho)	técnico y auxiliar	retenedor superficial defectuoso
19	reempacar válvula de alivio principal	técnico	cambio de sellos
20	realizar pruebas de operación	técnico y auxiliar	identificar fugas post reparación
21	evaluación y control del mantenimiento	jefe y supervisor de taller	
22	cierre de orden de trabajo	supervisor de taller	
23	monitoreo y mantenimiento predictivo	supervisor de taller y técnico	muestreo periodico de aceite usado

Fuente: elaboración propia.

4.1.5. Orden de trabajo

Para establecer el costo de la reparación, generar un historial de los repuestos utilizados y llevar un control de la mano de obra que puede servir para generar un estándar de tiempo de reparación, se debe de generar una orden de trabajo; para lo cual la empresa objeto de esta investigación apertura la orden de reparación del equipo evaluado, con la finalidad de llevar a cabo las reparaciones sugeridas y determinar las condición física de las piezas sometidas a desgaste, con ello poder determinar el horómetro óptimo para realizar este tipo de reparaciones. En el anexo 12 se muestran algunos detalles de la orden de trabajo.

4.1.6. Repuestos

Para la programación del mantenimiento se deben de contemplar los materiales necesarios para realizar las tareas, según a la condición del equipo y las inspecciones visuales y técnicas de ensayos no destructivos que se realizaron, se determinaron las listas de repuestos de los componentes que se van a intervenir.

Siendo estos componentes:

- Motor de combustión
- Bomba hidráulica principal
- Mandos finales
- Cilindro hidráulico del boom lado derecho
- Reemplazo de líneas hidráulicas dañadas o con fuga
- Ajuste de la pluma y el brazo
- Válvula de alivio principal

Tabla XXXII. **Lista general de recursos necesarios**

Lista general de repuestos e insumos			
No. Máquina	orden de compra	descripción	sub-total en Q
1	REC3-82	630115 líneas hidráulicas	5 628,39
2	REC3-82	629933 líneas hidráulicas	4 276,36
3	REC3-82	629927 repuestos bomba principal	116 978,37
4	REC3-82	629931 repuestos de la pluma (implemento)	3 183,61
5	REC3-82	629422 repuestos de los mandos finales	9 070,66
6	REC3-82	630199 repuestos de los mandos finales	1 306,05
7	REC3-82	630107 repuestos de los mandos finales	390,16
8	REC3-82	629929 repuestos de los mandos finales	287,08
9	REC3-82	629930 repuestos del brazo (implemento)	10 590,37
10	REC3-82	629932 repuestos del brazo (implemento)	7 885,52
11	REC3-82	615754 repuestos del motor de combustión	60 684,08
12	REC3-82	630155 repuestos del motor de combustión	2 429,44
13	REC3-82	630200 repuestos válvula de alivio	195,04
14	REC3-82	629928 set de empaques cilindro de la plum	4 407,66
15	REC3-82	lubricantes y suministros	15 000,00
16	REC3-82	5 % imprevistos	6 980,00
16	REC3-82	mano de obra estimada (710 hr)	12 854,44
Total			262 147,67

Fuente: elaboración propia.

El listado anterior muestra los repuestos para los componentes que se van a intervenir y el costo de estos. Los repuestos se deben de solicitar con anticipación basándose en los resultados de las pruebas de los parámetros de funcionamiento realizados. Cabe mencionar que al momento del desarme de los componentes puede variar según la inspección visual que se realice en el momento, sin embargo, para este caso la variación en cuanto a lo solicitado no fue sustancial, ello debido a la eficiencia del diagnóstico realizado.

En el apéndice 2, se detallan las listas de repuestos por componentes, en la tabla XXXII, se estima un 5 % por gastos emergentes.

4.1.7. Servicios externos

En la programación del mantenimiento hay que tener en cuenta la realización de actividades en las que la empresa no tiene los recursos o la disponibilidad de ponerlos a realizarlos. También es una forma eficiente de ejecutar actividades de mantenimiento paralelas, es decir mientras que el personal técnico de la organización realiza la reparación de los componentes, los proveedores de servicios subcontratados ejecutan las actividades por las cuales se les contrata.

En el caso de la programación del mantenimiento de la excavadora hidráulica el implemento brazo (*stick*) presentó desgaste en las superficies externas de los alojamientos de los bujes del pasador principal que conecta el brazo con la herramienta o aditamento. La medición del desgaste del tren de rodaje también es un servicio externo, este servicio lo presta el distribuidor de maquinaria Caterpillar. En el anexo 13 se detalla la cotización por la reparación de los alojamientos del brazo de la máquina.

4.1.8. Programación de actividades para mantenimiento

Posterior a la elaboración de la lista de actividades y de conocer los repuestos necesarios para reparar los componentes, se procede a programar las tareas, tomando en consideración al personal que realiza cada uno de los trabajos, la frecuencia con que se deben de realizar y el tiempo en que deben de efectuar cada trabajo. Los servicios externos son actividades que se pueden realizar de forma paralela a las actividades principales de reparación.

Las actividades de monitoreo de condición quedan definidas a intervalos en los que se considera importante realizarlas para dar seguimiento a la operación de la máquina.

Tabla XXXIII. Programa de reparación para excavadora hidráulica

Programa de actividades para Mantenimiento Cero Horas Excavadora Hidráulica modelo 336D serie No. J2F01072					
Nombre de tarea	Duración en días (8 h)	Responsables	Descripción de actividad	Frecuencia (hrs trabajo del equipo)	Observaciones
1 pruebas de diagnóstico de componentes	3	técnico ;auxiliar; supervisor de taller; técnico II	revisar parámetros de funcionamiento	5 000	
2 recolección de muestras de aceite usado	0.25	técnico	extraer muestras de aceite de componentes principales	•250 •1 000	monitoreo de condición
3 inspección visual del equipo	1	supervisor de taller	inspeccionar averías evidentes	250	monitoreo de condición
4 medición de desgaste tren de rodaje	1	personal distribuidor	tomar medidas de desgaste de las piezas	5 000	monitoreo de condición
5 análisis de aceite usado	4	laboratorio proveedor	determinar estado de contaminación y calidad el aceite	•250 •1 000	monitoreo de condición
6 determinar condición de equipo	0.5	jefe de taller; supervisor de taller; técnico II	evaluar, analizar resultados, toma de decisiones de reparación	5 000	monitoreo de condición
7 apertura orden de trabajo	0.5	supervisor de taller	asignar número de orden para control interno	n/a	cuando se requiera
8 realizar requerimiento de repuestos	15	supervisor de taller; técnico II	solicitar repuestos según resultados de diagnóstico	12 000	cuando se aperture orden de trabajo
9 reparar motor de combustión	8	técnico I; auxiliar II	cambiar piezas con desgaste o fuera de especificaciones	12 000	
10 reparar mandos finales	8	auxiliar; técnico	cambiar piezas con desgaste o fuera de especificaciones	12 000	
11 reparar bomba hidráulica principal	5	auxiliar; técnico	cambiar piezas con desgaste o fuera de especificaciones	12 000	
12 reparar cilindro de la pluma (lado derecho)	1	técnico I; auxiliar II	cambiar sello internos y externos	12 000	depende condición de operación
13 reemplazar líneas hidráulicas	0.5	auxiliar	cambiar mangueras en mal estado		depende inspección y condición
14 ajustar pluma	1	auxiliar; técnico	cambiar o instalar ajustes	12 000	
15 ajustar brazo	5	técnico I; proveedor servicios; auxiliar II	cambiar o instalar ajustes	12 000	
16 reemplazar válvula de alivio principal	0.5	técnico	cambiar sellos internos	12 000	
17 realizar pruebas de operación	1	supervisor de taller; técnico	revisar fugas, ruidos o vibraciones después de la reparación		después de intervención de componentes
18 cierre de orden de trabajo	1	supervisor de taller	cerrar y evaluar eficiencia de OT		al finalizar reparación

Fuente: elaboración propia.

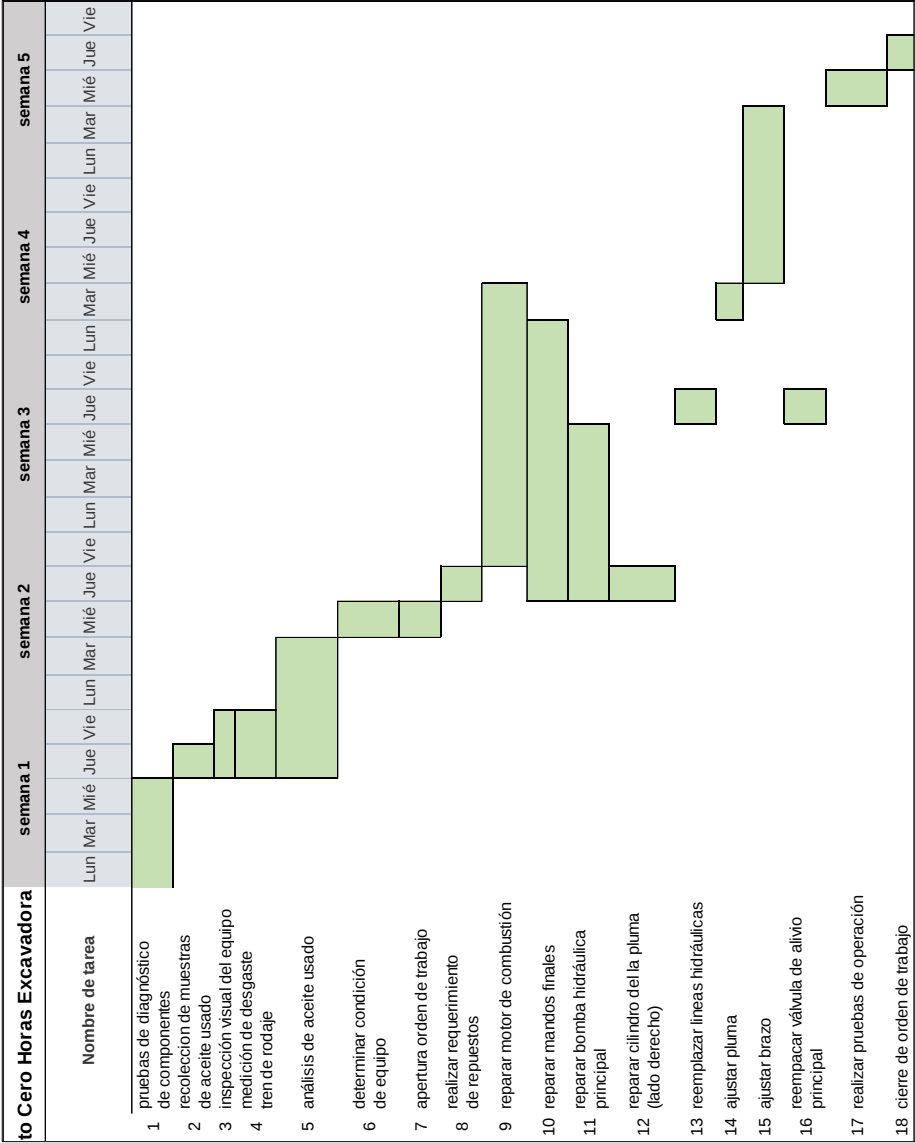
La tabla anterior muestra los detalles de: nombre de la tarea, duración, responsable de la ejecución y la frecuencia con se deben de realizar cada una de las actividades de mantenimiento. Cabe mencionar que los intervalos

propuestos en el presente programa son específicos para este equipo y que dependen del estado de condición de la máquina y sus componentes. La empresa intervino el equipo con 10,935 horas y se pudo determinar que las piezas internas aún se encontraban en el rango de especificaciones aceptable para el reuso de estas.

Después de la ejecución del programa de reparaciones se considera importante brindar el seguimiento adecuado al estado de condición de la máquina, a través del monitoreo y análisis de aceites usados; para verificar indicios o aumentos de desgaste o pérdida de eficiencia de operación de los mecanismos que no se intervienen. Algunos componentes rebasan el tiempo de vida útil recomendado por el fabricante y sin embargo están en condiciones de desgaste normales y aceptables al horómetro de la intervención. Lo que significa un aumento sustancial de la vida útil individual de los componentes.

El programa es flexible en su ejecución, depende de la disponibilidad del personal de la empresa y de la disponibilidad de los recursos para la intervención. La ejecución del mantenimiento tiene una duración aproximada de 25 días hábiles desde el inicio del diagnóstico de los componentes hasta finalizar cada una de las reparaciones de los componentes. Cabe mencionar que la duración puede variar dependiendo de la disponibilidad de los repuestos y de contingencias que pueden exponer los proveedores de servicios externos que apoyan con reparaciones secundarias.

Tabla XXXIV. Programa de reparación para excavadora hidráulica



Fuente: elaboración propia.

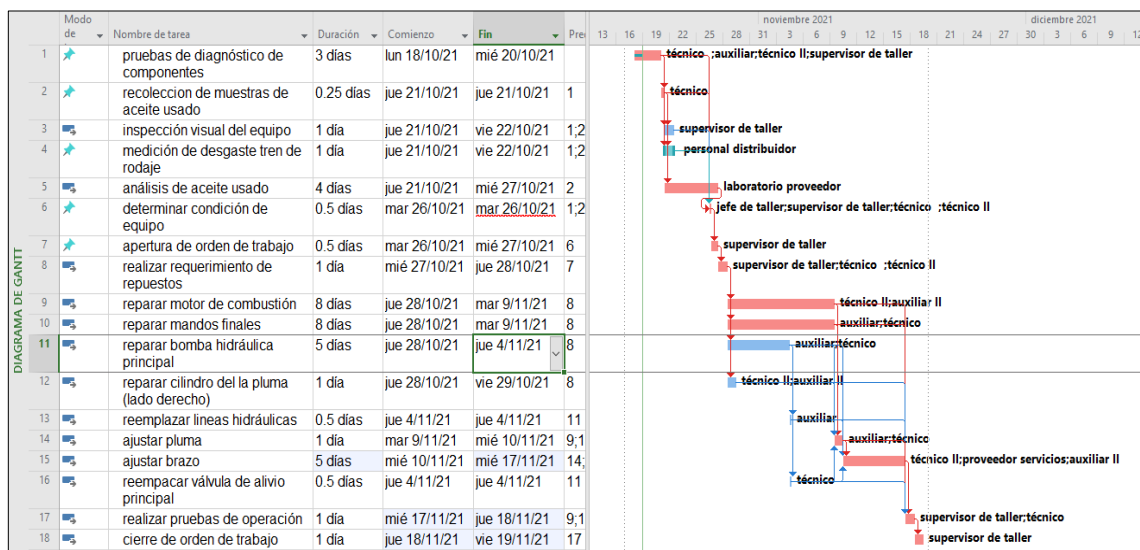
En la tabla anterior se muestra la secuencia y duración que podrían tener las actividades de reparación, sin embargo, como se menciona con anterioridad

la empresa puede adaptar el programa a sus necesidades y exigencias de producción.

4.1.9. Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento

Para la realización eficiente del mantenimiento es necesario establecer actividades de control que garanticen la confianza en los datos obtenidos en el diagnóstico previo a las intervenciones, así como en la ejecución de las reparaciones. Es necesario tener en cuenta las especificaciones del fabricante, resultados de laboratorio, experiencia técnica de los encargados de ejecutar el mantenimiento y el cumplimiento eficaz de los tiempos invertidos en las reparaciones.

Figura 25. Gráfica de Gantt



Fuente: elaboración propia.

Para llevar un control del avance de las actividades de reparación la empresa puede utilizar juntamente con su sistema de gestión del mantenimiento, una gráfica de Gantt que visualice el avance y actividades principales en donde no se tiene flexibilidad de tiempo de ejecución. De esta manera puede lograr la meta de tiempo de entrega del equipo reparado.

Figura 26. **Evaluación de componentes**



Fuente: [Fotografía de Ismael Mejía]. (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Como se ha mencionado con anterioridad, es importante evaluar de forma técnica y acertada cada uno de los componentes vitales en el funcionamiento de

los componentes principales de la máquina. Una buena evaluación garantiza el buen funcionamiento del componente y un mejor aprovechamiento de la vida útil de las partes principales. La obtención adecuada de las muestras también es un punto importante, la limpieza de la herramienta y recipiente, asegura que los resultados sean confiables y verídicos.

Tabla XXXV. Costo reparaciones anteriores

Orden de Trabajo			
Orden Trabajo :	12123	Emitida en el proyecto :	001 SONORA
Maquina :	REC3-39	RETROEXCAVADORA	
Fecha apertura :	27/05/2015	Tipo de Ord.Trabajo. :	R Reparacion
Receptor :			
Horometro :	12734	Kilometraje :	
Observaciones :	REPARAR SISTEMA TREN DE POTENCIA		
Estado :	C	CERRADA	Fecha Finalizacion/Cierre : 04/11/2015
Traslado :	S	Proyecto Referencia :	Ot. Referencia :
Total Mano de Obra Q.	23,527.66		
% Prestaciones Q.	8,321.73		
Total Repuestos Q.	678,367.79		
Total Servicios Ext. Q.	25,227.28		
Total Viaticos Q.			
Indirecto Q.	137,307.48		
TOTAL de la Orden de Trabajo Q.	872,751.94		

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se muestran detalles del costo de las reparaciones que se ha realizado en la empresa objeto de estudio, con la diferencia sustancial de no haberse realizado un monitoreo de condición de los componentes previo a ejecutar las reparaciones. El costo total aproximado del mantenimiento cero horas que se detalla en este programa de mantenimiento es de Q 262,147.67,

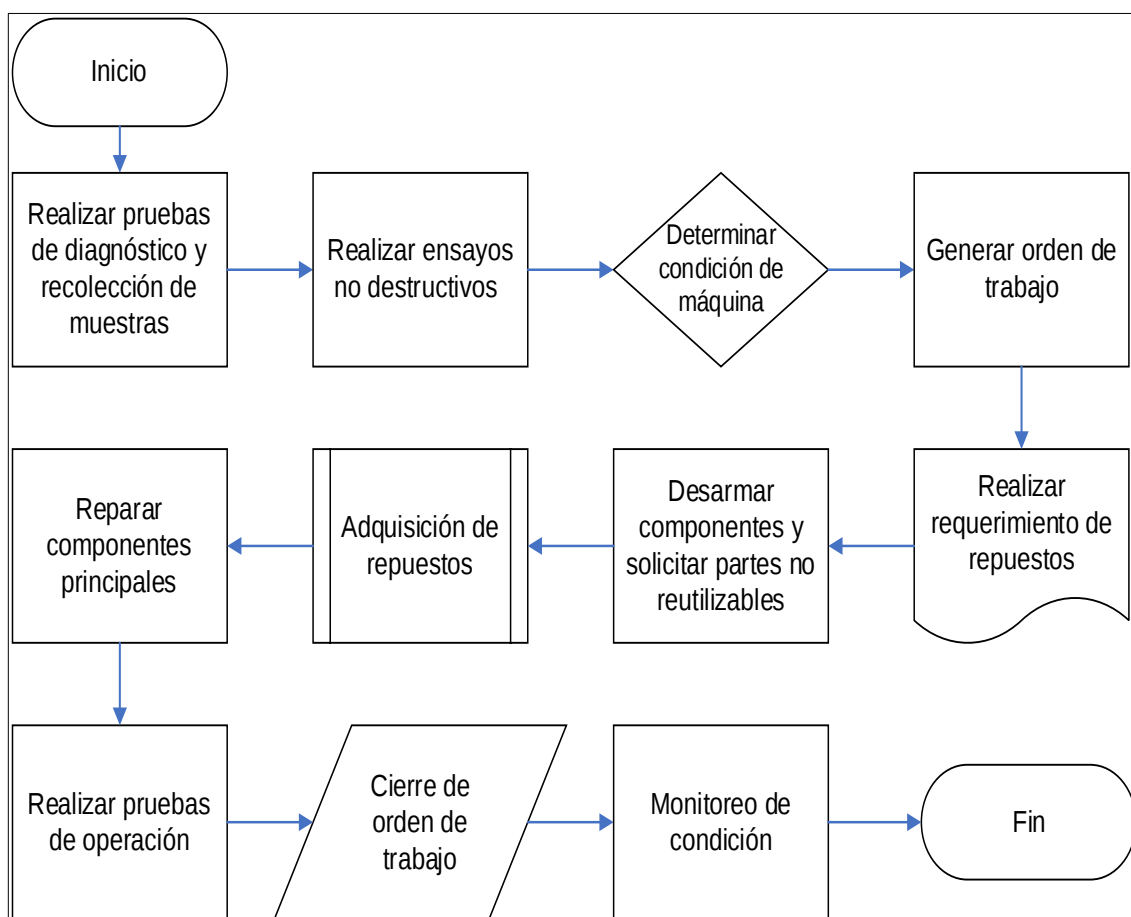
ver tabla XXXII; habiéndose realizado a las 10,900 horas aproximadamente por una falla presentada en la galería de lubricación del motor de combustión.

Sin embargo, al desarmar los componentes y realizar las mediciones pertinentes se determinó que no existían desgastes significativos y que las partes intervenidas pueden seguir operando satisfactoriamente, dándole seguimiento con la ejecución de un monitoreo de condición periódico.

4.2. Diagrama de flujo del programa propuesto

Para representar la secuencia de las actividades que involucran el programa de mantenimiento cero horas para el equipo de excavación hidráulica modelo 336D, se desarrolló el siguiente flujograma de actividades. Cabe mencionar que este es el orden para desarrollar el programa y no el orden o secuencia de las reparaciones, que se detalló con anterioridad.

Figura 27. **Flujograma programa de mantenimiento ceros horas**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visio.

Al finalizar la reparación y garantizar la disponibilidad y vida del activo se deben de llevar a cabo actividades de mantenimiento predictivo, tal y como se muestra en el flujograma descrito.

CONCLUSIONES

1. Se realizaron pruebas de diagnóstico a los componentes principales de la máquina para establecer la condición de operación de los mismos, se determinó que componentes necesitan intervención para garantizar la vida útil y disponibilidad del activo. Se estableció un programa de mantenimiento cero horas y el diagrama de flujo para diseñar el programa de reparaciones. El programa contiene el tiempo estimado para llevar a cabo el mantenimiento, los repuestos mínimos necesarios y los responsables del control y ejecución de las reparaciones.
2. Las técnicas de mantenimiento necesarias son: monitoreo de condición, ensayos no destructivos, análisis de aceite usado y verificación de especificaciones de reusabilidad. Se determinó que las reparaciones necesarias son: reparación del motor de combustión, mandos finales, bomba hidráulica, cilindro del boom, brazo y líneas hidráulicas. La reparación del motor se debió a una operación con baja presión de lubricación (<20 psi), la presión de cárter esta aceptable $1.5 \text{ In.H}_2\text{O}$. La reparación de los mandos finales es por la presencia de contaminantes que aceleran el desgaste interno, encontrados en los análisis de aceite. Reparar la bomba hidráulica por presencia de indicios de desgaste y cavitación en los pistones y placas de presión del barril.

3. La máquina se encontró en condiciones de operación aceptable. Los parámetros de operación se encontraron en el rango especificado. Al momento de realizar el diagnóstico el equipo contaba con 9,835 horas de trabajo y un registro de 233 fallas, con igual número de paros dando como resultado 1,689 horas en mantenimiento. La falla importante presentada por la máquina es la del sistema de lubricación del motor que se encontró durante la visita preliminar de la investigación.

4. La vida útil consumida del equipo es de 7, de 15 años que se considera para este tipo de máquinas, con un valor actual de Q 894,347.42 y un factor de depreciación del 36.08 %. Según el criterio de evaluación aplicado y el estado actual, la máquina necesita reparaciones de importancia media. En la etapa final de la investigación la máquina alcanzó 10,921 horas de operación sin presentar fallas importantes, según historial de reparaciones y experiencia del investigador basado en la conservación del equipo es factible intervenir el equipo a las 12,000 horas, con ello se optimiza la utilización de los componentes.

RECOMENDACIONES

1. El fabricante del equipo sugiere ciertos intervalos de horómetros en que debe de realizarse el mantenimiento cero horas de los componentes, sin embargo, la calidad del mantenimiento contribuye significativamente a que los componentes sobrepasen esta estimación. Se deben de respetar estas sugerencias como patrón para determinar las condiciones de las piezas y la calidad del mantenimiento brindado. El programa de mantenimiento es flexible y se basa en el estado de operación de la máquina. Se debe analizar si es conveniente reparar los componentes o bien llevar al límite de su vida útil para su reemplazo total. El programa debe de ser aprobado por las autoridades competentes de la organización.
2. Se sugiere utilizar el servicio de inspección de rodaje por medio del END ultrasonido pulso eco que brinda el distribuidor. Con ello se pueden ahorrar costos de mantenimiento en el diagnóstico, el seguimiento adecuado de este mantenimiento predictivo ayuda a optimizar la vida útil del tren de rodaje de la máquina. Es importante dar seguimiento a los análisis del aceite usado para monitorear el desgaste de las piezas internas de los componentes. El fabricante dispone de piezas reconstruidas para reemplazar componentes importantes y disminuir los tiempos en reparaciones, con ello también se goza de la garantía de fábrica de estas piezas.

3. Determinar los tiempos para realizar las tareas de mantenimiento y así disminuir el tiempo invertido en ejecutar las intervenciones de mantenimiento. Aprovechar las holguras en las programaciones de trabajo asignado a los equipos por el área de producción, para hacer las reparaciones que no requieren atención inmediata. Aprovechar la plataforma de monitoreo a distancia para verificar el estado de condición del activo en tiempo real.
4. El horómetro de reparación de los componentes se puede prolongar de acuerdo a la condición de la máquina y a la calidad del mantenimiento, sin embargo, después de las 12,000 horas de trabajo los costos de mantenimiento pueden incrementarse sustancialmente por el grado de fatiga y desgaste que pueden tener las piezas principales. Por ello es importante establecer intervalos de tiempo para realizar actividades de monitoreo de condición y con ello dar seguimiento al estado del equipo. Una buena conservación del equipo por medio del mantenimiento eficiente puede ayudar a alcanzar e incluso superar el tiempo de vida útil total de la máquina, sin embargo, hay que considerar la obsolescencia por los avances en la tecnología.

REFERENCIAS

1. Albarracín Aguilón, P. R. (2015). *Tribología y Lubricación*. (5ª edición). Medellín. Demo libro. Recuperado de <http://www.tribosingenieria.com/wp-content/uploads/2016/12/DEMO-LBRO.pdf>
2. Asociación Americana de Ensayos de Materiales. (2018). *Prácticas Estándar para Ensayos con Líquidos Penetrantes para la Industria en General*, Estados Unidos: ASTM.
3. Ballesteros, A. (2010). *Estudio del estado del arte en ensayos no destructivos aplicados en ambientes marinos*. México: UNAM.
4. Bilbao, M. y Málaga, A. (2014). *Lubrication Management*. Estados Unidos: Research Management. Recuperado de https://lubrication-management.com/wp-content/uploads/sites/3/2014/07/Contaje_de_part%C3%ADculas_ES.pdf
5. Boquera Pérez, P. (2015). *Planificación y control de empresas constructoras*. Valencia, España: Universitat Politècnica de Valencia.

6. Carreras, R.; Álvarez Florez, J. A. y Callejón Agramunt, I. (2015). *Motores alternativos de combustión interna*. (1ª edición). Barcelona: Ediciones de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL. Recuperado de https://elibro.net/es/ereader/uscg/61423?as_all=motores__de__combustion__interna&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as
7. Castillo Herrera, W. P. y Toapanta Cunalata, O. G. (2019). *Principios de Tribología Aplicados en la Ingeniería Mecánica* (1ª edición.). Alicante: Área de Innovación y Desarrollo, S.L. doi:<http://doi.org/10.17993/IngyTec.2019.57>
8. Caterpillar Inc. (2020). *Sistema de Información de Servicio-RENR9584_*. Estados Unidos: Autor. Recuperado de <https://sis.cat.com/sisweb/servlet/cat.cis.sis.PController.CSSISTechDocServlet>
9. Caterpillar. (mayo 2008). Excavadora Hidráulica 336D / 336D L. *Ficha Técnica ASHQ5991* (8-08), 24. Recuperado de <https://www.tracsa.com.mx/fichas-tecnicas/cat-336d-l.pdf>
10. Caterpillar Inc. (2020). *Sistema de Información de Servicio-SIS*. Estados Unidos: Autor. Recuperado de <https://sis.cat.com/sisweb/servlet/cat.cis.sis.PController.CSSISTechDocServlet>

11. Dounce Villanueva, E. (2014). *La productividad en el Mantenimiento Industrial* (3ª edición.). México: Grupo Editorial Patria. Recuperado de https://elibro.net/es/ereader/uscg/39453?as_all=tecnicas__de__mantenimiento__industrial&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as&page=13
12. Duffuaa, S. A. Raouf, y Campbell, J. D. (2007). *Sistemas de mantenimiento, Planeación y control*. México: LIMUSA WILEY.
13. FULLCAT. (2020). *Fullcat.Cl*. Estados Unidos: Autor. Recuperado de <https://www.fullcat.cl/sistema-de-aire-acondicionado-maquinaria/>
14. García Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
15. García Palencia, O. (2012). *Gestión moderna del mantenimiento industrial* (1 ed.). Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
16. González Ajuech, V.; Medrano, J. y Díaz de León Santiago, V. (2017). *Mantenimiento: técnicas y aplicaciones industriales* (1ª edición). México: Grupo Editorial Patria.
17. González, F. (2005). *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado* (2ª edición.). Madrid: Fundación Confemetal.

18. Gresham, B. (04 de 2015). *Society of Tribologist and Lubrication Engineers-STLE*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de https://www.stle.org/files/TLTArchives/2015/04_April/Lubrication_Fundamentals.aspx?WebsiteKey=a70334df-8659-42fd-a3bd-be406b5b83e5
19. Heizer, J. y Render, B. (2009). *Principios de Administración de Operaciones*. (7a edición.). México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
20. Hernández y Rodríguez, S. (2011). *Introducción a la Administración, Teoría general administrativa: origen, evolución y vanguardia* (5a edición). México, D.F., México: McGraw-Hill/interamericana editores s.a. de c.v.
21. Jiménez Raya, F. (2015). *Mantenimiento preventivo de sistemas de automatización industrial* (1 ed.). España: IC Editorial.
22. Linares Depestre, L. O. y del Centro, E. G. (2012). Del Mantenimiento Correctivo al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. *Centro Azúcar*, 39(3), 7-14. Recuperado de <http://centroazucar.uclv.edu.cu/media/articulos/PDF/2012/3/2.pdf>
23. Losada, C. y Rodríguez, J. (2008). Tribología y Lubricación en ensayo de banco. *Red Ciencia Ergo Sum*, 8(2), 9. Recuperado de https://elibro.net/es/ereader/uscg/18148?as_all=TRIBOLOG%C3%8DA&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as

24. Maquinarias Pesadas. (27 de 10 de 2020). *Sistema de tren de potencia*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.maquinariaspesadas.org/blog/2674-manual-tren-fuerza-caterpillar-potencia-convertidor-transmisiones>
25. Martínez Pérez, F. (2002). *La Tribología: Ciencia y técnica para el mantenimiento*. México: LIMUSA S.A. DE C.V. Recuperado de https://books.google.com.gt/books?id=ht0KP_IscosC&pg=PA17&dq=TRIBOLOGIA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjagsLO_rbsAhWlxFkKHUDqAj0Q6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=TRIBOLOGIA&f=false
26. Narciso Farias, F.; Rios, A., Rodríguez, C. y Valero, G. (4 de noviembre de 2008). Diseño de un Sistema Multiagentes de Mantenimiento: Agente Planificador|. *XIII Congreso Latinoamericano de Control Automático*. Llevado d cabo en Mérida. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/283275480_Disenio_de_un_Sistema_Multiagentes_de_Mantenimiento_Agente_Planificado_r
27. Navarro Elola, L.; Mugaburu Lacabrera, J. M. y Pastor Tejedor, A. C. (2009). *Gestión integral de mantenimiento*. Barcelona, España: Marcombo.
28. Ordóñez Ramírez, M. Á. (2012). *Mantenimiento de sistemas de refrigeración y lubricacion de los motores térmicos* (1a edición). Andalucía: Innovación y Cualificación, S.L. Recuperado de https://elibro.net/es/ereader/uscg/54341?as_all=LUBRICANTE&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as&page=12

29. Organización Internacional para la Estandarización. (2002). *Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas*. París, Francia: Autor.
30. Organización Internacional para la Estandarización. (2003). *Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas*. París, Francia: Autor.
31. Organización Internacional para la Estandarización. (2012). *Maquinaria de movimiento de tierras-Tipos Básicos: Identificación términos y definiciones (ISO 6165)*. París Francia: Autor.
32. Organización Internacional para la Estandarización. (2018). *Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas: Lineamientos generales (ISO 17359)*. París, Francia: Autor.
33. Ortiz Useche, A.; Rodríguez Monroy, C. e Izquierdo, H. (marzo 2013). Gestión de mantenimiento en pymes industriales. *Revista Venezolana de Gerencia*, 18(61), 86-104. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/290/29026161004.pdf>
34. Ortiz, J. (2015). Aplicación de la técnica V.O.S.O. para resolver problemas mecánicos del conductor flotante de la refinería de azúcar del Ingenio La Unión. *XIII Congreso de Técnicos Azucareros de Guatemala*, llevado a cabo en Guatemala. Recuperado de <https://www.atagua.org/web2/wp-content/uploads/2015/09/F2-Aplicaci%C3%B3n-de-la-t%C3%A9cnica-VOSO.-J.-A.-Ortiz.pdf>
35. Pacheco, M. y Vizuite, J. (2020). *Diseño construcción de un Simulador de los Movimientos de una Retroexcavadora Controlado por un Sistema de Mando Automatizado*. (Tesis de grado). Escuela

Politécnica del Ejército. Latacunga, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4193/1/T-ESPEL-0215.pdf>

36. Pilay Ponce, R. (2018). *Análisis del ciclo de vida económica útil de maquinaria pesada utilizada en movimiento de tierra*. (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil. Ecuador.
37. Rodríguez Machado, A. (2012). *Manual de Gestión de Mantenimiento*. Santa Clara. Cuba: Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Recuperado de <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/5574/Antonio%20Rodr%C3%ADguez%20Machado.pdf?sequence=1&isAllowed=y41>.
38. Romero Pérez, I. (2010). *Procedimientos, criterios y factores que se deben de considerar para obtener el valor de uso de la maquinaria pesada para construcción*. (Tesis de maestría), Universidad Nacional Autónoma de México. México.
39. Sapag Chain, N. y Sapag Chain, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. (5ª edición). Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A.
40. Sola Rosique, A. y Crespo Márquez, A. (2016). *Principios y marcos de referencia de la gestión de activos*. Madrid, España: AENOR-Asociación Española de Certificación y Normalización.

41. Vivallo P. A. (s.f.). *Formulación y Evaluación de proyectos, Manual para estudiantes*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de https://drive.google.com/file/d/0B37hUU0ZxXAbQnJqR21GaU8tRHM/view?ts=585be1e5&resourcekey=0-0I9BPh8OEO_zV39uJEylnw

42. Volvo Construction Equipment. (s.f.). *Repuesto Volvo excavadoras*. Induretros. Recuperado de <https://www.induretros.com/volvo/producto/partes-excavadora/>

43. Zambrano, E.; Prieto, A. T. y Castillo, R. (mayo 2015). Indicadores de gestión de mantenimiento en las instituciones públicas de educación superior del municipio de Cabimas. *TELOS. Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencia Sociales*, 17(3), 495-511. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5655378.pdf>

44. Zegarra, M. (abril de 2016). Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. *Ciencia y Desarrollo. Universidad Alas Peruanas*, 15 (37). doi:<http://dx.doi.org/10.21503/CienciayDesarrollo.2016.vl.9il.02>

APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de consistencia

NO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CERO HORAS PARA GARANTIZAR LA VIDA ÚTIL Y DISPONIBILIDAD DE UNA EXCAVADORA HIDRÁULICA MODELO 336D MARCA CATERPILLAR			
Objetivo general		Conclusión	Recomendación
Establecer un programa de mantenimiento cero horas adecuado para garantizar la vida útil y disponibilidad de la excavadora hidráulica modelo 336D Caterpillar.		Se realizaron pruebas de diagnóstico a los componentes principales de la máquina para establecer la condición de operación de los mismos, con la finalidad de determinar los componentes que necesitan intervención para garantizar la vida útil y disponibilidad del activo. Se estableció un programa de mantenimiento cero horas tomando en cuenta el estado de operación de la máquina. Se realizó el diagrama de flujo para diseñar el programa de reparaciones, se verificaron las especificaciones de reusabilidad de piezas importantes. El programa contiene el tiempo estimado para llevar a cabo el mantenimiento, los repuestos mínimos necesarios y los responsables del control y ejecución de las reparaciones.	El fabricante del equipo sugiere ciertos intervalos de hornómetros en que debe de realizarse el mantenimiento cero horas de los componentes, sin embargo, la calidad del mantenimiento contribuye significativamente a que los componentes sobrepasen esta estimación. Se deben de respetar estas sugerencias como patrón para determinar las condiciones de las piezas y la calidad del mantenimiento brindado. El programa de mantenimiento es flexible y se basa en el estado de operación de la máquina. Se debe de analizar si es conveniente reparar los componentes o bien llevar al límite de su vida útil para su reemplazo total. El programa debe de ser aprobado por las autoridades competentes de la organización.
Objetivo específico		Conclusión	Recomendación
1 Identificar las reparaciones y técnicas de mantenimiento necesarias para implementar un programa de mantenimiento cero horas para una excavadora hidráulica modelo 336D Caterpillar.		Las técnicas de mantenimiento necesarias son: monitoreo de condición, ensayos no destructivos, análisis de aceite usado. Se determinó que las reparaciones necesarias son: reparación del motor ultrasonido pulso eco que brinda el distribuidor, sin costo alguno. Con ello se de combustible, mandos finales, bomba hidráulica, cilindro del boom, pueden ahorrar costos de mantenimiento en el diagnóstico, el seguimiento de brazo y líneas hidráulicas. La reparación del motor es porque sufrió adecuado de este mantenimiento predictivo ayuda a optimizar la vida útil del tren de baja presión de aceite de motor <20 psi por la ruptura de tubería de rodaje de las máquinas de este tipo. Es importante dar seguimiento a los interna, la presión de cárter esta aceptable 1.5 h ₂ O. La reparación análisis del aceite usado para monitorear el desgaste de las piezas internas de los mandos finales es por la presencia de contaminantes que los componentes. El fabricante dispone de piezas remanufacturadas para aceleran el desgaste interno, encontrados en los análisis de aceite, reemplazar componentes importantes y disminuir los tiempos en reparaciones. Reparar la bomba hidráulica por presencia de indicios de desgaste y con ello también se disfruta de la garantía de fábrica de estas piezas. cavitación en los pistones y placas de presión del barril.	Considerar la estandarización de tiempos para ejecutar las tareas de mantenimiento y así disminuir el tiempo invertido en ejecutar las intervenciones de mantenimiento. Aprovechar las holguras en las programaciones de trabajo asignado a los equipos por el área de producción, para la elaboración de las reparaciones que no requieren atención inmediata. Aprovechar la plataforma de monitoreo a distancia para verificar el estado de condición del activo en tiempo real.
2 Verificar las horas de mantenimiento en los que ha incurrido el equipo de acuerdo a las horas de operación y estado de condición a la fecha de investigación.		La máquina se encontró en condiciones de operación aceptable. Los parámetros de operación se encontraron en el rango especificado. Al momento de realizar el diagnóstico el equipo contaba con 9 635 horas de trabajo y un registro de fallas de 233, con igual número de paros dando como resultado 1 689 horas en mantenimiento. La falla más importante presentada por la máquina es la del sistema de lubricación, monitoreo del motor que se encontró durante la visita preliminar de la real investigación.	Considerar la estandarización de tiempos para ejecutar las tareas de mantenimiento y así disminuir el tiempo invertido en ejecutar las intervenciones de mantenimiento. Aprovechar las holguras en las programaciones de trabajo asignado a los equipos por el área de producción, para la elaboración de las reparaciones que no requieren atención inmediata. Aprovechar la plataforma de monitoreo a distancia para verificar el estado de condición del activo en tiempo real.
3 Determinar la de vida útil consumida y horas totales de operación, en las cuales es factible realizar un mantenimiento cero horas a excavadora modelo 336D Caterpillar, a la fecha de investigación.		La vida útil consumida del equipo es de 7, de 15 años que se considera para este tipo de máquinas, con un valor actual de Q 894 347.42 y un factor de depreciación del 36.08%. Según el criterio de evaluación aplicado y el estado actual, la máquina necesita reparaciones de importancia media. En la etapa final de la investigación la máquina alcanzó 10 921 horas de operación sin presentar fallas potenciales, según historial de reparaciones y experiencia del investigador basado en el estado de condición del equipo es factible intervenir el equipo a las 12 000 hrs, realizando otro diagnóstico previo a la intervención, con ello se optimiza la utilización de los componentes.	Es importante establecer intervalos de tiempo para realizar actividades de monitoreo de condición y con ello dar seguimiento al estado del equipo. El hornómetro de reparación de los componentes se puede prolongar de acuerdo a la condición de la máquina y a la calidad del mantenimiento, sin embargo, después de las 12 000 horas de trabajo los costos de mantenimiento pueden incrementarse sustancialmente por el grado de fatiga y desgaste que pueden tener las piezas principales. Una buena conservación del equipo por medio del mantenimiento eficiente puede ayudar a alcanzar e incluso superar el tiempo de vida útil total de la máquina, sin embargo, hay que considerar la obsolescencia por los avances en la tecnología.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Lista de repuestos por componente

Lista de repuestos motor de combustión			
No.	Descripción	No. de parte	cantidad
1	regulador de temperatura	2485513	1
2	sello	619455	1
3	sello de válvula	1632478	12
4	sello anular	2385080	1
5	sello	3S9643	1
6	sello anular	5P7530	1
7	esparrago	1163715	12
8	válvula	6V7238	1
9	empaques	2097293	1
10	tuerca de seguridad	9X6620	24
11	sello cigüeñal	2457339	1
12	empaques para aceite	1906114	1
13	empaques	2223901	1
14	sello anular	9F4446	1
15	sello de camisa	1670024	6
16	empaques	1613411	6
17	cojinete de biela	2133190	6
18	deflector	4R9999	1
19	empaques	1661781	1
20	empaques	1950452	1
21	empaques	2132410	1
22	sello cigüeñal	2854073	1
23	sello	3107257	6
24	sello	3107255	6
25	empaques	2097290	1
26	sello de labio	2959695	1
27	sello anular	2275904	1
28	sello anular	2496657	1
29	tornillo	1608197	12
30	manguito para inyector	2271200	6
31	sello anular	1470182	1
32	sello anular	3849992	1
33	eje de bomba de agua	3971832	1
34	sello	3505417	1
35	sello	2418390	12
36	anillo de pistón	3472382	6
37	anillo de pistón	3472381	6
38	anillo de pistón	3472380	6
39	resorte guía	4674243	12
40	set cojinetes centrales	2436716	1
41	sello anular	3308197	1
42	set de empaques de culata	4243549	1
43	sello anular	2974841	6
44	sello anular	2287092	2
45	eliminador de empaques	51831	4
46	cojinete	1154072	1
47	inyectores de combustible	20R8968	2

Continuación apéndice 2.

Repuestos bomba hidráulica principal			
No.	descripción	No. de parte	cantidad
1	236-6919: sello anular fkm (90)	236-6919	2
2	326-4415: empaquetadura	326-4415	2
3	249-6657: sello anular	249-6657	1
4	295-9695: sello (tipo labio)	295-9695	1
5	249-6670: sello anular	249-6670	1
6	277-2550: sello anular	277-2550	22
7	206-9291: sello anular	206-9291	3
8	109-1296: sello anular fkm (90)	109-1296	2
9	109-1294: sello anular	109-1294	2
10	249-6658: sello anular fkm (90)	249-6658	3
11	9f-7283: sello anular	9F-7283	1
12	246-9867: sello anular	246-9867	1
13	7i-8172: anillo de respaldo	7I-8172	2
14	7i-8171: anillo: respaldo	7I-8171	2
15	153-4906: sello anular	153-4906	5
16	206-9295: sello anular	206-9295	1
17	206-9300: sello anular	206-9300	1
18	277-2545: sello anular	277-2545	1
19	249-6661: sello anular fkm (90)	249-6661	2
20	249-6659: sello anular fkm (90)	249-6659	1
21	206-9299: sello anular fkm (90)	206-9299	1
22	249-6660: sello anular fkm (90)	249-6660	1
23	295-9575: sello anular fkm (90)	295-9575	1
24	206-9298: sello anular	206-9298	1
25	4j-0522: sello anular	4J-0522	2

Continuación apéndice 2.

Repuestos mados finales			
No.	descripción	No. de parte	cantidad
1	7Y-0595: espaciador	7Y-0595	2
2	095-0891: seguro	095-0891	14
3	2P-3628: sello anular	2P-3628	2
4	3F-1547: sello anular	3F-1547	2
5	095-1700: sello anular	095-1700	4
6	095-1585: sello anular	095-1585	2
7	6V-9746: sello anular ORFS	6V-9746	3
8	6V-8397: sello anular ORFS	6V-8397	2
9	179-3428: sello cadena	179-3428	4
10	255-2272: grupo de sellos Duo-Cone	255-2272	2
11	295-9234: sello anular	295-9234	2
12	7M-8485: sello anular	7M-8485	4
13	094-0580: placa de tope	094-0580	2
14	3E-2338: tapón	3E-2338	4
Repuestos de los implementos (pluma y brazo)			
No.	descripción	No. de parte	cantidad
1	166-1496: sello pasador (de labio)	166-1496	4
2	7Y-2397: cojinete	7Y-2397	2
3	367-8468: sello anular	367-8468	2
4	367-8470: sello anular	367-8470	2
5	228-5619: ojinete manguito	228-5619	2
6	166-1497: sello: pasador (de labio)	166-1497	2
7	166-1494: sello de pasador	166-1494	2
8	166-1498: sello: pasador (de labio)	166-1498	1
9	166-1495: sello: pasador (de labio)	166-1495	1
10	147-3957: ajuste	147-3957	2
11	093-0074: ajuste	093-0074	1
12	308-8784: ajuste	308-8784	2
13	308-8785: ajuste	308-8785	1
14	133-2427: ajuste	133-2427	4
15	093-0090: espaciador	093-0090	1
16	166-1498: sello pasador (de labio)	166-1498	2

Continuación apéndice 2.

Repuestos válvula de alivio principal, cilindro de la pluma líneas hidráulicas			
No.	descripción	No. de parte	cantidad
1	095-1786: anillo de respaldo	095-1786	1
2	095-1579: sello anular	095-1579	1
3	095-1584: sello anular	095-1584	1
4	095-1587: sello anular	095-1587	1
5	095-1590: sello anular	095-1590	1
6	3D-2824: sello anular	3D-2824	1
7	6V-8218: sello anular	6V-8218	1
8	6V-8978: sello anular	6V-8978	1
9	141-1313: conjunto de manguera	141-1313	1
10	366-8593: conjunto de manguera	366-8593	1
11	350-0806: conjunto de manguera	350-0806	1
12	518-5133: juego sellos	518-5133	1
13	166-1489: ajuste	166-1489	2

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Herramientas, técnicas y secuencia de diagnóstico



Visita preliminar.



Baja presión de aceite del motor de combustión.



Visita de evaluación y diagnóstico de la máquina.



Herramientas de diagnóstico para MCI.



Medición de temperaturas de operación.

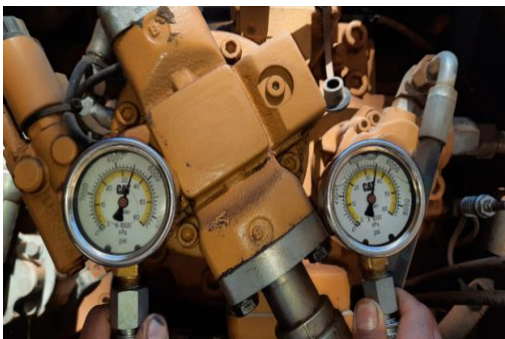


Blowby y RPM con motor en condición de calado.

Continuación apéndice 3.



Presión de turbo y presión de aceite del MCI.



Prueba de presiones bomba principal.



Prueba de presión de operación cilindros del boom.



Presión de trabajo cilindro del stick.



Presión de trabajo cilindro del bucket.



Inspección visual de las bombas hidráulicas.

ANEXOS

Anexo 1. Fecha de fabricación del equipo

 **SIS 2.0**





Excavator > Excavator > 336D L > J2F

 Dashboard  Parts  Repair  Service

> New Information (Last 30 days)

✓ Product Configuration [SIMSi](#) [TMI](#)

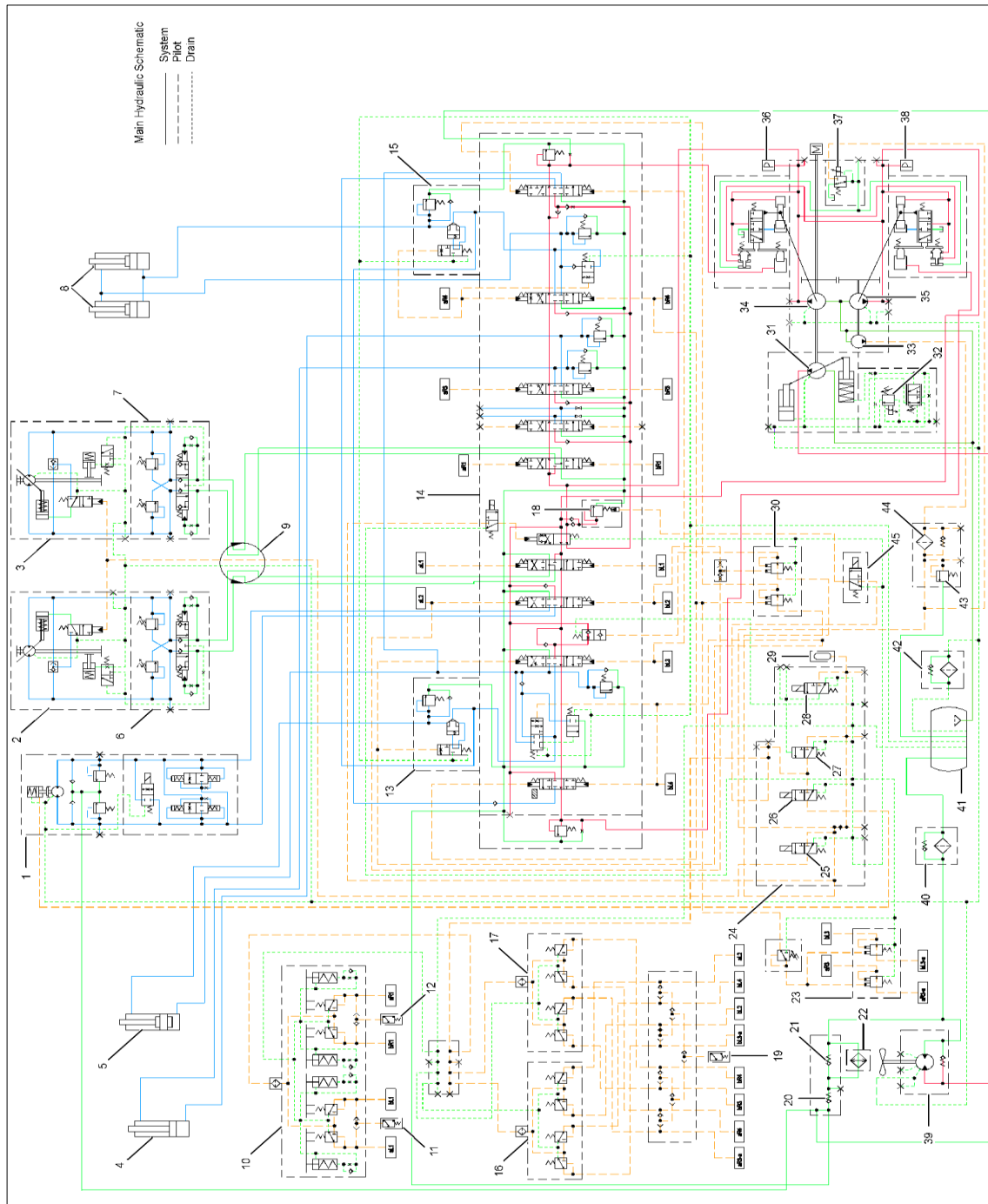
336D L Excavator
Machine Serial Number - J2F01072
Machine Build Date - 2013/02/18

Product - Entire Group (J2F01072)

Part Number	Serial Number	Part Name
422-1593		336D Hyd Ex DCA-12

Fuente: Caterpillar, (2021). *Configuración del producto.*

Anexo 2. Diagrama hidráulico excavadora Caterpillar 336D



Fuente: Caterpillar, (2021). *Esquema hidráulico principal.*

Anexo 3. Tabla de rangos de *blowby* para motores Caterpillar

Caterpillar Inc. Confidential

7/16/2002

Page 1

TYPICAL BLOWBY RATES FOR NEW (LOW HR.) CATERPILLAR ENGINES

Engine	Ring Package	Blowby Range Cu Ft / Hr	Blowby Range L / Min	HP	Ratio Cu Ft / Hr / HP	Ratio L / Min / HP
3204 NA*	2 Ring	110 - 220	52 - 104	90	1	0.47
3204 DIT*	2 Ring	110 - 220	52 - 104	120	2	1
3208*	2 Ring	120 - 250	57 - 118	210	1.2	0.57
3208 T*	2 Ring	250 - 500	118 - 236	250	2	1
3034 NA	3 Ring	74 - 90	35 - 42		1.2	0.57
3034 T	3 Ring	101 - 127	48 - 60		1.2	0.57
3046	3 Ring	70 - 110	33 - 52	70	1.2	0.57
4.236	3 Ring	60 - 90	28 - 42	80	1.1	0.5
3054	3 Ring	254 MAX	120 MAX		1.5	0.7
3056	3 Ring	211 NEW	100 NEW		1.5	0.7
3064	3 Ring	170 NEW	80 NEW		1.2	0.57
3066	3 Ring	253 MAX	119 MAX		1.2	0.57
3114	3 Ring	100 - 135	47 - 64	110	1.2	0.57
3116	3 Ring	110 - 180	52 - 85	150	1.2	0.57
3126	3 Ring	160 - 315	76 - 149	160	1.5	0.7
3304*	3 Ring	160 - 214	76 - 101	165	1.3	0.6
3306*	3 Ring	180 - 250	85 - 118	190	1.3	0.6
C-9	3 Ring	250 - 270	118 - 127	304	1	0.47
3176	3 Ring	300 - 380	142 - 179	300	1.2	0.57
3196	3 Ring	370 - 430	175 - 203	370	1.1	0.5
3406*	3 Ring	400 - 450	189 - 212	380	1.1	0.5
3456	3 Ring				1	0.47
3408*	3 Ring	450 - 500	212 - 236	450	1	0.47
3412*	3 Ring	650 - 750	307 - 354	700	1	0.47
D342	3 Ring	360 - 400	170 - 189	360	1.1	0.5
D398**	3 Ring	1000	472	1000	1	0.47
D399**	3 Ring	1100	519	1100	1	0.47
3508**	3 Ring	570	269	950	0.6	0.28
3580B**	3 Ring	830	392	1110	0.75	0.35
G3508**	3 Ring	358	169	717	0.5	0.24
3512*	3 Ring	550-600	260-283	1200	0.5	0.24
3512**	3 Ring	700	330	1350	0.5	0.24
3512B**	3 Ring	1240	585	1650	0.75	0.35
G3512**	3 Ring	538	254	1076	0.5	0.24
3516**	3 Ring	900	425	1800	0.5	0.24
3516B**	3 Ring	1650	779	2200	0.75	0.35
G3516**	3 Ring	717	338	1434	0.5	0.24
3606**	3 Ring	1260	595	2100	0.6	0.28
3608**	3 Ring	1680	793	2800	0.6	0.28
3612**	3 Ring	2520	1189	4200	0.6	0.28
3616**	3 Ring	4320	2039	7200	0.6	0.28

Rules Of Thumb

880624272

1.) MAX Blowby = 2" of H₂O When Using a H₂O Manometer

2.) 1 Cu Ft / Hr / Rated HP on New Engines

* Data From SEHS 8712

3.) MAX Blowby = 2X New Engine Nos.

** Data From SEHS 8984

Fuente: Caterpillar, (2002). *Typical blowby rates for new (low hr.) caterpillar engines.*

Anexo 4. Resultado aceite usado motor de combustión



POLARIS
Laboratories

Reporte de Analisis de Lubricante

North America: +1-877-808-3750
+1-317-808-3750 / +502-3093-6466 (WhatsApp)
Europe: +1-317-808-3750

0	1	2	3
SEVERIDAD GENERAL DEL REPORTE			

Información de Cuenta				Información del Componente				Información de muestra			
Número de cuenta: 646475-0044-0000				ID de Componente: 82CS-82 E				Número de Huella: 00009548149			
Nombre de la Empresa: CONASA				ID Secundaria:				Número de laboratorio: 0-822800			
Contacto:				Filtro de tipo de DIESEL ENGINE				Localización de Guatemala City			
Dirección:				Fabricante: Información solicitada				Laboratorio:			
GT				Modelo: Información solicitada				Analista de Datos: AC			
Teléfono:				Aplicación: CONSTRUCTION				Tomada: 16-mar-2021			
				Capacidad de zumbido:				Recibido: 18-mar-2021			
								Completado: 15-mar-2021			
Información de filtro				Información Miscelánea				Información del Producto			
Tipo de filtro: Información solicitada								Fabricante del PUJA			
Índice de Micron: 0								Producto:			
								Nombre del Producto: Información solicitada			
								Grado de Viscosidad: SAE 15W40			
Comentarios: Los datos marcados no requieren acción de mantenimiento en forma urgente. Se sugiere observar la tendencia de la condición del equipo y del lubricante. El contenido de silicio se encuentra a NIVEL MENOR. Las fuentes del SILICIO pueden ser abrasivos (suciedad, sílica del aluminio), sellos y material de la junta, suplemento, aditivo del lubricante, y/o contaminante ambiental. Por favor de proveer la unidad del Fabricante/Modelo para comparar los datos a los estándares apropiados para esta unidad. Por favor proveer el tipo del lubricante que falta: (NOMBRE DEL PRODUCTO)											
Metals de Deposito (ppm)											
Muestra #	Hierro	Cromo	Niquel	Aluminio	Cobre	Plomo	Estanio	Cadmio	Plata	Vanadio	Silicio
1	4	0	0	1	1	1	0	0	0	0	21
2	5	0	0	2	2	1	0	0	0	0	22
Metals Contaminantes											
Muestra #	Sodio	Potasio	Titanio	Moledeno	Antimonio	Manganeso	Litio	Boro	Magnesio	Calcio	Bario
1	4	4	0	44	1	0	0	82	61	3846	0
2	3	2	0	43	1	0	0	73	58	3737	0
Metals Aditivos (ppm)											
Muestra #	Fosforo	Zinc									
1	1028	1121									
2	992	1089									
Información de muestra											
Muestra #	Fecha de toma	Fecha de recibo	Tiempo de Asete	Tiempo de unidad	Cambio de Aceite	Asete Agregado	Cambio de Filtro	Dilución Combustible	Contaminantes	Propiedades de liquido	
1	16-feb-2021	18-mar-2021	27	9860	Unk	0	Unk	<2 - Estimado	<1	<1 - FTIR	
2	16-mar-2021	18-mar-2021	56	9871	Unk	0	Unk	<2 - Estimado	<1	<1 - FTIR	
Conteo de Particulas (particulas/ml)											
Muestra #	Código ISO	> 4 µm	> 6 µm	> 10 µm	> 14 µm	> 21 µm	> 38 µm	> 70 µm	> 100 µm	Método de prueba	
1	II										
2	II										
Analisis Adicionales											
Comentarios históricos: Los datos marcados no requieren acción de mantenimiento en forma urgente. Se sugiere observar la tendencia de la condición del equipo y del lubricante. El contenido de silicio se encuentra a NIVEL MENOR. Las fuentes del SILICIO pueden ser abrasivos (suciedad, sílica del aluminio), sellos y material de la junta, suplemento, aditivo del lubricante, y/o contaminante ambiental. Por favor de proveer la unidad del Fabricante/Modelo para comparar los datos a los estándares apropiados para esta unidad. Por favor proveer el tipo del lubricante que falta: (NOMBRE DEL PRODUCTO)											

Los comentarios son un consultivo y se basan en el supuesto de que la muestra y los datos presentados son válidos. Lubricante o suenda de tiempo del componente limita la evaluación. Ninguna garantía expresada o implícita. La incertidumbre de la medición está disponible bajo solicitud.

Fuente: Laboratorios Polaris. (2021). Reportes de lubricantes.

Anexo 5. Resultado aceite usado del sistema hidráulico



POLARIS
Laboratories

Reporte de Análisis de Lubricante

North America: +1-877-808-3750
 Latin America: +1-317-808-3750 / +502-3093-6466 (WhatsApp)
 Europe: +1-317-808-3750

0	1	2	3	4
NORMAL	ANORMAL	CRÍTICO		

Severidad General del Reporte

Información de Cuenta				Información del Componente				Información de muestra								
Número de cuenta: 646475-0044-0000 Nombre de: CONASA Contacto: Dirección: GT Teléfono:				ID de Componente: REC3-82 H Componente: ID Secundario: Filtro de tipo de HYDRAULIC Fabricante: Información solicitada Modelo: Información solicitada Aplicación: CONSTRUCTION Capacidad de suministro:				Número de Muestra: 00009548145 Número de laboratorio: G-822595 Localización de: Guatemala City Laboratorio: Analista de Datos: EAD Tomada: 26-feb-2021 Recibido: 16-mar-2021 Completado: 13-mar-2021								
Información de filtro				Información Miscelánea				Información del Producto								
Tipo de filtro: Información solicitada Índice de Micrón: 0								Fabricante del MOBIL Producto: Nombre del Producto: Información solicitada Grado de Viscosidad: SAE 30								
Comentarios:				Los datos no indican ningún resultado anómalo. Tomar una nueva muestra en el próximo intervalo de cambio. Por favor proveer el tipo del lubricante que falta: (NOMBRE DEL PRODUCTO) Por favor de proveer la unidad del fabricante/Modelo para comparar los datos a los estándares apropiados para esta unidad: Provea por favor la capacidad del colector de aceite (carter) de la unidad en la siguiente muestra: Se ha agregado información o cambiado y se ha regenerado el informe:												
Metalez de Desgaste (ppm)																
Muestra #	Hierro	Cromo	Níquel	Aluminio	Cobre	Plomo	Estadío	Cadmio	Plata	Vanadio	Zinc					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1075					
Metalez Contaminantes																
Muestra #	Silice	Sodio	Potasio	Titanio	Molibdeno	Antimonio	Manganeso	Litio	Boro	Magnesio	Cadmio					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Punto de Varior Metalez (ppm)																
Muestra #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Metalez Aditivos (ppm)																
Muestra #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Información de muestra																
Muestra #	Fecha de toma	Fecha de recibo	Tiempo de Acute	Tiempo de unidad	Cambio de Acute	Acute Agregado	Cambio de filtro	Dilución de Combustible	Hollin	Agua	Viscosidad 40 ° C	Viscosidad 100 ° C	Número de Acido	No. Sake D4739	Oxidación	Nitración
1	26-feb-2021	16-mar-2021	1463	9640	Unk	0	Unk	% de Vol	% de Vol	% de Vol	cSt	cSt	mg KOH/g	mg KOH/g	ml/cm	ml/cm
1	26-feb-2021	16-mar-2021	1463	9640	Unk	0	Unk	% de Vol	% de Vol	% de Vol	cSt	cSt	mg KOH/g	mg KOH/g	ml/cm	ml/cm
Conteo de Partículas (partículas/mL)																
Muestra #	Código ISO	Basado en	> 4 µm	> 6 µm	> 10 µm	> 14 µm	> 21 µm	> 38 µm	> 70 µm	> 100 µm	Método de prueba					
1	21/19/14	18188	3139	583	112	24	2	0	0	0	ISO-11500					
Análisis Adicionales																
Muestra #	Código ISO	Basado en	> 4 µm	> 6 µm	> 10 µm	> 14 µm	> 21 µm	> 38 µm	> 70 µm	> 100 µm	Método de prueba					
1	21/19/14	18188	3139	583	112	24	2	0	0	0	ISO-11500					

Los comentarios son un consultivo y se basan el supuesto de que la muestra y los datos presentados son válidos. Lubricante o ausencia de tiempo del componente limita la evaluación. Ninguna garantía expresada o implícita. La incertidumbre de la medición está disponible bajo solicitud.

Comentarios Históricos

Fuente: Laboratorios Polaris. (2021). Reporte de lubricantes.

Anexo 6. Resultado aceite usado mando final izquierdo



POLARIS
Laboratories

Reporte de Analisis de Lubricante

North America: +1-877-808-3750
Latin America: +1-317-808-3750 / +502-3033-6466 (WhatsApp)
Europe: +1-317-808-3750

0	1	2	3	4
NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL

Severidad General del Reporte

Información de Cuenta		Información del Componente		Información de muestra	
Número de cuenta: 646475-0044-0000 Nombre de: CONASA Contacto: Dirección: GT Teléfono:		ID de Componente: REC3-82 LPDR ID Secundaria: Filtro de tipo de: FINAL DRIVE componente: Fabricante: Información solicitada Modelo: Información solicitada Aplicación: CONSTRUCTION Capacidad de suministro:		Número de Muestra: 00005548146 Número de laboratorio: 0-822593 Localización de: Guatemala City Laboratorio: Analista de Datos: EAD Tomada: 26-feb-2021 Recibido: 16-mar-2021 Completado: 15-mar-2021	
Información de filtro		Información Miscelánea		Información del Producto	
Tipo de filtro: Información solicitada Índice de Micrón: 0				Fabricante del MOBIL Producto: Nombre del Producto: MOBILTRANS SHC 50 Grado de Viscosidad: SAE 50	
Comentarios: Los datos marcados no requieren acción de mantenimiento en forma urgente. Se sugiere observar la tendencia de la condición del equipo y del lubricante. El conteo de partículas se encuentra a NIVEL MODERADO (NIVEL 2). Los abrasivos (silicio/truciedad) están en un NIVEL MODERADO. El aluminio es más probable que sea en la forma de aluminosilicato (suciedad). Por favor de proveer la unidad del Fabricante/Modelo para comparar los datos a los estándares apropiados para esta unidad. Se ha agregado información o cambiado y se ha regenerado el informe.					

Muestra #	Metales de Desgaste (ppm)										Metal Contaminantes		Fuente de Varios Metales (ppm)					Metales Aditivos (ppm)						
	Hierro	Cromo	Níquel	Aluminio	Cobre	Plomo	Estanho	Cadmio	Plata	Vanadio	Silicio	Sodio	Potasio	Titanio	Molibdeno	Antimonio	Manganeso	Litio	Boro	Magnesio	Calcio	Bario	Fósforo	Zinc
1	108	0	0	21	0	1	0	0	0	0	56	3	3	1	0	0	1	0	3	17	2644	0	930	1120

Muestra #	Información de muestra							Contaminantes			Propiedades de líquido						
	Fecha de toma	Fecha de recibo	Tiempo de Aceite h	Tiempo de unidad h	Cambio de Aceite	Acelite Agregado L	Cambio de Filtro	Dilución de Combustible % de Vol	Hollin % de Vol	Agua % de Vol	Viscosidad 40 ° C cSt	Viscosidad 100 ° C cSt	Número de Acido mg KOH/g	No. Básico mg KOH/g	Oxidación abs/cm	Nitración abs/0.1 mm	
1	26-feb-2021	16-mar-2021	1463	9648	Unk	0	Unk			< 1 - FTIR		18.8	2.23		2	5	

Muestra #	Conteo de Partículas (partículas/mL)								Análisis Adicionales	
	Código ISO Basado en 60/04	> 4 µm	> 6 µm	> 10 µm	> 14 µm	> 21 µm	> 38 µm	> 70 µm	> 100 µm	Método de prueba
1	25/24/18	299443	138061	10721	2338	180	8	0	0	ISO-11500

Los comentarios con un consultivo y se basan en el supuesto de que la muestra y los datos presentados son válidos. Lubricante o ausencia de tiempo del componente limita la evaluación. Ninguna garantía expresada o implícita. La Incertidumbre de la medición está disponible bajo solicitud.

Comentarios Históricos

Fuente: Laboratorios Polaris. (2021). Reporte de lubricantes.

Anexo 7. Resultado aceite usado mando final derecho



POLARIS
Laboratories

Reporte de Análisis de Lubricante

North America: +1-877-808-3730
 +1-317-808-3730 / +502-3093-6466 (WhatsApp)
 Latin America: +1-317-808-3730
 Europe: +1-317-808-3730

0	1	2	3	4
NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO

Severidad General del Reporte

Información de Cuenta				Información del Componente				Información de muestra			
Número de cuenta: 646475-0044-0000 Nombre de: CONASA Contacto: Dirección: Teléfono: GT				ID de Componente: REC3-82 RPDR ID Secundaria: Filtro de tipo de componente: FINAL DRIVE Fabricante: Información solicitada Modelo: Información solicitada Aplicación: CONSTRUCTION Capacidad de suministro:				Número de Huella: 00005548148 Número de laboratorio: 0-822496 Localización de Laboratorio: Guatemala City Analista de Datos: EAD Tomada: 26-feb-2021 Recibido: 18-mar-2021 Completado: 15-mar-2021			
Información de Filtro				Información Miscelánea				Información del Producto			
Tipo de filtro: Información solicitada Índice de Micrón: 0								Fabricante del Producto: MOBIL Nombre del Producto: MOBILTRANS SHC 90 Grado de Viscosidad: SAE 90			
Comentarios:				Chequear la fuente de entrada de los ABRASIVOS (tal como elementos filtrantes, la cubierta de filtro, respiraderos, etc.): están a NIVEL SIGNIFICATIVO: El cambio del lubricante se sugiere si no ha sido en el tiempo del muestreo. El conteo de partículas se encuentra a NIVEL SIGNIFICATIVO: El aluminio es más probable que sea en la forma de alumina/silice (suciedad): Por favor de proveer la unidad del fabricante/Modelo para comparar los datos a los estándares apropiados para esta unidad. Remuestre a la mitad de tiempo del intervalo de cambio. Se ha agregado información o cambiado y se ha regenerado el informe:							

Muestra #	Metales de Desgaste (ppm)										Metal Contaminantes		Fuente de Varios Metales (ppm)				Metales Aditivos (ppm)							
	Hierro	Cromo	Niquel	Aluminio	Cobre	Pomo	Estaino	Cadmio	Plata	Vanadio	Silice	Sodio	Potasio	Titanio	Molibdeno	Antimonio	Manganeso	Litio	Boro	Magnesio	Calcio	Bario	Fósforo	Zinc
1	174	0	0	39	0	1	1	0	0	0	97	5	5	2	0	2	1	0	2	17	2550	0	893	1078

Muestra #	Información de muestra				Contaminantes				Propiedades de líquido						
	Fecha de toma	Fecha de recibo	Tiempo de Aceite h	Tiempo de unidad h	Cambio de Aceite	Aceite Agregado L	Cambio de Filtro	Dilución de Combustible % de Vol	Hollín % de Vol	Agua % de Vol	Viscosidad 40° C cSt	Viscosidad 100° C cSt	Número de Acido mg KOH/g	No. Básico mg KOH/g	Oxidación abs/cm
1	26-feb-2021	18-mar-2021	1463	9640	Unk	0	Unk			<1 - FTIR	19.0	2.23		2	5

Conteo de Partículas (partículas/mL)										Análisis Adicionales		
Muestra #	Código ISO	> 4 µm	> 6 µm	> 10 µm	> 14 µm	> 21 µm	> 38 µm	> 70 µm	> 100 µm	Método de prueba		
1	26Q5/18	337437	210425	28170	2319	205	6	0	0	ISO-11500		

Los comentarios son un consulto y se basan en el supuesto de que la muestra y los datos presentados son válidos. Lubricante o ausencia de tiempo del componente limita la evaluación. Ninguna garantía expresada o implícita. La incertidumbre de la medición está disponible bajo solicitud.

Comentarios Históricos

Fuente: Laboratorios Polaris. (2021). Reporte de lubricantes.

Anexo 8. Resultado aceite usado mando de giro



POLARIS
Laboratories

Reporte de Análisis de Lubricante

North America: +1-877-808-3750
Latin America: +1-317-808-3750 / +502-3093-6466 (WhatsApp)
Europe: +1-317-808-3750

0	1	2	3	4
NORMAL	ANORMAL	DEFECTO		

Severidad General del Reporte

Información de Cuenta				Información del Componente				Información de muestra			
Número de cuenta: 646473-0044-0000 Nombre de Compañía: CONASA Contacto: GT Dirección: GT Teléfono:				ID de Componente: REC3-82 SWING ID Secundaria: Filtro de tipo de componente: SWING GEAR BOX Fabricante: Información solicitada Modelo: Información solicitada Aplicación: CONSTRUCTION Capacidad de suministro:				Número de Huella: 00003548150 Número de laboratorio: G-82299t Localización de Laboratorio: Guatemala City Analista de Datos: EAD Tomada: 26-feb-2021 Recibido: 16-mar-2021 Completado: 15-mar-2021			
Información de filtro				Información Miscelánea				Información del Producto			
Tipo de filtro: Información solicitada Índice de Micrón: 0								Fabricante del MOBIL Producto: Nombre del Producto: MOBILTRANS SMC 50 Grado de Viscosidad: SAE 50			
Comentarios:				Los datos marcados no requieren acción de mantenimiento en forma urgente. Se sugiere observar la tendencia de la condición del equipo y del lubricante. El conteo de partículas se encuentra a NIVEL MENOR. Por favor de proveer la unidad del fabricante/Modelo para comparar los datos a los estándares apropiados para esta unidad. Se ha agregado información o cambiado y se ha regenerado el informe:							

Muestra #	Metales de Desgaste (ppm)										Metales Contaminantes		Fuente de Varios Metales (ppm)					Metales Aditivos (ppm)						
	Hierro	Cromo	Níquel	Aluminio	Cobre	Plomo	Estroncio	Cadmio	Plata	Vanadio	Silicio	Sodio	Potasio	Titanio	Molibdeno	Antimonio	Manganeso	Litio	Boro	Magnesio	Calcio	Bario	Fósforo	Zinc
1	15	0	0	1	0	0	1	0	0	0	18	1	2	0	0	1	0	0	2	15	2378	0	876	1040

Muestra #	Información de muestra				Contaminantes				Propiedades de líquido							
	Fecha de toma	Fecha de recibo	Tiempo de Aceite h	Tiempo de unidad h	Cambio de Aceite	Aceite Agregado	Cambio de Filtro	Dilución de Combustible % de Vol	Hollín % de Vol	Agua % de Vol	Viscosidad 40 °C cSt	Viscosidad 100 °C cSt	Número de Acido mg KOW/g	No. Básico D4739 mg KOW/g	Oxidación absc/cm	Nitración absc/0.1 mm
1	26-feb-2021	16-mar-2021	1463	9640	Unk	0	Unk			<1 - FTIR		21.5	2.07		2	5

Muestra #	Conteo de Partículas (partículas/mL)								Método de prueba
	Código ISO	> 4 µm	> 6 µm	> 10 µm	> 14 µm	> 21 µm	> 38 µm	> 70 µm	
1	24/21/26	92769	12592	1167	371	92	6	0	ISO-11500

Los comentarios son un consultivo y se basan en el supuesto de que la muestra y los datos presentados son válidos. Lubricante o ausencia de tiempo del componente limita la evaluación. Ninguna garantía expresada o implícita. La Incertidumbre de la medición está disponible bajo solicitud.

Comentarios Históricos

Fuente: Laboratorios Polaris. (2021). Reporte de lubricantes.

Anexo 9. Valor de adquisición de la excavadora hidráulica



GENTRAC **CAT**

COMPAÑIA GENERAL DE TRACTORES, SOCIEDAD ANONIMA
 Calzada Aguilar Salas 54-41 Zona 12, Guatemala, Guatemala
 TEL: (502) 2335-0080 Y 2335-9080 - FAX: (502) 2477-3478
 e-mail: ventas@gentrac.com.gt - web: www.gentrac.com.gt

Rec3-82

Autorizados por la SAT
 Como Agentes Retenedores del IVA.
"SUJETO A PAGOS TRIMESTRALES"
FACTURA CAMBIARIA No. MA- 12439

REF.: 1251154-1

LOS FIRMAR POR ESTA ÚNICA FACTURA CAMBIARIA GRUADA LIBRE DE PROTESTO A LA ORDEN O ENDOSO DE COMPAÑIA GENERAL DE TRACTORES, S.A. (GENTRAC) CUANDO TOTAL POR EL QUE ESTA EXTENDIDA O POR EL ÚLTIMO SALDO VIGENTE QUE APARECE, EL VALOR RECIBIDO QUE ASEMENAN UNTEDES A CUEMBA SEGUN NUESTROS ASES.

01010

CONTROL	FECHA	CLIENTE No.	ORDEN DE COMPRA	TIPO/USUAL	DIV	ADJESOR	TERMINOS
31118201	09-06-2014	0000042		00	G	WNY	1
No. CONTRATO	FECHA DOC.	REP.	M.O.	MISC.	FORMA DE ENVIO		CORRELATIVO
311162	09-06-2014				1M		84944
CODIGO MARCA	MODELO	PIN	No. DE EQUIPO	HOROMETRO	No. DE ORDEN		
	336DL	J2F01072			GM-14090		
ANTIDAD	No. DE PARTE	Nº	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO			EXTENSION
1.0			EXCAVADORA NUEVA MARCA CATERPILLAR EXCAVADORAS HIDRAULICAS Y PALAS NO. REF:GM-14090 SERIE NO: J2F01072 PIN: *CAT0336DEJ2F01072*				2478940.00

EQUIPADA CON: EXCAVADORA HIDRAULICA EQUIPADA CON
 CABINA ROPS CON A/C, TREN DE RODAJE LARGO.
 CUCHARON DENTADO CON PROTECTORES LATERALES DE 3.14
 YARDAS CUBICAS.

SON: DOS MILLONES CUATROCIENTOS SETENTA Y OCHO MIL NOVECIENTOS CUARENTA QUETZALES

Y DIFERENCIA NO ADMITIR RESPONSABILIDAD ALGUNAS POR CUALQUIER RETRASO EN LA ENTREGA DE LA MERCANCIA
 ENTREGADA POR ESTA FACTURA, QUE SEA POR CAUSA FUERA DEL CONTROL DE "GENTRAC". DESPUES DE 48 HORAS DE
 VIGENCIA LA ANUNCIAION SE HARA UN RECARGO DEL 10% SOBRE EL VALOR TOTAL DE CUALQUIER DEVOLUCION.
 DESPUES DE CINCO DIAS NO SE ACEPTARAN DEVOLUCIONES.

TOTAL Q.

2478940.00

POR GENTRAC

FIRMA

ACEPTADA LIBRE DE PROTESTO

FIRMA

BLANCO-ORIGINAL CLIENTE (ADJESOR/ENTE)
 VERDE - DUPLICADO CONTABILIDAD
 AMARILLO - TRIPPLICADO VENTAS
 AZUL - CUADRUPLICADO ARCHIVO

ESTA FACTURA TIENEN QUE SER CANCELADA EN EL TIEMPO DE
 SUO CONCERNO, DE LO CONTRARIO SE CARGARA DE INTERES

Fuente: Gentrac Cat. (2021). *Documentos comerciales*.

Anexo 10. Fecha de adquisición de la excavadora hidráulica

REC3-82 **140221**

CATERPILLAR® Caterpillar Inc. ☐ Check when information has been entered into the Product Information System through Caterpillar dealer terminal. **DO NOT SEND IF ENTERED INTO P.I.S.**

Perin, Illinois 61629

Delivery Service Record **Comprobante Del Servicio De Entrega**

DLR CODE	MODEL	MACHINE SERIAL NO.	HOURS	DELIVERY DATE	ENGINE SERIAL NO.
COO. SYSTEM	MODELO	M/S. MAQUINA	HORAS	FECHA DE ENTREGA	N/S MOTOR
P380	336DL ME	J2F01072	18.8	JUN-23-2014	C9 / TXD01745

ATTACHMENTS INSTALLED: BUCKET, DOZER, RIPPER, WINCH, CAB, TRANSMISSION, DOOM STICK, ETC. **ACCESSORIES INSTALLED:** DISCHARGE HOLE, DISCHARGER, MFLACATE, CABIN, TRANSMISSION, PLENN, BRANZO, ETC.

Mfr. & Model or Part No. Fabricante y Modelo o R/P	Mfr. & Model or Part No. Fabricante y Modelo o R/P	Mfr. & Model or Part No. Fabricante y Modelo o R/P	Mfr. & Model or Part No. Fabricante y Modelo o R/P
Serial No. N/S	Serial No. N/S	Serial No. N/S	Serial No. N/S

Customer Name (Please Print) **CONSTRUCTORA**
 Nombre del Cliente (por favor de imprimir)

Full Mailing Address **GUATEMALA**
 Dirección Completa

Country **GUATEMALA**
 País

Every service on this machine has been completed, including the following items. Check (✓) when each item is completed.
 L. Servicio de entrega de esta máquina se ha completado en los puntos siguientes. Marque (✓) cada punto que complete.

☐ 1. Operator Guide delivered with machine and operating controls and warning labels explained to user.
 Se entregó con la máquina la Guía de Operación y se explicó al usuario la operación de los controles y los rótulos de advertencia.

☐ 2. Maintenance Guide delivered with machine and maintenance service, fluid levels and adjustments explained to user.
 Se entregó con la máquina la Guía de Mantenimiento y se explicó al usuario el servicio de mantenimiento, niveles y ajuste de fluidos.

☐ 3. Parts Book delivered with machine.
 Se entregó con la máquina el libro de repuestos de Partes.

☐ 4. All items on Delivery Checklist have been completed.
 Se hizo todo lo indicado en el Comprobante de Entrega (Ver el Form 21-085314-00).

User's Signature  Date, Rep. Signature 
 Firma del usuario Firma del representante del distribuidor

GARANTIA EXTENDIDA 36/6000 PREMIER + 1ST. YEAR LABOR

Delivery Checklist CONTINUED ON REVERSE SIDE

At dealership

☐ Make sure all pending Safety Product Improvement Programs (SPIP) have been completed.
 Make sure all necessary forms and literature are available.

☐ All decals are installed.

☐ All attachments are installed/available.

☐ Install chocking/service lock pins, if tire suppression system (if equipped) when transporting machine.

At delivery area with customer (owner, operator):

☐ Explain Parts Book.

☐ Explain all warning labels on machine.

☐ Show location of all serial numbers on machine.

Lubrication and Maintenance.

☐ Explain Maintenance Guide.

☐ Instruct how to use lubrication and maintenance chart.

☐ Show all lubrication points on the machine and assembly.

Fuente: Caterpillar (2021) *Certificado de Garantía*.

Anexo 11. Valor de mercado excavadoras hidráulicas usadas

	2013 CAT 336DL Sobre Cadenas Horas: 8870 Número de serie: M4T02705 Condición: usado Numero de stock: 10044598 Equipment-certification-code: NCR Actualizado: lun, 20 de sep de 2021 11:37	Guardar Finning Chile S.A Antofagasta, ??, Chile 0 Información de Contacto del Vendedor Teléfono: +56 2 2338 2407 Contáctenos Ver Detalles
	2010 CAT 336DL Sobre Cadenas Horas: 10394 Número de serie: M4T03971 Condición: usado Numero de stock: 10044487 Equipment-certification-code: NCR Actualizado: mié, 22 de sep de 2021 16:24	Guardar Finning Chile S.A Santiago, Santiago Metropolitan Region, Chile 8700000 Información de Contacto del Vendedor Teléfono: +56 2 2338 2407 Contáctenos Ver Detalles

Fuente: MarketBook, (2021). *Venta de maquinaria pesada.*

Anexo 12. Orden de trabajo

Mano de Obra

Rep./Comb./Lub. Servicios Ext.

Pedidos

Viaticos

Serv. Prev.

Agenda

Asignamiento de pedido

Imprimir

Cierre

Revision 11 m

21291

157

Orden Trabajo

Fecha

Maquina

Supervisor

Observaciones

Estado

Fecha Cierre

Proy. Referencia

13/05/2021

REC3-82

REPARACION

13/05/2021

Tipos de OT

Reparacion

Tipos de OT

Reparacion

Tipos de OT

Reparacion

Tipos de OT

Reparacion

Horometro

10235

Kms.

Acum.

RETORECAVIADORA 3360 MARCA

Motivo

1

EJECUTANDO REPARACION

REPARACION TIPO G (150 DIAS PARA CERRARSE)

Ot. Referencia

Conectado en la compania :

y proyecto :

CONSTRUCTORA S.A.

SONORA

Linea

Tarea

Sist

Comp

Detalle

Fecha

Estado

Pre-pedido

1

95

435

093

RECONDICIONAR MOTOR DE COMBUSTION (TREN DE POTENCIA)

13/05/2021

Pendiente o en

2

95

435

084

RECONDICIONAR MANDOS FINALES (TREN DE POTENCIA)

06/10/2021

Pendiente o en

3

102

427

522

REVISAR PLUMA (BOOM) (IMPLEMENTOS)

07/10/2021

Pendiente o en

4

168

425

086

CAMBIAR MANGUERAS (HIDRAULICO)

07/10/2021

Pendiente o en

Sistema TREN DE POTENCIA Componente MOTOR DE COMBUSTION

NO HAY DATOS DE CIERRE, (NO HAY DATOS DEL SUPERVISOR QUE CIERRO LA ORDEN DE TRABAJO), ESTA RE-APERTURA LA EFECTUA : - REAPERTURADA EL DIA - 11/10/2021

Fuente: Constructora S.A. (2021). Órdenes de trabajo.

Anexo 13. **Cotización reacondicionamiento de superficies desgastadas del brazo**



Ref. OT #3683

Señores
CONSTRUCTORA S.A.
Atención: Departamento de Compras
Presente

Estimados Señores

Por este medio tenemos el gusto de presentarle nuestro reporte correspondiente a la reparación de alojamientos dañados en los siguientes componentes.

EXCAVADORA CAT

- Recuperación con soldadura profesional de caras desgastadas.
- Refrentado de caras para recuperar medidas originales.
- Reparación de alojamientos dañados en los siguientes componentes:

Stick:	<u>2 alojamientos</u>
Total:	2 alojamientos

Precio del Trabajo: Q 11,850.00 (IVA INCLUIDO)

Forma de pago: Crédito 15 días

Observaciones:

- Cualquier trabajo adicional, que no esté detallado en esta cotización NO está incluido y en caso de ser necesario se presentará un presupuesto adicional para determinar el curso de acción.
- Los repuestos fueron proporcionados por el cliente.

Les agradecemos la confianza depositada en nuestra empresa, es un gusto poder servirles.

Atentamente,

Jorge Sagastume
Gerente General
BOSAG
gerencia@bosag.com.gt

Fuente: BOSAG (2021). *Cotizaciones.*