

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA INDUSTRIAL**

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE
MANTENIMIENTO PARA INCREMENTAR LA
DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LAS
EXCAVADORAS 336 - 2DL EN UNA EMPRESA
DE SERVICIOS DE FLOTA PARA MINERÍA,
CAJAMARCA 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Percy Raul Lopez Subilete
Santos Ivan Izquierdo Vargas

Asesor:

M. Cs. Ing. Luis Roberto Quispe Vásquez
<https://orcid.org/0000-0002-6150-1912>

Cajamarca – Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	KATHERINE DEL PILAR ARANA ARANA	46288832
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	WILSON ALCIDES GONZALES ABANTO	70211187
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	MARÍA ELENA VERA CORREA	40012835
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LAS EXCAVADORAS 336 - 2DL EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE FLOTA PARA MINERÍA, CAJAMARCA 2022”

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

5%

2

pirhua.udel.edu.pe

Fuente de Internet

4%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, a mis padres por ese apoyo incondicional, que ha permitido haberme formado como una persona de bien, cada logro en la vida se los debo a Ustedes y este es uno de ellos, me formaron con el cariño, con valores, lo que ha sido mi motivación constante para alcanzar mis anhelos. ¡Gracias, mis queridos padres!

Santos Ivan Izquierdo Vargas.

Dedico esta tesis, a mi familia porque gracias al hincapié constante y por sus palabras de luchar día a día, no dejé de motivarme para salir adelante.

Percy Raul Lopez Subilete.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por bendecirme y guiarme en la vida, por ayudarme a enfrentar cada reto y superarlos, a mi familia por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos difíciles.

Santos Ivan Izquierdo Vargas.

Agradezco principalmente a Dios por gozar de buena salud y así seguir cumpliendo mis añoradas metas, a mi sagrada familia, ya que gracias a su apoyo contribuyeron a que no desista en culminar este gran objetivo de vida.

Percy Raul Lopez Subilete.

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDOS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE ECUACIONES	10
RESUMEN.....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Realidad problemática	12
1.2 Formulación del problema	15
1.3 Objetivos	15
1.4 Hipótesis	16
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	18
2.1 Tipo de Investigación	18
2.2 Población y muestra.....	18
2.3 Materiales, instrumentos y métodos	19
2.4 Aspectos éticos	28
CAPÍTULO III. RESULTADOS	30
3.1 Diagnóstico del área de estudio	30
3.2 Diseño de un SGM para las excavadoras 336-2DL.....	49
3.3 Evaluar las mejoras en la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL después del diseño del sistema de gestión de mantenimiento.....	79
3.3 Análisis económico, beneficio-costos de la implementación del diseño del sistema de gestión de mantenimiento.....	87
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	91
4.1 Discusión.....	91
4.2 Conclusiones	93
REFERENCIAS	95
ANEXOS	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	17
Tabla 2 <i>Materiales a utilizar durante el proceso de investigación</i>	19
Tabla 3 <i>Técnicas e Instrumentos a utilizar en el trabajo de investigación.</i>	20
Tabla 4 <i>Identificación y frecuencia de fallas en las excavadoras 336 -2DL</i>	38
Tabla 5 <i>Porcentaje de Utilización de la flota de excavadoras 336- 2DL</i>	43
Tabla 6 <i>Mantenimientos no programados para la flota de excavadoras 336- 2DL</i>	45
Tabla 7 <i>MTBF de las excavadoras 336-2DL</i>	46
Tabla 8 <i>MTTR de las excavadoras 336-2DL</i>	46
Tabla 9 <i>Disponibilidad mecánica de las excavadoras 336- 2DL</i>	47
Tabla 10 <i>Resumen inicial de la operacionalización de las variables</i>	48
Tabla 11 <i>Inspección estructural de la excavadora 336 –2 DL</i>	66
Tabla 12 <i>Formato para inspección grupo “H” de varillaje de bucket - CAT 336 - 2 DL</i>	71
Tabla 13 <i>Formato de registro de mantenimiento preventivo</i>	72
Tabla 14 <i>Temas planteados para las capacitaciones</i>	77
Tabla 15 <i>Programas de evaluación de aprendizaje</i>	77
Tabla 16 <i>Descripción de la habilidad adquirida</i>	78
Tabla 17 <i>Proyección del Sistema de Gestión – Disponibilidad Mecánica</i>	79
Tabla 18 <i>Utilización de la flota de excavadoras 336- 2DL después del diseño SGM</i>	81
Tabla 19 <i>Mantenimientos no programados después del diseño SGM</i>	82
Tabla 20 <i>MTBF de las excavadoras 336- 2DL después del diseño del SGM</i>	83
Tabla 21 <i>MTTR de las excavadoras 336-2DL posterior al diseño del SGM</i>	84
Tabla 22 <i>Disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL</i>	85
Tabla 23 <i>Operacionalización de variables</i>	86

Tabla 24 Ahorro producido tras la implementación del Sistema de Gestión de Mantenimiento (SGM).....	87
Tabla 25 <i>Costo asociado con el diseño del Sistema de Gestión de Mantenimiento (SGM)</i>	89
Tabla 26 Resultado del cálculo beneficio/costo tras el diseño del SGM.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Proceso Metodológico</i>	21
Figura 2 <i>Modelo de Diagrama Ishikawa</i>	23
Figura 3 <i>Diagrama de Pareto</i>	24
Figura 4 <i>Flujograma del proceso de gestión de mantenimiento</i>	30
Figura 5 <i>Excavadora CAT 336-2DL</i>	33
Figura 6 <i>Diagrama de Ishikawa</i>	35
Figura 7 <i>Causalidad de las fallas</i>	41
Figura 8 <i>Diseño del sistema de gestión de mantenimiento</i>	49
Figura 9 <i>Motor CAT C9 ACERT – CAT 3362DL</i>	55
Figura 10 <i>Segmentación de motores en maquinaria pesada</i>	56
Figura 11 <i>Funcionamiento del sistema hidráulico en la excavadora CAT 336 D2L</i>	57
Figura 12 <i>Descripción del sistema hidráulico piloto</i>	59
Figura 13 <i>Mando final</i>	61
Figura 14 <i>Descripción del sistema electrónico del motor</i>	62
Figura 18 <i>Formato para la calibración del inyector unitario</i>	67
Figura 19 <i>Evaluación de juego de Beraning Cremallera - CAT 336 –2 DL</i>	68
Figura 20 <i>Evaluación de inspección de GETS - CAT 336 –2 DL</i>	69
Figura 21 <i>Formato para evolución de tiempos de activación en hidráulicos CAT 336 - 2 DL</i>	70
Figura 22 <i>Tarjeta verde de resolución de fallas simples para el operador</i>	74
Figura 23 <i>Tarjeta roja de resolución de fallas complejas para el técnico mecánico</i>	74

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Porcentaje de utilización de la maquinaria.....	25
Ecuación 2: Porcentaje de mantenimientos no programados	26
Ecuación 3: Procedimiento de cálculo del MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas).....	26
Ecuación 4: Procedimiento de cálculo del MTTR (Tiempo Medio de Reparación).....	27
Ecuación 5: Procedimiento de cálculo de la disponibilidad mecánica.....	28

RESUMEN

La presente investigación fue desarrollada en una empresa que presta servicios de flota para minería. Se tuvo como objetivo diseñar un sistema de gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336- 2DL. El tipo de investigación es aplicada, explicativa, cuantitativa y no-experimental, como técnica se utilizó la revisión documental y como instrumento la ficha resumen. En la empresa, se llevaron a cabo la identificación y análisis de las causas que han generado la baja disponibilidad mecánica, dentro de ellos se puede precisar la falta de un plan de mantenimiento, la operación deficiente y la planificación de operaciones inadecuada. Seguidamente y en base al análisis elaborado, Se diseñó el sistema para gestión del mantenimiento con el objetivo de mejorar la disponibilidad mecánica (DM). Posteriormente se evaluó las mejoras en la disponibilidad mecánica, determinándose un aumento en el indicador de utilización de la maquinaria de 84% a 94%, una disminución en el porcentaje de los mantenimientos no programados de 64% a 15%, también se logró incrementar el MTBF desde 74.66 hasta 247.17 horas; del mismo modo se logró mejorar el MTTR de 14.75 a 4.13 horas; Tras la implementación del sistema de gestión del mantenimiento, se observó un aumento de 84 %a 98%, logrando así alcanzar la disponibilidad de 90% exigida por la empresa. Finalmente, se realizó el análisis económico beneficio/costo, obteniendo un valor de 3.44, indicando que los beneficios superan a los costes, por consiguiente, el proyecto debe ser considerado.

Palabras clave: Sistema, gestión, mantenimiento, MTTR, MTTF, disponibilidad, mecánica, empresas, rubro, minero, utilización de maquinaria, mantenimiento no programado.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

En la situación actual, el incremento en la demanda del mercado global ha impuesto a los fabricantes la necesidad de realizar inversiones significativas en maquinaria y automatización para mantenerse competitivos y eficientes. Esto ha llevado a los fabricantes a buscar formas de reducir costos. Por lo tanto, resulta crucial que los equipos y maquinarias sean confiables y capaces de mantenerse operativos sin interrupciones en el proceso de producción o reparaciones costosas que puedan afectar la recuperación de la inversión. Todo esto se traduce en la búsqueda de aumentar la disponibilidad de los equipos y maquinarias, con el objetivo de lograr una producción eficiente y rentable (Ramirez, 2019)

En el sector minero, el movimiento de tierras se considera una de las acciones fundamentales que abarca varias etapas esenciales. Entre ellas, se destacan el carguío, transporte y descarga de materiales y minerales. Estas etapas son críticas para el proceso de extracción y producción, y su eficiencia impacta directamente en la productividad y rentabilidad de las operaciones mineras. Por lo tanto, es fundamental optimizar cada una de estas etapas para lograr un desempeño óptimo en la actividad minera. Una de las maquinarias críticas, en esta actividad, es la excavadora hidráulica 336-2DL, que es un equipo versátil para la construcción minera, su brazo mecánico puede incorporar diferentes herramientas para trabajos en tierra, roca, hormigón o acero. (Construcción Minera, 2020).

El tiempo de parada de estos equipos críticos por mantenimiento correctivo, interrumpe el proceso productivo y origina una pérdida de producción. Así lo expresa, (Gutiérrez, 2019) quien afirma que los costos de no disponibilidad por lo general son más altos desde el punto de vista de operaciones que desde el punto de vista de mantenimiento. La pérdida de producción, el periodo de arranque y la estabilización de los procesos, la degradación de los equipos y sus componentes, son solo algunos de los factores que se derivan en un evento de parada de los equipos.

El mantenimiento preventivo se basa en un tiempo de actuación establecido, determinado por el fabricante del bien o por el personal de mantenimiento de una empresa. Ayuda a prevenir las fallas de los equipos reemplazando sistemáticamente los componentes deteriorados y/o identificando y corrigiendo los problemas antes de que conduzcan a la falla.

Así mismo, (Gutiérrez, 2019) indica que el desgaste del equipo puede degradar el rendimiento y, por lo tanto, la producción. Llevar a cabo el mantenimiento normal y reparaciones durante los paros programados permite la planeación adecuada del mantenimiento preventivo y una mínima pérdida de tiempo mientras se restablece la operatividad del equipo. De igual manera se menciona en (Vila, 2019) que en el área de administración del mantenimiento, los procedimientos fijados para las reparaciones y cuidado representan otro instrumento de supervisión que contribuirá a una administración del mantenimiento óptima

(Tipiani, 2018) expresa en su tesis "Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento para una empresa del rubro metalmecánico", que la empresa no contaba con un área propia de mantenimiento, cuantificándose problemas que eran generados por la falta de la gestión de mantenimiento reflejándose en una baja disponibilidad de equipos, esto es generado por las paradas en línea de producción. Asimismo, se evidencio que la falta de mantenimiento en los equipos significaba un mayor consumo de aceite, refrigerantes y materia prima.

(Mejía, 2019) expresa en su tesis "Mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad mecánica de los volquetes Volvo FMX 440 - Proyecto el Toro" que se presentaba una elevada frecuencia de paradas no programadas, ocasionada por fallas, estos producían tiempos inoperativos que afectan la programación establecida y retrasan la movilización del material a transportar, lo que ocasiona altos costos de mantenimiento. Para afrontar y resolver las insuficiencias detectadas, se propuso la puesta en marcha de un programa de mantenimiento que permitió establecer estrategias efectivas para disminuir la frecuencia de averías en los equipos y maquinarias. Como consecuencia, se logró un aumento significativo en la disponibilidad

mecánica, lo que contribuyó a una mayor eficacia en el proceso de producción. Al garantizar que los equipos estuvieran en condiciones óptimas y reducir los tiempos de inactividad, se mejoró la capacidad de respuesta y se maximizó el tiempo de operatividad, lo que se tradujo en una mayor productividad y rentabilidad para la compañía.

(Solis, 2020) manifiesta en su tesis "Propuesta de mejora del área de mantenimiento de máquinas perforadoras diamantinas a fin de aumentar la disponibilidad mecánica en la empresa

Ak Drilling International S.A. de perforación de pozos para minería" que se había identificado que las máquinas perforadoras diamantinas de la empresa presentan problemas de baja disponibilidad mecánica lo que reflejan su baja confiabilidad, optándose por implementar mejoras en el área de mantenimiento, se logró mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

La empresa en estudio se dedica a prestar servicios de flota para minería. Al año 2022, el principal problema es la baja disponibilidad mecánica de las excavadoras 336- 2DL. En el target que maneja la empresa, se ha evidenciado que el indicador MTTR para la flota de excavadoras 336- 2DL es 14.75 horas, superando el parámetro exigido por la empresa que son un máximo de 6 horas. Así también, el registro de horas de paradas muestra que las 06 excavadoras 336 – 2DL, tienen un total de 1778 horas de paradas, así, la disponibilidad de las excavadoras 336- 2DL es de 84%, siendo inferior al parámetro establecido por la empresa que es el 90%.

Estos indicadores, se ven afianzados con los problemas reportados en el sistema de gestión de mantenimiento, ya que la empresa no se basa en un plan de mantenimiento que esté difundido e interpretado por todo el personal involucrado en la actividad, por tal motivo, se ha identificado que los mecánicos no planifican sus intervenciones y la estrategia consta en dar mantenimiento a las fallas que van surgiendo, paralizando las operaciones, generando sobrecostos, pérdida de horas operativas, generando observaciones y posibles penalidades en referencia al incumplimiento de contrato. Siendo las excavadoras 336- 2DL los equipos con mayor impacto en la disponibilidad, será la materia de estudio de la presente investigación.

La gestión de mantenimiento se precisa a manera de un sistema con enfoque completo que comprende un conjunto de operaciones específicas cuyo objetivo es garantizar la continuidad y fiabilidad de un determinado proceso. Su finalidad principal es prevenir y evitar fallos o averías en maquinarias y equipos utilizados en el proceso productivo. A través de un plan estructurado, la gestión de mantenimiento se encarga de realizar inspecciones, mantenimientos preventivos y correctivos, así como de implementar estrategias para optimizar el rendimiento de los activos y prolongar su vida útil. De esta manera, se busca asegurar la disponibilidad y eficiencia de los equipos, minimizando los tiempos de inactividad y maximizando la productividad y la rentabilidad de la operación(Chávez, 2020).

La disponibilidad mecánica representa el porcentaje de tiempo que el equipo estuvo apto y operativo para desempeñar su función. (Gutierrez A. , 2020)

La disponibilidad mecánica es el porcentaje del tiempo real que el equipo puede operar durante un tiempo programado. (Huamán, 2019)

1.2 Formulación del problema

¿En qué medida el diseño de un sistema de gestión de mantenimiento incrementará la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336- 2DL en una empresa de servicios de flota para minería, Cajamarca 2022?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336- 2DL en una empresa de servicios de flota para minería, Cajamarca 2022.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual de la gestión de mantenimiento y la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL.

- Diseñar un sistema de gestión de mantenimiento para las excavadoras 336-2DL en una empresa de servicios de flota para minería.
- Evaluar las mejoras en la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL después de diseñar el sistema de gestión de mantenimiento.
- Realizar el análisis económico de la implementación del diseño del sistema de gestión de mantenimiento.

1.4 Hipótesis

- El diseño de un sistema de gestión de mantenimiento incrementará la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL en una empresa de servicios de flota para minería.

1.4.1 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1
Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Indicador Estándar
Variable Independiente: Sistema de gestión de mantenimiento	Un sistema de gestión de mantenimiento posee un enfoque integral que abarca diversas operaciones con el objetivo de asegurar la continuidad de un proceso específico y prevenir fallos o averías en maquinarias y equipos. (Chávez, 2020)	Porcentaje de utilización de la maquinaria	(Hrs trabajadas/ Capacidad de Hrs por periodo trabajado) x 100	> 90%
		Porcentaje de mantenimientos no programados	(N° Mttos no programados/ N° total de Mttos) x 100	Valor máximo < 30%
		Tiempo medio entre fallas / Mean Time Between Failures (MTBF)	Sumatoria de las horas de operación efectiva / # paradas correctivas	> 60 horas
Variable Dependiente: Disponibilidad mecánica	La disponibilidad mecánica representa el porcentaje de tiempo que el equipo estuvo apto y operativo para desempeñar su función. (Gutiérrez, 2019)	Tiempo promedio de reparación (MTTR)	Sumatoria de todos los tiempos de reparaciones por correctivos / # de reparaciones por correctivos	< 6 horas
		Disponibilidad mecánica	MTBF/(MTBF+MTTR)	> 90%

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de Investigación

La investigación tiene un propósito aplicado, ya que empleará estrategias y teorías previamente estudiadas en el ámbito de la gestión de mantenimiento.

Propósito: El propósito fundamental de esta investigación es de carácter aplicado, puesto que se buscará aplicar estrategias y teorías previamente estudiadas en el ámbito de la gestión de mantenimiento, con el fin de mejorar y optimizar los procesos involucrados.

Enfoque: La investigación se enmarca en un enfoque explicativo, lo que significa que se llevará a cabo un análisis detallado y riguroso para comprender y explicar la relación existente entre las dos variables clave, que son la disponibilidad mecánica y la implementación de la gestión de mantenimiento preventivo.

Tipo de datos: Para obtener resultados precisos y medibles, se seguirá un enfoque cuantitativo en la recopilación y análisis de datos. Esto implica que se utilizarán métricas y medidas cuantitativas relacionadas con los indicadores de mantenimiento y la disponibilidad mecánica.

Manipulación de la variable: En este estudio, se llevará a cabo un enfoque pre-experimental, lo que implica que se trabajarán con hechos basados en experiencias directas y observaciones reales. No se realizarán modificaciones intencionadas en la realidad para mantener la integridad de los datos y resultados.

2.2 Población y muestra

Para nuestro estudio se consideró la población igual a la muestra, ya que trabajaremos con la totalidad de las excavadoras 336 – 2DL de la empresa, siendo en total 6. Contexto aplicado de acuerdo con la metodología de investigación de (Hernández Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014)

2.3 Materiales, instrumentos y métodos

2.3.1 Materiales

En la tabla 2, se exhiben de manera detallada los diversos materiales que serán empleados en todas las etapas del presente trabajo de investigación. Se pretende una organización minuciosa y precisa, a fin de garantizar un desarrollo óptimo del estudio. La información proporcionada en esta tabla será de gran utilidad para llevar a cabo el proyecto de manera efectiva y eficiente.

Tabla 2

Materiales a utilizar durante el proceso de investigación

Materiales/Insumos	Unidad de Medida	Cantidad
Laptop.	Und	1
Hojas Bond A4	Mil.	1
Cámara fotográfica	Und	1
Impresora.	Und	1
Lapiceros	Und	3
USB	Und	1
Botas puntas de acero/ de seguridad	Und	1
Casco de seguridad	Und	1
Lentes claros de seguridad	Und	1
Respirador	Und	1
Orejeras	Und	1
Overall	Und	1
Chaleco H	Und	1

La tabla presenta los materiales empleados durante el proceso de investigación.

2.3.2 Instrumentos

En la Tabla 3, se presentan de manera completa y detallada los distintos instrumentos que serán utilizados en el transcurso de toda la investigación. Se ha realizado una selección minuciosa y cuidadosa de cada uno de ellos, considerando su relevancia y pertinencia para el alcance de los objetivos planteados en el estudio. La información proporcionada en esta tabla resultará fundamental para llevar a cabo la investigación de forma precisa y rigurosa, asegurando la obtención de datos confiables y pertinentes. Cada instrumento ha sido diseñado y adaptado de

manera adecuada para recolectar información relevante en cada fase del proceso de investigación. La inclusión de estos instrumentos en la tabla busca facilitar su seguimiento y correcto uso durante el desarrollo del proyecto, garantizando así una ejecución exitosa y eficiente del mismo.

Tabla 3

Técnicas e Instrumentos a utilizar en el trabajo de investigación.

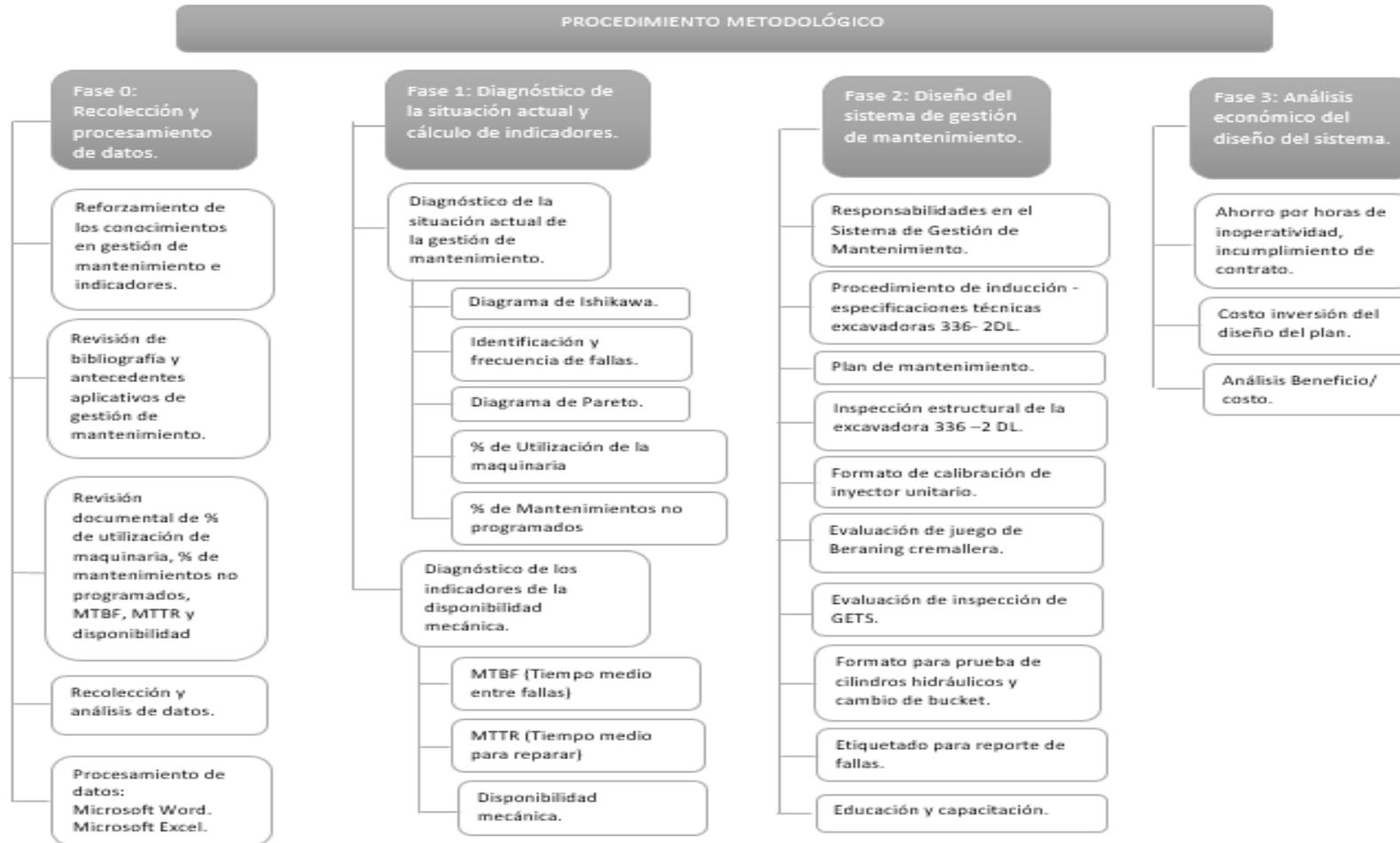
Objetivo general	Indicador	Técnica	Instrumento
Diseñar un sistema de gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL en una empresa de servicios de flota para minería, Cajamarca 2022.	Porcentaje de utilización de la maquinaria	Análisis documental	Ficha resumen
	Porcentaje de mantenimientos no programados		
	MTTR	Análisis documental	Ficha resumen
	MTBF		
% DM			

La tabla presenta los instrumentos utilizados en el proceso de investigación dentro de la empresa.

2.3.3 Procedimiento Metodológico

Figura 1

Proceso Metodológico



2.3.4 Metodología

- **Diagrama de Ishikawa**

Se aplicó una técnica ampliamente reconocida, el diagrama de Ishikawa, para llevar a cabo una identificación exhaustiva de los problemas principales en el ámbito de la gestión de mantenimiento. Este enfoque gráfico permite visualizar de manera clara y concisa las diversas causas que originan un problema específico. En el diagrama, se destacaron seis ramas fundamentales que representan las posibles causas:

Máquina: Se realizó un análisis detallado de los problemas en la gestión de mantenimiento reportados en las distintas unidades, con el fin de determinar sus causas subyacentes y abordarlos de manera efectiva.

Método: Se centró en evaluar la idoneidad de los métodos empleados en la gestión de mantenimiento, a fin de detectar posibles deficiencias y proponer mejoras para optimizar los procesos.

Materiales: Se llevó a cabo un minucioso examen de las características de los repuestos y sus condiciones, con el objetivo de identificar posibles problemas relacionados con el suministro y calidad de los materiales utilizados.

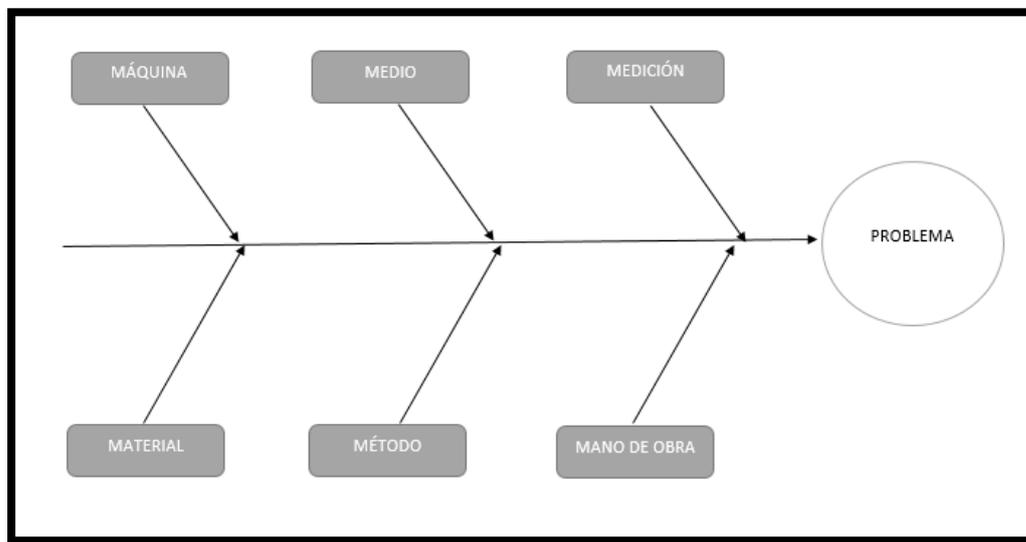
Mano de obra: Se procedió a la identificación y análisis de las fallas relacionadas con la mano de obra involucrada en la gestión de mantenimiento, con el fin de mejorar la eficiencia y competencia del personal.

Medio ambiente: Se consideraron cuidadosamente los problemas ambientales y del entorno que puedan estar afectando la gestión de mantenimiento, con el propósito de tomar medidas para su mitigación y prevención.

Medición: Se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de los indicadores de medición utilizados para monitorear el desempeño de la gestión de mantenimiento, asegurando su precisión y utilidad.

El diagrama de Ishikawa resultó ser una herramienta valiosa y efectiva para identificar de manera integral las causas que inciden en la gestión de mantenimiento. Cada rama de este diagrama fue abordada con meticulosidad, lo que permitió obtener un panorama claro y completo de los aspectos que requieren atención y mejora en el proceso de mantenimiento. Con este enfoque analítico, se espera implementar soluciones precisas y eficientes para optimizar la gestión de mantenimiento y lograr resultados satisfactorios en el desarrollo de la investigación.

Figura 2
Modelo de Diagrama Ishikawa



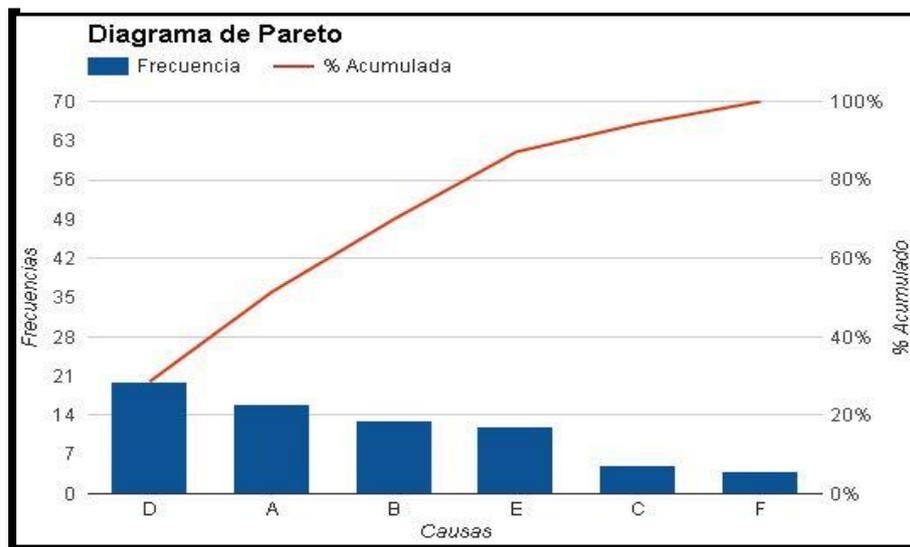
- **Diagrama de Pareto**

El método utilizado en este estudio se conoce como "Análisis de Pareto", una técnica gráfica altamente efectiva. Esta herramienta permite clasificar las causas de un problema en orden descendente de mayor a menor frecuencia, lo que facilita la asignación de prioridades y la focalización de esfuerzos en abordar las causas más significativas. El proceso de Análisis de Pareto se inicia con la lista detallada de todas las causas relacionadas con el problema principal, previamente identificado en el diagrama de Ishikawa.

A continuación, estas causas son agrupadas y ordenadas según su frecuencia de ocurrencia, priorizando aquellas que ocurren con mayor frecuencia. Para cuantificar y visualizar esta relación, se calcula la frecuencia normalizada, que se obtiene al dividir la frecuencia de cada causa por el total de causas. Asimismo, se calcula la frecuencia acumulada, que representa la suma de las frecuencias normalizadas.

El análisis de Pareto brinda una representación gráfica poderosa y esencial para visualizar y priorizar las causas más relevantes que están contribuyendo al problema. De esta manera, permite enfocar los recursos y esfuerzos en abordar las causas más importantes, lo que resulta fundamental para lograr mejoras significativas en la gestión de mantenimiento. Esta herramienta se convierte en un pilar estratégico para la toma de decisiones y la planificación de acciones correctivas y preventivas, maximizando así los resultados y el rendimiento del proceso de investigación. Su aplicación en este estudio aporta claridad y enfoque a la resolución de problemas, garantizando una gestión de mantenimiento más efectiva y eficiente. (Izar y Gonzáles, 2019).

Figura 3
Diagrama de Pareto



El diagrama de Pareto fue utilizado como un complemento del análisis causa-efecto (diagrama de Ishikawa) para el estudio de problemas en la gestión de mantenimiento. El análisis causa-efecto se empleó para identificar las diversas causas que contribuyen a un problema

específico. Luego, el diagrama de Pareto se aplicó para clasificar estas causas en orden de mayor a menor frecuencia, lo que permitió priorizar las causas más significativas y enfocar los esfuerzos en abordarlas.

- **Cálculo de indicadores de la gestión de mantenimiento**

Siguiendo el enfoque propuesto por Gutierrez A. (2020), se destaca la importancia de contar con una variedad de indicadores para llevar a cabo el diagnóstico de la gestión de mantenimiento. No obstante, en el presente estudio, se ha optado por realizar un diagnóstico situacional actual del sistema de gestión de mantenimiento, basado en una exhaustiva revisión documental de la información proporcionada por la empresa. En este contexto, se han seleccionado cuidadosamente una serie de fórmulas específicas que permitirán obtener un análisis detallado y preciso de la situación actual del sistema de gestión de mantenimiento. Estas fórmulas se aplicarán para evaluar el rendimiento y la eficiencia de diferentes aspectos de la gestión de mantenimiento. Con esta metodología, se busca obtener una visión integral y comprensiva del estado actual de la gestión de mantenimiento en la empresa, identificando posibles áreas de mejora y oportunidades de optimización. Asimismo, se pretende detectar posibles desafíos y obstáculos que puedan estar afectando el rendimiento general del sistema.

La elección de estas fórmulas ha sido cuidadosa y fundamentada, garantizando su pertinencia y adecuación a la situación específica de la empresa. Al aplicar estas herramientas de diagnóstico, se espera obtener una visión objetiva y precisa de la gestión de mantenimiento, lo que permitirá tomar decisiones informadas y estratégicas para su mejora continua.

El porcentaje de utilización de la maquinaria se obtendrá empleando una ficha resumen (Véase anexo 1), en ella se recopilará información de la base de datos referida a las horas trabajadas y la capacidad total de horas por periodo trabajado por cada excavadora, para el periodo de enero a diciembre del 2021.

Ecuación 1: Porcentaje de utilización de la maquinaria

$$\% \text{ UM} = \frac{\text{Hrs trabajadas por periodo}}{\text{Capacidad total de Hrs por periodo trabajado}} \times 100 \quad (1)$$

Capacidad total de Hrs por periodo trabajado

Para obtener el porcentaje de los mantenimientos no programados, se recopilará información de la base de datos del periodo de enero a diciembre del 2021. El porcentaje de mantenimientos no programados se obtendrá empleando una ficha resumen (Véase anexo 2)

Ecuación 2: Porcentaje de mantenimientos no programados

$$\% \text{ MNP} = \frac{\text{N}^\circ \text{ Mttos no programados}}{\text{N}^\circ \text{ Total de mantenimientos}} \times 100 \quad (2)$$

Nº Total de mantenimientos

Según lo propuesto por Gutierrez A. (2020), es crucial destacar que el valor mínimo del MTBF (Tiempo Medio entre Fallos) necesario para garantizar la calidad de la gestión de mantenimiento se establece en más de 60 horas. En términos claros, esto implica que el equipo o sistema bajo análisis debe mantenerse operativo y libre de fallas durante al menos 60 horas entre cada incidente para que la gestión de mantenimiento pueda considerarse efectiva y de alta calidad. Al superar este umbral de 60 horas en el MTBF, se evidencia una mayor fiabilidad y eficiencia en el proceso de mantenimiento. Un MTBF más extenso indica que el equipo o sistema es menos propenso a sufrir fallos frecuentes, lo que refleja un mantenimiento adecuado y un nivel óptimo de rendimiento en la gestión de mantenimiento. Este dato se convierte en un parámetro crítico para medir el desempeño y la efectividad del sistema de gestión de mantenimiento en la empresa. Al mantener el MTBF por encima del valor mínimo recomendado, se asegura una mayor disponibilidad de los equipos y una disminución significativa de los tiempos de inactividad, lo que a su vez contribuye directamente a mejorar la productividad y la eficiencia general de las operaciones.

Ecuación 3: Método para el cálculo del MTBF

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Total de horas operativas}}{\text{Número de paradas}} \quad (3)$$

Conforme lo planteado por Gutierrez A. (2020), es importante destacar que el valor máximo del MTTR (Tiempo Medio de Reparación) necesario para asegurar la calidad de la gestión de mantenimiento debe ser menor de 6 horas. Esto implica que el tiempo promedio requerido para reparar una avería o falla en el equipo o sistema no debe exceder las 6 horas. Mantener el MTTR por debajo de este límite es un factor crítico para asegurar una respuesta rápida y eficiente en el proceso de mantenimiento. Un MTTR inferior a las 6 horas representa una gestión de mantenimiento altamente efectiva, ya que indica una capacidad ágil y oportuna para atender y solucionar los problemas identificados. Al lograr reparaciones rápidas y efectivas, se minimiza considerablemente el tiempo de inactividad de los equipos, lo que a su vez contribuye a mantener la disponibilidad operativa de los activos en un nivel óptimo. Mantener el MTTR dentro de este umbral es esencial para optimizar el rendimiento y la eficiencia de las operaciones en la empresa. Un tiempo de reparación reducido permite que los equipos y sistemas estén disponibles para su uso de manera más rápida, lo que se traduce en una mejora significativa en la productividad y una reducción de posibles pérdidas económicas causadas por paradas no programadas..

Ecuación 4: Método para el cálculo del MTTR

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}} \quad (4)$$

Siguiendo las investigaciones de Avendaño (2017), se ha establecido una fórmula específica para calcular la disponibilidad mecánica, la cual se presenta en la ecuación 5. Este indicador es evaluado de manera mensual, y la empresa ha definido una disponibilidad esperada del 90% a través del área de mantenimiento. La fórmula establecida para calcular la disponibilidad mecánica representa una herramienta esencial para medir el grado de eficiencia y operatividad de

los equipos y maquinarias en la empresa. La aplicación de esta ecuación proporciona datos concretos y cuantificables que permiten evaluar la disponibilidad de los activos y su capacidad para estar en funcionamiento cuando se les requiere. El seguimiento periódico de este indicador es vital para evaluar el rendimiento de los equipos y maquinarias a lo largo del tiempo. Al comparar la disponibilidad mensual con el objetivo del 90% establecido por la empresa, se puede evaluar si se están cumpliendo los estándares de rendimiento esperados o si es necesario tomar medidas correctivas para mejorar la gestión de mantenimiento y optimizar la disponibilidad operativa de los activos. El establecimiento de una disponibilidad esperada del 90% refleja la búsqueda de altos estándares de eficiencia y confiabilidad en la gestión de mantenimiento. Al alcanzar y mantener esta meta, la empresa se asegura de que sus equipos y maquinarias estén operativos y disponibles para su uso en la mayor parte del tiempo, lo que se traduce en una mejora significativa de la productividad y la rentabilidad.

Ecuación 5: Método para el cálculo de la DM

$$\text{Disponibilidad operativa} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad (5)$$

2.4 Aspectos éticos

El presente trabajo de investigación se caracteriza por su rigurosa inclusión de conceptos, tablas, imágenes y gráficos, lo que enriquece y respalda el contenido presentado. Para asegurar la autoría y la veracidad de la información, se han empleado cuidadosamente referencias bibliográficas, las cuales se encuentran correctamente citadas en las citas textuales. Esta práctica se adopta con el firme propósito de respetar los derechos de autoría y garantizar la integridad académica del estudio.

La autonomía es un aspecto fundamental en el desarrollo de esta investigación, ya que se ha llevado a cabo por iniciativa propia. Esto significa que el trabajo es completamente

independiente y original, y ha sido concebido y ejecutado con una visión y enfoque personal, respaldado por la dedicación y el esfuerzo del autor.

La confidencialidad también ha sido debidamente considerada en el proceso investigativo. Toda la información recopilada se manejará con discreción y se utilizará exclusivamente con fines académicos. Se garantiza la privacidad y la confidencialidad de los datos obtenidos, asegurando que la información sensible y confidencial esté resguardada y no se divulgue de manera inapropiada.

Estas consideraciones éticas y profesionales demuestran el compromiso del autor con la integridad y la transparencia en el desarrollo de la investigación. Se ha buscado mantener altos estándares éticos y asegurar el cumplimiento de las normas académicas y científicas en todas las etapas del estudio. El enfoque responsable y ético de este trabajo fortalece su validez y credibilidad, lo que aporta confianza y solidez a los resultados y conclusiones presentados.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Diagnóstico del área de estudio

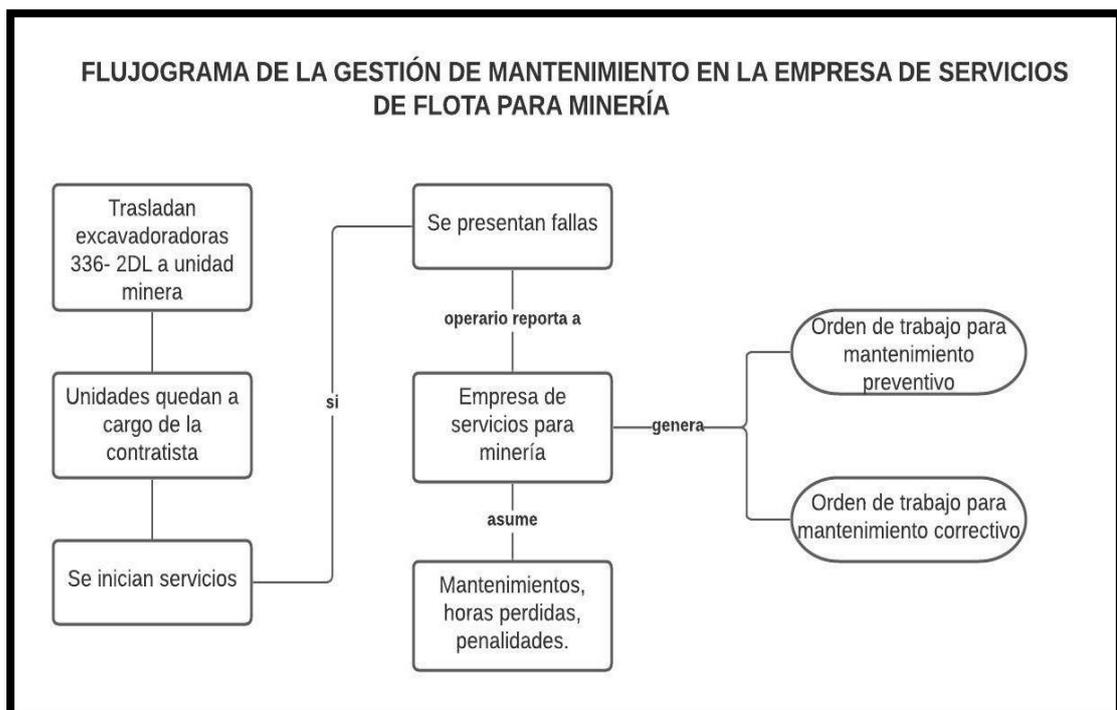
3.1.1 Diagnóstico de la situación actual de la gestión de mantenimiento

- **Flujograma de la gestión de mantenimiento**

En la Figura 4, se presenta un esquema detallado que muestra la secuencia y las interacciones de las diferentes operaciones que se llevan a cabo en el ámbito del mantenimiento. Cada paso y actividad se encuentra representado gráficamente, lo que facilita su comprensión y análisis. Esta representación visual es especialmente valiosa para visualizar la secuencia lógica de las tareas y la conexión entre ellas, lo que permite una apreciación más completa y sistémica de la gestión de mantenimiento en esta empresa de servicios de flota para minería.

Figura 4

Flujograma del proceso de gestión de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia.

- **Excavadora 336 – 2DL**

La excavadora desempeña un papel fundamental en todo el proceso de movimiento de tierras, y su presencia es indispensable en numerosas actividades relacionadas con la construcción y minería. Gracias a su versatilidad y potencia, la excavadora se convierte en una pieza clave para llevar a cabo diversas funciones con eficiencia y precisión. Entre las principales funciones que desempeña la excavadora, se destaca la carga y descarga de grandes bloques y materiales pesados, lo que facilita la manipulación y transporte de grandes volúmenes de tierra y rocas. Asimismo, en canteras y obras de construcción, la excavadora es esencial para realizar cortes y carguío de materiales, optimizando la extracción y movilización de los recursos naturales. Otra tarea en la que la excavadora muestra su valía es el carguío de volquetes ubicados al mismo nivel o por debajo de la pala. Esto permite un proceso de carga eficiente y seguro, lo que resulta esencial en operaciones donde la productividad y la seguridad son prioridades. Además, la excavadora es una aliada eficaz en la excavación en laderas, ya sean de un solo nivel o con varios niveles. Su capacidad para acceder a áreas de difícil acceso y su potencia para excavar y desplazar materiales la convierten en una herramienta invaluable en este tipo de trabajos. En proyectos de construcción y minería, la excavadora también es ampliamente utilizada para la manipulación y descarga con alcance normal, lo que facilita la transferencia de materiales y la carga de camiones u otros equipos. Su movilidad y alcance permiten realizar estas tareas de manera ágil y eficiente. Por último, la capacidad de la excavadora para cargar materiales y transportarlos a cortas distancias resulta crucial en numerosas operaciones. Su agilidad y maniobrabilidad hacen posible trasladar materiales de un lugar a otro con rapidez y precisión, optimizando el flujo de trabajo y aumentando la productividad (Guevara, 2020)

En el marco de este proyecto, se ha tomado la decisión estratégica de emplear un total de 6 excavadoras Caterpillar 336D2L, cuya elección se basa en su reconocida calidad y

rendimiento. Estas máquinas representan un avance significativo en la industria de la construcción y la minería debido a las innovaciones tecnológicas que incorporan, diseñadas específicamente para mejorar la eficiencia del sitio de trabajo y optimizar los costos de posesión y operación. La elección de las excavadoras Caterpillar 336-2DL se respalda en la confianza en la marca Caterpillar, una empresa líder en la fabricación de maquinaria pesada y equipos para diversas aplicaciones industriales. La reputación de Caterpillar por su ingeniería de primera clase, rendimiento excepcional y durabilidad ha sido un factor determinante para seleccionar estas máquinas como parte integral de este proyecto. Estas excavadoras destacan por su capacidad para enfrentar una amplia gama de tareas, lo que las convierte en herramientas altamente versátiles para diferentes aplicaciones en el sector de la construcción y la minería. Su versatilidad se traduce en una mayor flexibilidad operativa, permitiendo abordar diversas actividades de excavación, movimiento de tierras y manipulación de materiales con gran eficiencia y precisión. Además, las excavadoras Caterpillar 336 2DL han sido diseñadas con un enfoque en la eficiencia y el rendimiento, lo que se traduce en una mayor productividad en el sitio de trabajo. Estas máquinas están equipadas con tecnologías avanzadas que optimizan el consumo de combustible y reducen las emisiones, lo que no solo contribuye a disminuir los costos operativos, sino también a minimizar el impacto ambiental. Otro aspecto clave es la importancia que se otorga a la reducción de los tiempos de inactividad y a la mejora de la disponibilidad operativa. Las excavadoras Caterpillar 336 2DL están diseñadas para facilitar el mantenimiento y las reparaciones, lo que garantiza una mayor disponibilidad y confiabilidad, manteniendo la productividad en niveles óptimo (Caterpillar, 2019).

Figura 5

Excavadora CAT 336-2DL



- **Identificación de Problemas en la Gestión de Mantenimiento a través del Diagrama de Ishikawa.**

El Diagrama de Ishikawa, también conocido como Diagrama de Espina de Pescado o Diagrama de Causa y Efecto, es una herramienta valiosa utilizada en este estudio para analizar y visualizar las causas principales que afectan la gestión de mantenimiento en el período de enero a diciembre de 2021. Mediante la recopilación de información a través de la observación de campo, se logró identificar y categorizar los principales problemas que surgieron durante este periodo. En la Figura 6, se presenta una representación gráfica detallada de este análisis, donde se despliegan las diferentes categorías de causas que se han identificado como potenciales generadores de los problemas observados en la gestión de mantenimiento. Cada rama del diagrama representa una categoría específica de causas, lo que permite visualizar de manera clara y estructurada las relaciones entre las variables involucradas. Al analizar la Figura 6, se obtiene una visión panorámica de las áreas críticas de la gestión de mantenimiento que necesitan mayor atención y enfoque para lograr mejoras significativas. Las causas principales identificadas abarcan diversas áreas, tales como recursos humanos, procesos de planificación, disponibilidad de repuestos, procedimientos de mantenimiento y factores ambientales, entre otros. La utilización del Diagrama de Ishikawa ha sido esencial para identificar las causas raíz

de los problemas, lo que a su vez facilita la toma de decisiones informadas y la implementación de acciones correctivas y preventivas adecuadas. Esta herramienta ha permitido un análisis en profundidad de la gestión de mantenimiento y ha brindado una base sólida para el diseño de estrategias efectivas y soluciones prácticas para optimizar el funcionamiento del sistema de mantenimiento. La información recopilada y representada en la Figura 6 ha sido sometida a rigurosos procesos de validación y análisis, asegurando su relevancia y precisión para el estudio. Asimismo, la identificación temprana de las causas principales en la gestión de mantenimiento durante el periodo de estudio permitirá implementar medidas correctivas de manera oportuna y eficaz, lo que contribuirá a mejorar la eficiencia operativa y la calidad en el mantenimiento de los activos.

Figura 6

Diagrama de Ishikawa.



La figura representa de manera visual los problemas clave identificados en el sistema de gestión de mantenimiento de la empresa de servicios de flota para minería durante el período comprendido entre enero y diciembre de 202. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, procederemos a analizar las 6M que están directamente relacionadas con la deficiente gestión de Mantenimiento:

- **Máquina**

En la actualidad, las excavadoras 336-2DL están experimentando fallas que resultan en paradas no programadas, lo que implica intervenciones para realizar mantenimientos correctivos. Estas interrupciones imprevistas afectan la continuidad de las operaciones y generan tiempos de inactividad que podrían evitarse con una gestión de mantenimiento más eficiente.

- **Material**

Aunque la empresa mantiene un stock básico de repuestos para el mantenimiento habitual, la situación se complica cuando se requiere un repuesto especial. En estos casos, se debe solicitar el aprovisionamiento a Cajamarca, lo que puede tomar hasta 48 horas. Este procedimiento de abastecimiento prolongado puede resultar en un tiempo de espera significativo para obtener el repuesto necesario, lo que a su vez afecta la rapidez en la resolución de las fallas y la disponibilidad de los equipos.

- **Medio**

El proceso de mantenimiento presenta una demora significativa entre la detección de una falla y la intervención para su corrección. Cuando se reporta una avería en un equipo, el operario de la excavadora informa a la empresa, y luego el mecánico evalúa la falla. Sin embargo, la falta de disponibilidad inmediata de repuestos retrasa el mantenimiento, dejando al equipo inoperativo durante el tiempo que lleva obtener el repuesto necesario.

- **Método**

La empresa carece de un sistema de mantenimiento planificado para las excavadoras 336-2DL. En lugar de ello, los mantenimientos se llevan a cabo de manera reactiva,

es decir, en función de las fallas que se presenten en los equipos. Esta falta de planificación preventiva puede resultar en un aumento de las interrupciones no programadas y una menor eficiencia en el manejo de los activos.

- **Medición**

A pesar de que las unidades cuentan con horómetros que registran las horas de operación, estos no se utilizan para monitorear de manera efectiva las horas de funcionamiento y establecer intervalos adecuados para realizar mantenimientos preventivos. La falta de seguimiento y análisis de los datos del horómetro puede impedir la detección temprana de posibles problemas y la implementación oportuna de acciones preventivas.

- **Mano de obra**

Tras la evaluación realizada por el mecánico, se ha determinado que algunas fallas en las excavadoras han sido ocasionadas por la falta de experiencia en la operación de estos equipos por parte de algunos operarios. La capacitación y formación adecuada para los operadores son esenciales para evitar errores y malas prácticas que puedan afectar el rendimiento y la vida útil de las máquinas.

• **Determinación y frecuencia las fallas**

En la Tabla 4 se llevaron a cabo la determinación y registro de las fallas más frecuentes que han sido reportadas en las excavadoras 336-2DL. Estos datos se obtuvieron de la base de datos de la empresa y se registraron empleando la ficha resumen como herramienta de recopilación y organización de la información.

Tabla 4
Identificación y frecuencia de fallas en las excavadoras 336 -2DL

N°	Componentes	# Fallas	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
1	Falla en rodamientos de bomba hidráulica	36	30%	30%
2	Fuga por mangueras de tanque hidráulico	30	25%	54%
3	Fuga hidráulica por enfriador	21	17%	71%
4	Tanque hidráulico sin lubricante por fuga	18	15%	86%
5	Ruido en la válvula con desgaste interno	13	11%	97%
6	Eje de bomba hidráulica roto	4	3%	100%

En tabla se esquematiza las fallas más frecuentes en la flota de excavadoras CAT 336 2DL..

Según los datos proporcionados por la empresa y tras un análisis exhaustivo de las fallas y su frecuencia, se ha obtenido información relevante que destaca las principales causas de los problemas identificados en las excavadoras 336-2DL. Un hallazgo significativo es que aproximadamente el 30% de las fallas se atribuyen a problemas en los rodamientos de la bomba hidráulica. Estos componentes vitales son responsables de mantener el funcionamiento adecuado del sistema hidráulico, y su mal estado puede ocasionar un rendimiento deficiente y una reducción en la eficiencia general del equipo. Además, se ha determinado que alrededor del 25% de las fallas se deben a fugas en las mangueras del tanque hidráulico. Las fugas en este sistema son motivo de preocupación, ya que no solo afectan la operatividad de la excavadora, sino que también pueden resultar en pérdidas de fluido y, en casos extremos, provocar daños adicionales en otros componentes.

Otra causa importante de fallas, representando aproximadamente el 17% del total, son las fugas hidráulicas en el enfriador. El enfriador juega un papel crítico en el mantenimiento de la temperatura adecuada del sistema hidráulico, y cualquier fuga en este componente puede comprometer su rendimiento y conducir a un mayor desgaste y

deterioro del equipo. El análisis detallado de estas causas principales revela la importancia de abordar de manera prioritaria los problemas relacionados con los rodamientos de la bomba hidráulica, las fugas en las mangueras del tanque hidráulico y las fugas en el enfriador. Implementar un enfoque proactivo y preventivo para abordar estas áreas críticas es esencial para mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras y garantizar un funcionamiento óptimo y seguro de los equipos.

En vista de estos resultados, es evidente que se requiere una estrategia sólida de mantenimiento preventivo y un plan de monitoreo periódico para detectar y solucionar tempranamente posibles problemas en los rodamientos, mangueras y enfriador. Asimismo, es fundamental fortalecer la capacitación y formación del personal para garantizar una correcta operación de las excavadoras y minimizar errores que puedan derivar en fallas mecánicas. Al abordar de manera integral estas causas raíz y tomar acciones correctivas oportunas, la empresa podrá mejorar significativamente la gestión de mantenimiento de las excavadoras 336-2DL y elevar la confiabilidad y eficiencia de sus operaciones en el sector de la construcción y minería.

- **Determinación de la Causa de Fallas en las Excavadoras 336-2DL**

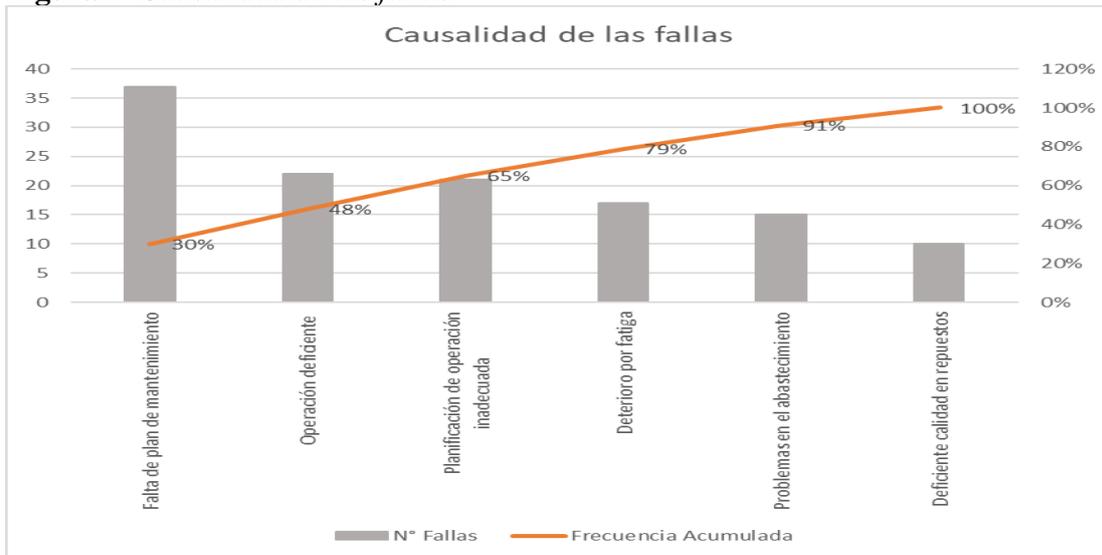
En la Figura 7, se ofrece una visión clara y detallada de la determinación de los orígenes que ocasionan los desperfectos en las excavadoras 336-2DL. Mediante un minucioso análisis de la información proporcionada por la empresa, se ha logrado identificar las causas subyacentes de las fallas, lo que ha permitido un diagnóstico preciso de la situación. El análisis revela que aproximadamente el 30% de las fallas pueden atribuirse directamente a la falta de un plan de mantenimiento adecuado. La ausencia de un programa estructurado y planificado de mantenimiento preventivo y correctivo puede llevar a la subutilización de los recursos, lo que a su vez puede provocar un aumento en los tiempos de inactividad y una disminución en la vida útil de

los equipos. Además, se ha determinado que alrededor del 18% de las fallas están relacionadas con una operación deficiente de las excavadoras. Un manejo inadecuado de los equipos puede acelerar el desgaste de los componentes críticos y generar problemas que podrían haberse evitado con una operación más cuidadosa y capacitada.

Otra causa relevante de fallas, representando alrededor del 17% del total, es una planificación de operación inadecuada. Una planificación deficiente puede llevar a una distribución ineficiente de las tareas y a una carga excesiva de trabajo para ciertos componentes, lo que puede provocar un desgaste prematuro y, en última instancia, afectar el rendimiento general de las excavadoras. Estos resultados resaltan la importancia de contar con un plan de mantenimiento sólido y estratégico, así como una operación bien capacitada y una planificación adecuada para maximizar la disponibilidad y confiabilidad de las excavadoras 336-2DL. La implementación de un programa de mantenimiento preventivo adecuado puede contribuir significativamente a reducir las fallas, mejorar la eficiencia operativa y prolongar la vida útil de los equipos.

Asimismo, se hace evidente la necesidad de invertir en la capacitación y formación del personal para asegurar una operación adecuada y responsable de las excavadoras. Un equipo bien capacitado y con conocimiento técnico sólido es clave para garantizar un manejo adecuado y minimizar la posibilidad de errores que puedan derivar en fallas mecánicas.

Figura 7 Causalidad de las fallas.



En la tabla se presenta la relación causal de las fallas reportadas. Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior, se ha llevado a cabo un minucioso análisis de la causalidad de las fallas en las excavadoras 336-2DL, lo que proporciona una visión integral y detallada de los factores que contribuyen a las deficiencias en el rendimiento y funcionamiento de estos equipos. Mediante este análisis, se han identificado las áreas críticas que requieren especial atención y acción para reducir significativamente la cantidad de fallas que afectan las excavadoras. Estos hallazgos son fundamentales para la toma de decisiones estratégicas en la gestión de mantenimiento y operación de los equipos.

El análisis de causalidad de las fallas ha revelado diversas categorías de causas, entre las cuales destacan:

Falta de un plan de mantenimiento adecuado: Un plan de mantenimiento bien estructurado y planificado es esencial para prevenir y abordar proactivamente los problemas antes de que se conviertan en fallas mayores. La implementación de un programa de mantenimiento preventivo adecuado permitirá identificar y corregir tempranamente posibles problemas, evitando así interrupciones no programadas y reduciendo los tiempos de inactividad.

Operación deficiente: La operación adecuada de las excavadoras es esencial para garantizar su rendimiento óptimo y prolongar su vida útil. La capacitación y formación del personal son aspectos cruciales para asegurar que los operadores estén equipados con las habilidades y conocimientos necesarios para una operación segura y eficiente de los equipos.

Planificación de operación inadecuada: Una planificación deficiente de las tareas y cargas de trabajo puede llevar a una distribución ineficiente de las actividades, lo que afecta negativamente el desempeño de los equipos y puede generar una mayor probabilidad de fallas.

Deterioro por fatiga: El uso continuo y exigente de las excavadoras puede provocar el deterioro por fatiga de ciertos componentes, especialmente aquellos sometidos a cargas y esfuerzos repetitivos. La fatiga de materiales puede ocasionar grietas y daños progresivos, lo que eventualmente puede llevar a fallas inesperadas y reducir la vida útil de los equipos.

Problemas de abastecimiento de repuestos: La falta de una gestión eficiente en el abastecimiento de repuestos puede causar demoras significativas en la obtención de las piezas necesarias para realizar los mantenimientos y reparaciones. Los retrasos en el aprovisionamiento pueden prolongar los tiempos de inactividad de las excavadoras y afectar la disponibilidad operativa.

Deficiente calidad en los repuestos: La utilización de repuestos de baja calidad o no originales puede comprometer la integridad y rendimiento de los equipos. La adquisición de repuestos genuinos y de alta calidad es esencial para mantener la confiabilidad y prolongar la vida útil de las excavadoras.

- **Cálculo de KPIs de la gestión de mantenimiento**

Los cálculos de estos indicadores han sido efectuados empleando la información suministrada por la empresa correspondiente al lapso comprendido entre enero y diciembre de 2022.

- Porcentaje de utilización de la flota de excavadoras 336- 2DL

Los datos se presentaron en la Tabla 5, considerando una base de 150 horas programadas al mes para cada excavadora. Durante ese período, se determinó que el porcentaje de utilización de la flota de excavadoras 336-2DL fue del 84%. Aunque esta cifra representaba una cantidad considerable de horas de trabajo, se identificó que estaba por debajo del objetivo establecido por la empresa, que era del 90%. Esta situación indicaba la existencia de oportunidades para mejorar la eficiencia operativa y aumentar la productividad de la flota. El seguimiento constante del porcentaje de utilización era esencial para evaluar el rendimiento y la eficiencia del equipo en el campo, así como para identificar posibles áreas de mejora. Al analizar los factores que contribuyeron a este resultado, la empresa pudo implementar estrategias y medidas correctivas para alcanzar o superar el objetivo del 90% de utilización en el futuro. Se puso especial énfasis en la programación adecuada de las excavadoras, la planificación eficiente de las tareas y el mantenimiento preventivo adecuado para maximizar el tiempo de operación y minimizar los tiempos de inactividad. Mediante la mejora en la utilización de la flota, la empresa logró optimizar su rendimiento y rentabilidad en las operaciones mineras y de construcción.

Tabla 5

Porcentaje de Utilización de la flota de excavadoras 336- 2DL

	Exc 1	Exc 2	Exc 3	Exc 4	Exc 5	Exc 6
Horas programadas en el año (HP)	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Horas de trabajo en el año (HT)	1499	1495	1525	1508	1499	1496
Porcentaje de Utilización de la maquinaria	83%	83%	85%	84%	83%	83%
Porcentaje de Utilización / Flota	84%					

La tabla muestra el porcentaje de utilización de la maquinaria para el periodo de enero a diciembre del 2021.

- **Porcentaje de mantenimientos no programados para la flota de excavadoras 336- 2DL**

Los resultados de la revisión documental relacionados con el número de mantenimientos no programados de las excavadoras, incluyendo inspecciones mecánicas, fallas mecánicas, eléctricas y otros eventos, se presentaron en la Tabla 6. Además, se mostró el número total de mantenimientos reportados durante el período de enero a diciembre de 2021. El porcentaje de mantenimientos no programados de la flota de excavadoras 336-2DL para el período mencionado fue del 64%. Este valor se encontró fuera del límite establecido por la empresa, que exigía un máximo del 30% de mantenimientos no programados.

Estos resultados revelaron una situación preocupante, ya que el alto porcentaje de mantenimientos no planificados indicó la existencia de problemas en la gestión de mantenimiento. La ocurrencia frecuente de eventos imprevistos y fallas no solo generó costos adicionales, sino que también afectó la disponibilidad operativa de las excavadoras y pudo haber impactado negativamente en la productividad de la empresa. Para mejorar esta situación, fue crucial implementar estrategias que fomentaran una gestión de mantenimiento más efectiva y preventiva. Esto incluyó el establecimiento de un programa de mantenimientos planificados, la realización de inspecciones regulares y la utilización de datos y análisis para anticipar y prevenir posibles fallas. Además, se tuvo en cuenta la disponibilidad y calidad de los repuestos para garantizar una pronta y eficiente atención ante cualquier eventualidad. Al abordar estos desafíos, la empresa pudo reducir significativamente el porcentaje de mantenimientos no programados, aumentar la confiabilidad de sus equipos y mejorar la rentabilidad de sus operaciones en el sector minero y de construcción. La optimización de la gestión de mantenimiento permitió alcanzar niveles óptimos de disponibilidad mecánica y contribuyó al éxito y crecimiento sostenible de la empresa en el mercado.

Tabla 6

Mantenimientos no programados para la flota de excavadoras 336- 2DL

	Exc 1	Exc 2	Exc 3	Exc 4	Exc 5	Exc 6
Nº total de mantenimientos no programados	19	17	22	21	23	20
Nº total de mantenimientos reportados	35	30	32	30	35	31
Porcentaje de Mttos no programados	54%	57%	69%	70%	66%	65%
Porcentaje de Mttos no programados / Flota	63%					

La tabla muestra el porcentaje de mantenimientos no programados para el periodo de enero a diciembre del 2021.

3.1.2 Diagnóstico de la disponibilidad mecánica

Se procedió a calcular los indicadores MTBF y MTTR para el período de enero a diciembre de 2021, como parte del diagnóstico de la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL.

- **MTBF de la flota de excavadoras 336-2DL**

El MTBF de las excavadoras 336-2DL durante el período de enero a diciembre de 2021 fue de 74.66 horas. Este valor cumple con el requisito de la empresa de que sea mayor a 60 horas, lo que indica una buena confiabilidad y eficiencia operativa de las excavadoras durante ese tiempo. Mantener un MTBF positivo es esencial para una gestión de mantenimiento efectiva y un flujo de trabajo sin interrupciones significativas. Estos resultados son alentadores y proporcionan información valiosa para mejorar la disponibilidad mecánica de los equipos y aumentar la productividad en el ámbito minero y de construcción

Tabla 7

MTBF de las excavadoras 336-2DL

	Exc 1	Exc 2	Exc 3	Exc 4	Exc 5	Exc 6
Horas de trabajo en el año (HT)	1499	1495	1525	1508	1499	1496
Número total de paradas por Mtto (NP)	19	17	22	21	23	20
MTBF	78.89	87.94	69.32	71.81	65.17	74.80
MTBF/Flota	74.66					

La tabla muestra el cálculo del MTBF para las 06 excavadoras 336 – 2DL de la flota en el periodo de enero a diciembre del 2021.

MTTR de la flota de excavadoras 336- 2DL

La Tabla 8 muestra el detalle del MTTR de las excavadoras 336-2DL, que es el tiempo promedio de reparación de fallas. Durante el período evaluado, el MTTR fue de 14.75 horas, superando el límite máximo establecido por la empresa, que era de 6 horas. Esta diferencia indica la necesidad de mejorar la eficiencia en los procesos de mantenimiento y reparación para reducir los tiempos de inactividad de las excavadoras. La optimización de los tiempos de reparación es crucial para aumentar la disponibilidad mecánica de los equipos y mejorar la productividad en las operaciones mineras y de construcción

Tabla 8

MTTR de las excavadoras 336-2DL

	Exc 1	Exc 2	Exc 3	Exc 4	Exc 5	Exc 6
Horas totales en inspección mecánica (IM)	42	44	45	38	39	48
Horas utilizadas por fallas mecánicas (FM)	175	191	161	156	186	177
Horas utilizadas por fallas eléctricas (FE)	17	19	15	23	12	24
Horas utilizadas en otros eventos	67	51	54	75	64	55
Número total de paradas (NP)	19	17	22	21	23	20
MTTR	15.84	17.94	12.5	13.9	13.09	15.2
MTTR/Flota	14.75					

La tabla presenta el cálculo del MTTR para las 06 excavadoras de la flota durante el período de enero a diciembre de 2021.

- Disponibilidad mecánica de la flota de excavadoras 336- 2DL

La disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL fue presentada en la Tabla 9. Este indicador fue calculado utilizando los datos de horas programadas durante el año y las horas de parada debido a mantenimientos no programados, mediante los indicadores MTBF y MTTR. El resultado obtenido reveló una disponibilidad mecánica del 84%, lo cual se encontraba por debajo del parámetro establecido por la empresa y el contratista, que era del 90%. Este resultado evidenciaba la necesidad de mejorar la gestión de mantenimiento para lograr una mayor disponibilidad mecánica de las excavadoras. La disponibilidad mecánica es esencial para garantizar un funcionamiento óptimo de los equipos y mantener una operación eficiente. Un nivel del 84% indicaba que había margen de mejora para reducir los tiempos de inactividad y aumentar la disponibilidad operativa de las excavadoras.

Tabla 9

Disponibilidad mecánica de las excavadoras 336- 2DL

	Exc 1	Exc 2	Exc 3	Exc 4	Exc 5	Exc 6
MTBF	78.89	87.94	69.32	71.81	65.17	74.80
MTTR	15.84	17.94	12.50	13.90	13.09	15.20
DM	83%	83%	85%	84%	83%	83%
Disponibilidad Mecánica/ flota	84%					

La tabla muestra la disponibilidad mecánica de la flota, en el periodo de enero a diciembre del 2021.

3.1.3 Operacionalización de variables

Se presenta a continuación la tabla 10, que contiene el resumen inicial de la operacionalización de variables.

Tabla 10

Resumen inicial de la operacionalización de las variables

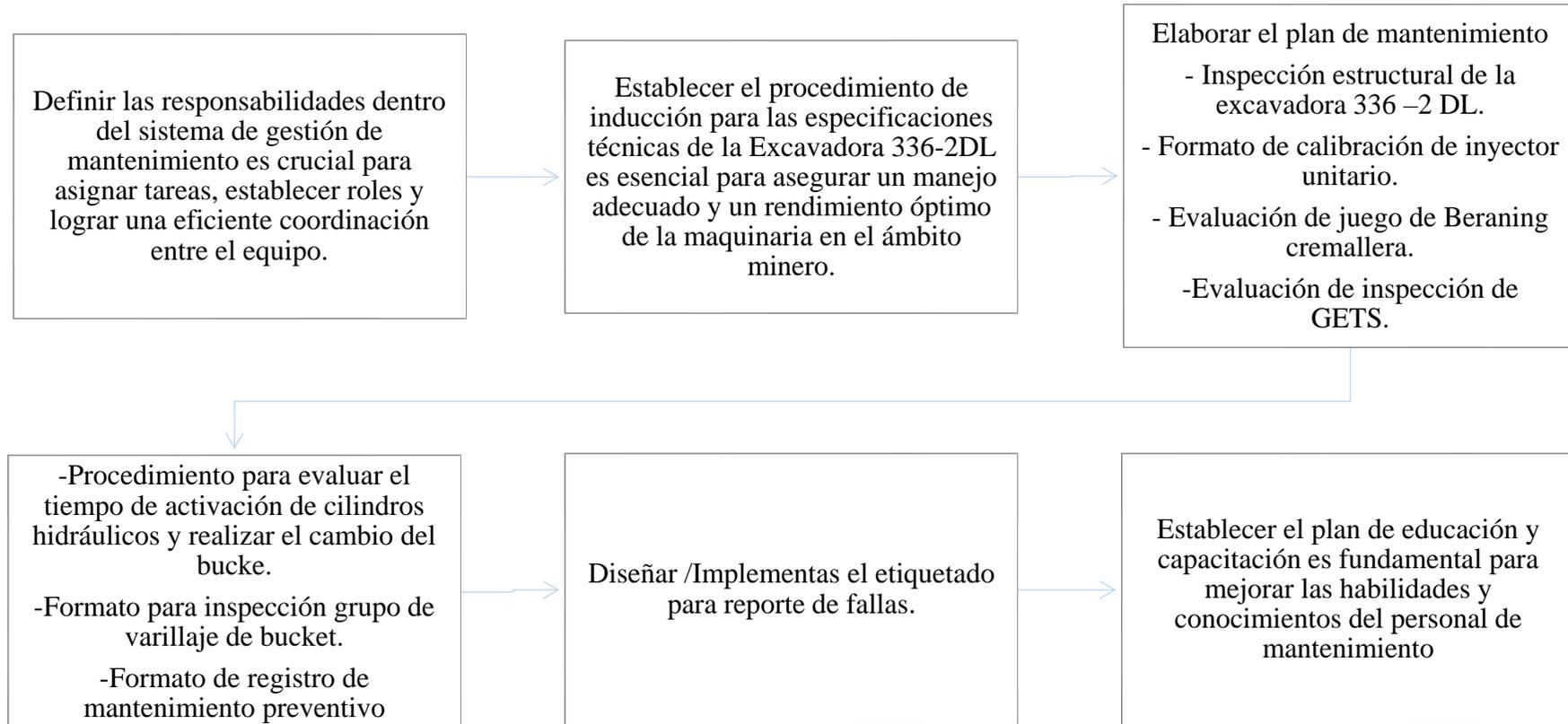
Variables	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Resultado Actual	Indicador Estándar
Variable Independiente: Sistema de gestión de mantenimiento	Un programa de administración del mantenimiento abarca un enfoque completo que implica ciertas actividades para asegurar la continuidad de un proceso específico, de manera que se prevengan contratiempos o problemas en maquinaria y/o dispositivos. (Chávez, 2020)	Porcentaje de utilización de la maquinaria	(Hrs trabajadas/ Capacidad de Hrs por periodo trabajado) x 100	84%	> 90%
		Porcentaje de mantenimientos no programados	(N° Mttos no programados/ N° total de Mttos) x 100	64%	< 30%
Variable Dependiente: Disponibilidad mecánica	La disponibilidad mecánica representa el porcentaje de tiempo que el equipo estuvo apto y operativo para desempeñar su función. (Gutiérrez, 2019)	Tiempo promedio de distribución entre fallas (MTBF)	N°Horas de operación/ N° paradas correctivas	74.66 horas	> 60 horas
		Tiempo promedio de reparación de fallas (MTTR)	Tiempo total de reparaciones correctivas / N° de reparaciones correctivas	14.75 horas	< 6 horas
		Disponibilidad mecánica	$MTBF / (MTBF + MTTR)$	84%	> 90%

Durante el lapso comprendido entre enero y diciembre de 2021, se llevó a cabo un análisis detallado del sistema de administración del mantenimiento y la disponibilidad operativa en la compañía de servicios de flota para la industria minera.

3.2 Diseño de un SGM para las excavadoras 336-2DL.

Figura 8

Diseño del sistema de gestión de mantenimiento



Diseño del sistema de gestión de mantenimiento. Fuente: Elaboración Propia

3.2.1 Definir responsabilidades en el sistema de gestión de mantenimiento.

Para garantizar una estructura adecuada en el sistema de gestión de mantenimiento, es fundamental establecer claramente las responsabilidades de todo el personal dentro de la empresa.

	Sistema de Gestión de Mantenimiento	
	Responsabilidades en la gestión de mantenimiento de las excavadoras 336-2DL	REV 12-06- 2022.

Objetivo:

El objetivo de establecer las funciones y tareas para cada miembro del equipo de gestión de mantenimiento de las excavadoras 336-2DL en la empresa de servicios de flota para minería es asegurar una clara asignación de responsabilidades. Esto permitirá una coordinación efectiva, una ejecución eficiente de las actividades de mantenimiento y una optimización de la disponibilidad operativa de las maquinarias. La definición de roles y responsabilidades también facilitará la identificación de áreas de mejora, promoviendo un enfoque orientado a la eficiencia y la excelencia en el mantenimiento de los equipos.

Responsabilidades:

Gerente

- Es el encargado de planificar, organizar, supervisar y controlar las operaciones internas de la empresa. Además, delega la responsabilidad al encargado designado para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo. Su rol es crucial para garantizar una gestión eficiente y efectiva del mantenimiento de los activos de la empresa.

Ingeniero mecánico (responsable del área de mantenimiento)

- El Ingeniero mecánico, como responsable del área de mantenimiento, cumple con diversas funciones clave. Elabora y presenta al gerente el plan de mantenimiento preventivo, asegurando su aprobación y autorización. Además, gestiona las compras de repuestos, consumibles e insumos necesarios para el mantenimiento, garantizando un abastecimiento oportuno y eficiente.
- La supervisión y verificación de la correcta ejecución de los procedimientos es una tarea fundamental para asegurar la calidad del mantenimiento. El ingeniero mantiene un registro detallado mediante el uso de fichas específicas para cada volquete FMX, lo

que permite llevar un control preciso de las actividades de mantenimiento.

- Asimismo, el ingeniero genera informes mensuales sobre los mantenimientos correctivos realizados, proporcionando retroalimentación valiosa al área de mantenimiento para identificar áreas de mejora. Esta información contribuye a optimizar los procesos y garantizar un mantenimiento efectivo y confiable de los equipos.
- El ingeniero mecánico se encarga de realizar y supervisar el mantenimiento de las excavadoras, asegurándose de seguir las asignaciones y condiciones establecidas. Su expertise y liderazgo son fundamentales para mantener la disponibilidad operativa de las maquinarias y mejorar la eficiencia general del área de mantenimiento.

Mecánico

- El mecánico es una pieza clave en el equipo de mantenimiento. Su rol abarca diversas responsabilidades que contribuyen al óptimo funcionamiento de las excavadoras.
- Recibe y/o prepara las solicitudes de mantenimiento, asegurando una comunicación fluida entre el personal operativo y el área de mantenimiento. Realiza inspecciones minuciosas para evaluar el estado de las excavadoras, identificando posibles fallas o necesidades de mantenimiento preventivo.
- Mantiene informado al encargado o responsable sobre el progreso y cumplimiento de sus funciones en el área de mantenimiento. Ejecuta con precisión las órdenes de trabajo programadas, realizando tareas mecánicas, eléctricas, de soldadura y acondicionamiento de sistemas y componentes de las excavadoras.
- Además, el mecánico gestiona eficientemente el requerimiento de insumos, consumibles y otros materiales necesarios para el mantenimiento. Su coordinación continua con el encargado asegura un flujo de suministros oportuno, lo que es esencial para evitar retrasos en las actividades de mantenimiento y garantizar una operatividad fluida de las excavadoras.

Ayudantes de taller

- Los ayudantes de taller desempeñan un papel esencial en el equipo de mantenimiento. Su labor incluye llevar a cabo el lavado exterior de las unidades, preparando así los equipos para ingresar al taller y realizar los respectivos mantenimientos. Además, brindan apoyo constante al mecánico en diversas actividades, asegurando el cumplimiento eficiente del mantenimiento diario de las excavadoras.

- El lavado exterior de las unidades es un paso crucial para mantener la limpieza y preservar el buen estado de las excavadoras, lo que facilita el proceso de inspección y mantenimiento. Los ayudantes trabajan en estrecha colaboración con el mecánico, asistiendo en las tareas mecánicas, eléctricas, de soldadura y en cualquier otra actividad requerida para el óptimo funcionamiento de las máquinas.

Asistente de compras

- El asistente de compras desempeña un rol clave en la gestión eficiente del mantenimiento de las excavadoras. Su trabajo implica recibir las solicitudes de requerimientos previamente aprobadas por el gerente, las cuales incluyen el presupuesto destinado a las compras de repuestos necesarios para el mantenimiento de las excavadoras.
- Una vez recibidas las solicitudes, el asistente de compras almacena y organiza los requerimientos de manera sistemática bajo un control adecuado. Esto permite llevar un seguimiento eficaz y garantizar que los repuestos sean entregados a tiempo, de acuerdo con las necesidades establecidas. Además, se asegura de incluir los documentos pertinentes y las firmas de los encargados, lo que facilita un proceso de compras ordenado y transparente.
- El asistente de compras también es responsable de mantener un inventario detallado de repuestos, consumibles y otros elementos relacionados con las excavadoras. Para ello, prepara un informe mensual que proporciona información sobre los saldos existentes en el almacén. Este informe permite tener una visión clara de la disponibilidad de repuestos y materiales, lo que resulta esencial para una gestión de mantenimiento eficiente.
- La precisión y organización del asistente de compras son fundamentales para asegurar que el área de mantenimiento cuente con los repuestos necesarios en el momento oportuno. Su trabajo contribuye a evitar retrasos en las actividades de mantenimiento y garantizar una operatividad óptima de las excavadoras.
- La colaboración entre el asistente de compras y el equipo de mantenimiento es esencial para asegurar una coordinación efectiva y una respuesta rápida ante las necesidades del mantenimiento. La disponibilidad adecuada de repuestos y materiales contribuye directamente a la eficiencia y rentabilidad de las operaciones mineras, lo que hace del asistente de compras un miembro valioso del equipo de mantenimiento y de la empresa en general.

	Elaborado	Revisado	Aprobado
Nombre			
Firma			

3.2.2 Establecer el procedimiento de inducción -Especificaciones técnicas de la

Excavadora 336-2DL

Se ha implementado un procedimiento de inducción específico, centrado en las especificaciones técnicas de la excavadora 336-2DL. Su objetivo principal es capacitar al personal involucrado en la operación y mantenimiento, proporcionando un conocimiento detallado sobre las características esenciales de la unidad. Este enfoque de capacitación garantiza una operación segura y eficiente de las excavadoras, optimizando así la gestión de mantenimiento y prolongando la vida útil de los equipos

	Sistema de Gestión de Mantenimiento	
	Procedimiento de inducción - Especificaciones técnicas de la Excavadora 336 – 2DL	REV 12-06- 2022/ Edición N° 1

Objetivo

Como parte del proceso de inducción, se busca identificar las especificaciones técnicas de la Excavadora 336-2DL.

Alcance

El alcance comprende a todos los miembros del personal que participan en las labores de operación y mantenimiento de la Excavadora 336-2DL.

Partes principales

Las partes principales de la excavadora 336-2DL comprenden el motor, el sistema hidráulico, la cabina del operador, el brazo mecánico, el cucharón y el tren de rodaje. Estos componentes trabajan en conjunto para garantizar el funcionamiento y la eficiencia de la máquina durante las operaciones de carga, excavación y descarga en el sector minero.

Motor CAT C9

Según Caterpillar (2018), la excavadora 336-2DL está equipada con el motor C9 ACERT, un motor diésel industrial con una potencia que varía entre 205 kW y 280 kW a 1.800-2.200 rpm. Este motor ofrece un rendimiento excepcional en términos de eficiencia de combustible y presenta varias características destacadas. En primer lugar, el motor cumple con los estándares de emisiones equivalentes a Japón 2006 Tier 3, Stage IIIA y las normas de emisiones Stage III de China, lo que garantiza su conformidad con las regulaciones ambientales más estrictas.

Además, el motor incorpora componentes resistentes y de alta calidad, que han sido probados y ajustados con precisión para asegurar una operación fiable y eficiente en diversas condiciones de trabajo. El sistema de filtrado del motor también se ha mejorado, lo que garantiza su confiabilidad incluso con combustible de menor calidad. Esto, a su vez, permite alargar los intervalos de servicio y reducir el número de filtros necesarios, maximizando los beneficios y reduciendo los costos operativos.

- Para mejorar aún más la eficiencia del motor, se ha implementado un control automático de velocidad en condiciones de carga ligera o sin carga. Esta característica reduce la velocidad del motor y minimiza el consumo de combustible cuando no se requiere la máxima potencia. La excavadora 336-2DL también se destaca por sus bajos niveles de ruido y vibración. El diseño del motor ha sido optimizado para funcionar silenciosamente y con una vibración limitada, mejorando la comodidad del operador y garantizando una operación suave y silenciosa. Otra ventaja importante es la presencia de una bomba eléctrica de cebado de combustible. Esta bomba elimina la necesidad de cebado manual y reduce el riesgo de contaminación del combustible. Además, evita que el combustible sin filtrar vuelva a ingresar al motor durante los cambios de filtro, lo que contribuye a mantener la calidad del combustible y la integridad del motor.

Figura 9*Motor CAT C9 ACERT – CAT 3362DL*

Fuente: Caterpillar, 2019.

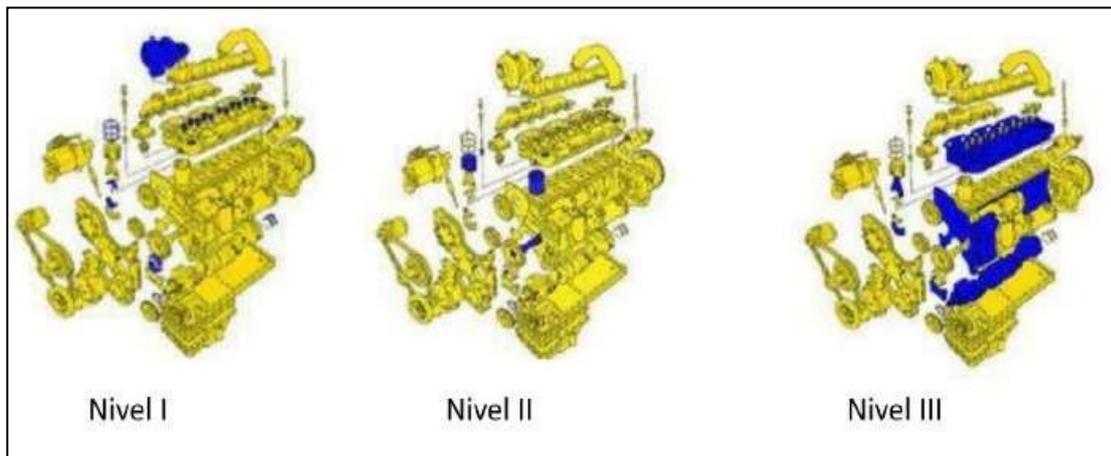
El motor diésel es un tipo de motor térmico de combustión interna que se caracteriza por lograr el encendido mediante la alta temperatura generada por la compresión del aire en el cilindro (Blog de Maquinaria Pesada, 2019). Su principal ventaja sobre los motores de gasolina es su menor consumo de combustible, lo que los hace más eficientes en términos de consumo. En el pasado, los motores diésel tenían desventajas en términos de precio, costos de mantenimiento y prestaciones en comparación con los motores de gasolina. Sin embargo, con las mejoras tecnológicas, como la inyección electrónica y el turbocompresor, estas desventajas se han reducido significativamente en el ámbito automotriz.

Caterpillar, un fabricante de maquinaria pesada, clasifica sus motores en tres categorías o niveles según el tipo de trabajo que la máquina realizará. El nivel I incluye componentes como anillos de presión, cojinetes de bancada, cojinetes de vástago, guías de válvula, cojinetes y sellos de turbo, así como empaquetaduras y sellos adicionales. El nivel II engloba elementos como pistones, camisas y válvulas. Mientras tanto, el nivel III comprende elementos más complejos y sofisticados, tales como sistemas de control electrónico, inyección de alta presión y sistemas de escape avanzados.

La introducción de la precámara en los motores de automoción ha sido una estrategia para obtener prestaciones similares a los motores de gasolina, pero ha generado un incremento en el consumo de combustible, lo que reduce significativamente la ventaja principal de los motores diésel en términos de eficiencia de consumo.

Figura 10

Segmentación de motores en maquinaria pesada



Fuente: Blog de maquinaria pesada (2019)

El sistema hidráulico de la excavadora CAT 336 D2L

El sistema hidráulico de la excavadora CAT 336D2L, según Caterpillar (2018), ha sido diseñado para proporcionar un alto rendimiento y productividad en las operaciones de excavación. Entre sus características destacadas se encuentran un diseño eficiente que reduce la pérdida por fricción y las caídas de presión al utilizar tubos más cortos, lo que mejora la eficiencia del sistema. Además, cuenta con un sistema piloto independiente que permite un control preciso en las operaciones del varillaje delantero, la rotación y el desplazamiento, garantizando un rendimiento óptimo en cada tarea.

La detección cruzada es otra característica relevante, ya que utiliza el 100% de la potencia del motor en ambas bombas hidráulicas en todas las condiciones, mejorando la productividad con velocidades más altas del implemento y giros más rápidos y fuertes del pivote. Además, el sistema cuenta con una válvula hidráulica auxiliar que ofrece circuitos de control adicionales para operar herramientas de presión media y alta, como cizallas, garfios, martillos, pulverizadores, multiprocesadores y compactadores de placas vibratorias.

Los circuitos de recuperación del brazo y la pluma ahorran energía durante operaciones específicas, lo que aumenta la eficiencia y reduce los tiempos de ciclo y la pérdida de presión para una mayor productividad y eficiencia del combustible. También se han incorporado amortiguadores de cilindro hidráulico, ubicados en los extremos de varilla de los cilindros de la pluma y del brazo, que amortiguan impactos, reducen el ruido y prolongan la vida útil de los componentes, asegurando un funcionamiento suave y duradero. Además, el sistema hidráulico cuenta con una palanca de control hidráulico que aísla todas las funciones de varillaje delantero, rotación y desplazamiento cuando se encuentra en posición neutral, proporcionando mayor seguridad y comodidad para el operador

Figura 11

Funcionamiento del sistema hidráulico en la excavadora CAT 336 D2L



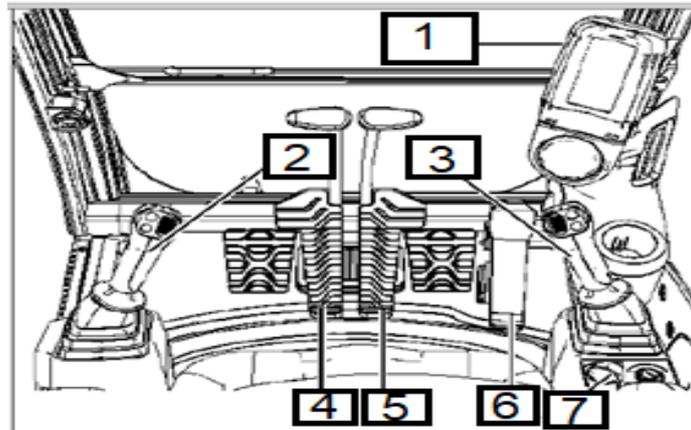
Fuente: Caterpillar (2019).

El sistema hidráulico de la excavadora CAT 336D2L es una parte fundamental que permite controlar y operar diversas funciones de la máquina de manera eficiente y precisa. Este sistema consta de varias bombas y válvulas que trabajan en conjunto para garantizar un rendimiento óptimo durante las operaciones de excavación y desplazamiento. Las bombas principales, como la bomba de mando y la bomba de la rueda loca, son de pistones de desplazamiento variable y se encargan de suministrar aceite al cuerpo de la válvula de control principal. La bomba de mando provee el aceite necesario para el funcionamiento de la válvula de control derecha, mientras que la bomba de la rueda loca suministra aceite a la válvula de control izquierda. Por otro lado, la bomba piloto, que es una bomba de engranajes, tiene múltiples funciones cruciales. En primer lugar, suministra aceite al sistema hidráulico piloto, encargado de controlar las operaciones del implemento, la rotación y el desplazamiento de la excavadora. Además, está conectada mecánicamente al sistema de enfriamiento y al motor mediante engranajes, lo que permite una operación eficiente y sincronizada. El sistema hidráulico principal es responsable de controlar los cilindros, los motores de desplazamiento y el motor de rotación de la excavadora. Gracias a las válvulas de control principales, el aceite es dirigido hacia los cilindros correspondientes, como el de la pluma, el del cucharón y el del brazo, o hacia los motores de rotación y desplazamiento. La presión del sistema hidráulico principal se regula mediante la válvula de alivio principal, garantizando un funcionamiento seguro y controlado.

En cuanto al sistema hidráulico piloto, este se encarga de activar las operaciones del implemento, la rotación y el desplazamiento. El aceite piloto fluye desde la bomba piloto a través del múltiple piloto, y luego es dirigido hacia las válvulas de control piloto para llevar a cabo las distintas funciones de la máquina. Estas operaciones son activadas mediante las palancas universales y las palancas o pedales de desplazamiento, permitiendo un manejo preciso y eficiente de la excavadora.

Figura 12

Descripción del sistema hidráulico piloto



Fuente: SIS CAT (2019)

El sistema de control de la excavadora CAT 336D2L es una parte esencial para operar la máquina de manera eficiente y precisa. Este sistema incluye varios componentes que trabajan en conjunto para permitir al operador controlar diferentes funciones y operaciones de la excavadora. Uno de los componentes clave es el tablero monitor, que proporciona información esencial sobre el funcionamiento de la excavadora. En este tablero, el operador puede monitorear la temperatura del motor, la presión hidráulica, el nivel de combustible y otros datos importantes que ayudan a mantener un control adecuado de la máquina durante las operaciones.

El sistema de control también incluye palancas universales para el brazo y la rotación, así como para el cucharón y la pluma. Estas palancas permiten al operador controlar con precisión los movimientos de la excavadora, lo que resulta en una mayor eficiencia y productividad en las tareas de excavación. Además, existen pedales o palancas de desplazamiento a la izquierda, a la derecha y en línea recta, que permiten al operador controlar el movimiento y desplazamiento de la excavadora en diferentes direcciones. Estos pedales son fundamentales para maniobrar la máquina en el lugar de trabajo y facilitar su movilidad.

Cuando se accionan las palancas universales o los pedales de desplazamiento, el aceite piloto fluye a través de las válvulas de control piloto hacia los carretes correspondientes de la válvula de control principal. Esta acción activa las operaciones específicas de la excavadora, como el movimiento de los cilindros y los motores de desplazamiento y rotación. Es decir, permite que la máquina realice las tareas asignadas con precisión y eficiencia. El sistema hidráulico piloto es fundamental para controlar el flujo de salida de las bombas principales. A través de la presión piloto, se regula la velocidad de las bombas principales en función de la velocidad del motor. Esto garantiza que la excavadora opere de manera adecuada y que el flujo hidráulico se ajuste a los requerimientos específicos de trabajo en cada momento.

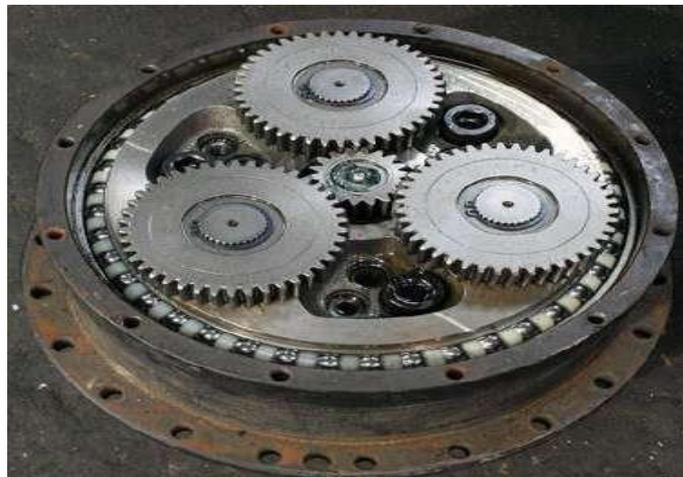
El módulo de control electrónico, conocido como Electronic Control Module (ECM), es un componente crucial que procesa las señales de entrada de los sensores, como temperatura, presión, velocidad y sincronización. Basándose en estas lecturas, el ECM controla los parámetros de operación del motor y envía una señal eléctrica a la válvula reductora proporcional, ajustando así la presión del servo transmisión. Esta acción regula el flujo de salida de las bombas de la rueda loca y la bomba de mando, asegurando un funcionamiento óptimo del sistema hidráulico y la excavadora en general.

Mando Final

En una excavadora, el mando final es un componente esencial del tren de rodaje. Su función es transmitir la potencia del motor hacia las cadenas o ruedas de la excavadora, permitiéndole desplazarse y realizar las operaciones de excavación con eficiencia. El mando final está ubicado en la parte inferior de la excavadora y se encuentra conectado al motor a través del sistema de transmisión. Cuando el motor está en funcionamiento, la potencia es enviada a través del eje de transmisión hacia el mando final.

El mando final contiene un conjunto de engranajes y piñones que trabajan en conjunto para aumentar o disminuir la velocidad y el torque según sea necesario. Estos piñones están diseñados para engranar de forma precisa y suave, asegurando una transmisión eficiente de la potencia hacia las cadenas o ruedas. Una vez que la potencia llega al mando final, se divide en dos vías, una para cada cadena de la excavadora. Cada cadena tiene su propio conjunto de piñones y cojinetes, lo que permite que las cadenas puedan girar de forma independiente. Esto es especialmente importante para maniobrar y girar la excavadora en terrenos irregulares.

Figura 13
Mando final



Fuente: Caterpillar (2019)

Sistema eléctrico e instrumentación

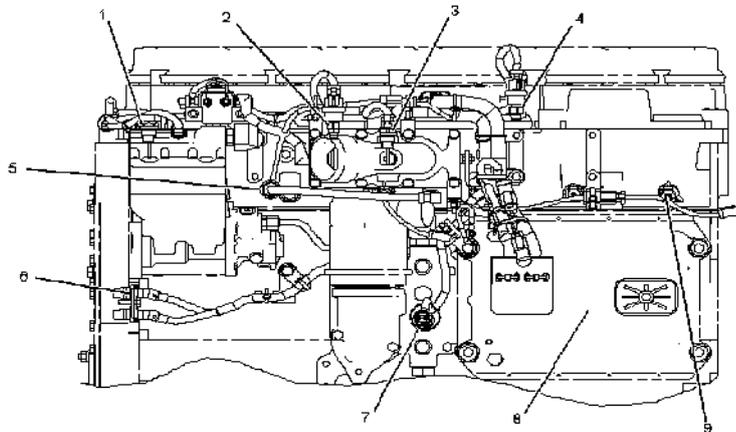
El sistema de control electrónico está diseñado de forma integral en el sistema de combustible, admisión de aire y escape del motor. Su función es controlar electrónicamente el suministro de combustible y la sincronización de la inyección.

Este sistema ofrece un mayor nivel de control en comparación con los motores mecánicos convencionales. La sincronización de la inyección se logra mediante un preciso control del tiempo de encendido del inyector. Además, las revoluciones por minuto del motor son reguladas mediante el ajuste de la duración de la inyección.

Al integrar el control electrónico en los sistemas de combustible y admisión de aire y escape, se optimiza la relación de aire y combustible, lo que resulta en una combustión más eficiente y un rendimiento mejorado del motor. El control electrónico también permite una adaptación más rápida y precisa a diferentes condiciones de conducción, lo que mejora la eficiencia y la respuesta del motor en todo momento. En resumen, el sistema de control electrónico es una parte crucial para maximizar el rendimiento y la eficiencia de los motores modernos. (SISCAT, 2020).

Figura 14

Descripción del sistema electrónico del motor



Fuente: SIS CAT (2020)

Donde:

El sistema de control electrónico del motor utiliza una variedad de sensores para monitorear y medir diferentes parámetros del motor. Los sensores enumerados son los siguientes:

1. Sensor de temperatura del refrigerante: Mide la temperatura del refrigerante del motor para controlar la apertura del termostato y ajustar la mezcla de aire y combustible.
2. Sensor de presión de refuerzo: Detecta la presión de refuerzo en el sistema de admisión de aire y ayuda a controlar la presión del turbocompresor.
3. Sensor de temperatura del aire de admisión: Mide la temperatura del aire que ingresa al motor, lo que permite al sistema ajustar la mezcla de aire y combustible para

una mejor eficiencia.

4. Sensor de presión atmosférica: Mide la presión atmosférica y ayuda al sistema a calcular la cantidad de aire que ingresa al motor.
5. Sensor de presión de accionamiento de la inyección: Mide la presión del sistema de inyección de combustible para controlar el suministro adecuado de combustible.
6. Sensores de velocidad/sincronización: Estos sensores monitorean la velocidad de rotación del cigüeñal y otros componentes para sincronizar la inyección y el encendido de manera óptima.
7. Sensor de presión de aceite del motor: Mide la presión del aceite del motor para protegerlo y garantizar un funcionamiento seguro.
8. Módulo de Control Electrónico (ECM): Es la unidad central que procesa la información de los sensores y controla electrónicamente el funcionamiento del motor, ajustando los parámetros en tiempo real.
9. Sensor de temperatura de aceite del motor: Mide la temperatura del aceite del motor para asegurar que se encuentre dentro de rangos óptimos de funcionamiento.

Estos sensores trabajan en conjunto con el ECM para proporcionar una gestión precisa y eficiente del motor, lo que mejora el rendimiento, la eficiencia y la durabilidad del vehículo. El ECM, o Módulo de Control Electrónico, utiliza ECM para almacenar toda la información específica de una aplicación en particular. Este módulo contiene datos cruciales para el funcionamiento óptimo del motor y el vehículo. A diferencia de otros componentes del ECM, el módulo no puede ser reemplazado físicamente, ya que está diseñado para ser fijo y no se puede cambiar de forma manual. Cuando es necesario actualizar la información o configuración del ECM para adaptarse a cambios en la aplicación o para mejorar el rendimiento, se requiere una actualización del módulo de personalidad. Esto se logra mediante el uso de una computadora conectada al sistema

del vehículo que permite la programación o reprogramación del ECM con la nueva información. De esta manera, el ECM puede estar actualizado y ajustado según las necesidades específicas de la aplicación o para incorporar mejoras tecnológicas. La actualización del módulo de personalidad es un proceso esencial para mantener el rendimiento y la eficiencia óptimos del motor y asegurarse de que el ECM esté configurado de manera adecuada para el vehículo y su uso particular.

	Elaborado	Revisado	Aprobado
Nombre			
Firma			

3.2.3 Elaborar el plan de mantenimiento preventivo

Se ha desarrollado el plan de mantenimiento preventivo para las excavadoras 336-2DL, que se llevará a cabo teniendo en cuenta varios factores importantes. En primer lugar, se tomará en consideración el horómetro actual, que registra el recorrido acumulado de cada excavadora. También se seguirán rigurosamente las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante del equipo. Además, se evaluará cuidadosamente el estado actual de las excavadoras y las condiciones en las que operan regularmente. Esta evaluación permitirá identificar cualquier desgaste, daño o posible deterioro que pueda requerir atención preventiva. Al tomar en cuenta estos factores, se asegura que el mantenimiento se adapte de manera precisa a las necesidades específicas de cada máquina, maximizando su rendimiento y prolongando su vida útil. El plan de mantenimiento preventivo tiene como objetivo principal evitar averías o daños graves en las excavadoras, al realizar revisiones y reparaciones periódicas que prevengan problemas potenciales antes de que ocurran. Esto contribuirá a garantizar que las excavadoras operen de manera segura, eficiente y confiable, lo que a su vez reducirá los costos de mantenimiento y aumentará la productividad en las operaciones mineras.

	Sistema de Gestión de Mantenimiento	
	Plan de mantenimiento preventivo para las excavadoras 336-2DL	REV 12-01- 2023/

Objetivo

divulgar el plan de mantenimiento preventivo diseñado para las excavadoras 336-2DL, asegurando que todo el personal pertinente tenga acceso a la información detallada sobre las acciones preventivas a realizar en cada máquina. De esta manera, se busca promover una adecuada implementación del plan y garantizar el óptimo funcionamiento, seguridad y durabilidad de las excavadoras en la empresa de servicios de flota para minería.

1. Responsabilidades en el mantenimiento preventivo.

El planificador debe encargarse de proyectar los trabajos de mantenimiento siguiendo el plan a largo plazo (anual) mediano plazo (semestral) y corto plazo establecido, además de gestionar las solicitudes de repuestos necesarios para el equipo.

El supervisor tiene la responsabilidad de garantizar el cumplimiento de los programas de mantenimiento, supervisando su ejecución y registrando las actividades realizadas.

El mecánico es responsable de cumplir con el programa de mantenimiento asignado, llevar un registro detallado de las reparaciones realizadas y realizar una entrega formal del equipo al supervisor y al operador.

El operario tiene como responsabilidad llevar a cabo inspecciones y reportarlas utilizando tarjetas verdes y rojas, según el nivel de complejidad de las fallas identificadas.

Tabla 11
Inspección estructural de la excavadora 336 –2 DL

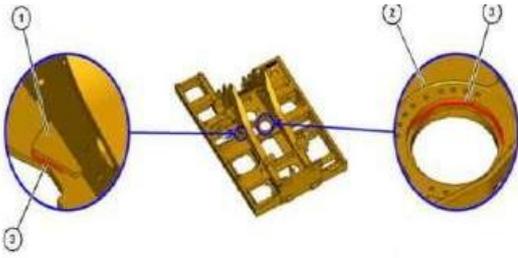
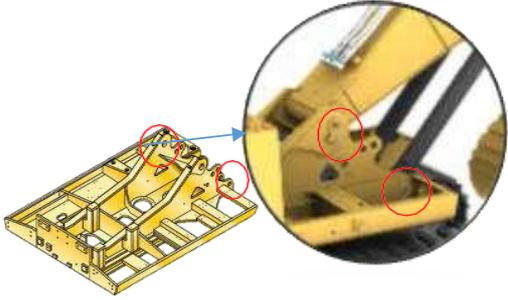
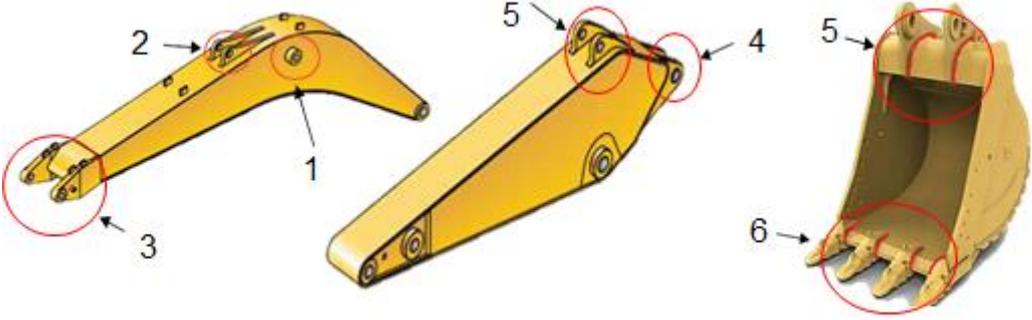
Código	Serial	Técnico	Firma
Fecha	Modelo		
EVALUACIÓN DE FISURAS			
			
Zona a evaluar	Estado	Zona a evaluar	Estado
			
Resumen:			
Firma del supervisor de guardia		Firma del jefe de guardia	

Figura 15

Formato para la calibración del inyector unitario

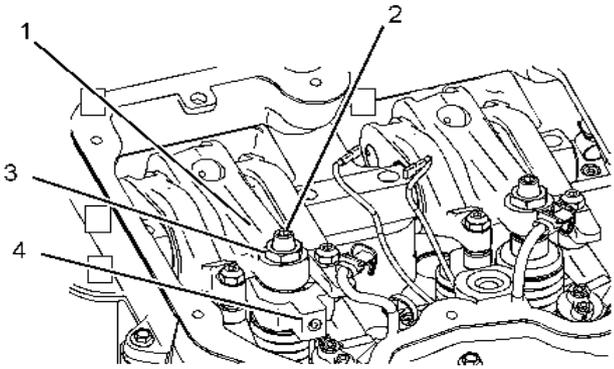
CALIBRACIÓN DE INYECTOR UNITARIO - CAT 336- 2DL		Version 01
Código:	Horómetro:	Técnico:
Serie:	Fecha:	
CALIBRACIÓN		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Instrucciones específicas para ajustar los inyectores unitarios en los cilindros 3, 5 y 6: 2. Colocar el pistón No. 1 en punto muerto superior en la carrera de compresión. 3. Utilizar el calibrador de altura del inyector para medir $78,0 \pm 0,2$ mm desde la parte superior del inyector hasta el borde maquinado del cuerpo del inyector de combustible. 4. Girar el tornillo de ajuste del inyector unitario hacia la derecha hasta alcanzar la altura correcta. 5. Sujetar el tornillo de ajuste en su posición y apretar la tuerca de traba a un par de 100 ± 10 N·m. 6. Para ajustar los inyectores unitarios de los cilindros 1, 2 y 4, quitar el perno de sincronización. 7. Girar el volante 360 grados en el sentido de rotación del motor (hacia la izquierda) para posicionar el pistón No. 1 en la posición central superior de la carrera de escape. 8. Repetir los pasos desde 3 hasta 4. 9. Quitar el perno de sincronización del volante después de ajustar todos los inyectores unitarios. 10. Reinstalar la cubierta del mecanismo de válvula. 		
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>(1) Balancín de válvulas</p> <p>(2) Tornillo de ajuste</p> <p>(3) Contratuerca</p> <p>(4) Calibrador de altura del inyector 9U-7227</p> </div> </div>		
REGISTRO DE CALIBRACIÓN.		
OBSERVACIONES.		
<hr style="width: 100%;"/> Supervisor de guardia	<hr style="width: 100%;"/> Jefe de guardia	<hr style="width: 100%;"/> VB* Confiabilidad y Monitoreo de condiciones
Dpto. Confiabilidad y Planeamiento SHAHUINDO SAC		

Figura 16
Evaluación de juego de Beraning Cremallera - CAT 336 –2 DL

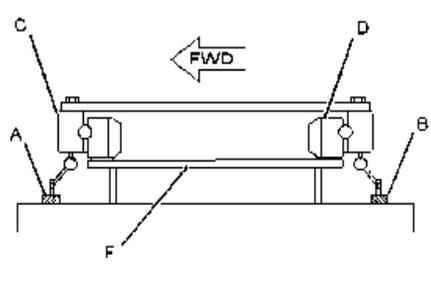
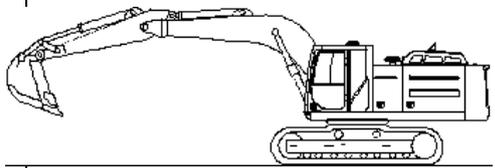
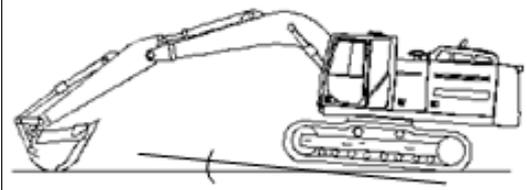
EQUIPO	SERIE	TECNICO	
FECHA	MODELO		
1.- Procedimiento para medir el movimiento vertical del cojinete de la rotación			
<ol style="list-style-type: none"> Nivelar la máquina en un terreno horizontal. Realizar un vaciado del cucharón y posicionar la superestructura en paralelo a las cadenas. Realizar una inspección del par estático de los pernos del cojinete de la rotación con las siguientes indicaciones: Ajustar el torquímetro a 1.600 N·m (1.180 lb·pie). Marcar la cabeza del perno para identificar su relación con el bastidor principal o la pista de cojinete. Aplicar el par especificado al perno. Verificar que la cabeza del perno no se mueva para confirmar que el par está dentro de las especificaciones. En caso contrario, reemplazar el perno. Utilizar relojes comparadores (A y B) entre el bastidor principal y la pista exterior del cojinete de la rotación, como se muestra en IMAGEN 01. Colocar los relojes comparadores en el centro delantero y trasero del bastidor. Posicionar la máquina según se indica en IMAGEN 2. Ajustar los relojes comparadores (A y B) a "cero". Colocar la máquina en la posición mostrada en IMAGEN 3, manteniendo un ángulo de 15°. Calcular la distancia total de movimiento entre los relojes comparadores (A y B) y registrarla en la Tabla 1. Esta medición forma una de las tres mediciones del movimiento del cojinete de rotación vertical para el paso 13. Retornar la máquina a la posición de IMAGEN 2. Tomar nota de las distancias de movimiento de los relojes comparadores "A" y "B". Calcular la diferencia entre cada reloj comparador y la medición en el punto cero obtenida en el paso 7. Retirar los relojes comparadores. Girar la superestructura tres veces hacia la derecha y luego tres veces hacia la izquierda. Repita los pasos 5 a 12 tres veces. Calcule el promedio de los valores que se registraron. <p>Nueva: 1.5 mm, límite de servicio: 3: mm</p>	  		
Tabla 01.- Especificaciones para el movimiento vertical del cojinete de rotación			
Artículo	Especificación	Real	Promedio
Nueva	1,5 mm (0,06 plg)	1.-	
Límite de Servicio	3,00 mm (0,06 plg)	2.-	

Figura 17
Evaluación de inspección de GETS - CAT 336 -2 DL

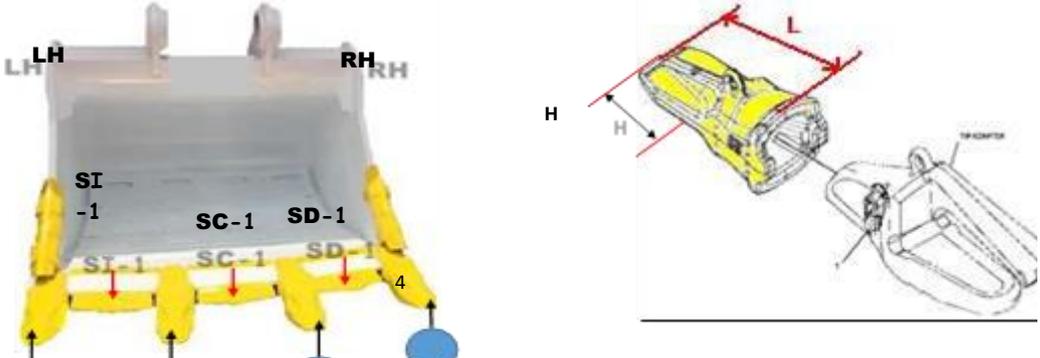
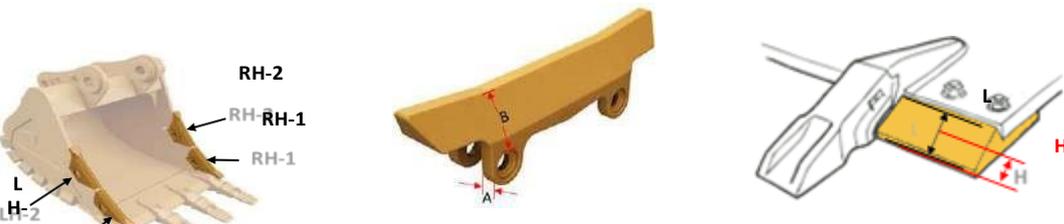
INSPECCIÓN ELEMENTOS DE CORTE				
CÓDIGO	FECHA			
TÉCNICO INSPECTOR				
 <p>L : Medida a Tomar H : Máximo desgaste al 100%</p>				
Posición	Medida Nominal		% Desgaste	Observaciones
GET N° 1				
GET N° 2				
GET N° 3				
GET N° 4				
 <p>L-B : Medida a Tomar H : Máximo Desgaste al 100%</p>				
Descripción	Medidas		Desgaste %	Comentarios
Protectores Laterales	Nominal	Tomada		
(LH-1)				
(LH-2)				
(RH-1)				
(RH-2)				
Posición de Segmentos				
(SI-1)				
(SC-1)				
(SD-1)				

Figura 18

Formato para evolución de tiempos de activación en hidráulicos CAT 336 - 2 DL

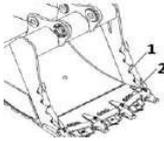
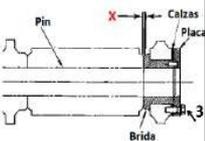
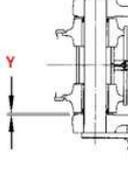
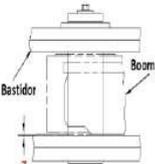
Código	Serie	Horómetro	Técnico Mecánico	Firma	
Lubricar equipo siempre en cada intervención	GETs	Juego axial cucharon	Juego en Stick	Juego axial boom	
					
1.- CALIBRACIÓN DE CUCHARON			Cilindro Boom		
Componente	Parte	Tolerancias	Tomado	Final	
Bucket	< 1,0 a 5 mm				
	3K-9770	Torque a 2300 ± 300 N·m			
	Tolerancia (X) a 0,50 ± 1,00 mm				
	7X-2563	460 ± 60 N·m			
Stick		Tolerancia (Y) < 0,8 mm			
		Torque 800 ± 100 N·m			
Boom		Tolerancia (Z) < 1,0 mm			
2.- TIEMPO DE ACTIVACIÓN VELOCIDAD DE CILINDROS HIDRÁULICOS			Cilindro Stick		
Cilindro	Posición	Velocidad en segundos			
		Nuevo	Remanufacturado	Límite de servicio	Tomado
Boom	Saliendo	4,8 ± 0,5	6,0	7,2	
	Guardando	3,0 ± 0,5	3,8	4,5	
Stick	Saliendo	4,4 ± 0,5	5,5	6,6	
	Guardando	3,4 ± 0,5	4,8	5,1	
Bucket	Saliendo	3,4 ± 0,5	4,8	5,1	
	Guardando	2,4 ± 0,5	3,0	3,6	
3.- PRUEBA DE CAÍDA DE CILINDROS (Usando cronómetro)			Cilindro Bucket		
Cilindro Boom (Imagen 1)		Cilindro Stick (Imagen 2)		Cilindro Bucket (Imagen 3)	
<p>a. Proceda a realizar una extensión completa del cilindro de la cuchara (bucket).</p> <p>b. Lleve a cabo la retracción completa del cilindro del brazo</p> <p>c. Realice la extensión del vástago del cilindro del brazo (stick) hasta una distancia de 70 mm (2,8 pulgadas) desde su posición totalmente retraída.</p> <p>d. Eleve el brazo (boom) hasta que el pasador del brazo esté a la misma altura que el pasador de la cuchara.</p> <p>e. Tome una medición de la longitud del cilindro, desde el pasado de un extremo hasta el pasador del otro extremo.</p> <p>f. Detenga el motor de la máquina.</p> <p>g. Deje la máquina en esta posición durante 5 minutos o 3 minutos y, posteriormente, realice otra medición</p>		<p>a. Inicie el motor del equipo.</p> <p>b. Realice una extensión completa del cilindro de la cuchara (bucket).</p> <p>c. Proceda a realizar una extensión completa del cilindro del brazo (stick).</p> <p>d. Retraiga el vástago del cilindro del brazo (stick) en 6 cm (2,4 pulgadas) desde su posición totalmente extendida.</p> <p>e. Extienda el cilindro del brazo (boom) hasta que el bucket se encuentre a una altura de 0.6 m (23.6 pulgadas) del nivel del suelo.</p> <p>f. Tome una medición de la longitud del cilindro, desde el pasador de un extremo hasta el pasador del otro extremo, y proceda a apagar el motor.</p> <p>g. Deje la máquina en esta posición durante 5 o 3 minutos y realice otra medición</p>		<p>a. Inicie el motor del equipo.</p> <p>b. Realice una retracción completa del cilindro de la cuchara (bucket).</p> <p>c. Proceda a realizar una retracción completa del cilindro del brazo (stick).</p> <p>d. Extienda el cilindro del brazo (boom) hasta que el pasador de la cuchara (bucket) se encuentre a una altura de 0.6 m (23.6 pulgadas) desde el nivel del suelo.</p> <p>e. Tome una medición de la longitud del cilindro de la cuchara (bucket) desde el pasador de un extremo hasta el pasador del otro extremo, y apague el motor.</p> <p>f. Deje la máquina en esta posición durante 5 o 3 minutos</p>	
Prueba de caída de cilindros con el bucket lleno (3 minutos en esa posición)					
Ítem	Nuevo	Reparado	Límite de servicio	Valores encontrados	
Boom	< 6,0 mm (0,24 plg)	< 12,0 mm (0,47 plg)	< 24,0 mm (0,94 plg)		
Stick	< 12,0 mm (0,47 plg)	< 18,0 mm (0,71 plg)	< 30,0 mm (1,18 plg)		
Cucharon	< 30 mm (1,18 plg)	< 45 mm (1,77 plg)	< 75 mm (2,95 plg)		
Fuga Interna (5 minutos en esa posición)					
Ítem	Nuevo	Reparado	Límite de servicio	Valores encontrados	
Boom	< 6,0 mm (0,24 plg)	< 12,0 mm (0,47 plg)	< 24,0 mm (0,94 plg)		
Stick	< 10,0 mm (0,39 plg)	< 15,0 mm (0,59 plg)	< 25,0 mm (0,98 plg)		
Cucharon	< 10,0 mm (0,39 plg)	< 15,0 mm (0,59 plg)	< 25,0 mm (0,98 plg)		
COMENTARIOS					

Tabla 12

Formato para inspección grupo “H” de varillaje de bucket - CAT 336 - 2 DL

INSPECCIÓN GRUPO VARILLAJE DE BUCKET						Versión: 01
Equipo	Serie	Horómetro	Técnico Mecánico	Firma		
Fecha	Modelo					
GRUPO ENTERO						
Eferenc	N° de Parte	Descripción		Condición	Observaciones	
PIEZAS INDIVIDUALES						
Eferenc	N° de parte	Cant.	Descripción	Condición	Observaciones	
1	3B-8489	4	FITTING-GREASE (1/8-27 PTF)			
2	5B-0651	1	GRASERA			
3	367-8470	2	SELLO			
4	490-1047	1	ARANDELA			
5	201-2771	2	ANILLO METÁLICO (26X90X8-MM)			
6	490-1046	1	PLATE			
7	235-7626	1	LINK AS			
8	235-7627	1	LINK			
9	235-7628	1	BUJE			
10	235-7636	1	BUJE			
11	235-7639	1	BUJE			
12	235-7642	1	BUJE			
13	251-2652	1	BOCINA			
13 ^a	7Y-2397	2	BOCINA			
13 ^B	087-5548	2	BOCINA			
14	9X-4597	6	SEAL-LIP TYPE			
15	367-8468	2	SEAL-O-RING			
16	447-1707	6	BOLT (M16X2X60-MM)			
17	451-2177	2	WASHER-HARD (26X44X4-MM THK)			
18	453-2854	2	BOLT (M24X3X50-MM)			
19	453-5032	6	WASHER-HARD (17.5X32X8-MM THK)			
20	9X-4598	2	SEAL-LIP TYPE			
21	228-5619	2	BUSHING			
IMAGEN DE REFERENCIA						

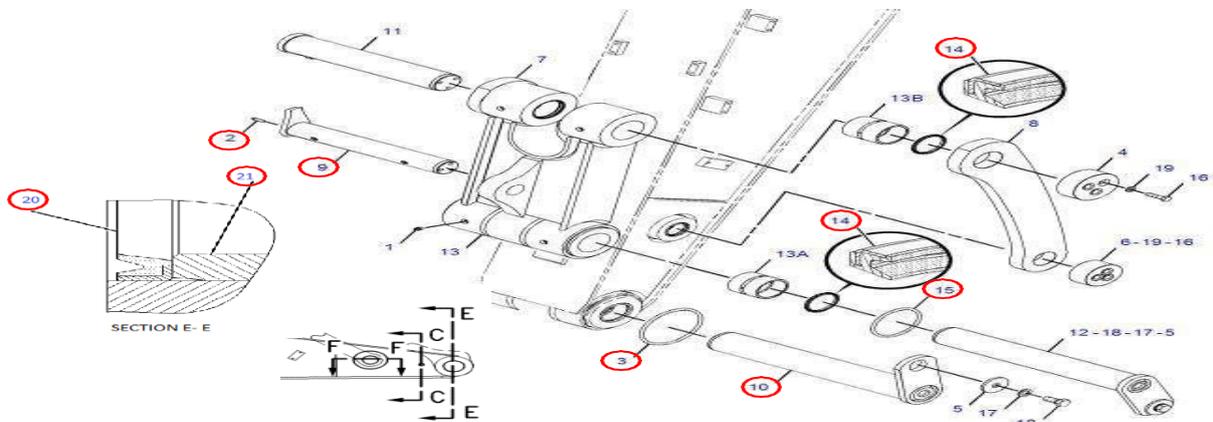


Tabla 13

Formato de registro de mantenimiento preventivo

REGISTRO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO				
Familia				N° OT
Código				
Horas de operación			Hrs.	
Data				
Materiales de Reemplazo				
Cant.	Unidades	Detalle	N° de Parte	Condición
Horómetro			Hrs.	
Tiempo de la actividad			H-H	Técnico
				Frente de trabajo

3.2.4 Diseñar el etiquetado para reporte de fallas.

Se ha desarrollado un sistema para el etiquetado/rotulado según reporte de fallas en las excavadoras 336-2DL, con el propósito de facilitar la identificación, notificación y realización del mantenimiento necesario ante diferentes tipos de fallas. Se ha establecido una distinción mediante tarjetas verdes para aquellos mantenimientos de fácil acceso y ejecución por parte del operador. Por otro lado, las tarjetas rojas indican mantenimientos más complejos que deben ser llevados a cabo por el mecánico debido a su naturaleza más especializada y detallada. Este etiquetado permitirá una gestión eficiente de las tareas de mantenimiento y contribuirá a mantener el óptimo funcionamiento y rendimiento de las excavadoras en la empresa de servicios de flota para minería.

	Sistema de Gestión de Mantenimiento	
	Etiquetado para reporte de fallas en las excavadoras 336-2DL	REV 12-01- 2023/

Objetivo

El objetivo de esta iniciativa es llevar a cabo una difusión completa y precisa del sistema de etiquetado diseñado específicamente para reportar las fallas en las excavadoras 336-2DL. A través de esta difusión, se busca garantizar que todo el personal involucrado en la operación y mantenimiento de las excavadoras esté plenamente informado sobre el funcionamiento del sistema de etiquetado y su significado. De esta manera, se logrará una identificación clara y ágil de las fallas que puedan surgir en las máquinas.

Alcance

El alcance de la implementación de este protocolo abarcará tanto las fallas simples como las complejas que puedan presentarse en las excavadoras 336-2DL utilizadas en la empresa de servicios de flota para minería. El protocolo se diseñará para brindar un enfoque eficiente y claro en el proceso de notificación y manejo de las fallas,

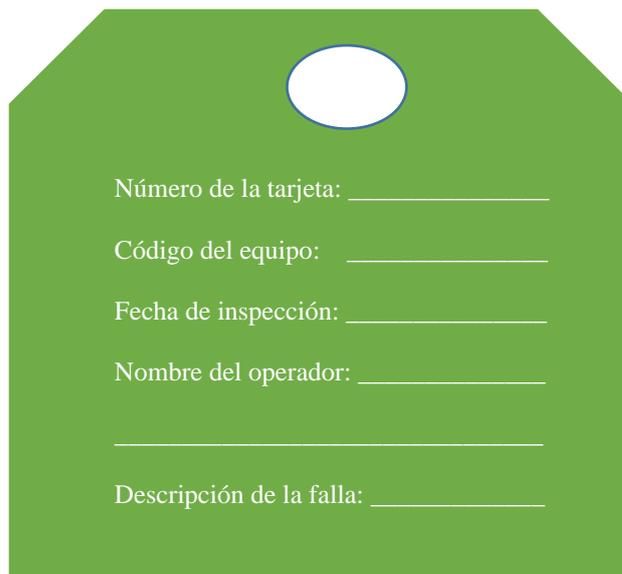
garantizando una gestión efectiva de los problemas y un mantenimiento oportuno del equipo. El protocolo se aplicará en todas las etapas del ciclo de vida de las excavadoras, desde su operación diaria hasta el mantenimiento preventivo y correctivo. Se establecerán procedimientos detallados para la identificación y clasificación de las fallas, de modo que se puedan distinguir aquellas que pueden ser resueltas por el operador y aquellas que requieren intervención especializada del mecánico. Además, el alcance del protocolo incluirá la capacitación de todo el personal involucrado en la operación y mantenimiento de las excavadoras. Se brindará formación sobre el sistema de etiquetado y los procedimientos para reportar las fallas de manera clara y precisa

1. Etiquetado para reparación de falla

El método de etiquetado servirá para identificar quien será el encargado de realizar la reparación de la falla, se utilizarán tarjetas verdes y rojas, que tienen por finalidad identificar el tipo de falla que puede resolver el operario y fallas complejas que deben ser resueltas por el mecánico especialista.

Figura 19

Tarjeta verde de resolución de fallas simples para el operador



Número de la tarjeta: _____

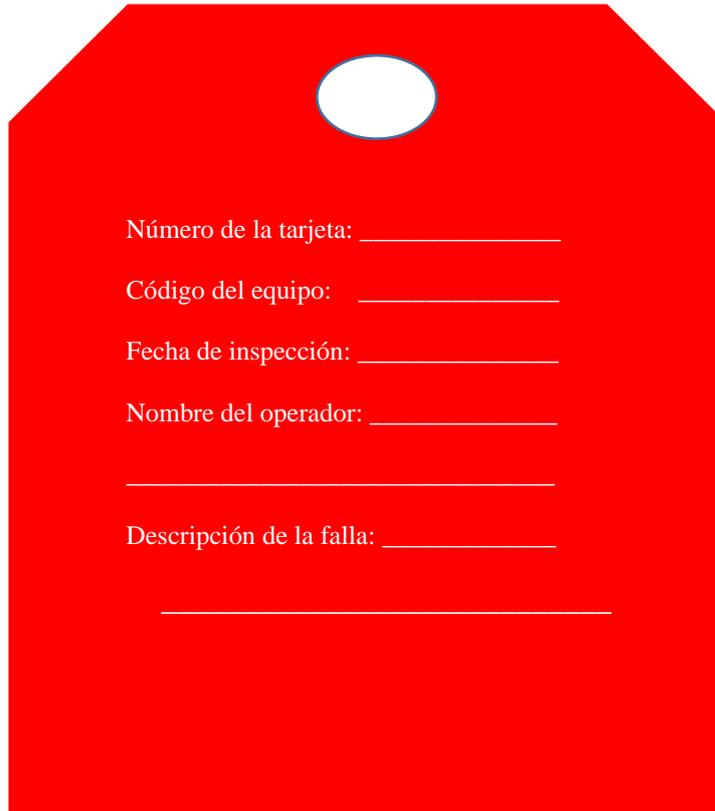
Código del equipo: _____

Fecha de inspección: _____

Nombre del operador: _____

Descripción de la falla: _____

Figura 20 *Tarjeta roja de resolución de fallas complejas para el técnico mecánico*



Número de la tarjeta: _____

Código del equipo: _____

Fecha de inspección: _____

Nombre del operador: _____

Descripción de la falla: _____

	Elaborado	Revisado	Aprobado
Nombre			
Firma			

3.2.5 Plan de educación y capacitación

El objetivo primordial del plan es establecer de manera precisa y fundamentada los conceptos y períodos de educación y capacitación para el personal encargado del mantenimiento, basados en el diseño del sistema de gestión de mantenimiento. El plan tiene como finalidad asegurar que todos los miembros del equipo involucrados en el mantenimiento cuenten con la formación y el conocimiento requerido para implementar de manera eficiente el sistema de gestión.

Para lograr este propósito, se definirán programas de educación y capacitación exhaustivos y adaptados a las necesidades específicas del equipo y las tareas de mantenimiento. Estos programas se centrarán en mejorar las habilidades técnicas y el conocimiento teórico de los miembros del equipo, abordando de manera integral todos los aspectos relevantes para el funcionamiento del sistema de gestión de mantenimiento.

Además, se garantizará que el personal reciba una formación continua y actualizada en las últimas tendencias y avances en el campo del mantenimiento de maquinaria pesada. Esto permitirá que el equipo esté al tanto de las mejores prácticas y las últimas tecnologías disponibles, lo que se traducirá en un mantenimiento más efectivo y en el óptimo rendimiento de las operaciones en la empresa de servicios de flota para minería. El plan incluirá una amplia variedad de métodos de capacitación, que van desde sesiones teóricas y prácticas hasta entrenamientos en el lugar de trabajo y simulaciones. Se promoverá el aprendizaje práctico y la resolución de problemas reales para asegurar que el personal pueda aplicar de manera efectiva los conocimientos adquiridos en situaciones reales de mantenimiento. Asimismo, se establecerán indicadores de seguimiento y evaluación para medir el impacto de la capacitación en el rendimiento del equipo de mantenimiento. Estos indicadores permitirán evaluar la eficacia de los programas de educación y realizar ajustes en función de los resultados obtenidos.

	Sistema de Gestión de Mantenimiento	
	Plan de Educación y capacitación	REV 12-01- 2023/

Descripción

- Programas de formación.

Las capacitaciones se centran en los objetivos del diseño del sistema de gestión de mantenimiento, y se incluirá una capacitación inicial para familiarizar al personal con la metodología. A continuación, se presenta una tabla con los temas propuestos para las capacitaciones.

Tabla 14
Temas planteados para las capacitaciones

Tema	Duración (Minutos)	Frecuencia	Expuesto por	Dirigido a:
Introducción al SGM	30	Sólo una vez	Jefe de mantenimiento	Todos
Objetivos de Diseño e Implementación a Corto y Mediano Plazo	30	Cada 3 meses	Sup. mantto	
KPIs Claves para la gestión de mantenimiento	30			
MTTR	30			
MTBF	30			
Disponibilidad mecánica	20			
Cultura en el área de mantenimiento	30			
5 "S"	60	Mensual	Sup. operaciones	
Charla de inicio de guardia – temas de seguridad	10	diario	Prevencionista - SSO	

Con esta tabla, se asegura que todos los temas relevantes del SGM serán abordados periódicamente, y el personal recibirá la capacitación adecuada para cumplir con las responsabilidades y mejorar la eficiencia en el mantenimiento de las excavadoras 336-2DL en la empresa de servicios de flota para minería.

- Plan de evaluación de aprendizaje

A continuación, se presenta el cuadro de evaluación de aprendizaje para el seguimiento en campo al personal capacitado:

Tabla 15
Programas de evaluación de aprendizaje

Tarea	Habilidad Requerida	Código del operador	Nivel de habilidad
Aplicación de LOTO			
Competencias en operación de la excavadora			
Llenado y aplicación de reporte de fallas.			
Aplicación de lista de verificación - inspección.			
Mantenimiento preventivo /Orden y limpieza			
Lubricación			
Monitoreo de condiciones			
Pruebas y ajustes			
Limpieza y organización.			
Seguridad personal -			
Uso de EPP			
Total			

Formato para evaluación de componentes – nivel del aprendizaje.

Se plantea la siguiente tabla, de 4 niveles para medir el nivel de habilidad adquirida por los operadores.

Tabla 16

Descripción de la habilidad adquirida

Nivel de Habilidad	Descripción/Atributos/Comentarios
1	- Operador con competencias fundamentales.
	- Operador en formación, requiere supervisión constante durante la operación.
	- Inseguro(a) de sí mismo(a) en el manejo del equipo.
	- Requiere asistencia frecuente para realizar las tareas.
2	- Dificultad para reconocer problemas o fallos en el equipo.
	- Puede operar equipos con conocimiento básico.
	- Aún necesita asistencia ocasional en ciertas tareas.
3	- Conocimiento limitado sobre el equipo y sus componentes.
	- Reconoce problemas de forma esporádica pero no siempre puede solucionarlos.
	- Operador competente, capaz de operar los equipos con confianza y requiere asistencia mínima.
	- Tiene buen conocimiento del equipo y sus funciones.
4	- Operador con habilidades de detección de problemas y reconocimiento de fallas en el equipo, pero con limitaciones en la capacidad de corrección y resolución de problemas.
	- Sabe realizar las tareas principales de forma competente.
	- Operador altamente competente con un profundo conocimiento del equipo y habilidades para operarlo con gran confianza y destreza.
	- No necesita supervisión para realizar las tareas.
4	- Posee una comprensión sólida de la interacción entre el rendimiento del equipo y su impacto en la calidad y productividad del trabajo.
	- Es capaz de reconocer y resolver problemas de manera efectiva.

En esta tabla se describen los niveles de habilidad del operador, desde el nivel 1 hasta el nivel 4. Cada nivel tiene una descripción detallada de los atributos y características que se esperan en el operador en cada nivel. Estos niveles de habilidad ayudarán a evaluar y medir el progreso del operador en su capacitación y desempeño en las tareas relacionadas con el equipo.

	Elaborado	Revisado	Aprobado
Nombre			
Firma			

3.3 Evaluar las mejoras en la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL después del diseño del sistema de gestión de mantenimiento.

Para evaluar el impacto del diseño del sistema de gestión de mantenimiento en la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL, se realizará una comparación antes y después de su implementación. Se medirá la disponibilidad mecánica del equipo para determinar la eficacia del sistema en la reducción del tiempo de inactividad no planificado y en la mejora de la eficiencia operativa. Los indicadores clave de rendimiento (KPI) serán utilizados para evaluar la efectividad del diseño en términos de disponibilidad y confiabilidad general de las excavadoras. Se analizarán las mejoras proyectadas y se contrastarán con los resultados reales obtenidos tras la implementación del sistema de gestión de mantenimiento. El seguimiento constante de las métricas y el análisis de datos desempeñarán un papel fundamental para validar el éxito alcanzado y las mejoras obtenidas con la aplicación del sistema de gestión de mantenimiento. De esta manera, se asegurará que el diseño se esté implementando de manera efectiva y se esté logrando una mayor disponibilidad mecánica del equipo. La evaluación integral de la disponibilidad mecánica permitirá determinar el impacto positivo del sistema de gestión de mantenimiento en la empresa de servicios de flota para minería. Además, proporcionará información valiosa para futuras mejoras y ajustes en el diseño, con el objetivo de maximizar el rendimiento y prolongar la vida útil de las excavadoras.

Tabla 17
Proyección del Sistema de Gestión – Disponibilidad Mecánica

Proyección del diseño del SGM en la disponibilidad mecánica		
Empresa de servicios de flota para minería	Sistema de gestión de mantenimiento mejora	Disponibilidad mecánica incrementará

La tabla muestra la proyección de mejora después del diseño de un sistema de gestión de mantenimiento en la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL.

3.2.6 Análisis de la mejora de los indicadores de la gestión de mantenimiento en las excavadoras 336-2DL después del diseño del sistema de gestión de mantenimiento

Durante el periodo de octubre a diciembre de 2022, se proyectaron nuevos indicadores clave de rendimiento para evaluar el desempeño de las excavadoras 336-2DL. Estos indicadores incluyen el porcentaje de utilización y el porcentaje de mantenimientos no programados por flota. El porcentaje de utilización medirá la eficiencia operativa de las excavadoras durante ese periodo, indicando el tiempo efectivo de trabajo en comparación con el tiempo total disponible. Se buscará maximizar este indicador, lo que reflejará una mayor productividad y disponibilidad mecánica del equipo. Por otro lado, el porcentaje de mantenimientos no programados por flota evaluará la efectividad del sistema de gestión de mantenimiento en la reducción de tiempo de inactividad no planificado. Se pretende que este indicador sea lo más bajo posible, lo que indicará que el equipo está siendo sometido a mantenimientos programados de manera efectiva, minimizando así las interrupciones no planificadas en las operaciones:

Porcentaje de utilización de la flota de excavadoras 336- 2DL después del diseño del sistema de gestión de mantenimiento.

En la tabla 18, se detallaron las horas programadas y horas trabajadas para el periodo de octubre a diciembre del 2022, teniendo como base 150 horas programadas al mes. Durante ese periodo, la flota de excavadoras 336-2DL logró un porcentaje de utilización del 94%, superando el parámetro que exigía la empresa, el cual estaba establecido en 90%. El porcentaje de utilización del 94% reflejó una alta eficiencia operativa de las excavadoras durante el periodo analizado. Esto significó que las máquinas estuvieron en funcionamiento durante la mayor parte del tiempo programado, lo que indicaba un óptimo nivel de productividad y disponibilidad mecánica. El hecho de haber superado el parámetro del 90%

establecido por la empresa fue un indicador positivo del rendimiento de la flota. Esto implicó que las excavadoras estuvieron bien mantenidas y disponibles para trabajar en la mayoría de las horas programadas, evitando inactividades innecesarias y reduciendo el tiempo de inactividad no planificado. El seguimiento y análisis de estos indicadores fueron esenciales para evaluar el desempeño de la flota de excavadoras y tomar decisiones estratégicas en cuanto a la planificación y gestión del mantenimiento. El logro del porcentaje de utilización del 94% fue un resultado satisfactorio que demostró la eficacia del diseño del sistema de gestión de mantenimiento implementado durante el periodo de octubre a diciembre de 2022.

Tabla 18

Utilización de la flota de excavadoras 336- 2DL después del diseño SGM

	Exc 1	Exc 2	Exc 3	Exc 4	Exc 5	Exc 6
Horas proyectadas en el año (HP)	450	450	450	450	450	450
Horas de trabajo en el año (HT)	400	419	415	433	437	425
Porcentaje de Utilización de la maquinaria	89%	93%	92%	96%	97%	94%
Porcentaje de Utilización / Flota	94%					

La tabla muestra el porcentaje de utilización de la flota para el periodo de octubre a diciembre del 2022, después del diseño del SGM

Porcentaje de mantenimientos no programados para la flota de excavadoras 336- 2DL después del diseño

En la tabla 19, se proyectó una mejora en la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL, basada en la implementación del diseño del sistema de gestión de mantenimiento. La proyección abarcó el periodo de octubre a diciembre de 2022 y se obtuvieron nuevos indicadores para el porcentaje de utilización y el porcentaje de mantenimientos no programados por flota, como se detalla a continuación:

Durante el periodo de octubre a diciembre de 2022, el porcentaje de mantenimientos no programados de la flota de excavadoras 336-2DL fue del 15%. Este indicador se mantuvo dentro del parámetro que exigía la empresa, el cual tenía un valor máximo establecido en 30%.

El porcentaje de mantenimientos no programados del 15% fue un indicador positivo que demostró la eficiencia del sistema de gestión de mantenimiento implementado. Esto significó que la flota de excavadoras experimentó un bajo número de mantenimientos no planificados durante el periodo analizado.

Tabla 19
Mantenimientos no programados después del diseño SGM

	Exc 1	Exc 2	Exc 3	Exc 4	Exc 5	Exc 6
N° total de mantenimientos no programados	2	2	2	2	1	2
N° total de mantenimientos reportados	12	12	12	12	12	12
Porcentaje de Mttos no programados	17%	17%	17%	17%	8%	17%
Porcentaje de Mttos no programados / Flota	15%					

La tabla muestra el porcentaje de mantenimientos no programados para el periodo de octubre a diciembre 2022, después del diseño del SGM.

3.2.7 Análisis de la mejora de los indicadores de la disponibilidad mecánica en las excavadoras 336-2DL después del diseño del sistema de gestión de mantenimiento

- **MTBF en las excavadoras 336-2DL después del diseño del sistema de gestión de mantenimiento.**

En la tabla 20, se ha calculado el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) con base en las horas de trabajo durante el período de octubre a diciembre del 2022 y el número de mantenimientos no programados que ocurrieron en ese mismo período. Esto nos proporciona una medida del tiempo promedio entre las fallas en las excavadoras 336-2DL después de implementar el diseño del sistema de gestión de mantenimiento. El tiempo promedio entre fallas después de la implementación exitosa del diseño del sistema de gestión de mantenimiento para la flota de excavadoras 336-2DL es de 247.17 horas. Este valor se encuentra dentro del parámetro establecido por la empresa, que exige que el MTBF sea mayor a 60 horas. Un MTBF de 247.17 horas indica una mejora significativa en la confiabilidad y disponibilidad de las

excavadoras. Esto significa que, en promedio, las excavadoras pueden operar durante aproximadamente 247.17 horas antes de experimentar una falla que requiera un mantenimiento no programado. Esta mejora en el MTBF es el resultado directo de la implementación del diseño del sistema de gestión de mantenimiento, que ha permitido una planificación más efectiva de las tareas de mantenimiento preventivo y predictivo.

Tabla 20
MTBF de las excavadoras 336- 2DL después del diseño del SGM

	Exc 1	Exc 2	Exc 3	Exc 4	Exc 5	Exc 6
Horas de trabajo en el año (HT)	400	419	415	433	437	425
Número total de paradas por Mtto (NP)	2	2	2	2	1	2
MTBF	200.0	209.5	207.5	216.5	437.0	212.5
	0	0	0	0	0	0
MTBF/Flota	247.17					

La tabla muestra el cálculo del MTBF después del diseño del sistema de gestión de mantenimiento para la flota de excavadoras en el periodo de octubre a diciembre del 2022.

- MTTR en las excavadoras 336-2DL después del diseño del sistema de gestión de mantenimiento.

El MTTR (Tiempo Medio para Reparar) ha sido calculado con base en las horas de trabajo durante el período de octubre a diciembre del 2022 y el número de mantenimientos no programados que ocurrieron en ese mismo lapso. Este indicador proporciona una medida del tiempo promedio que tomó realizar las reparaciones en las excavadoras 336-2DL después de implementar el diseño del sistema de gestión de mantenimiento. Después de la implementación exitosa del diseño del sistema de gestión de mantenimiento, se logró una notable reducción en el tiempo promedio de reparación de fallas en la flota de excavadoras 336-2DL. El MTTR ha sido calculado en 4.13 horas, lo cual se encuentra dentro del parámetro establecido por la empresa, que es un máximo de 6 horas. Esta mejora significativa en el tiempo de reparación refleja la eficacia del nuevo sistema y su impacto positivo en la disponibilidad mecánica de las excavadoras. Con un MTTR más corto, las reparaciones y mantenimientos no programados se

completan de manera más rápida y eficiente, lo que reduce el tiempo de inactividad no planificado de las máquinas y contribuye a una mayor productividad operativa.

Tabla 21

MTTR de las excavadoras 336-2DL posterior al diseño del SGM

	Exc 1	Exc 2	Exc 3	Exc 4	Exc 5	Exc 6
Horas totales de horas utilizadas en las paradas no programadas	8	8.5	6	7	6	8
Número total de paradas (NP)	2	2	2	2	1	2
MTTR	4.00	4.25	3.00	3.50	6.00	4.00
MTTR/Flota	4.13					

La tabla muestra el cálculo del MTTR después del diseño del sistema de gestión de mantenimiento para la flota de excavadoras en el periodo de octubre a diciembre del 2022.

- Disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL después del diseño del sistema de gestión de mantenimiento.

La tabla 22 muestra la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL, calculada mediante los indicadores de horas programadas y las horas de parada por mantenimiento no programado durante octubre a diciembre de 2022. Los indicadores MTBF y MTTR también se consideraron en este análisis. Los resultados revelan que la disponibilidad mecánica después de implementar el Sistema de Gestión de Mantenimiento (SGM) fue del 98%, superando ampliamente el estándar del 90% establecido por la empresa y el contratista. Esta alta disponibilidad refleja el éxito del sistema, gracias a una planificación más efectiva del mantenimiento y una rápida resolución de fallas. El equipo de mantenimiento ha demostrado habilidades excepcionales y la confiabilidad de las excavadoras ha mejorado significativamente, aumentando la productividad y eficiencia en la empresa de servicios de flota para minería. El monitoreo continuo garantizará mantener este alto rendimiento y permitirá seguir refinando el sistema para una operación confiable y fluida a largo plazo.

Tabla 22

Disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL

	Exc 1	Exc 2	Exc 3	Exc 4	Exc 5	Exc 6
MTBF	200.00	209.50	207.50	216.50	437.00	212.50
MTTR	4.00	4.25	3.00	3.50	6.00	4.00
DM	98%	98%	99%	98%	99%	98%
Disponibilidad Mecánica/ flota	98%					

La tabla muestra la disponibilidad mecánica después del diseño del sistema de gestión de mantenimiento para la flota de excavadoras en el periodo de octubre a diciembre del 2022.

3.2.8 Operacionalización de las variables después del diseño del sistema de gestión de mantenimiento en las excavadoras 336-2DL

La tabla 23 presenta el resumen de la operacionalización de variables antes y después de la propuesta de diseño del sistema de gestión de mantenimiento de las excavadoras 336-2DL en la empresa de servicios de flota para minería. Los datos reflejan el impacto positivo de la implementación del sistema en indicadores clave como la disponibilidad mecánica, el porcentaje de utilización y el tiempo promedio entre fallas y reparaciones. Los resultados muestran mejoras significativas en todos los aspectos, lo que demuestra la eficacia del nuevo sistema y su contribución a una operación más eficiente y confiable de las excavadoras. Estos resultados respaldan la decisión de seguir adelante con la implementación del sistema de gestión de mantenimiento y continuar buscando formas de optimizar aún más el rendimiento y la productividad del equipo.

Tabla 23
Operacionalización de variables.

Variables	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Resultado Actual	Resultado después del diseño SGM	Indicador Estándar	Variación
Variable Independiente: Sistema de gestión de mantenimiento	Un programa de administración del mantenimiento abarca un enfoque completo que implica ciertas actividades para asegurar la continuidad de un proceso específico, de manera que se prevengan contratiempos o problemas en maquinaria y/o dispositivos.. (Chávez, 2020)	Porcentaje de utilización de la maquinaria	(Hrs trabajadas/ Capacidad de Hrs por periodo trabajado) x 100	84%	94%	> 90%	10%
		Porcentaje de mantenimientos no programados	(N° Mtos no programados/ N° total de Mtos) x 100	64%	15%	Valor máximo < 30%	-49%
Variable Dependiente: Disponibilidad mecánica	La disponibilidad mecánica representa el porcentaje de tiempo que el equipo estuvo apto y operativo para desempeñar su función. (Gutiérrez, 2019)	Tiempo promedio de distribución entre fallas (MTBF)	N°Horas de operación/ N° paradas correctivas	74.66 horas	247.17 horas	Valor mínimo > 60 horas	172.51 horas
		Tiempo promedio de reparación de fallas (MTTR)	Tiempo total de reparaciones correctivas / N° de reparaciones correctivas	14.75 horas	4.13 horas	Valor máximo < 6 horas	-10.62 horas
		Disponibilidad mecánica	MTBF/ (MTBF+MTTR)	84%	98%	> 90%	14%

Resumen de la operacionalización de variables previo y posterior al diseño del sistema de gestión de mantenimiento.

3.3 Análisis económico, beneficio-costos de la implementación del diseño del sistema de gestión de mantenimiento

En el análisis económico beneficio-costos, se examinará un escenario post-implementación del diseño del sistema de gestión de mantenimiento, que implica una expectativa de mejora en la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL. Esta mejora traerá consigo ahorros para la empresa, ya que se reducirán las horas de inoperatividad y se evitarán penalizaciones por incumplimiento de contratos. Además, se considerará un escenario alternativo donde la empresa opta por no implementar el diseño del sistema y destina el costo de inversión a una cuenta de ahorro a plazo fijo al 5% anual. En el primer escenario, el beneficio se cuantificará a través del ahorro generado por la mayor disponibilidad mecánica y la reducción de costos asociados. En el segundo escenario, el beneficio se reflejará en el rendimiento de la cuenta de ahorro a plazo fijo. Mediante un análisis comparativo de ambos escenarios, se determinará cuál opción resulta más favorable económicamente, teniendo en cuenta tanto el ahorro por el diseño del sistema de gestión de mantenimiento como el rendimiento de la inversión en la cuenta de ahorro. Este análisis informado permitirá tomar decisiones adecuadas y evaluar la viabilidad económica de la implementación del diseño del sistema de gestión de mantenimiento para la empresa.

Tabla 24 Ahorro producido tras la implementación del Sistema de Gestión de Mantenimiento (SGM)

Periodo	Horas de parada	USD /Hr Operación	Pérdida (USD)	Ahorro total USD
Enero - diciembre 2021	1778	150	266,700	260,175
Proyección: Octubre a Diciembre del 2022	43.5	150	6,525	

Resumen del ahorro generado después del diseño del sistema de gestión de mantenimiento.

El ahorro total por pérdidas de inoperatividad después de la proyección de la implementación del diseño del sistema de gestión de mantenimiento es de 260,175 USD. Esto se obtuvo al comparar las pérdidas reportadas en el primer periodo (enero – diciembre 2021), que ascendieron a 266,700 USD debido a 1778 horas de inoperatividad por paradas no programadas

de mantenimiento, con las pérdidas reportadas en el periodo de octubre a diciembre del 2022, que fueron de 6,525 USD debido a solo 43.5 horas de paradas en las 6 excavadoras.

El ahorro obtenido se deriva directamente de la mejora en la disponibilidad mecánica de las excavadoras tras la implementación del diseño del sistema de gestión de mantenimiento. Gracias a esta mejora, se reducen significativamente las horas de inoperatividad y los tiempos de parada no programada, lo que conduce a una mayor eficiencia en las operaciones y una disminución de los costos asociados a interrupciones no planificadas. Al tener las excavadoras en óptimas condiciones de funcionamiento, se evitan penalizaciones por incumplimiento de contratos y se garantiza una operación más fluida y eficaz en la empresa de servicios de flota para minería. Todo esto se traduce en un ahorro tangible que contribuye positivamente al desempeño económico general de la compañía. Este análisis económico muestra claramente los beneficios obtenidos por la empresa al implementar el diseño del sistema de gestión de mantenimiento, ya que ha logrado ahorrar una suma considerable de dinero al evitar las pérdidas por inoperatividad de las excavadoras. Además, es importante tener en cuenta que este ahorro solo se refiere a las pérdidas por paradas no programadas de mantenimiento, y no incluye otros posibles beneficios generados por la mejora en la eficiencia y el rendimiento de las excavadoras debido al sistema de gestión implementado.

Tabla 25
Costo asociado con el diseño del Sistema de Gestión de Mantenimiento (SGM)

Descripción	Inversión	Cantidad	Cantidad	Medida	Costo unitario USD	Costo
Personal	Ing. Mecánico	1	1	Persona	\$1,000.00	\$1,000.00
	Diagrama de actividades y responsabilidades	1	1	Und	\$200.00	\$200.00
	Procedimiento instructivo de mantenimiento	1	1	Und	\$200.00	\$200.00
Procedimientos y formatos	Programa de mantenimiento	1	1	Und	\$400.00	\$400.00
	Etiquetado para reporte de fallas	1	1	Und	\$200.00	\$200.00
	Plan de entrenamiento capacitación	1	1	Und	\$200.00	\$200.00
Plan de educación y capacitación	Inducción	1	1	Und	\$600.00	\$600.00
	Entrenamiento metodología del diseño	1	1	Und	\$600.00	\$600.00
Stock mínimo	Aceite de motor	352.38	352.38	Lt.	\$18.12	\$6,385.14
	Oil engine filter	72	72	Und	\$25.00	\$1,800.00
	Fuel Filter	72	72	Und	\$27.00	\$1,944.00
	Filtro separador de agua	72	72	Und	\$40.00	\$2,880.00
	Lubricación de chasis	72	72	Und	\$25.00	\$1,800.00
	Filtro de aire	72	72	Und	\$60.00	\$4,320.00
	Filtro secador de aire	36	36	Und	\$30.00	\$1,080.00
	Filtro hidráulico	36	36	Und	\$28.00	\$1,008.00
	Filtro de AC	36	36	Und	\$35.00	\$1,260.00
	Filtro de cabina	72	72	Und	\$74.00	\$5,328.00
Refrigerante	1296.00	1296.00	1296.00	Lt.	\$60.00	\$77,760.00
Total, USD						\$217,999.83

Inversión realizada la lograr la implantación del nuevo diseño del sistema de gestión de mantenimiento.

Cálculo del beneficio costo de la inversión

En la tabla 26 se presenta el resultado del cálculo beneficio/costo después de la implementación del diseño del Sistema de Gestión de Mantenimiento (SGM) en las excavadoras 336-2DL. Se ha logrado una reducción significativa de horas de paradas no programadas, lo que

ha generado un ahorro de \$260,175.00 en costos asociados a la inactividad de las unidades. Además, se evitó una multa por falta de cumplimiento del contrato, lo que representó un ahorro adicional de \$500,000.00. En total, el ahorro estimado alcanza los \$760,175.00. Por otro lado, se analizó el monto requerido para implementar el diseño del sistema de gestión de mantenimiento, que asciende a \$217,999.83. Comparando estos costos con el beneficio obtenido, el ahorro generado supera ampliamente los costos de inversión, lo que demuestra la rentabilidad y eficacia del diseño del SGM. Si se hubiera decidido no implementar el sistema y, en su lugar, destinar los fondos a una entidad financiera, el rendimiento estimado sería de \$10,900.00. Esto resalta la decisión estratégica de invertir en el diseño del SGM, ya que ha resultado en un beneficio económico significativo para la empresa de servicios de flota para minería.

Tabla 26

Resultado del cálculo beneficio/costo tras el diseño del SGM.

Reducción total de horas de inactividad de las unidades	\$260,175.00
Multa por falta de cumplimiento del contrato.	\$500,000.00
Total, de gastos estimados (ahorro).	\$760, 175.00
Monto requerido para implementar el diseño del sistema de gestión de mantenimiento	\$217,999.83
Total, de costos estimados (Comparado con el beneficio).	\$10,900.00
Si se ingresa el dinero a una entidad financiera	\$10,900.00

Indicadores utilizados para el cálculo del beneficio/costo del diseño del Sistema de Gestión de Mantenimiento (SGM)..

Al sustituir en la fórmula de la razón del cálculo Beneficio/Costo (B/C), se obtiene:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficio- contra beneficio}}{\text{Costo}}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{\$760, 175.00 - \$10,900.00}{\$217,999.83}$$

$$\frac{B}{C} = 3.44$$

C

(El resultado de la razón es mayor que 1)

B/C > 1 indica que los beneficios esperados superan los costos, lo que sugiere que el proyecto es favorable y debe ser considerado.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Según el diagnóstico inicial, los indicadores de gestión de mantenimiento y disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL en la empresa de servicios de flota para minería se encuentran por debajo del nivel requerido. Se han identificado y analizado diversas razones para esta situación, entre las cuales se destacan la falta de un plan de mantenimiento, una operación deficiente y una planificación de operaciones inadecuada. Estas razones han sido también mencionadas por Galoso en su estudio sobre la disponibilidad mecánica de trece modelos de tracto camiones en la empresa Multiservicios Papillon S.A.C. Allí también se encontró que la falta de un programa de mantenimiento, la falta de documentos para su control, la limitación de espacio para la flota de tracto camiones, problemas en la adquisición de repuestos y la carencia de un programa de capacitación contribuyen a paradas no planificadas y pérdidas económicas en reparaciones.

Según Gutiérrez (2019), no existe un método exacto para el diseño de la gestión del mantenimiento, por lo que se ha desarrollado un diseño basado en formatos, registros y procedimientos, tomando en cuenta el diagnóstico situacional de las causas de las paradas no programadas de la excavadora 336-2DL. Es importante destacar que el seguimiento y la actualización del sistema deben ser continuos para asegurar su eficacia. Por otro lado, Herrera (2019) tomó un enfoque diferente al diseñar un sistema de mantenimiento, ya que priorizó los diez defectos más frecuentes en la flota de camiones y excavadoras. Al identificar y abordar estos fallos más recurrentes en los equipos, se busca proporcionar soluciones prácticas para resolver estos problemas y mejorar la disponibilidad mecánica. Ambas iniciativas tienen como objetivo aumentar la disponibilidad mecánica de los equipos y reducir las paradas no programadas, lo que sin duda contribuirá a mejorar la eficiencia y el rendimiento general de la empresa.

Después de realizar la evaluación de las mejoras en la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL tras la implementación del diseño del sistema de gestión de mantenimiento,

se pudo constatar lo siguiente: a) Hubo un aumento significativo en el indicador de utilización de la maquinaria, pasando de 84% a 94%; b) Se observó una notable disminución en el porcentaje de mantenimientos no programados, reduciéndose de 64% a tan solo 15%. c) El indicador de MTBF mostró un incremento significativo, pasando de 74.66 a 247.17 horas. Asimismo, d) el MTTR experimentó una reducción considerable, disminuyendo de 14.75 a 4.13 horas, del mismo modo e) se logró un aumento sustancial en la disponibilidad mecánica, pasando de 84% a un destacable 98%, superando el estándar de disponibilidad del 90% exigido por la empresa. Estos resultados demuestran claramente que el diseño del sistema de gestión de mantenimiento ha tenido un impacto positivo en la disponibilidad mecánica de las excavadoras, logrando mejorar los indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad. Un caso similar es expuesto por Vila (2019) en su tesis titulada "Diseño de un plan de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica en la empresa QSE Service SAC", donde también se evidenció una mejora en los indicadores después de implementar un sistema de gestión de mantenimiento.

Finalmente, basado en el ahorro estimado de 260,175 dólares, se realizó un análisis económico beneficio-costos del diseño del sistema de gestión de mantenimiento, arrojando un valor de 3.44. Esto indica que el proyecto debe ser considerado, ya que la inversión asociada con la implementación del sistema de gestión de mantenimiento genera mayores beneficios a la empresa en comparación con las pérdidas financieras ocasionadas por el tiempo de inoperatividad de las excavadoras y las penalizaciones por pérdida de contratos. De manera similar, Castro (2020) señala que, en el negocio de movimiento de tierras, la maquinaria pesada representa una parte significativa, aproximadamente del 20% al 50%, de los costos totales de operación. Por lo tanto, las empresas que compiten en este mercado deben asegurarse de reducir los costos operativos y financieros para mantenerse competitivas. El diseño del sistema de gestión de mantenimiento contribuye a este objetivo al mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras y, en

consecuencia, reducir las pérdidas financieras relacionadas con el tiempo de inactividad y las penalizaciones por incumplimiento de contratos.

4.2 Conclusiones

En el diagnóstico situacional de la gestión de mantenimiento y disponibilidad mecánica, se obtuvieron los siguientes indicadores para las excavadoras 336-2DL: una utilización de la maquinaria del 84%, un porcentaje de mantenimientos no programados del 64%, un MTBF (Tiempo promedio entre fallas) de 74.66 horas, un MTTR (Tiempo promedio de reparación de fallas) de 14.75 horas y una disponibilidad mecánica del 84%. Es importante destacar que este último parámetro se encuentra por debajo del objetivo establecido por la empresa, que es del 90%.

El diseño del sistema de gestión de mantenimiento para las excavadoras 336-2DL se basó en el diagnóstico realizado. Este diseño incluye las responsabilidades dentro del sistema de gestión de mantenimiento, el procedimiento de inducción de las especificaciones técnicas y un plan preventivo que se fundamenta en las fallas frecuentes reportadas. Además, se han desarrollado formatos específicos para diversas inspecciones y evaluaciones, como la inspección estructural de la excavadora 336-2DL, la calibración de inyector unitario, la evaluación del juego de beranin de cremallera, la inspección de GETS, la prueba de cilindros hidráulicos y el cambio de bucket, así como la inspección del grupo de varillaje de bucket. También se ha creado un formato para el registro de mantenimiento preventivo. Junto con esto, se ha implementado el etiquetado para el reporte de fallas y se ha establecido un plan de educación y capacitación. Todo ello con el propósito de mejorar la gestión de mantenimiento y aumentar la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL.

Después de evaluar las mejoras en la disponibilidad mecánica de las excavadoras 336-2DL tras la implementación del diseño del sistema de gestión de mantenimiento, se ha observado un notable progreso en los indicadores clave. El indicador de utilización de la maquinaria ha aumentado de 84% a 94%, lo que significa que se está aprovechando más eficientemente el tiempo

de operación de las excavadoras. El porcentaje de mantenimientos no programados ha disminuido significativamente, pasando de 64% a 15%, lo que indica una mayor planificación y control del mantenimiento. Además, se ha logrado un aumento en el MTBF (Tiempo promedio entre fallas) de 74.66 a 247.17 horas, lo que significa que el tiempo promedio entre fallos ha aumentado considerablemente, lo que indica una mayor confiabilidad y menor frecuencia de averías. Por otro lado, el MTTR (Tiempo promedio de reparación de fallas) ha disminuido de 14.75 a 4.13 horas, lo que indica una mejora en la eficiencia de las reparaciones y en la reducción del tiempo de inactividad debido a fallas cumpliendo así el estándar de disponibilidad de equipos que exige la empresa 90%

El análisis económico se realizó considerando el ahorro total estimado de 260,175 dólares después de la implementación del diseño del sistema de gestión de mantenimiento. El resultado de la razón de beneficio a costo (B/C) fue de 3.44, lo que indica que los beneficios superan claramente a los costos. Por lo tanto, el proyecto se considera altamente viable desde el punto de vista económico, ya que el ahorro obtenido compensa ampliamente la inversión realizada en la implementación del sistema de gestión de mantenimiento

REFERENCIAS

- Arenas, J. C. (2020). *Propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento, para la optimización del desempeño de la empresa Manfer S.R.L.*
- Castro. (2020). *Elaboración e implementación de un plan de mantenimiento para la maquinaria pesada y vehículos livianos del GADM de Pelileo .*
- Caterpillar. (2019). *Excavadoras 336 D2L. Obtenido de https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/excavators/large-excavators/1000005423.html.*
- Chávez, M. (2020). *Análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) del sistema de reinyección de agua de formación.*
- Construcción Minera. (2020). *Movimiento de tierras en faenas mineras.*
- DITECSA. (2019). *Origen del mantenimiento preventivo.*
- Galoso, Z. (2020). *Diseño de una propuesta de mejora del área de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de maquinarias en una empresa del sector minero Cajamarca.*
- Guevara, F. (2020). *Análisis y ejecución de movimiento de tierras en una obra empleando el diagrama de masa. Tesis para optar el grado de Máster en Ingeniería Civil. Piura.*
- Gutiérrez. (2019). *Gestión de mantenimiento en la industria.*
- Gutierrez, A. (2020). *Planeación, ejecución y control del mantenimiento.*
- Henao. (2016). *Diagrama de Ishikawa, el esquema universal.*
- Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación, Sexta edición.*

- Herrera, A. (2019). *Diseño de un plan de gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de equipos en la empresa San Martin Contratistas Generales S.A. en el proyecto Tantahuatay 2018 .*
- Huamán, G. (2019). *Gestión de Mantenimiento y calidad del servicio en la Universidad Nacional del Callao.*
- Instituto Japonés de Mantenimiento. (2019). *Mantenimiento Industrial.*
- ISEM. (2019). *Disponibilidad de los equipos mineros.*
- Mejía, R. (2019). *Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento y su influencia en la disponibilidad mecánica de los volquetes volvo FMX 440 en la empresa Grupo HH Servicios Generales S.A.C.*
- Ramirez, A. (2019). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de maquinaria en la empresa Coansa del Perú Ingenieros. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.*
- SIS Caterpillar. (2019). *Sistema hidráulico piloto.*
- Solis, J. A. (2020). *Propuesta de mejora del área de mantenimiento de maquinas perforadoras diamantinas a fin de aumentar la disponibilidad mecánica en la empresa Ak Drilling International S.A. de perforacion de pozos para minería.*
- Tipiani, J. L. (2018). *Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento para una empresa del rubro metalmecánico.*
- Vila, F. H. (2019). *Diseño de un plan de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica en la empresa QSE Service SAC.*

ANEXOS

Anexo 1

Ficha resumen para obtención de datos - horas operativas programadas al año y horas trabajadas

Horas operativas programadas al año y horas trabajadas de enero a diciembre 2021 - EXCAVADORA 1												
	Ene-21	Feb-21	Mar-21	Abr-21	May-21	Jun-21	Jul-21	Ago-21	Set-21	Oct-21	Nov-21	Dic-21
Horas programadas en el año (HP)												
Horas de trabajo en el año (HT)												

Anexo 2

Ficha resumen para obtención de datos- Horas de parada por mantenimientos no programados

Horas de parada por mantenimiento de enero a diciembre 2021 - EXCAVADORA 1												
	Ene-21	Feb-21	Mar-21	Abr-21	May-21	Jun-21	Jul-21	Ago-21	Set-21	Oct-21	Nov-21	Dic-21
Horas totales en inspección mecánica (IM)												
Horas utilizadas por fallas mecánicas (FM)												
Horas utilizadas por fallas eléctricas (FE)												
Horas utilizadas en otros eventos												
Total												

Anexo 3

Ficha resumen para la obtención de datos – fallas reportadas

Fallas reportadas de enero a diciembre 2021 - EXCAVADORA 1												
	Ene-21	Feb-21	Mar-21	Abr-21	May-21	Jun-21	Jul-21	Ago-21	Set-21	Oct-21	Nov-21	Dic-21
Falta de plan de mantenimiento												
Operación deficiente												
Planificación de operación inadecuada												
Deterioro por fatiga												
Problemas en el abastecimiento												
Deficiente calidad en repuestos												

Anexo 4

Revisión documental de las fichas de reportes de fallas

REPORTE DE FALLAS			N°
Fecha:		Supervisor de Operaciones:	
Proyecto:		Operador	
Código:		Año:	
Tipo:		Placa:	
Marca:		Horómetro:	
Prioridad:			
Normal ()	Urgente ()	Programado ()	
Naturaleza:			
Mantenimiento ()	Avería ()	Re-ingreso ()	
Tipo de Mantenimiento:			
Preventivo ()	Correctivo ()	Modificativo ()	
Descripción			