

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



“APLICACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO
(PMO) PARA EL INCREMENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE UN
SCOOPTRAM MODELO LH410 EN LA COMPAÑÍA MINERA AURÍFERA
CUATRO DE ENERO S.A. – 2022”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO

AUTORES

JIMMY ANDERSON SIFUENTES VELASQUEZ

PEDRO ALBERTO YOPLAC BACALLA

ASESOR

Mg. ESTEBAN ANTONIO GUTIÉRREZ HÉRVIAS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2024

PERÚ

Document Information

Analyzed document	INFORME FINAL DE TESIS - SIFUENTES VELASQUEZ -YOPLAC BACALLA (2).docx (D182720233)
Submitted	2023-12-28 01:54:00 UTC+01:00
Submitted by	
Submitter email	investigacion.fime@unac.pe
Similarity	21%
Analysis address	investigacion.fime.unac@analysis.arkund.com

Sources included in the report

- SA** **Universidad Nacional del Callao / 12. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION PEDRO COCANEGRA.pdf**
Document 12. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION PEDRO COCANEGRA.pdf (D174124406)
Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe
Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.arkund.com
- SA** **Universidad Nacional del Callao / 11. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION AGUIRRE CACION.pdf**
Document 11. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION AGUIRRE CACION.pdf (D174124405)
Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe
Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.arkund.com
- W** URL: <https://www.imcsolucionesintegrales.com/pmo-optimizacion-mantenimiento-planeado/>
Fetched: 2023-12-28 01:54:00
- SA** **TESIS ALEJANDRO HUAMANI.docx**
Document TESIS ALEJANDRO HUAMANI.docx (D93023745)
- W** URL: <https://blog.comparasoftware.com/evolucion-del-mantenimiento/>
Fetched: 2023-12-28 01:54:00
- SA** **Trabajo Suficiencia_Marco La Rosa Valles.docx**
Document Trabajo Suficiencia_Marco La Rosa Valles.docx (D140697098)
- W** URL: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11571/1/IV_FIN_108_TE_%20Alc%C3%A1ntara_DelaCruz_2021.pdf
Fetched: 2022-12-22 06:36:51
- SA** **RODRIGUEZ FERNANDEZ ZAMALLOA MANNUCCI T3 cemo.docx**
Document RODRIGUEZ FERNANDEZ ZAMALLOA MANNUCCI T3 cemo.docx (D149807717)
- SA** **T2_TESIS1_RODRIGUEZVALENCIAROSASORLANDO.docx**
Document T2_TESIS1_RODRIGUEZVALENCIAROSASORLANDO.docx (D146273101)
- W** URL: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4944/T010_20108753_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Fetched: 2023-01-13 03:36:02
- W** URL: <https://pistarelli.com.ar/mantenibilidad/>
Fetched: 2023-12-28 01:54:00
- W** URL: <https://www.stelorder.com/blog/tipos-de-mantenimiento/>
Fetched: 2023-12-28 01:54:00
- SA** **Informe de Suficiencia - Bachiller FIM Victor Castro.docx**
Document Informe de Suficiencia - Bachiller FIM Victor Castro.docx (D79856808)
- SA** **Universidad Nacional del Callao / 03. Tesis - Llontop 15.05.18.doc**
Document 03. Tesis - Llontop 15.05.18.doc (D40138201)
Submitted by: normaherrera169@gmail.com
Receiver: posgrado.fime.unac@analysis.arkund.com
- SA** **Tesis_Julio Guerrero_N00089121 (1).docx**
Document Tesis_Julio Guerrero_N00089121 (1).docx (D146747212)
- SA** **TESIS - JEAN CASTILLO cemo.docx**
Document TESIS - JEAN CASTILLO cemo.docx (D118569704)
- SA** **T3_TALLERDETESIS2_LEONGUADANA JUANITAKARINA_OCAMPOGALVEZLUISENRIQUE.docx**
Document T3_TALLERDETESIS2_LEONGUADANA JUANITAKARINA_OCAMPOGALVEZLUISENRIQUE.docx (D149174718)

**ACTA N°176 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

**LIBRO 001, FOLIO N°202, ACTA N°176 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO TALLER DE
TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO.**

A los 13 días del mes de enero del año 2024, siendo las 14:05 horas, se reunieron en el Auditorio "Ausberto Rojas Saldaña" sito Av. Juan Pablo II N° 306 Bellavista – Callao, los miembros del **Jurado Evaluador de Sustentación del II Ciclo Taller de Tesis 2023**, designado con Resolución de Consejo de Facultad N° 302-2023-CF-FIME – Callao, 10 de noviembre de 2023, para la obtención de los **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

- Mg. ALFONSO SANTIAGO CALDAS BASAURI : Presidente
- Mg. JOSÉ MARTÍN CASADO MÁRQUEZ : Secretario
- Mg. GUILLERMO ALONSO GALLARDAY MORALES : Vocal

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis del Bachiller **PEDRO ALBERTO YOPLAC BACALLA**, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de **INGENIERO MECÁNICO**, sustenta la tesis "**APLICACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO (PMO) PARA EL INCREMENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE UN SCOOPTRAM MODELO LH410 EN LA COMPAÑÍA MINERA AURÍFERA CUATRO DE ENERO S.A. – 2022**", cumpliendo con la sustentación en acto público de acuerdo al artículo 56° de la Resolución de Consejo Universitario N° 150 -2023-CU.- CALLAO, 15 de junio del 2023.

Con el quórum reglamentario, se dio inicio a la exposición de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición y la absolución de las preguntas formuladas por el jurado, y efectuada la deliberación pertinente, acordó por unanimidad. Dar por **APROBADO** en la escala de calificación cualitativa **BUENO**, y con calificación cuantitativa de **15 (QUINCE)**, conforme a lo dispuesto en el Artículo 24° del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150-2023-CU- CALLAO, 15 de junio de 2023.

Se dio por cerrada la Sesión a las 14.16 horas del día 13 de enero de 2024.


Mg. Alfonso Santiago Caldas Basauri
Presidente


Mg. José Martín Casado Márquez
Secretario


Mg. Guillermo Alonso Gallarday Morales
Vocal

**ACTA N°175 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

**LIBRO 001, FOLIO N°201, ACTA N°175 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO TALLER DE
TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO.**

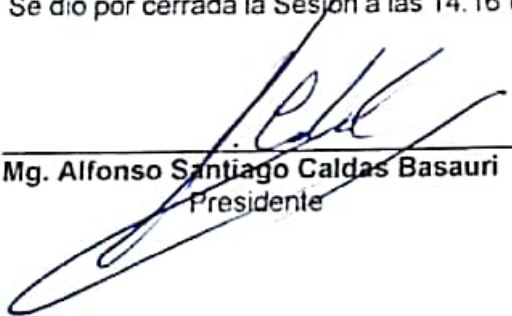
A los 13 días del mes de enero del año 2024, siendo las 14:05 horas, se reunieron en el Auditorio "Ausberto Rojas Saldaña" sito Av. Juan Pablo II N° 306 Bellavista – Callao, los miembros del **Jurado Evaluador de Sustentación del II Ciclo Taller de Tesis 2023**, designado con Resolución de Consejo de Facultad N° 302-2023-CF-FIME – Callao, 10 de noviembre de 2023, para la obtención de los **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao.


- Mg. ALFONSO SANTIAGO CALDAS BASAURI : Presidente
- Mg. JOSÉ MARTÍN CASADO MÁRQUEZ : Secretario
- Mg. GUILLERMO ALONSO GALLARDAY MORALES : Vocal


Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis del Bachiller **JIMMY ANDERSON SIFUENTES VELASQUEZ**, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de **INGENIERO MECÁNICO**, sustenta la tesis "**APLICACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO (PMO) PARA EL INCREMENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE UN SCOOPTRAM MODELO LH410 EN LA COMPAÑÍA MINERA AURÍFERA CUATRO DE ENERO S.A. – 2022**", cumpliendo con la sustentación en acto público de acuerdo al artículo 56° de la Resolución de Consejo Universitario N° 150 -2023-CU.- CALLAO, 15 de junio del 2023.

Con el quórum reglamentario, se dio inicio a la exposición de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición y la absolución de las preguntas formuladas por el jurado, y efectuada la deliberación pertinente, acordó por unanimidad: Dar por **APROBADO** en la escala de calificación cualitativa **BUENO**, y con calificación cuantitativa de **15 (QUINCE)**, conforme a lo dispuesto en el Artículo 24° del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150-2023-CU- CALLAO, 15 de junio de 2023.

Se dio por cerrada la Sesión a las 14.16 horas del día 13 de enero de 2024.


Mg. Alfonso Santiago Caldas Basauri
Presidente


Mg. José Martín Casado Márquez
Secretario


Mg. Guillermo Alonso Gallarday Morales
Vocal



“Año del Bicentenario, de la Consolidación de nuestra Independencia,
y de la Conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

**Dictamen N° 003-2024 - Jurado Evaluador de Sustentación
del II Ciclo Taller de Tesis 2023**

Bellavista, 27 de marzo del 2024

EL JURADO EVALUADOR DE SUSTENTACIÓN DEL II CICLO DE TALLER DE TESIS 2023, DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO.

Visto, el oficio N° 008-2024 – II CTT – FIME, de fecha 14 de marzo de 2024, presentado por el coordinador del II Ciclo de Taller de Tesis 2023, el Mg. Ing. JUAN ADOLFO BRAVO FÉLIX, con el cual remite al Decanato de la FIME el levantamiento de las observaciones remitidas según el Dictamen N° 002-2024 – Jurado Evaluador de Sustentación del II Ciclo Taller de Tesis 2023, a las dieciséis (16) tesis de los bachilleres participantes, para su revisión y evaluación.

CONSIDERANDO:

Que, según el art. 36° del Reglamento de Grados y Títulos de UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150-2023-CU del 15 de junio de 2023, el trabajo de investigación y la tesis son redactados de acuerdo a la directiva emitida por el Vicerrectorado de Investigación, y es dictaminado por el jurado evaluador de sustentación. El presidente del jurado debe presentar el dictamen al Decano, elaborado de manera colegiada con la opinión favorable o desfavorable.

Que, mediante Resolución del Consejo de Facultad de la FIME N° 303-2023-CF-FIME, de fecha 13 de noviembre de 2023, se designó la conformación del jurado evaluador de sustentación del II Ciclo de Taller de Tesis 2023 de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la UNAC.

Que, habiendo revisado por tercera vez las dieciséis (16) tesis luego de su sustentación para determinar si las observaciones realizadas en la segunda revisión fueron levantadas, se verificó que solo en tres (03) se levantaron completamente, mientras que en las trece (13) restantes subsisten en forma parcial.

Que, mediante la Directiva N° 004-2022-R, aprobada con Resolución Rectoral N° 319-2022-R, de fecha 22 de abril del 2022; Directiva para la Elaboración de Proyecto e Informe Final de Investigación de Pregrado, Posgrado, Equipos, Centros e Instituto de Investigación, el jurado evaluador de sustentación del II Ciclo de Taller de Tesis 2023 de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la UNAC.

DICTAMINA:

PRIMERO.- Que, de las dieciséis (16) tesis presentadas por el señor coordinador del II Ciclo de Taller de Tesis 2023, después de la tercera revisión posterior al proceso de sustentación, solamente **tres (03) tesis** levantaron las observaciones, cuyos títulos y autores se indican a continuación:



1. “Aplicación de la Norma API 579-1/ASME FFS-1 para Evaluar la Aptitud para el Servicio en Recipientes a Presión Estacionarios de GLP Afectados por Pérdida General de Metal en la Empresa MARCONSULT Certificaciones”.

Presentado por los bachilleres: ARBIETO CAMPANA, JEAN PIERE
CHOQUE QUISPE, JUAN MANUEL
Especialidad: Ingeniería Mecánica
ASESOR: Mg. Arturo Percey Gamarra Chinchay

2. “Diseño de un Sistema de Aire Acondicionado de Flujo de Refrigerante Variable para Alcanzar el Confort Térmico en una Sede de Magistrados de Lima”.

Presentado por el bachiller: MUÑOZ YUCRA, JUAN CARLOS
Especialidad: Ingeniería Mecánica
Asesor: Dr. Nelson Alberto Díaz Leiva

3. “Aplicación de la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO) para el Incremento de la Disponibilidad de un Scooptram Modelo LH410 en la Compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – 2022”.

Presentado por los bachilleres: SIFUENTES VELASQUEZ, JIMMY ANDERSON
YOPLAC BACALLA, PEDRO ALBERTO
Especialidad: Ingeniería Mecánica
Asesor: Mg. Esteban Antonio Gutiérrez Hervías

SEGUNDO. - Que, en las trece (13) tesis restantes subsisten observaciones parciales de forma y/o de fondo, las cuales deben ser comunicadas a los bachilleres y a sus respectivos asesores, ya que hasta la fecha subsiste el incumplimiento de la Directiva N° 004-2022-R, según se indica a continuación:

4. “Implementación de un Plan de Mantenimiento Predictivo en Base al Análisis de Aceite para Mejorar la Disponibilidad Mecánica de la Flota de Cargadores bajo Perfil R1600 en una Unidad Minera – 2023”.

Presentado por los bachilleres: ACUÑA ESPINOZA, ERUNER PRIALE
VALLEJOS HUAMAN, ALEX FAVIO
Especialidad: Ingeniería Mecánica
ASESOR: Mg. Ing. Arturo Percey Gamarra Chinchay

5. “Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Mejora de la Disponibilidad de los Equipos del Taller de Fabricación y Mantenimiento de Estructuras y Equipos de Izaje de la Empresa Damol Ingenieros S.A.C. - 2022”.

Presentado por el bachiller: ALBITES AYALA, FABRIZIO RENATO
Especialidad: Ingeniería Mecánica
Asesor: Mg. Arturo Percey Gamarra Chinchay



6. “Aplicación de la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO) para Incrementar la Disponibilidad de los Equipos Scooptrams en la Cía. Minera Santa Luisa S.A. – 2022”.

Presentado por los bachilleres: BARRERA BUSTILLOS, JUAN CARLOS
ORE BRAVO, JEFFERSON RODRIGO
Especialidad: Ingeniería Mecánica
Asesor: Mg. Arturo Percey Gamarra Chinchay

7. “Diseño de una Red de Oxígeno Medicinal para Reducir el Consumo de Energía Eléctrica del Área de Hospitalización en el Hospital Policial Augusto Belardino Leguía”.

Presentado por los bachilleres: BEDÓN ESTUPIÑÁN, MIGUEL ÁNGEL
MORÁN REYNAGA, PEDRO MANUEL
Especialidad: Ingeniería en Energía
Asesor: Dr. Abel Tapia Díaz

8. “Diseño de un Puente Grúa Monorriel de 04 Toneladas para Reducir el Tiempo de Traslado de Materiales en el Área de Mecanizado de la Empresa Fabricantes y Constructores S.R.L - 2023”.

Presentado por los bachilleres: DÁVALOS GARCÍA, JOSUÉ DANIEL
TENAZOA FASANANDO, RAFAEL
Especialidad: Ingeniería Mecánica
Asesor: Mg. Esteban Antonio Gutiérrez Hervías

9. Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico para el Ahorro del Consumo de Energía Eléctrica en las Luminarias de la Planta de Chocolates en una Empresa de Alimentos.

Presentado por el bachiller: DÍAZ SÁNCHEZ, ALEXANDER MARTÍN
Especialidad: Ingeniería en Energía
Asesor: Dr. Nelson Alberto Díaz Leiva

10. Diseño de un Sistema contra Incendios para la Reducción de Riesgo de Incendios de los Tanques de Almacenamiento de Combustible de la Planta de Abastecimiento Aeropuerto Jorge Chávez.

Presentado por el bachiller: ENCO ZAMORA, JORDAN STEVEN
Especialidad: Ingeniería Mecánica
Asesor: Mg. Esteban Antonio Gutiérrez Hervías

11. “Implementación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Reducir Costos de Mantenimiento de las Bombas de Molienda en una Planta Minera”.

Presentado por el bachiller: GALVÁN MENDOZA, CÉSAR CRISTOFER
Especialidad: Ingeniería Mecánica
Asesor: Dr. Abel Tapia Díaz



12. “Diseño de un Programa de Lubricación para Aumentar la Disponibilidad de los Bancos de Prueba para Bombas Oleohidráulicas en una Empresa de Servicios”.

Presentado por los bachilleres: RAMOS ARPHI, CRHISTIAN
VENTURA SERVÁN, PABLO CÉSAR
Especialidad: Ingeniería Mecánica
Asesor: Mg. Carlos Alfredo Bailón Bustamante

13. “Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo en Neumáticos para Mejorar la Disponibilidad en la Flota de Volquetes Actros 4144K en una Unidad Minera del Sur – 2023”

Presentado por el bachiller: ROBLES LEON, ALFREDO
Especialidad: Ingeniería Mecánica
Asesor: Dr. Abel Tapia Díaz

14. “Implementación de un Plan de Mantenimiento Tipo Overhaul para Aumentar la Disponibilidad en el Tractor Oruga D6T CAT en una Empresa Minera”.

Presentado por los bachilleres: ROJAS GÓMEZ, VÍCTOR RODRIGO
MOTTA ROSADA, FRANGHOAR ANGELLO
Especialidad: Ingeniería Mecánica
Asesor: Mg. Carlos Alfredo Bailón Bustamante.

15. “Diseño de un Plan de Gestión para Mejorar la Eficiencia Energética en el Área de Producción de una Empresa de Plásticos, Lima 2023”.

Presentado por las bachilleres: ROÑA PUMAHUANCA, MARLEMP JHOMIRA
YANAC HUAMÁN, SILVIA GABINA
Especialidad: Ingeniería en Energía
Asesor: Mg. Carlos Alfredo Bailón Bustamante

16. “Diseño de un Sistema de Transporte de Caldos de Anchoqueta para Aumentar el Rendimiento de Producción de Aceite en una Planta de Harina de Pescado de 250 TMP/H en Puerto Chicama – La Libertad”.

Presentado por el bachiller: VALENCIA PACHECO, JORGE LUIS
Especialidad: Ingeniería Mecánica
Asesor: Dr. Nelson Alberto Díaz Leiva

TERCERO. - Que, habiendo pasado las 13 (trece) tesis citadas por tres revisiones, nos causa extrañeza que los bachilleres involucrados pudieran mostrar renuencia u omisión en cumplir con concluir satisfactoriamente sus trabajos que les permitirá ostentar su título profesional.

En tal sentido, Señor Decano, este jurado colegiado considera que se ponga a juicio de la instancia superior de la FIME cuál es el número límite de veces que se tiene que revisar las tesis observadas, ya que a consideración de este colegiado, se ha cumplido con denuedo y diligencia la labor encomendada, la misma que no debería ser indefinida. Si bien es derecho



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
Jurado Evaluador de Sustentación del II Ciclo Taller de Tesis 2023



de cada uno de los bachilleres obtener su título profesional, ello no puede ser pretexto para mantener como derecho absoluto la revisión indefinida de sus tesis.

CUARTO. - Se adjunta al presente dictamen los archivos de las trece (13) tesis observadas.

QUINTO. - Elevar el presente dictamen al señor Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la UNAC para los fines de Ley y trámite siguiente.

Mg. Ing. **José Martín Casado Márquez**
Secretario

Mg. Econ. **Guillermo Alonso Gallarday Morales**
Vocal

Mg. Ing. **Alfonso Santiago Caldas Basauri**
Presidente

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
Y DE ENERGÍA

TÍTULO: “APLICACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO
PLANEADO (PMO) PARA EL INCREMENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE UN
SCOOPTRAM MODELO LH410 EN LA COMPAÑÍA MINERA AURÍFERA
CUATRO DE ENERO S.A. - 2022”

AUTORES:

JIMMY ANDERSON SIFUENTES VELASQUEZ / <https://orcid.org/0009-0007-2458-9883> / 60126968

PEDRO ALBERTO YOPLAC BACALLA / <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0008-5485-338X> / 71502949

ASESOR: Mg. ESTEBAN ANTONIO GUTIÉRREZ HÉRVIAS/
<https://orcid.org/0009-0000-7186-1551> / 25669150

LUGAR DE EJECUCIÓN: DISTRITO DE CHÁPARRA - PROVINCIA DE
CARAVELÍ - DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

UNIDAD DE ANÁLISIS: SCOOPTRAM MODELO LH410

TIPO, ENFOQUE E INVESTIGACIÓN: APLICADA / CUANTITATIVO / PRE
EXPERIMENTAL

TEMA OCDE: INGENIERÍA MECÁNICA

DEDICATORIA

Dedico a mis padres Pedro y Flor, familiares y a una persona especial, por el apoyo incondicional que me brindan y que cada día me alientan a seguir adelante para lograr mis objetivos y metas.

Pedro A. Yoplac Bacalla.

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mis padres, pues sin ellos no lo hubiera logrado. Sus oraciones a diario a lo largo de mi vida me protegen y me llevan por el camino del bien. Por eso les doy mi trabajo en ofrenda por su confianza, paciencia y amor, los amo.

Jimmy A. Sifuentes Velasquez.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1. Descripción de la realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema.....	13
1.2.1. Problema general	13
1.2.2. Problemas específicos	13
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo general	13
1.3.2. Objetivos específicos.....	13
1.4. Justificación	14
1.4.1. Justificación Práctica	14
1.4.2. Justificación metodológica.....	14
1.4.3. Justificación tecnológica.....	14
1.4.4. Justificación económica.....	14
1.5. Delimitantes de la investigación.....	14
1.5.1. Teórica	14
1.5.2. Temporal	15
1.5.3. Espacial.....	15
II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes: Internacional y Nacional.....	16

2.1.1.	Internacional.....	16
2.1.2.	Nacional	19
2.2.	Bases teóricas	22
2.2.1.	Historia del mantenimiento	22
2.2.2.	Mantenimiento.....	25
2.2.3.	Tipos de mantenimiento	26
2.2.4.	Importancia del mantenimiento.....	26
2.2.5.	¿Qué es la optimización del mantenimiento planeado (PMO) y para qué sirve?	27
2.2.6.	Pasos de la optimización del mantenimiento planeado (PMO)	28
2.2.7.	Scooptram LH410 Sandvik.....	34
2.3.	Marco conceptual.....	34
2.3.1.	Optimización del mantenimiento planeado.....	34
2.3.2.	Análisis de modo y efecto de falla.....	35
2.3.3.	Análisis de criticidad.....	35
2.3.4.	Planificación	39
2.3.5.	Implementación	40
2.3.6.	Disponibilidad.....	41
2.3.7.	Confiabilidad.....	42
2.3.8.	Mantenibilidad	43
2.4.	Definición de términos básicos	43
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	44
3.1.	Hipótesis	44
3.1.1.	Hipótesis General.....	44
3.1.2.	Hipótesis específicas.....	44
3.2.	Definición conceptual de variable	44

3.2.1.	Operacionalización de variable.....	45
IV.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	46
4.1.	Tipo y diseño de investigación	46
4.1.1.	Tipo de investigación.....	46
4.2.	Método de investigación	47
4.3.	Población y muestra.....	48
4.3.1.	Población.....	48
4.3.2.	Muestra	48
4.4.	Lugar de estudio	48
4.5.	Técnicas e instrumentos para para recolección de información	48
4.5.1.	Técnicas.....	48
4.5.2.	Instrumentos.....	48
4.6.	Análisis y procesamiento de datos.....	49
4.6.1.	Recopilación de tareas.....	49
4.6.2.	Análisis de modos de falla (FMA).....	54
4.6.3.	Racionalización y revisión del FMA.....	56
4.6.4.	Análisis funcional.....	58
4.6.5.	Evaluación de consecuencias.....	60
4.6.6.	Definición de la política de mantenimiento	62
4.6.7.	Agrupación y revisión.....	64
4.6.8.	Aprobación e implementación.....	64
4.6.9.	Programa dinámico.....	65
4.7.	Aspectos éticos en la investigación	67
V.	RESULTADOS.....	68
5.1.	Plan de mantenimiento de scoopteam LH410 después de PMO.....	68
5.2.	Resultados descriptivos	75

5.3. Resultados inferenciales.....	77
5.4. Otro tipo de resultados.....	79
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	80
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con sus resultados	80
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	80
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes.....	81
VII. CONCLUSIONES.....	82
VIII. RECOMENDACIONES	83
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	89
ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA	89
ANEXO 2. DIAGRAMA DE ISHIKAWA.....	90
ANEXO 3. FORMATO DE CARTILLA DE MANTENIMIENTO	91
ANEXO 4. PROPUESTA DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	92
ANEXO 5. INFORMACIÓN BÁSICA DEL SCOOPTRAM LH410	93
ANEXO 6. CONSENTIMIENTO DE USO DE DATOS DE LA EMPRESA	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Resultado del paso 2.....	29
Tabla 2.2. Resultado del paso 3.....	30
Tabla 2.3. Resultado del paso 4.....	31
Tabla 2.4. Resultado del paso 5.....	31
Tabla 2.5. Resultado del paso 6.....	32
Tabla 2.6. Análisis de criticidad.....	38
Tabla 4.1. Plan de mantenimiento antes del PMO	50
Tabla 4.2. Identificación de modo de falla.....	55
Tabla 4.3. Racionalización y revisión del FMA.....	57
Tabla 4.4. Análisis funcional.....	59
Tabla 4.5. Evaluación de consecuencias	61
Tabla 4.6. Definición de la política de mantenimiento	63
Tabla 4.7. Matriz de performance scooptram LH410	66
Tabla 5.1. Plan de mantenimiento de scooptram LH410 después de PMO	68
Tabla 5.2. Prueba de normalidad	77
Tabla 5.3. Prueba T-Student.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Herramientas primitivas	22
Figura 2.2. Herramientas Básicas	23
Figura 2.3. Pieza primitiva, como la rueda	23
Figura 2.4. Pieza básica: Rueda para carreta	24
Figura 2.5. Uso de herramientas, por el hombre primitivo	24
Figura 2.6. Ciclo reactivo del mantenimiento	27
Figura 2.7. Fuentes del mantenimiento preventivo	29
Figura 4.1. Distribución de actividades	54
Figura 4.2. Equipo de trabajo para el cumplimiento del PMO	64
Figura 5.1. Comparativo del MTTR	75
Figura 5.2. Comparativo del MTBF	75
Figura 5.3. Comparativo de la disponibilidad mecánica	76
Figura 5.4. Comparación de DM 2022 y DM 2023	76

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

BCRP = Banco Central de Reserva del Perú.....	11
DM = Disponibilidad mecánica.....	77
ELE01 = Técnico Electricista	50
FMA = Análisis de Modos de Falla.....	29
GC = Grado de Criticidad.....	36
I = Impacto	37
MACDESA = Minera Aurífera Cuatro de Enero	11
MEC01 = Técnico Mecánico	50
MTBF = Tiempo Medio Entre Fallas.....	43
MTTR = Tiempo Medio de Reparación	38
P = Peso	36
PBI = Producto Bruto Interno	11
PM = Mantenimiento Preventivo	29
PMO = Optimización del Mantenimiento Planeado	12
RCA = Análisis de Causa Raíz	33
RCM = Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	33

RESUMEN

El presente proyecto de tesis tiene como objetivo principal determinar en qué medida la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la disponibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A.

Este equipo trabaja con un control mediante horómetro, la disponibilidad de este equipo debe ser la mejor posible, para generar una mayor producción, por ello el área de mantenimiento tiene la obligación de tener el equipo en buenas condiciones en el momento que requiera la operación.

La investigación fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo, nivel explicativo con un diseño pre experimental y estudio longitudinal aplicando el método hipotético deductivo, con una población de un equipo el mismo que fue considerado en la muestra.

Finalmente se obtuvo como resultado la mejora de la disponibilidad en un 11.76%, en paralelo a ello se diagnosticaron en total 8 sistemas, con 17 subsistemas críticos y 163 actividades de inspección y mantenimiento para el equipo.

En conclusión, aplicando la optimización del mantenimiento planeado se logra incrementar la disponibilidad, así mismo incrementar el tiempo medio entre fallas y la reducción de tiempos de reparación del equipo scooptram LH410.

Palabras claves: disponibilidad, optimización del mantenimiento planeado.

ABSTRACT

The objective of this thesis project is to determine what extent the application of the planned maintenance optimization (PMO) increases the availability of a scooptram model LH410 in the company “Minera Aurifera Cuatro de Enero S.A.”

This equipment works with an hour meter control. The availability must be the best possible to generate a greater production. Therefore, the maintenance area is responsible to have the equipment in optimal conditions at the time the operation requires.

The investigation was of an applied type, quantitative approach, explanatory level with a pre-experimental design and longitudinal study applying the hypothetical deductive method, with a population of the same team that was considered in the sample.

Finally, the result was an improvement in availability by 11.76%. In parallel, a total of 8 systems were diagnosed, with 17 critical subsystems and 169 inspection and maintenance activities for the equipment.

To conclude, the application of planned maintenance optimization makes possible the increase availability, as well as increase the mean time between failures and reduce repair times of the scooptram LH410 equipment.

Keywords: planned maintenance optimization (PMO), availability, increase, equipment.

INTRODUCCIÓN

Las compañías mineras de diferentes tipos que operan en el país requieren ser competitivas y eficientes en sus procesos productivos, ya que son uno de los sectores de producción más importantes aportando un gran porcentaje al PBI.

El Banco Central del Reserva de Perú (BCRP) recortó su crecimiento económico para 2023, pasando un 2.2% en la inversión de junio, a un 0.9% en la revisión presentada en el Reporte de Inflación de septiembre. Solo la minería metálica y el sector de hidrocarburos crecerían en este año en el PBI primario del Perú, por el orden del 8.8% y el 2.2%, respectivamente (Osorio, 2023).

La compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. (MACDESA), es una empresa minera enfocada en operaciones subterráneas, siendo su actividad principal la exploración y explotación de yacimientos de oro, así como a la transformación y comercialización de este mismo. Para el proceso de extracción de minerales se utiliza varios tipos de máquinas con diferentes características que serán usadas en labores y frentes de trabajo, una de las máquinas que se utiliza en la limpieza de los frentes de trabajo es el scooptram modelo LH410 de la marca Sandvik, siendo esta máquina fundamental para la producción, por lo que el área de mantenimiento como parte del proceso, tiene la responsabilidad de garantizar su disponibilidad mediante el mantenimiento planeado, dicho plan de mantenimiento presenta deficiencias por lo que se tiene un alto número de paradas por semana, de esta manera nuestra disponibilidad oscila entre 75% y 85 %, tener una disponibilidad menor de 90% significa que se está realizando mayor número de mantenimientos correctivos, aumentando nuestros costos de operación y mantenibilidad, por ende no cumplir con los objetivos trazado por operaciones.

Para esta investigación se ha tomado como referencia las tesis “Propuesta de Optimización del Mantenimiento Planificado en el Área de Chancado Primario en una Empresa Minera de Cobre”, e “Incidencia de la Metodología PMO en el Cumplimiento del Plan de Mantenimiento de Limpieza Industrial del Área de Electrometalurgia de una Refinería de Zinc En Cajamarquilla”

El sistema de optimización de mantenimiento planeado (PMO) es una metodología que se ha desarrollado para revisar en detalle los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos fijos en operación. Un sistema PMO, facilita el diseño de un marco de trabajo racional y rentable, cuando se tienen los registros históricos de mantenimiento preventivo y la planta se mantiene bajo control. A partir de ahí, se logran fácilmente grandes mejoras con una adecuada asignación de los recursos y el personal de mantenimiento puede enfocar sus esfuerzos en los defectos de diseño de la planta, o en sus limitaciones operativas específicas (García, 2023).

Tenemos como objetivo de estudio determinar en qué medida la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la disponibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A., realizando recopilación de tareas, análisis de modo de falla, racionalización y revisión del análisis de modo de falla, análisis funcional, evaluación de consecuencias, definición de la políticas de mantenimiento, agrupación y revisión, aprobación e implementación y programa dinámico.

Para el desarrollo de esta investigación abarcaremos los siguientes capítulos: Capítulo I planteamiento del problema, donde se describirá la realidad problemática; Capítulo II marco teórico, en esta sección mencionaremos estudios similares a este proyecto de investigación, así como también las teorías que van a respaldar el desarrollo de este proyecto; Capítulo III hipótesis y variables, en este apartado definiremos nuestras hipótesis general y específica las cuales serán demostradas en base al marco teórico y de acuerdo a las variables de estudio; Capítulo IV metodología del proyecto, en esta sección analizaremos las teorías, métodos, procedimientos y conocimientos que servirá para fundamentar el tema; Capítulo V resultados, mediante la prueba de normalidad y T-Student se valida nuestra hipótesis; Capítulo VI discusión de resultados, se contrasta los resultados con la hipótesis validada y así mismo se compara con estudios similares.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Desde la revolución industrial hasta la actualidad, la evolución del mantenimiento ha estado vinculada con la historia del progreso técnico y cultural. En sus comienzos, fue algo que se miraba de reojo, pero con el tiempo ha ganado relevancia hasta convertirse en una tarea fundamental para la productividad de cualquier empresa. Hoy en día, el impacto de una adecuada gestión del activo aplicando metodologías y Software de mantenimiento profesionales es vital para competir en cualquier ámbito industrial (Mancuzo, 2020).

Con el pasar de los años el avance tecnológico en nuestro país ha ido creciendo considerablemente, donde la planificación y programación de mantenimiento es más computarizada y sistematizada, donde busca satisfacer y superar las expectativas y necesidades del mantenimiento, involucrando al contexto social y de mercado actual, relacionado con la seguridad, el medio ambiente, la calidad y la economía, teniendo como resultado una alta disponibilidad de los equipos para generar mayor producción.

En la compañía minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. el scooptram modelo LH410 cumple una función fundamental en el proceso de extracción de mineral, ya que es la única máquina en la unidad minera con características y capacidad necesaria para poder realizar las actividades de limpieza de frente, carguío y acarreo en distancias cortas de mineral, además de trabajos puntuales de izaje; la compañía minera en mención, se encuentra en crecimiento y por ende el aumento de la producción; se proyecta aumentar la producción en un 25%, siendo esta de 160 Tn/día a 200 Tn/día, por lo que el área de mantenimiento como parte del proceso, tiene la responsabilidad de garantizar su disponibilidad mediante el mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo realizándose de manera eficiente; sin embargo se ha identificado que la disponibilidad ha disminuido considerablemente debido al aumento de paradas inesperadas, lo que nos lleva a analizar el plan de mantenimiento donde se detecta algunas falencias, por lo que como solución planteamos la aplicación de la optimización

del mantenimiento planeado para incrementar su disponibilidad. Se analizará la causa raíz mediante el diagrama de Ishikawa. (Anexo 2)

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿En qué medida la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la disponibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. - 2022?

1.2.2. Problemas específicos

a) ¿En qué medida la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la confiabilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. - 2022?

b) ¿En qué medida la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la mantenibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. - 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar en qué medida la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la disponibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. - 2022

1.3.2. Objetivos específicos

a) Determinar en qué medida la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la confiabilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. - 2022

b) Determinar en qué medida la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la mantenibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. - 2022

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación Práctica

Existirá una justificación práctica cuando con la investigación se ayudará a resolver un problema. Deberá ser bien planteada para que se justifique su realización. Se debe analizar cuáles serán los beneficios que se derivarán de la investigación (Borja, 2016).

Basado en este concepto se justifica la investigación porque contribuirá de manera práctica la solución de un problema, mediante la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para el incremento de la disponibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A.

1.4.2. Justificación metodológica

La justificación metodológica se da cuando se propone como novedad, la formulación del nuevo método o técnica en la aplicación de la investigación (Espinoza, 2014). Basado en este concepto, se justifica la investigación porque para el desarrollo se va a generar un instrumento, que será llamado ficha de recolección de datos.

1.4.3. Justificación tecnológica

Según Espinoza (2014), se justifica tecnológicamente una investigación cuando se satisface las necesidades sociales. Basado en este concepto nos trae un beneficio a los colaboradores del área de mantenimiento y a la empresa.

1.4.4. Justificación económica

La justificación económica se aduce que una investigación debe justificar si podrá recuperarse el dinero que se invierte durante su proceso (Baena, 2017).

1.5. Delimitantes de la investigación

1.5.1. Teórica

La presente investigación se soporta en la Teoría de la optimización del mantenimiento planeado (PMO).

1.5.2. Temporal

En la presente investigación se recopilaron datos de operación y mantenimiento del equipo a estudiar, del periodo comprendido entre julio del 2022 y junio del 2023, para realizar el estudio y aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para el incremento de la disponibilidad de un scooptram modelo LH410.

1.5.3. Espacial

La presente investigación tendrá un límite espacial, debido a que la unidad de estudio se encuentra ubicado en el Centro Poblado Cuatro Horas, distrito de Cháparra, Provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, a 1600 msnm.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes: Internacional y Nacional

2.1.1. Internacional

Valencia (2023), autor de la tesis “OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CILINDROS DE USO DOMÉSTICOS DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO GLP” para optar el grado de maestro en la Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil – Ecuador 2023.

La metodología tiene enfoque cuantitativo del tipo aplicada con nivel descriptivo y no experimental usando método inductivo.

Presenta como objetivo general Optimizar el Mantenimiento Planeado en la línea de envasado de GLP que permite disminuir el número de fallas, garantizando la disponibilidad de las máquinas, promoviendo la seguridad de los operadores y favoreciendo la productividad.

Se concluyó las estrategias del sistema PMO aplicadas a la línea producción de cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg de GLP, permitió disminuir el 68,70% número de fallas del segundo periodo de análisis de datos en comparación con el primer periodo. Esta disminución de fallas contribuyó al aumento de la productividad en un 5,54%, confirmando la hipótesis general.

El mantenimiento preventivo resuelve el 38% fallas ocultas en la línea de envasado de GLP, permitiendo de esta forma la continuidad de la producción cilindros de uso domésticos e industriales de 15, 16 y 45 Kg.

La Optimización del Mantenimiento Planeado PMO disminuyó el número de fallas de 508 a 159 en los dos periodos de análisis, con esta reducción significativa se obtuvo una mejora la disponibilidad de los equipos,

La simulación del proceso productivo con la herramienta de optimización del mantenimiento planeado PMO permitió establecer un incremento en la producción que podría llegar hasta un 5,54%.

Carreño (2022), autor de la memoria “MEJORAS TÉCNICAS ENFOCADAS AL AUMENTO DE DISPONIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE IMPULSIÓN DE ARENAS DEL TRANQUE EL TORITO, EL SOLDADO” para optar el título de

Ingeniería Civil Mecánica en la Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica.

Presenta como objetivo general evaluar técnica y económicamente la operación de los Sistemas de Bombas Ash y Abel que construyen el muro del Tranque de relaves El Torito, para proponer mejoras técnicas que potencien su funcionamiento, cumpliendo con los estándares de la operación del tranque.

La metodología es tipo tecnológico, con diseño experimental, enfoque cuantitativo y nivel descriptivo.

Se concluyó que las mejoras y técnicas propuestas apuntan a aumentar la disponibilidad del sistema, centrándose en las fallas que más afectan a cada uno.

Para la evaluación económica de las medidas de mejora, se realizó un flujo de caja a 5 años, considerando como beneficio económico el ahorro anual en el costo de operación y mantención de cada sistema.

Oudshoorn y otros (2022), en su artículo de investigación “OPTIMIZATION OF ANNUAL PLANNED RAIL MAINTENANCE”. Presenta como objetivo; El problema de la programación del mantenimiento es un problema biobjetivo en términos de costes, junto con un objetivo derivado de la satisfacción de las restricciones.

Se concluyó que: Este artículo abordó un problema de programación a gran escala en el mundo real de importancia social: la programación del mantenimiento ferroviario a nivel nacional. Propusimos un algoritmo híbrido codicioso-evolutivo que proporciona soluciones robustas de mejor calidad que las programaciones que se utilizan actualmente en la práctica. Nuestro enfoque se demostró con éxito para toda la red ferroviaria de los Países Bajos, una de las redes ferroviarias más transitadas de Europa.

Roncero y Pomblas (2023), en su artículo “MODELO DE CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD OPERACIONAL PARA UNA PLANTA COMPRESORA DE GAS” artículo de investigación para la revista Politécnica.

Presenta como objetivo el desarrollo de un modelo de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad operacional que permitió el cálculo de disponibilidad y estimaciones de confiabilidad de equipos y sistemas pertenecientes a la planta compresora Jusepín 12 de Petróleos de Venezuela (PDVSA) Compresión Gas Maturín, ubicada en el Complejo Jusepín de PDVSA.

La metodología es tecnológico no experimental con enfoque cuantitativo y nivel descriptivo.

Se concluyó que, la disponibilidad promedio pronosticada para la Planta Compresora Jusepín 12 para los siguientes doce (12) meses, empezando desde mayo del 2021, en los escenarios optimista, moderado y pesimista se encontró en 100%. 96,22% y 37,07% respectivamente. Sin embargo, para los meses de mayo y junio, el promedio de disponibilidad real se ubicó en el orden de 95,09% lo que significa que el comportamiento real se ubicó en el pronóstico moderado, en un rango amarillo, que significa que está en funcionamiento, pero puede mejorar. Por otro lado, la confiabilidad total de la planta es de 0%, ya que la misma presenta fallas constantemente, y no cumple el funcionamiento hasta el siguiente paro programado.

Gonzales Blanco (2020), autor del proyecto de grado "ANÁLISIS DE MANTENIBILIDAD BASADA EN LA PRODUCCION DE LA PLANTA LAVADORA DE LA EMPRESA CIPRODYSER S.A EN SAMACÁ BOYACÁ." para optar el título de ingeniero mecánico en la Universidad Santo Tomás Tunja, Tunja - 2020.

La metodología tiene enfoque cuantitativo del tipo aplicada con nivel descriptivo y no experimental.

Presenta como objetivo general Identificar el análisis de mantenibilidad basada en la producción de la planta lavadora de la empresa CIPRODYSER S.A.

Se concluyó que la planta lavadora no tenía definido ningún protocolo de mantenibilidad, que del 80 % de las fallas de los equipos es consecuencia de un 20 % de fallas no resueltas a tiempo siendo una tarea fundamental capacitar de la mejor manera al encargado de la máquina, también se pudo determinar que

alrededor del 55,5% de los equipos poseen un criticidad al muy alta, alrededor del 33,3 % de los equipos posee una criticidad media, y alrededor del 11,2 % restante de los equipos posee una criticidad baja, así mismo se determinó que los repuestos para algunos equipos no son comerciales, lo cual los hace demasiado críticos.

Con la implementación de los protocolos de mantenibilidad se logró incrementar la producción mes a mes, que incremento el número de toneladas lavadas paulatinamente hasta estabilizarse en el mes de octubre, pasando de un promedio diario de 6,3481 toneladas de carbón lavado en el mes de agosto a un promedio diario de 45,3565 toneladas de carbón lavado en el mes de octubre. La estabilización se logró con el seguimiento riguroso de los protocolos, lo que garantiza que los equipos operan en condiciones óptimas.

2.1.2. Nacional

Luque (2021), autor de la tesis "DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS TRACKLESS DE LA EMPRESA CORIMAYO S.A.C. EN LA U.M. PARCOY" para optar el título profesional de ingeniero mecánico en la Universidad Nacional del Callao, facultad de ingeniería mecánica y de energía, escuela profesional de ingeniería mecánica. Lima – Perú 2021.

Presenta como objetivo general diseñar un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos trackless en la empresa CORIMAYO S.A.C. en la U.M. Parcoy.

La metodología es aplicada experimental mediante el método cuantitativo.

Se concluyó que el diseño del plan de mantenimiento en los equipos trackless se hizo de acuerdo a las necesidades de la empresa mejorando la disponibilidad en 3.46% en las 5 semanas de su implementación, cumpliéndose el objetivo general.

Escalante (2016), autora de la tesis "PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANIFICADO EN EL ÁREA DE CHANCADO PRIMARIO EN UNA EMPRESA MINERA DE COBRE" para optar el título profesional de

Ingeniero Industrial en la Universidad Católica de Santa María en la Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Industrial. Arequipa – Perú 2016.

Presenta como objetivo general Mejoramiento de la disponibilidad y reducción de costo de mantenimiento enfocándose en las áreas del mantenimiento preventivo y la eliminación de fallas mediante la optimización del mantenimiento planeado (PMO) en el área de chancado primario de una empresa minera de cobre.

La metodología tiene un enfoque cuantitativo y descriptivo. Cuantitativo porque recoge y analiza datos cuantificables sobre variables y descriptivo la cual mide y recoge información de manera independiente sobre las variables a las que se refieren. El diseño metodológico es experimental porque modifica los parámetros definidos, se investiga, analiza y se explica.

Se concluyó que la implementación del mantenimiento por la metodología del PMO en el área de Chancado Primario, mejoro la disponibilidad en un 0.44% con una reducción de costos del \$125,527.64 y el costo de implementación del plan de mantenimiento propuesto es rentable dado que tiene un indicador del beneficio/ costo del \$1.95, es decir que por cada dólar se tiene un ingreso de \$1.95.

Ayala (2022), autor de la tesis “IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA MAQUINARIA SCOOPTRAM EN LA EMPRESA SILVERS S.A.C., 2022” para optar el título profesional de ingeniero mecánico en la Universidad Nacional del Centro del Perú, facultad de ingeniería mecánica. Huancayo – Perú.

Presenta como objetivo general Implementar un plan de mantenimiento preventivo podrá mejorar la disponibilidad del sistema hidráulico de la maquinaria Scooptram en la empresa Silvers S.A.C., 2022.

La metodología tiene enfoque cuantitativo del tipo aplicada, nivel descriptivo-explicativo, se empleó el diseño pre experimental de carácter longitudinal.

Se concluye que, se comprobó y demostró que el plan de mantenimiento preventivo mejoró la disponibilidad del sistema hidráulico de la maquinaria Scooptram de 89.42% a 92.98%, es decir hubo un aumento significativo del 3.56% en comparación al periodo anterior, en la empresa Silvers S.A.C. Esto fue corroborado con la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon que arrojó un valor de significancia asintótica (p – valor) de 0.028 siendo menor al 0.05. Debido a ello, rechazando la hipótesis nula y aceptando la alternativa.

Maldonado (2019), autor de la tesis “PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA: OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO (PMO) PARA INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD DE LA FLOTA DE CAMIONES 797F DE MINERA CHINALCO PERÚ” para optar el grado de maestro en la Universidad Nacional del Callao, unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, Lima – Perú, 2019.

Presenta como objetivo general Implementar el Plan de mantenimiento basado en la metodología Optimización de Planes de Mantenimiento (PMO) que permite incrementar la confiabilidad de la flota de camiones 797F de Minera Chinalco Perú.

La metodología es aplicada de corte longitudinal mediante el método cuantitativo.

Finalmente, después de la implementación del mantenimiento por la metodología del PMO en la flota 797F, mejoró la confiabilidad de la flota – Tiempo medio entre fallas de 21.35 horas y se incrementó a 34.73 horas.

Concha (2019), autora de la tesis “INCIDENCIA DE LA METODOLOGÍA PMO EN EL CUMPLIMIENTO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LIMPIEZA INDUSTRIAL DEL ÁREA DE ELECTROMETALURGIA DE UNA REFINERÍA DE ZINC EN CAJAMARQUILLA” para optar el grado académico de maestro en gerencia del mantenimiento, en la Universidad Nacional del Callao, unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, Callao – Perú, 2019.

Presenta como objetivo general analizar la Incidencia de la metodología PMO en el cumplimiento del plan de mantenimiento de limpieza industrial del área de electrometalurgia de una refinería de zinc en Cajamarquilla.

La metodología es de tipo cuantitativa, no experimental, Longitudinal de Panel; en el cual al ser analizada se tendrá la certeza de la Hipótesis formulada en este contexto particular.

Al contrastar nuestros resultados, una vez implementado el PMO, se incide en el plan obteniendo una mejora significativa en el porcentaje de cumplimiento del programa, con un cumplimiento del 100% de ordenes programadas, 95% ICPMP, 100% ICPOS y una reducción del 63% del Backlog.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Historia del mantenimiento

En la antigüedad, el hombre para poder alimentarse y protegerse, de una manera u otra, ha realizado prácticas de mantenimiento, como el perfeccionamiento de las herramientas fabricadas: En la figura 1 se aprecian herramientas de la edad de bronce, que requiere hacer mantenimiento correctivo (cambio de componentes) a sus utensilios y herramientas primitivas (cuchillos, lanzas, tijeras, hachas, hoz, navajas, espadas, etc.)

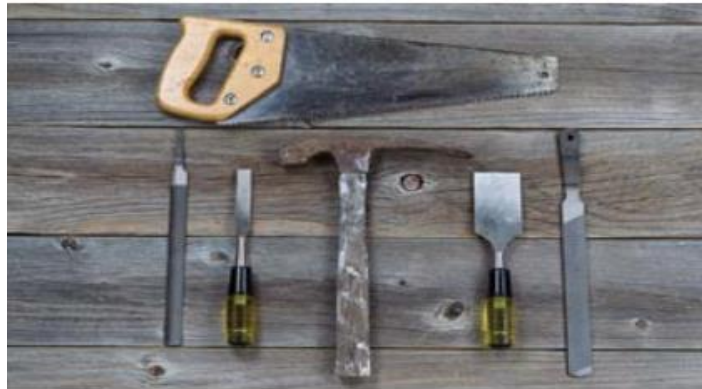
Figura 2.1. Herramientas primitivas



Fuente: www.ingimage.com Image ID: IST_7872_03504.

A medida que el ser humano ha avanzado en sus etapas de producción de bienes y servicios, paralelamente el mantenimiento también ha avanzado, como se aprecia en las figuras 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5.

Figura 2.2. Herramientas Básicas



Fuente: www.ingimage.com Image ID: ISS_4206_03252.

Figura 2.3. Pieza primitiva, como la rueda



Fuente: www.ingimage.com Image ID: ISS_4266_04181.

Figura 2.4. Pieza básica: Rueda para carreta



Fuente: www.ingimage.com Image ID: ISS_4258_00352.

Figura 2.5. Uso de herramientas, por el hombre primitivo



Fuente: www.ingimage.com Image ID: ISS_6993_09459

Pero a partir de la Revolución Industrial, que inicia a mediados del siglo XVIII en el Reino Unido (Gran Bretaña), cuando se genera una gran transformación en la parte social, económica y tecnológica, para extenderse años después al resto de Europa y Norteamérica se pasa de una economía rural (agricultura) y de comercio a una gran economía de carácter urbano, industrializada y mecanizada.

Durante la Revolución Industrial, el mantenimiento que se realizaba en la industria era correctivo (reactivo) o de urgencia, que se ejecutaba únicamente en el momento de ocurrir la falla en la máquina, equipo o componente. Todo esto generó en la industria muchas pérdidas, tanto humanas como económicas, sin tener en cuenta en esta época las pérdidas generadas por la contaminación ambiental. Es así como empiezan a aparecer los primeros talleres mecánicos.

En la década de los años 1920 se hace urgente dar prioridad a organizar el mantenimiento industrial con enfoque de ingeniería, que apoye a las empresas industriales, con el objetivo de disminuir accidentes en el trabajo y aumentar la rentabilidad de las compañías, minimizando los costos por las pérdidas de producción (paradas de las máquinas) (Pérez, 2021).

2.2.2. Mantenimiento

El mantenimiento consiste en el conjunto de actividades a través de las cuales un equipo o sistema se mantiene o restablece en un estado donde puede realizar sus operaciones; el mantenimiento influye en la calidad de los productos y se convierte en una estrategia para ser competitivos (Zambrano, Prieto y Castillo, 2015).

“En el contexto organizacional, se entiende por mantenimiento “la función empresarial que, por medio de sus actividades de control, reparación y revisión, permite garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de las instalaciones” (Zambrano, Prieto y Castillo, 2015).

“Es el conjunto de acciones necesarias para controlar el estado técnico de los elementos que conforman una instalación industrial y restaurarlos a las condiciones proyectadas de operación, buscando la mayor seguridad, eficiencia y calidad posibles” (Beltran, Fuentes y Martinez, 2014).

La mantenibilidad es una característica interesante en aquellos equipos que se reparan cuando fallan, y con tiempos de reparación significativos. El tiempo en que un ítem es puesto nuevamente en funcionamiento, según los estándares de servicio establecidos, es una variable aleatoria. Dicho tiempo depende del nivel de dificultad técnica que tiene el proceso de mantenimiento en llevar adelante el

diagnóstico y de la capacidad en efectuar la reparación. Son muchos los factores que afectan estos tiempos y que, a su vez, se definen en las primeras etapas del ciclo de vida del activo (Pistarelli, 2010).

2.2.3. Tipos de mantenimiento

1. Según la naturaleza de las tareas

Los tipos de mantenimiento se dividen en tres grupos, en función de si las operaciones de soporte se llevan a cabo en el momento de detectar la avería, como parte de un mantenimiento programado, o a partir de los datos de los propios equipos.

- a) Mantenimiento correctivo: Consiste en actuaciones de soporte en el momento en el que se produce un fallo de funcionamiento o una avería en algún equipo. Estas averías o descensos en el rendimiento suelen provocar paradas o retrasos en la producción, y normalmente se requiere de una intervención con cierto carácter de urgencia para solventar la incidencia.
- b) Mantenimiento preventivo: Consiste en trazar un plan de mantenimiento periódico para reducir las probabilidades de que se produzcan averías o descensos del rendimiento de los equipos. Comprende la comprobación de una serie de puntos que el fabricante o el técnico autorizado consideran críticos para garantizar un funcionamiento correcto.
- c) Mantenimiento predictivo: Consiste en la detección temprana de averías o fallos de rendimiento mediante la recopilación de datos procedentes de los equipos. La idea es anticiparse a los fallos y priorizar la atención sobre aquella maquinaria cuyos datos revelen o den a entender posibles errores de funcionamiento o averías.

2.2.4. Importancia del mantenimiento

El mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los activos físicos, obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas y parte de esta responsabilidad radica en el primer nivel de mantenimiento, que son los propios operarios de máquinas.

Decimos que algo falla cuando deja de brindarnos el servicio que debía darnos, o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado y podemos clasificarlas como Fallas Tempranas o Fallas tardías (Sumaria, 2021).

2.2.5. ¿Qué es la optimización del mantenimiento planeado (PMO) y para qué sirve?

El sistema PMO (Optimización del Mantenimiento Planeado), es un método diseñado para revisar los requerimientos actuales de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos en operación. La teoría básica del PMO parte del análisis del Ciclo Reactivo del Mantenimiento que se muestra en la Figura 2.6

Figura 2.6. Ciclo reactivo del mantenimiento



Fuente: <https://www.imcsolucionesintegrales.com/pmo-optimizacion-mantenimiento-planeado/>

Los estudios indican que se debe implementar un proceso que:

- Pueda definir la mezcla apropiada entre mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.
- Pueda generar un programa de mantenimiento en donde las tareas y sus frecuencias sean sólidas y aporten valor agregado.
- Ofrezca diferentes opciones para la minimización o eliminación de fallas.

2.2.6. Pasos de la optimización del mantenimiento planeado (PMO)

El proceso de implementación del PMO consta de nueve pasos. Los cuales se listan a continuación:

Paso 1.- Recopilación de Tareas

Paso 2.- Análisis de Modos de Falla (FMA)

Paso 3.- Racionalización y Revisión del FMA

Paso 4.- Análisis Funcional (Opcional)

Paso 5.- Evaluación de Consecuencias

Paso 6.- Definición de la Política de Mantenimiento

Paso 7.- Agrupación y Revisión

Paso 8.- Aprobación e Implementación

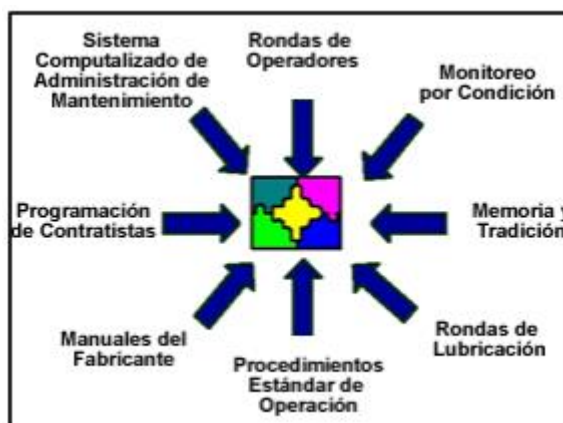
Paso 9.- Programa Dinámico

A continuación, se detalla cada paso

PASO 1 – Recopilación de Tareas

PMO inicia recopilando o documentando el programa de mantenimiento existente (formal o informal) y subiéndolo a una base de datos. Es importante entender que el mantenimiento lo realiza un grupo amplio de personas, incluyendo los operadores. También es muy importante entender que en la mayoría de organizaciones el PM se hace por iniciativa propia de los técnicos o de los operadores y no existe documentación formal; cuando esta situación se presenta simplemente se debe documentar lo que el personal ya ha estado haciendo. Es muy común que las organizaciones de mantenimiento tengan algún tipo de PM, ya sea formal o informal; es raro encontrar organizaciones que no tengan ningún tipo de PM. La Figura 2.7, ilustra las fuentes de PM.

Figura 2.7. Fuentes del mantenimiento preventivo



Fuente: <https://www.imcsolucionesintegrales.com/pmo-optimizacion-mantenimiento-planeado/>

PASO 2 – Análisis de Modos de Falla (FMA)

En el paso 2 se debe involucrar a todo el personal de la planta, se trabajará en equipos multidisciplinarios quienes se encargarán de identificar para qué modos de falla están enfocadas las tareas de mantenimiento. La tabla 2.1 ilustra un ejemplo del resultado del paso 2.

Tabla 2.1. Resultado del paso 2

Tarea	Frecuencia	Responsable	Falla
Tarea 1	Diario	Operador	Falla A
Tarea 2	Diario	Operador	Falla B
Tarea 3	6 meses	Instalador	Falla C
Tarea 4	6 meses	Instalador	Falla A
Tarea 5	Anual	Electricista	Falla B
Tarea 6	Semanal	Operador	Falla C

Fuente: <https://www.imcsolucionesintegrales.com/pmo-optimizacion-mantenimiento-planeado/>

PASO 3 – Racionalización y revisión del análisis de modo de falla (FMA)

Ordenando la información por modos de falla hace más fácil la identificación de duplicación de tareas. La duplicación de tareas se presenta cuando al mismo modo de falla se le aplican varias rutinas de

PM por parte de las diferentes especialidades, por parte de los operadores y por parte de los especialistas de monitoreo.

En este paso el equipo de trabajo revisa los modos de falla resultado del FMA y agrega aquellos modos de falla faltantes. La lista de los modos se elabora con base en el historial de fallas, documentación técnica (usualmente diagramas de tubería e instrumentación (P&IDs)) o simplemente con la experiencia del equipo de trabajo. La tabla 2.2 ilustra el resultado del paso 3. Nótese la adición de la Falla “D”, la cual fue identificada durante el desarrollo de este Paso. La adición de la falla D puede haber sido resultado de la revisión del historial de fallas y/o de la documentación técnica.

Tabla 2.2. Resultado del paso 3

Tarea	Responsable	Falla
Tarea 1	Operador	Falla A
Tarea 4	Instalador	Falla A
Tarea 7	Mecánico	Falla A
Tarea 2	Operador	Falla B
Tarea 5	Electricista	Falla B
Tarea 3	Instalador	Falla C
Tarea 6	Operador	Falla C
		Falla D

Fuente: <https://www.imcsolucionesintegrales.com/pmo-optimizacion-mantenimiento-planeado/>

PASO 4 – Análisis Funcional

La función que se pierde con cada falla se puede determinar en este paso. Este paso es opcional y se justifica en caso de que se deban realizar análisis a equipos bastante críticos o muy complejos, en donde es esencial el entendimiento detallado de todas las funciones del equipo para el aseguramiento de un programa de mantenimiento sólido. Para aquellos equipos poco críticos o sistemas simples, la identificación de las funciones agrega tiempo y costo, más no beneficios tangibles. La tabla 2.3 ilustra el paso 4.

Tabla 2.3. Resultado del paso 4

Tarea	Responsable	Falla	Función
Tarea 1	Operador	Falla A	Función 1
Tarea 4	Instalador	Falla A	
Tarea 7	Mecánico	Falla A	
Tarea 2	Operador	Falla B	Función 1
Tarea 5	Electricista	Falla B	
Tarea 3	Instalador	Falla C	Función 2
Tarea 6	Operador	Falla C	
		Falla D	Función 1

Fuente: <https://www.imcsolucionesintegrales.com/pmo-optimizacion-mantenimiento-planeado/>

PASO 5 – Evaluación de Consecuencias

En este paso cada modo de falla es analizado para determinar si las fallas son ocultas o evidentes. Para aquellas fallas evidentes se realiza un análisis de riesgos y consecuencias operacionales. La tabla 2.4. ilustra el paso 5.

Tabla 2.4. Resultado del paso 5

Tarea	Responsable	Falla	Función	Consecuencia
Tarea 1	Operador	Falla A	Función 1	Operacional
Tarea 4	Instalador	Falla A		
Tarea 7	Mecánico	Falla A		
Tarea 2	Operador	Falla B	Función 1	Operacional
Tarea 5	Electricista	Falla B		
Tarea 3	Instalador	Falla C	Función 2	Oculto
Tarea 6	Operador	Falla C		
		Falla D	Función 1	Operacional

Fuente: <https://www.imcsolucionesintegrales.com/pmo-optimizacion-mantenimiento-planeado/>

PASO 6 – Definición de la Política de Mantenimiento

La filosofía moderna de mantenimiento se basa en la premisa que los programas de mantenimiento exitosos se enfocan más en las consecuencias de las fallas que en los activos en sí. En este paso, cada modo de falla es analizado bajo los principios del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) y se establecen las políticas nuevas o revisadas de mantenimiento haciendo evidente lo siguiente:

- Los elementos del programa actual de mantenimiento que son costos efectivos y los que no lo son, estos últimos deben eliminarse.
- Qué tareas serían más efectivas y menos costosas si fueran basadas en condición, en lugar de llevarlas a falla y viceversa,
- Qué tareas no aportan beneficios y deben ser eliminadas del programa.
- Qué tareas serían más efectivas si se realizaran bajo diferentes rutinas.
- Que fallas se manejarían mejor por medio del uso de tecnología avanzada o simple.
- Qué tipo de información se debe recolectar para predecir mejor el comportamiento del equipo durante su ciclo de vida.
- Que fallas se deben eliminar con la ayuda de un Análisis de Causa Raíz (RCA).

Tabla 2.5. Resultado del paso 6

Falla	Función	Consecuencia	Política	Rutina
Falla A	Función 1	Operacional	Inspección	Diaria
Falla A				
Falla A				
Falla B	Función 1	Operacional	No PM	
Falla B				
Falla C	Función 2	Ocultas	Pruebas	Anual
Falla C				
Falla D	Función 1	Operacional	Inspección	Semanal

Fuente: <https://www.imcsolucionesintegrales.com/pmo-optimizacion-mantenimiento-planeado/>

PASO 7 – Agrupación y Revisión

Una vez el análisis de las tareas haya finalizado, el equipo de trabajo establece el método más eficiente y efectivo para administrar el mantenimiento de los activos teniendo en cuenta limitantes de producción y otros. En este paso es posible que haya transferencia de responsabilidades en la ejecución de las tareas de PM entre los especialistas de mantenimiento y los operadores para lograr eficiencia y ganancias en producción.

PASO 8 – Aprobación e Implementación

En este paso, el resultado del análisis se presenta a la alta dirección para su revisión y comentarios. El equipo de trabajo realiza la presentación usando el reporte automático generado por el software de PMO, dicho software muestra de forma detallada los cambios a implementar y su justificación.

Una vez se ha aprobado el programa, inicia la etapa más importante de PMO, su implementación. La implementación es la etapa que consume más tiempo y en que se pueden presentar más dificultades. Es importante ejercer liderazgo y estar atento a los detalles para hacer de la implementación un éxito. Las dificultades en la implementación se incrementan considerablemente en organizaciones que cuentan con muchos turnos y en aquellas organizaciones conservadoras.

PASO 9 – Programa Dinámico

Durante el desarrollo de los pasos 1 al 9, el proceso de PMO optimisation ha establecido una estructura racional y costo efectivo de PM. En el “Programa Dinámico”, el plan de PM se consolida y se toma control de la planta, cuando se reemplaza el mantenimiento reactivo por uno planeado. De este punto en adelante el mejoramiento puede acelerarse fácilmente y los recursos que se liberan pueden enfocarse a corregir defectos de diseño o limitaciones inherentes a la operación.

Durante este paso, varios de los procesos vitales de la gestión de los activos, pueden afinarse mientras la rata de mejoramiento se acelera.

Estos procesos

son:

- Estrategia de Producción y Mantenimiento
- Medición de Desempeño
- Reportes y Eliminación de Fallas
- Planeación y Programación
- Gestión de Inventarios
- Workshops y Prácticas de Mantenimiento

La intención final de PMO es la de crear una organización que busca continuamente su mejoramiento, para ello hay que crear conciencia que es importante evaluar todas las tareas que se ejecutan y todas las fallas que se presenten. Para lograr las metas es importante contar con personal capacitado en técnicas de análisis e igualmente contar con la motivación al personal por parte de la dirección para crear en el trabajador un sentido de pertenecía, de compromiso y de creatividad para mejorar su trabajo y optimizar costos de producción («Reliabilityweb PMO – Optimización de Mantenimiento Parte 1» [sin fecha])

2.2.7. Scooptram LH410 Sandvik

Los equipos LH (load, haul) (Cargar, transportar), son cargadores frontales de bajo perfil conocidos en la minería subterránea con el nombre de scoop o scooptram que realiza el trabajo de carga y acarreo mediante su cuchara o bucket, trasladando los diferentes tipos de minerales en distancias cortas. ([ver anexo 5](#))

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Optimización del mantenimiento planeado

La optimización del mantenimiento planeado (PMO) es una metodología que arroja resultados más rápido y efectivo que otras metodologías, ya que se enfoca directamente sobre el historial de

mantenimiento del activo, su plan de mantenimiento actual e información técnica (IMC ingeniería, 2023).

2.3.2. Análisis de modo y efecto de falla.

Es una metodología que se utiliza como herramienta clave para optimizar la confiabilidad de procesos y productos.

Un AMEF puede ser descrito como un grupo sistemático de actividades dirigidas a: (a) identificar y evaluar fallas de producto/proceso y efectos de esas fallas, (b) identificar acciones que pudieran eliminar o reducir la probabilidad de ocurrencia de dichas fallas potenciales y (c) documentar los procesos completos. Esto es complementario al proceso de definir lo que un diseño o proceso debe hacer para satisfacer a los clientes. Todos los AMEFs se enfocan al diseño, ya sea del producto o del proceso (Lange, Leggett y Backer, 2001).

2.3.3. Análisis de criticidad.

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual (Huerta, 2000).

1. Guía práctica para estimar criticidades.

El objetivo de esta guía es definir los criterios para establecer niveles criticidad en unidades funcionales como equipos, conjunto de equipos, sistemas o procesos productivos completos. El grado de criticidad (GC) se usa para medir, de forma relativa, el impacto en el negocio que produce la detención por averías.

El primer paso es listar las unidades funcionales que se priorizarán y que formarán parte del proceso. Para cada una, se cuantifican factores según se detalla a continuación. Finalmente, se vuelca a la puntuación en la matriz de criticidad y, la suma de la productora peso (P) por

Impacto (I) de cada factor, resultará en el grado de criticidad. Se definen, como ejemplo, las siguientes tres categorías para el GC.

Clase A: $GC \geq 160$; Clase B: $GC \text{ DE } 100 \text{ A } 159$; Clase C: $GC \leq 99$

a) Seguridad y medio ambiente

Evaluar si al producirse una avería, se generan consecuencias que pueden afectar la integridad física de personas y/o perjudicar al medio ambiente.

- Peso relativo: 10
- Impacto. Si hay riesgo = 10; si no hay riesgo = 0

b) Producción

Determinar si la avería de la unidad funcional provoca una disminución de la capacidad productiva. La unidad funcional se considera individualmente; no asumiendo la existencia de otras unidades redundantes (stand by)

- Peso relativo: 7
- Impacto: ALTO = 10; MEDIO = 5; BAJO = 0

c) Calidad

Analizar el proceso de falla completo y evaluar si puede verse perjudicada la calidad del producto terminado o de un producto intermedio (subproducto).

- Peso relativo: 7
- Impacto: ALTO = 10; MEDIO = 5; BAJO = 0

d) Perdidas / Daños

Ciertas averías provocan daños o perdidas en el sistema que ocasionan gastos extraordinarios, aunque no afecten la producción ni la calidad.

- Peso relativo: 5
- Impacto: ALTO = 10; MEDIO = 5; BAJO = 0

e) Equipos Redundantes (stand-by)

Un equipo redundante (stand-by) es aquel que se encuentra instalado y fuera de servicio, pero presto a funcionar si se ve afectada la unidad funcional protegida. El proceso de conmutación

puede ser automático o bien a través de simples y rápidas maniobras, sin causar perjuicio en la seguridad o capacidad productiva.

- Peso relativo: 4

- Impacto. Si existe = 0; si no existe = 10

f) Régimen de marcha

El concepto de continuidad de relaciona con el ciclo de trabajo de la unidad funcional analizada. Si la misma funciona por un tiempo mayor al 75% de la duración del proceso al cual pertenece, se considerará “continuo”.

- Peso relativo: 3

- Impacto. Si es continuo = 10; si no es continuo = 0

g) Frecuencia de falla

Es preciso estimar la frecuencia de las detenciones (debidas a cualquier avería) de la unidad, durante su régimen de trabajo normal.

- Peso relativo: 3

- Impacto. ALTO = 10 (>6 fallas/año); MEDIO = 5 (>2 fallas/año);
BAJO = 0 (<2 fallas/año)

h) Equipos de reserva

Verificar si las partes más importantes de la unidad funcional (motor, bomba, ventilador, válvulas, etc.) se encuentran disponibles en el almacén de repuestos para ser sustituidas en casa que la unidad funcional quede fuera de servicio; y sin que esto perjudique la capacidad productiva o la calidad de producto.

- Peso relativo: 2

- Impacto: si existe = 0; si no existe = 10

i) Tiempo medio de reparación (MTTR)

Debe estimarse el tiempo aproximado de reparación de la unidad dañada, considerando las fallas más frecuentes que pueda sufrir.

- Peso relativo: 2

- Impacto: 1 (<2 horas); 4 (2-4 horas); 7(4-8 horas); 10 (>8 horas)

(Pistarelli, 2010. p. 681-683).

Tabla 2.6. Análisis de criticidad

MATRIZ DE CRITICIDAD					
FACTOR	PESO	IMPACTO			P X I
1. Seguridad y medio ambiente	10	Si hay riesgo = 10		No hay riesgo = 0	
2. Producción	7	Alto = 10	Medio = 5	Bajo = 0	
3. Calidad	7	Alto = 10	Medio = 5	Bajo = 0	
4. Pérdidas / Daños	5	Alto = 10	Medio = 5	Bajo = 0	
5. Equipo redundante (stand-by)	4	Si existe = 0		No existe = 10	
6. Régimen de marcha	3	Continuo = 10		No Continuo = 0	
7. Frecuencia de fallas	3	Mayor a 6 fallas/año = 10	De 3 a 5 fallas/año = 5	De 2 a 0 fallas/año = 0	
8. Equipo de reserva	2	Si existe = 0		No existe = 10	
9. Tiempo Medio de Reparación (MTTR)	2	< 2 horas = 1	2 a 4 horas = 4	4 a 8 horas = 7	> 8 horas = 10
CRITICIDAD = Sumatoria (Peso x Impacto)					Suma

A = mayor o igual a 160

B = entre 100 a 159

C = menor o igual a 99

Fuente: Tomado de Pistarelli A. (2010, p. 682)

2.3.4. Planificación

En general, planificar es una serie de actividades, acciones o pasos que se deben realizar con el objetivo principal de ejecutar el mantenimiento, de tal manera que minimice las paradas imprevistas, las paradas programadas, aumentando y mejorando la productividad de las plantas industriales.

Con la planificación que es una herramienta muy importante en la dirección empresarial de toda organización, hay que mencionar, además, que se debe aplicar en todos los niveles de jerarquía dentro de la organización. El objetivo de planificar es lograr, alcanzar las metas de la empresa, agilizando su consecución. También se considera como una función propia de toda organización y es de suma relevancia dentro de esta.

La planificación es un instrumento de carácter formal en el que se permite fijar las bases para cuantificar el producto global y también el de cada una de las secciones, áreas o departamentos, y a su vez, ser un motivo para capacitar a todos los colaboradores de la compañía, desde la alta dirección hasta el menor nivel. No es una regla general, pero es bueno tener en cuenta una serie de elementos:

1. Definir muy bien el tiempo de la respectiva planificación.
2. Precisar muy bien qué departamento, área o sección de la organización se irá a planificar.
3. Considerar algunas especificaciones como: la precisión y la exactitud, flexibilidad para moldearse al medio, la lógica respecto a los datos analizados, la facultad y simplicidad de ejecutar, y todos aquellos puntos de vista tanto cuantitativos como cualitativos.
4. Que se involucren todos los niveles directivos.
5. Es importante que, en la alta dirección y en todos los niveles exista compromiso, apoyo, vinculación efectiva y responsabilidad (Pérez, 2021).

2.3.5. Implementación

Una vez elaborada la lista de tareas que compondrán el plan de mantenimiento es conveniente agruparlas, a fin de facilitar su ejecución. La agrupación de tareas, también denominadas Rutas o Gamas de mantenimiento, puede hacerse teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Tareas referidas a la misma área. Agruparemos todas las tareas que se refieren a una misma área. Esto dará lugar a Rutas o Gamas del Área Servicios, Rutas de la Zona A, etc.
- Tareas referidas al mismo equipo. Obtendremos, por ejemplo, las Gamas del Compresor XXYY.
- Tareas que deban ser realizadas por profesionales de la misma especialidad. Tendremos Rutas eléctricas, mecánicas, de instrumentación, de lubricación, de ajuste, de calibración, etc.
- Tareas agrupadas por frecuencias de realización. Esto dará lugar a Rutas diarias, semanales, mensuales, anuales, etc.

Nos referiremos a rutas de mantenimiento cuando se incluyan tareas a realizar en diferentes equipos. Nos referiremos a gamas de mantenimiento cuando se incluyan tan solo tareas referentes a un equipo.

Una vez redactadas las rutas y gamas, y preferiblemente después de ponerlas en marcha y haber realizado diversas correcciones, es necesario redactar procedimientos en los que se explique cómo se llevan a cabo cada una de las tareas. Es conveniente describir claramente a qué elemento se refiere cada tarea, en caso de mediciones como se realiza ésta y cuáles son los rangos aceptables, qué útiles y materiales es necesario preparar, qué precauciones hay que tener en los montajes, cuáles son valores que debemos respetar en los reglajes de elementos, etc. En ocasiones, puede ser conveniente redactar un procedimiento por cada ruta o cada gama; en otras, será más conveniente agruparlas por frecuencias, por especialidades, o por

áreas, y redactar un procedimiento por cada uno de los grupos resultantes. En la práctica, una buena solución consiste en agruparlas por áreas, y redactar un procedimiento por cada área que contenga todas las gamas y rutas referidos a ella (García, 2023).

2.3.6. Disponibilidad

La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado (Mesa, Ortiz y Pinzón, 2006).

Disponibilidad total

Es sin duda el indicador más importante en mantenimiento, y por supuesto, el que más posibilidades de 'manipulación' tiene. Si se calcula correctamente, es muy sencillo: es el cociente de dividir el N.º de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el N.º de horas totales de un periodo:

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ totales - Horas\ paradas\ por\ mantenimiento}{Horas\ totales} \quad (2.1)$$

En plantas que estén dispuestas por líneas de producción en las que la parada de una máquina supone la paralización de toda la línea, es interesante calcular la disponibilidad de cada una de las líneas, y después calcular la media aritmética. En plantas en las que los equipos no estén dispuestos por líneas, es interesante definir una serie de equipos significativos, pues es seguro que calcular la disponibilidad de absolutamente todos los equipos será largo, laborioso y no nos aportará ninguna información valiosa. Del total de equipos de la planta, debemos seleccionar aquellos que tengan alguna entidad o importancia dentro del sistema productivo. Una vez obtenida la disponibilidad de cada uno de los equipos significativos, debe calcularse la media aritmética, para obtener la disponibilidad total de la planta.

$$Disponibilidad\ total = \frac{\sum\ Disponibilidad\ de\ equipos\ significativos}{N^\circ\ de\ equipos\ significativos} \quad (2.2)$$

Disponibilidad por averías

Intervenciones no programadas:

$$Disponibilidad\ por\ avería = \frac{Horas\ totales - horas\ de\ parada\ por\ avería}{Horas\ totales} \quad (2.3)$$

La disponibilidad por avería no tiene en cuenta, pues, las paradas programadas de los equipos.

Igual que en el caso anterior, es conveniente calcular la media aritmética de la disponibilidad por avería, para poder ofrecer un dato único.

MTBF (Mid Time Between Failure, Tiempo medio entre fallas)

Nos permite conocer la frecuencia con la que suceden las averías.

$$MTBF = \frac{N^\circ\ de\ horas\ totales\ del\ periodo\ de\ tiempo\ analizado}{N^\circ\ de\ averías} \quad (2.4)$$

MTTR (Mid Time To Repair, Tiempo medio de reparación)

Nos permite conocer la importancia de las averías que se producen en un equipo considerando el tiempo medio hasta su solución:

$$MTTR = \frac{N^\circ\ de\ horas\ de\ paro\ por\ avería}{N^\circ\ de\ averías} \quad (2.5)$$

Por simple cálculo matemático es sencillo deducir que:

$$Disponibilidad\ por\ avería = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF} \quad (2.6)$$

2.3.7. Confiabilidad

Característica de un equipo, instalación o línea de fabricación que se mide por el tiempo promedio en que puede operar entre fallas consecutivas (MTBF) (Prando, 1996).

2.3.8. Mantenibilidad

Es el tiempo promedio requerido para reparar la falla ocurrida (MTTR). Está influenciada por el diseño del equipo y el modo en que se encuentre instalado (Prando, 1996).

2.4. Definición de términos básicos

Zona

Se entiende por un conjunto de labores.

Labor

Lugar donde se encuentran los frentes de trabajos que son accesos excavados para la explotación de yacimientos.

Frente

Lugar de perforación para ser dinamitado y extraer el mineral o abrir caminos. (Wikipedia, 2023)

Operaciones

Área que se encarga de la preparación, exploración y explotación de minerales, también encargado de proveer los insumos para el proceso de extracción de mineral (explosivos, brocas para perforación, mallas de sostenimiento y pernos de sostenimiento).

SC-001

Código inicial del scooptram "SC" y la notación "001" es el número de scooptram.

Guardia

Personal del área de mantenimiento que trabaja en un turno determinado y en un sistema 2x1; existen 3 guardias en el área de mantenimiento (día, noche y días libres) los cuales van rotando cada 10 días.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

La aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementará la disponibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – 2022.

3.1.2. Hipótesis específicas

a) La aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementará la confiabilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – 2022.

b) La aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementará la mantenibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – 2022.

3.2. Definición conceptual de variable

El presente proyecto de investigación contará con las siguientes variables:

Variable Independiente X: Optimización del mantenimiento planeado

La optimización del mantenimiento planeado (PMO) es una metodología que arroja resultados más rápido y efectivo que otras metodologías, ya que se enfoca directamente sobre el historial de mantenimiento del activo, su plan de mantenimiento actual e información técnica (IMC ingeniería, 2023).

Variable Dependiente Y: Disponibilidad

La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado (Mesa, Ortiz y Pinzón, 2006).

3.2.1. Operacionalización de variable

Variables	Definición Conceptual	Operacionalización o Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Índice	Métodos y Técnicas
Variable Independiente Optimización del Mantinimiento Planeado	La Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO) es una metodología que arroja resultados más rápido y efectivo que otras metodologías, ya que se enfoca directamente sobre el historial de mantenimiento del activo, su plan de mantenimiento actual e información técnica. (IMC Ingeniería, 2023) .	Para la metodología de optimización de mantenimiento planeado (PMO), se tiene que seguir una serie de pasos, los cuales son: Recopilación de Tareas, Análisis de Modos de Falla (FMA), Racionalización y Revisión del FMA, Análisis Funcional (Opcional), Evaluación de Consecuencias, Definición de la Política de Mantenimiento, Agrupación y Revisión, Aprobación e Implementación, Programa Dinámico (IMC Ingeniería, 2023) .	Diagnóstico	Sistemas principales	Número de sistemas principales	Cuantitativo / Reporte diario
			Análisis de modo y efectos de falla (AMEF)	Análisis de criticidad	índice de criticidad	Cualitativo / Cartillas de mantenimiento
			Planificación	Actividades de mantenimiento	Horas hombre	Cuantitativo / Reporte diario
			Implementación	Cumplimiento de actividades	$\frac{N^{\circ} \text{ de trabajos ejecutados}}{N^{\circ} \text{ de trabajos programados}}$	Cuantitativo / Reporte diario
Variable dependiente Disponibilidad	La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. (MEZA GRAJALES, y otros, 2006)	En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente. (MEZA GRAJALES, y otros, 2006)	Confiabilidad	Tiempo medio entre Fallas (MTBF)	$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas totales del periodo de tiempo analizado}}{N^{\circ} \text{ de averias}}$	Cuantitativo / Check list diario
			Mantenibilidad	Tiempo medio de reparación (MTTR)	$MTTR = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de paro por averia}}{N^{\circ} \text{ de averias}}$	Cuantitativo / Check list diario

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Tipo y diseño de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

Según su tipo o finalidad

Tipo Aplicada: Según Baena, menciona que la investigación aplicada se plantea problemas concretos que requieren soluciones inmediatas e iguales de específicas y tiene como objeto el estudio de un problema destinado a la acción (Baena, 2017).

Por ello la investigación estará orientada a mejorar el plan de mantenimiento ya existente, mediante la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para incrementar la disponibilidad del scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A.

Según su enfoque o naturaleza

Enfoque Cuantitativo: Según Baena, el enfoque cuantitativo construye teorías con base en los hechos estudiados con la finalidad de describir los hechos como son y explica la causa de los fenómenos (Beana, 2017).

En nuestra investigación se realizará la recolección de datos y las cuales serán medibles, analizando los fenómenos presentes en el scooptram y así dar una solución para incrementar su disponibilidad.

Según su nivel o profundidad

Nivel Explicativo: Según Hernández, el alcance explicativo va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Nuestra investigación es de nivel explicativa, y que teniendo en cuenta la definición no solo vamos a observar las variables sino, haremos un estudio de la relación entre ellas para conocer resultados.

4.1.2. Diseño de investigación

Según su diseño o manipulación de variable

Diseño Preexperimental: Diseño de un solo grupo cuyo grado de control es mínimo. Generalmente es útil como un primer acercamiento al problema de investigación en la realidad (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

En nuestra investigación realizaremos pre prueba y post prueba, ya que se recolectará la data antes y después de haber aplicado la optimización del mantenimiento planeado con la cual se observará el incremento deseado de la disponibilidad.

Según el alcance temporal

Estudio Longitudinal: Estudios que recaban datos en diferentes puntos del tiempo, para realizar inferencias acerca de la evolución del problema de investigación o fenómeno, sus causas y sus efectos (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Para nuestra investigación se empleará el estudio longitudinal tipo panel debido a que se tomarán datos y se hará el estudio de los mismos en un tiempo determinado.

4.2. Método de investigación

Hipotético deductivo: Consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos (Bernal, 2010).

Nuestra investigación contemplará el método hipotético deductivo, debido a que se buscará la solución o demostración de la hipótesis a través de datos.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población es un conjunto infinito o finito de sujetos con características similares o comunes entre sí (Arias, 2021).

La población lo constituye el scooptram modelo LH410 y los parámetros que se adjuntarán y almacenarán para realizar dicha investigación.

4.3.2. Muestra

Para nuestro estudio, la muestra representa el scooptram modelo LH410 de la empresa Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. el cual se analizará a ese equipo, ya que no cuenta con un plan de mantenimiento adecuado para mejorar su disponibilidad.

La muestra es una parte de la población, ósea un número de individuos u objetos seleccionados científicamente, cada uno de los cuales es un elemento del universo (Balestrini, 2006).

4.4. Lugar de estudio

La presente investigación se centrará en el Centro Poblado Cuatro Horas distrito de Chaparra provincia de Caravelí departamento de Arequipa, en la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A.

4.5. Técnicas e instrumentos para para recolección de información

4.5.1. Técnicas

Se utilizará la técnica documental conformada por: Registro de fallas del equipo, registro del tiempo de reparación, recopilación de informes (estado de máquina), documentación de cartillas de mantenimiento, reporte de inspección, registro de fallas comunes y/o críticas.

4.5.2. Instrumentos

Los instrumentos que se utilizarán para la recolección de datos son: Fichas técnicas de mantenimiento, reporte diario de equipo, orden de trabajo, lectura de horómetros diarios y por turnos.

4.6. Análisis y procesamiento de datos.

Teniendo en cuenta la teoría del PMO, vamos a desarrollar cada uno de los pasos, los cuales se detallan a continuación:

4.6.1. Recopilación de tareas.

Este paso consistirá en recopilar toda la información relacionada con las actividades de mantenimiento preventivo, teniendo en cuenta los recursos a utilizar para cada una de ellas, lo cual se muestra en la figura 13.

Los recursos serán de acuerdo con la siguiente nomenclatura

MEC01= Técnico Mecánico

ELE01= Técnico Electricista

Sandvik= Mano de obra tercerizada (fabricante)

Tabla 4.1. Plan de mantenimiento antes del PMO

ITEM	SISTEMA	ACTIVIDAD	RECURSO
1	ACCIONAMIENTO	Drenar el agua de los filtros de combustible	MEC01
2	ACCIONAMIENTO	Lavar el radiador	MEC01
3	ACCIONAMIENTO	Comprobar el turbocompresor	MEC01
4	ACCIONAMIENTO	Comprobar el juego de las válvulas	MEC01
5	ACCIONAMIENTO	Sustitución de las correas de la transmisión	MEC01
6	ACCIONAMIENTO	Sustituir el refrigerante y cambiar el filtro de refrigerante.	MEC01
7	ACCIONAMIENTO	Cambie las abrazaderas y las mangueras de goma de aire de carga / admisión.	MEC01
8	CONTRA INCENDIO	Verificar Sistema FS 1000 y/o Sistema Ansul.	SANDVIK
9	DIRECCION	Verificar las presiones en el sistema de pilotaje	MEC01
10	DIRECCION	Verificar las presiones en el sistema de dirección	MEC01
11	DIRECCION	Verificar el funcionamiento de la(s) válvula(s) de control	MEC01
12	DIRECCION	Inspección de los topes del cilindro (inferior y superior)	MEC01
13	DIRECCION	Verificar las presiones en el sistema de dirección	MEC01
14	ELECTRICO	Comprobar las cajas de conexiones	ELE01
15	ELECTRICO	Comprobar los mazos de cables	ELE01
16	ELECTRICO	Comprobar las baterías	ELE01
17	ELECTRICO	Comprobar las cajas de empalmes	ELE01
18	ELECTRICO	Comprobar los mazos de cables	ELE01
19	ELECTRICO	Comprobar las baterías	ELE01
20	ELECTRICO	Verificar el funcionamiento de la alarma de retroceso y claxon	ELE01
21	ELECTRICO	Revisar estado de conectores en electro-válvulas del sistema hidráulico.	ELE01
22	ELECTRICO	Verificar el funcionamiento del arrancador	ELE01
23	ELECTRICO	Verificar el funcionamiento del alternador	ELE01
24	ELECTRICO	Verificar estado de baterías	ELE01
25	ELECTRICO	Comprobar los mazos de cables	ELE01
26	ELECTRICO	Evaluación del estado de los harness de la transmisión.	ELE01
27	ELECTRICO	Evaluación del estado de los harness del tablero de control.	ELE01
28	ESTRUCTURA	Comprobar el funcionamiento de la bomba de liberación de freno	MEC01
29	ESTRUCTURA	Comprobación de la velocidad de calado del motor/convertidor	MEC01
30	ESTRUCTURA	Comprobar las estructuras del bastidor	MEC01
31	ESTRUCTURA	Limpieza de la grasa sobresaliente en los puntos de engrase.	MEC01
32	ESTRUCTURA	Comprobar engrase de eje oscilante.	MEC01

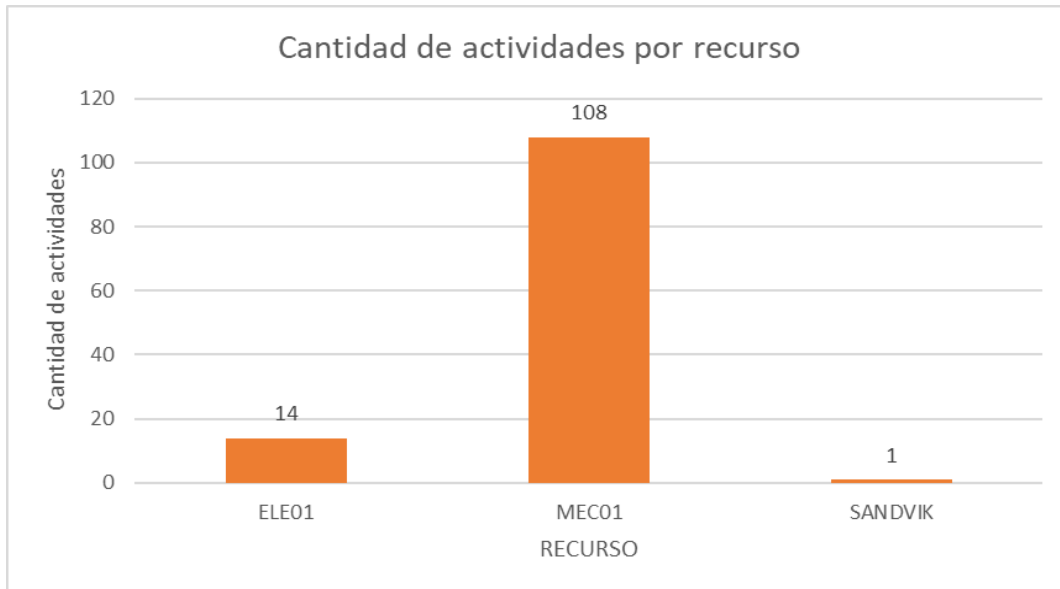
33	ESTRUCTURA	Limpieza de bomba de engrase automático. (si tiene)	MEC01
34	ESTRUCTURA	Lubricación de líneas cardánicas	MEC01
35	ESTRUCTURA	Verificar articulación central visualmente	MEC01
36	ESTRUCTURA	Verificar condición de topes de cuchara y brazo.	MEC01
37	ESTRUCTURA	Verificar condición de topes de dirección.	MEC01
38	ESTRUCTURA	Revisar las condiciones de la cuchara por rajaduras y desgaste de planchas, labio, o sistema GET	MEC01
39	ESTRUCTURA	Verificar la condición de los pines y bocinas de la cuchara	MEC01
40	ESTRUCTURA	Evaluación de condición de articulación central.	MEC01
41	ESTRUCTURA	Evaluación de la condición del eje oscilante.	MEC01
42	ESTRUCTURA	Evaluación de la condición general del equipo:	MEC01
43	FRENO	Verificar las presiones de los frenos: Sin pisar el pedal y sin pisar el pedal	MEC01
44	FRENO	Verificar push button de parqueo	MEC01
45	FRENO	Verificar botones parada de emergencia	MEC01
46	FRENO	Verificación del pedal de freno.	MEC01
47	FRENO	Verificar el funcionamiento del freno de servicio	MEC01
48	FRENO	Verificar la precarga de los acumuladores	MEC01
49	FRENO	Verificar las presiones de los frenos: Sin pisar el pedal y sin pisar el pedal	MEC01
50	FRENO	Verificar el funcionamiento del freno de parqueo	MEC01
51	FRENO	Verificar el funcionamiento del botón parada de emergencia	MEC01
52	GENERAL	Limpieza general	MEC01
53	HIDRAULICO	Lavar transmisión / refrigeradores de aceite hidráulico	MEC01
54	HIDRAULICO	Verificar el nivel de aceite hidráulico	MEC01
55	HIDRAULICO	Verificar si hay fugas de aceite hidráulico	MEC01
56	HIDRAULICO	Verificar la presión del ciclo de carga del acumulador	MEC01
57	HIDRAULICO	Verificar presiones de los sistemas hidráulicos	MEC01
58	HIDRAULICO	Sustituir el filtro de retorno de barrido del freno	MEC01
59	HIDRAULICO	Tomar muestra de aceite hidráulico.	MEC01
60	HIDRAULICO	Cambio de filtros de aceite hidráulicos	MEC01
61	HIDRAULICO	Verificar las presiones del sistema	MEC01
62	HIDRAULICO	Verificar precarga de acumuladores	MEC01
63	HIDRAULICO	Cambio de aceite hidráulico y de freno	MEC01

64	HIDRAULICO	Limpieza de los tanques hidráulicos.	MEC01
65	HIDRAULICO	Limpieza del filtro de succión.	MEC01
66	HIDRAULICO	Verificar el caudal de las bombas (levante, dirección, freno)	MEC01
67	HIDRAULICO	Cambiar aceite hidráulico	MEC01
68	LEVANTE Y VOLTEO	Verificar las presiones de accionamiento del sistema	MEC01
69	LEVANTE Y VOLTEO	Presión de levante	MEC01
70	LEVANTE Y VOLTEO	Presión de cuchareo	MEC01
71	LEVANTE Y VOLTEO	Presión del ejector (si tiene)	MEC01
72	LEVANTE Y VOLTEO	Verificar el funcionamiento de las válvulas de control	MEC01
73	LEVANTE Y VOLTEO	Inspección de los topes del cilindro (inferior y superior)	MEC01
74	LEVANTE Y VOLTEO	Verificar las presiones de accionamiento del sistema	MEC01
75	LUB. Y FILTROS	Filtro Elemento Retorno- Freno	MEC01
76	LUBRICACION	Engrase los cojinetes de apoyo del eje de transmisión	MEC01
77	LUBRICACION	Comprobar el sistema de lubricación central y llenar el depósito del lubricante	MEC01
78	LUBRICACION	Engrasar los extremos estacionarios de los pasadores del brazo / del cucharón	MEC01
79	LUBRICACION	Engrasar los pasadores estacionarios de la palanca de oscilación	MEC01
80	MOTOR	Cambiar aceite de motor.	MEC01
81	MOTOR	Cambiar filtros de aceite de motor.	MEC01
82	MOTOR	Tomar muestras de aceite (análisis de laboratorio)	MEC01
83	MOTOR	Verificar la hermeticidad y reajustar las abrazaderas del sistema de admisión	MEC01
84	MOTOR	Verificar la hermeticidad y reajustar las abrazaderas del sistema de escape	MEC01
85	MOTOR	Verificar estado de faja del ventilador	MEC01
86	MOTOR	Limpieza de enfriadores	MEC01
87	MOTOR	Verificar filtros de admisión del motor, reemplazar inmediatamente si requiere o de acuerdo al indicador de saturación y/o alarma de equipo	MEC01
88	MOTOR	Drenar agua y cambiar el filtro separador de combustible/agua según el indicador	MEC01
89	MOTOR	Cambiar filtro de combustible	MEC01
90	MOTOR	Verificación de estado de soportes de motor	MEC01
91	MOTOR	Verificación nivel de aceite de motor	MEC01
92	MOTOR	Limpieza de enfriadores del equipo	MEC01
93	MOTOR	Verificar el estado de funcionamiento del display lectura de temperatura y presión del motor	MEC01

94	MOTOR	Tomar y registrar las RPM del motor: Máximas y mínimas	MEC01
95	MOTOR	Revisar si hay fugas de aceite y/o combustible del motor	MEC01
96	MOTOR	Verificar conexiones de sensores y harness de motor	MEC01
97	MOTOR	Verificar alternador	MEC01
98	MOTOR	Verificar las baterías	MEC01
99	MOTOR	Verificar visualmente la cubierta del ventilador	MEC01
100	MOTOR	Limpia el tanque de combustible	MEC01
101	MOTOR	Verificar parámetros de stall del motor	MEC01
102	MOTOR	Comprobar visualmente el purificador de gas de escape	MEC01
103	NEUMATICO	Inspección de los neumáticos delanteros y posteriores	MEC01
104	TRANSMISION	Verificar el nivel de aceite en la caja de transmisión	MEC01
105	TRANSMISION	Comprobar las presiones de los neumáticos	MEC01
106	TRANSMISION	Comprobación de los pares de apriete de las tuercas de las ruedas	MEC01
107	TRANSMISION	Cambio de aceite de transmisión.	MEC01
108	TRANSMISION	Verificar pernos de anclaje de la transmisión	MEC01
109	TRANSMISION	Cambio de filtro de transmisión	MEC01
110	TRANSMISION	Muestra de aceite de transmisión	MEC01
111	TRANSMISION	Comprobar el nivel de aceite en los cubos planetarios y los diferenciales	MEC01
112	TRANSMISION	Comprobar visualmente las fijaciones del eje	MEC01
113	TRANSMISION	Comprobar los aprietes del eje de oscilación	MEC01
114	TRANSMISION	Comprobar los aprietes de las tuercas de fijación del eje	MEC01
115	TRANSMISION	Reajuste de los pernos de todas las crucetas.	MEC01
116	TRANSMISION	Tomar y registrar las presiones de la transmisión en forward y reversa	MEC01
117	TRANSMISION	Verificar la bomba de carga	MEC01
118	TRANSMISION	Verificar condición de todos los cardanes y crucetas.	MEC01
119	TRANSMISION	Cambio de aceite de ejes (diferencial y mandos finales)	MEC01
120	TRANSMISION	Ajuste de tuerca de mandos finales (Eje Kessler)	MEC01
121	TRANSMISION	Ajustar los cojinetes de la rueda	MEC01
122	TRANSMISION	Comprobar la presión de los neumáticos	MEC01
123	TRANSMISION	Comprobar los pares de apriete de las tuercas de las ruedas	MEC01

De acuerdo con el listado de actividades del plan de mantenimiento del scooptram LH410, se puede obtener la distribución de recursos, donde la mayor parte es desarrollada por los mecánicos.

Figura 4.1. Distribución de actividades



4.6.2. Análisis de modos de falla (FMA).

En este paso la finalidad es determinar para cada tarea que falla intenta prevenir o detectar. Para ello nos vamos a centrar en las fallas críticas de cada sistema.

Tabla 4.2. Identificación de modo de falla

SISTEMA	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	RECURSO	FALLA	MODO DE FALLA
TRANSMISIÓN	COMPROBAR LOS NEUMÁTICOS, LAS LLANTAS Y LAS TUERCAS DE LAS RUEDAS	DIARIO	OP-01	BAJA PRESIÓN DE NEUMÁTICOS	CORTES, TERRENO BRUSCO, CONDICIONES DE TRABAJO
TRANSMISIÓN	INSPECCIÓN DE LOS NEUMÁTICOS DELANTEROS Y POSTERIORES	DIARIO	MEC-01	NEUMÁTICOS CON DIFERENTES PRESIONES	CORTES, TERRENO BRUSCO, CONDICIONES DE TRABAJO
DIRECCIÓN	VERIFICAR LAS PRESIONES EN EL SISTEMA DE PILOTAJE	500H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO
	VERIFICAR LAS PRESIONES EN EL SISTEMA DE DIRECCIÓN	500H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO
	COMPROBACIÓN DE LOS FAROS	DIARIO	OP-01	FARO DEFECTUOSO	FALLO DE FUSIBLE O RELÉ A CAUSA DE CONTACTO CON EL AGUA
	VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DEL ALTERNADOR	500H	ELE-01	VOLTAJE IRREGULAR	FAJA DESAJUSTADA
ELÉCTRICO	VERIFICAR ESTADO DE BATERÍA/CAMBIAR SI ES NECESARIO	4000H	ELE-01	BATERÍA DESCARGADA	SULFATACIÓN DE PLACAS
ELÉCTRICO	CAMBIE LA BATERÍA CHECKFIRE (OPCIÓN)	4000H	ELE-01	BATERÍA DESCARGADA	SULFATACIÓN DE PLACAS
ESTRUCTURA	REVISAR LAS CONDICIONES DE LA CUCHARA POR RAJADURAS Y DESGASTE DE PLANCHAS, LABIO, O SISTEMA GET	500H	MEC-01	RAJADURA DEL SISTEMA GET	ROCA DURA
HIDRÁULICO	VERIFICAR PRESIONES DE LOS SISTEMAS HIDRÁULICOS	250H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO
	COMPROBAR LA PRESIÓN DE LA BOMBA DEL FRENO	1000H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	MANGUERAS DE LÍNEA DE FRENO DAÑADAS
	COMPRUEBE LA PRESIÓN DE LA BOMBA DE DIRECCIÓN	1000H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	ACOPLAMIENTO DE MANGUERAS RESECOS, SOBREPRESIÓN EN LA OPERACIÓN, FUGAS DE ACEITE
LEVANTE Y VOLTEO	PRESIÓN DE LEVANTE	500H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	FUGA DE ACEITE POR MANGUERAS HIDRÁULICAS
	PRESIÓN DE CUCHAREO	500H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	BOMBA DE INYECCIÓN DESCALIBRADA
MOTOR	COMPROBAR EL NIVEL DE REFRIGERANTE DEL MOTOR	DIARIO	OP-01	FUGA DE REFRIGERANTE	DESGASTE DE LA JUNTA DE CULATA
	LIMPIEZA DE RADIADOR	50H	MEC-01	OBSTRUCCIÓN DE SUS ALETAS METÁLICAS	NO SE LAVA EN SUS MANENIMIENTOS PREVENTIVOS
	LAVAR EL RADIADOR	50H	MEC-01	OBSTRUCCIÓN DE SUS ALETAS METÁLICAS	NO SE LAVA EN SUS MANENIMIENTOS PREVENTIVOS
	VERIFICAR ESTADO DE FAJA DEL VENTILADOR	125H	MEC-01	ROTURA DE LA FAJA	DESGASTE EN LOS RODAMIENTOS
	CAMBIO DE BOMBA DE AGUA	4000H	MEC-01	FUGA DE REFRIGERANTE	FAJA DETERIORADA

4.6.3. Racionalización y revisión del FMA.

La finalidad de este paso es identificar la duplicidad de tareas o actividades de mantenimiento que sean para el mismo modo de falla.

En la tabla 4.3, se identificó la duplicidad de tareas en los sistemas de transmisión, eléctrico y motor, donde las actividades son las mismas o tiene el mismo fin u objetivo para las fallas críticas.

Tabla 4.3. Racionalización y revisión del FMA

SISTEMA	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	RECURSO	FALLA	MODO DE FALLA
TRANSMISIÓN	COMPROBAR LOS NEUMÁTICOS, LAS LLANTAS Y LAS TUERCAS DE LAS RUEDAS	DIARIO	OP-01	BAJA PRESIÓN DE NEUMÁTICOS	CORTES, TERRENO BRUSCO, CONDICIONES DE TRABAJO
TRANSMISIÓN	INSPECCIÓN DE LOS NEUMÁTICOS DELANTEROS Y POSTERIORES	DIARIO	MEC-01	NEUMÁTICOS CON DIFERENTES PRESIONES	CORTES, TERRENO BRUSCO, CONDICIONES DE TRABAJO
DIRECCIÓN	VERIFICAR LAS PRESIONES EN EL SISTEMA DE PILOTAJE	500H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO
	VERIFICAR LAS PRESIONES EN EL SISTEMA DE DIRECCIÓN	500H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO
	COMPROBACIÓN DE LOS FAROS	DIARIO	OP-01	FARO DEFECTUOSO	FALLO DE FUSIBLE O RELÉ A CAUSA DE CONTACTO CON EL AGUA
	VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DEL ALTERNADOR	500H	ELE-01	VOLTAJE IRREGULAR	FAJA DESAJUSTADA
ELÉCTRICO	VERIFICAR ESTADO DE BATERÍA/CAMBIAR SI ES NECESARIO	4000H	ELE-01	BATERÍA DESCARGADA	SULFATACIÓN DE PLACAS
ELÉCTRICO	CAMBIE LA BATERÍA CHECKFIRE (OPCIÓN)	4000H	ELE-01	BATERÍA DESCARGADA	SULFATACIÓN DE PLACAS
ESTRUCTURA	REVISAR LAS CONDICIONES DE LA CUCHARA POR RAJADURAS Y DESGASTE DE PLANCHAS, LABIO, O SISTEMA GET	500H	MEC-01	RAJADURA DEL SISTEMA GET	ROCA DURA
HIDRÁULICO	VERIFICAR PRESIONES DE LOS SISTEMAS HIDRÁULICOS	250H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO
	COMPROBAR LA PRESIÓN DE LA BOMBA DEL FRENO	1000H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	MANGUERAS DE LÍNEA DE FRENO DAÑADAS
	COMPRUEBE LA PRESIÓN DE LA BOMBA DE DIRECCIÓN	1000H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	ACOPLAMIENTO DE MANGUERAS RESECOS, SOBREPRESIÓN EN LA OPERACIÓN, FUGAS DE ACEITE
LEVANTE Y VOLTEO	PRESIÓN DE LEVANTE	500H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	FUGA DE ACEITE POR MANGUERAS HIDRÁULICAS
	PRESIÓN DE CUCHAREO	500H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	BOMBA DE INYECCIÓN DESCALIBRADA
MOTOR	COMPROBAR EL NIVEL DE REFRIGERANTE DEL MOTOR	DIARIO	OP-01	FUGA DE REFRIGERANTE	DESGASTE DE LA JUNTA DE CULATA
	LIMPIEZA DE RADIADOR	50H	MEC-01	OBSTRUCCIÓN DE SUS ALETAS METÁLICAS	NO SE LAVA EN SUS MANENIMIENTOS PREVENTIVOS
	LAVAR EL RADIADOR	50H	MEC-01	OBSTRUCCIÓN DE SUS ALETAS METÁLICAS	NO SE LAVA EN SUS MANENIMIENTOS PREVENTIVOS
	VERIFICAR ESTADO DE FAJA DEL VENTILADOR	125H	MEC-01	ROTURA DE LA FAJA	DESGASTE EN LOS RODAMIENTOS
	CAMBIO DE BOMBA DE AGUA	4000H	MEC-01	FUGA DE REFRIGERANTE	FAJA DETERIORADA

4.6.4. Análisis funcional

En este paso, se tiene como objetivo, determinar las funciones para cada falla.

En la tabla 4.4 se muestra el desarrollo de este paso.

Tabla 4.4. Análisis funcional

SISTEMA	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	RECURSO	FALLA	MODO DE FALLA	FUNCION
TRANSMISIÓN	COMPROBAR LOS NEUMÁTICOS, LAS LLANTAS Y LAS TUERCAS DE LAS RUEDAS	DIARIO	OP-01	BAJA PRESIÓN DE NEUMÁTICOS	CORTES, TERRENO BRUSCO, CONDICIONES DE TRABAJO	SOPORTAR EL PESO DEL EQUIPO Y SU CARGA
DIRECCIÓN	VERIFICAR LAS PRESIONES EN EL SISTEMA DE PILOTAJE	500H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO	BRINDAR PRESIÓN PARA EL ACCIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES
	VERIFICAR LAS PRESIONES EN EL SISTEMA DE DIRECCIÓN	500H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO	BRINDAR MAYOR PRECISIÓN PARA LA DIRECCIÓN DE DESPLAZAMIENTO
	COMPROBACIÓN DE LOS FAROS	DIARIO	OP-01	FARO DEFECTUOSO	FALLO DE FUSIBLE O RELÉ A CAUSA DE CONTACTO CON EL AGUA	VISIBILIDAD DE OPERACIÓN EN LOS FRENTE DE TRABAJO
	VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DEL ALTERNADOR	500H	ELE-01	VOLTAJE IRREGULAR	FAJA DESAJUSTADA	CARGAR LA BATERÍA
ELÉCTRICO	VERIFICAR ESTADO DE BATERÍA/CAMBIAR SI ES NECESARIO	4000H	ELE-01	BATERÍA DESCARGADA	SULFATACIÓN DE PLACAS	PONER EN MARCHA EL MOTOR Y DAR FUNCIÓN A COMPONENTES ELÉCTRICOS
ESTRUCTURA	REVISAR LAS CONDICIONES DE LA CUCHARA POR RAJADURAS Y DESGASTE DE PLANCHAS, LABIO, O SISTEMA GET	500H	MEC-01	RAJADURA DEL SISTEMA GET	ROCA DURA	PENETRAR EN LOS MATERIALES PREVIAMENTE REMOVIDOS
HIDRÁULICO	VERIFICAR PRESIONES DE LOS SISTEMAS HIDRÁULICOS	250H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO	PRECISIÓN EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS PISTONES Y CILINDROS DE ACCIONAMIENTO PARA LEVANTE Y VOLTEO
	COMPROBAR LA PRESIÓN DE LA BOMBA DEL FRENO	1000H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	MANGUERAS DE LÍNEA DE FRENO DAÑADAS	CONVIERTE FUERZA MECÁNICA EN PRESION HIDRÁULICA
	COMPRUEBE LA PRESIÓN DE LA BOMBA DE DIRECCIÓN	1000H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	ACOPLAMIENTO DE MANGUERAS RESECO, SOBREPRESIÓN EN LA OPERACIÓN, FUGAS DE ACEITE	IMPULSAR EL ACEITE DESDE EL DEPÓSITO AL DISTRIBUIDOR DE LA DIRECCIÓN A TRAVÉS DEL CIRCUITO HIDRÁULICO.
LEVANTE Y VOLTEO	PRESIÓN DE LEVANTE	500H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	FUGA DE ACEITE POR MANGUERAS HIDRÁULICAS	PRESIÓN NECESARIA PARA LEVANTAR LA CARGA
	PRESIÓN DE CUCHARA	500H	MEC-01	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	BOMBA DE INYECCIÓN DESCALIBRADA	PRESIÓN NECESARIA PARA JUNTAR Y VACIAR LA CARGA
MOTOR	COMPROBAR EL NIVEL DE REFRIGERANTE DEL MOTOR	DIARIO	OP-01	FUGA DE REFRIGERANTE	DESGASTE DE LA JUNTA DE CULATA	MANTENER LA TEMPERAURA DE TRABAJO DEL MOTOR 82°C
	LAVAR EL RADIADOR	50H	MEC-01	OBSTRUCCIÓN DE SUS ALETAS METÁLICAS	NO SE LAVA EN SUS MANENIMIENTOS PREVENTIVOS	BAJAR LA TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE CALIENTE PROVENIENTE DEL MOTOR Y DEVOLVERLO ENFRIADO.
	VERIFICAR ESTADO DE FAJA DEL VENTILADOR	125H	MEC-01	ROTURA DE LA FAJA	DESGASTE EN LOS RODAMIENTOS	CONECTA LA POLEA DEL CIGÜEÑAL Y EL ALTERNADOR AL VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO DEL MOTOR. SE ENCARGA DE HACER QUE EL LÍQUIDO REFRIGERANTE DEL MOTOR CIRCULE POR TODO SU INTERIOR, ASÍ COMO POR LOS CONDUCTOS DE REFRIGERACIÓN DEL MISMO.
	CAMBIO DE BOMBA DE AGUA	4000H	MEC-01	FUGA DE REFRIGERANTE	FAJA DETERIORADA	

4.6.5. Evaluación de consecuencias.

En este paso cada modo de falla es analizado para determinar las consecuencias o efectos que tiene para la operación.

En la tabla 4.5 se muestra el desarrollo este paso.

Tabla 4.5. Evaluación de consecuencias

SISTEMA	ACTIVIDAD	FALLA	MODO DE FALLA	FUNCION	CONSECUENCIA
TRANSMISIÓN	COMPROBAR LOS NEUMÁTICOS, LAS LLANTAS Y LAS TUERCAS DE LAS RUEDAS	BAJA PRESIÓN DE NEUMÁTICOS	CORTES, TERRENO BRUSCO, CONDICIONES DE TRABAJO	SOPORTAR EL PESO DEL EQUIPO Y SU CARGA	CONSTANTES PARADAS, SE ALTERA LA ESTABILIDAD
DIRECCIÓN	VERIFICAR LAS PRESIONES EN EL SISTEMA DE PILOTAJE	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO	BRINDAR PRESIÓN PARA EL ACCIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES	RESPUESTA LENTA PARA EL ACCIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES
	VERIFICAR LAS PRESIONES EN EL SISTEMA DE DIRECCIÓN	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO	BRINDAR MAYOR PRECISIÓN PARA LA DIRECCIÓN DE DESPLAZAMIENTO	DIIFICULTAD PARA REALIZAR MANIOBRAS DE DESPLAZAMIENTO
	COMPROBACIÓN DE LOS FAROS	FARO DEFECTUOSO	FALLO DE FUSIBLE O RELÉ A CAUSA DE CONTACTO CON EL AGUA	VISIBILIDAD DE OPERACIÓN EN LOS FRENTE DE TRABAJO	POCA VISIBILIDAD EN LOS FRENTE DE TRABAJO
	VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DEL ALTERNADOR	VOLTAJE IRREGULAR	FAJA DESAJUSTADA	CARGAR LA BATERÍA	DEFICIENCIA DE CARGA DE BATERÍA
ELÉCTRICO	VERIFICAR ESTADO DE BATERÍA/CAMBIAR SI ES NECESARIO	BATERÍA DESCARGADA	SULFATACIÓN DE PLACAS	PONER EN MARCHA EL MOTOR Y DAR FUNCIÓN A COMPONENTES ELÉCTRICOS	IMPIDE PONER EN MARCHA EL MOTOR Y SISTEMAS ELÉCTRICOS
ESTRUCTURA	REVISAR LAS CONDICIONES DE LA CUCHARA POR RAJADURAS Y DESGASTE DE PLANCHAS, LABIO, O SISTEMA GET	RAJADURA DEL SISTEMA GET	ROCA DURA	PENETRAR EN LOS MATERIALES PREVIAMENTE REMOVIDOS	DEFICIENCIA DE UNIFORMIDAD EN LA PENETRACIÓN Y MAYOR ESFUERZO DEL EQUIPO
HIDRÁULICO	VERIFICAR PRESIONES DE LOS SISTEMAS HIDRÁULICOS	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO	PRECISIÓN EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS PISTONES Y CILINDROS DE ACCIONAMIENTO PARA LEVANTE Y VOLTEO	AFECTA EN LOS TIEMPOS DE CARGUÍO
	COMPROBAR LA PRESIÓN DE LA BOMBA DEL FRENO	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	MANGUERAS DE LÍNEA DE FRENO DAÑADAS	CONVIERTE FUERZA MECÁNICA EN PRESION HIDRÁULICA	DEFICIENCIA DE FRENADO
	COMPRUEBE LA PRESIÓN DE LA BOMBA DE DIRECCIÓN	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	ACOPLAMIENTO DE MANGUERAS RESECOS, SOBREPRESIÓN EN LA OPERACIÓN, FUGAS DE ACEITE	IMPULSAR EL ACEITE DESDE EL DEPÓSITO AL DISTRIBUIDOR DE LA DIRECCIÓN A TRAVÉS DEL CIRCUITO HIDRÁULICO.	LA DIRECCIÓN SE BLOQUEA DEJANDO ATRAPADO AL OPERADOR EN LA CABINA
LEVANTE Y VOLTEO	PRESIÓN DE LEVANTE	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	FUGA DE ACEITE POR MANGUERAS HIDRÁULICAS	PRESIÓN NECESARIA PARA LEVANTAR LA CARGA	PÉRDIDA DE FUERZA
	PRESIÓN DE CUCHARAO	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	BOMBA DE INYECCIÓN DESCALIBRADA	PRESIÓN NECESARIA PARA JUNTAR Y VACIAR LA CARGA	PÉRDIA DE FUERZA Y SOBRESFUERZO DE LA BOMBA
MOTOR	COMPROBAR EL NIVEL DE REFRIGERANTE DEL MOTOR	FUGA DE REFRIGERANTE	DESGASTE DE LA JUNTA DE CULATA	MANTENER LA TEMPERAURA DE TRABAJO DEL MOTOR 82°C	SOBRECALENTAMIENTO DE MOTOR
	LAVAR EL RADIADOR	OBSTRUCCIÓN DE SUS ALETAS METÁLICAS	NO SE LAVA EN SUS MANENIMIENTOS PREVENTIVOS	BAJAR LA TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE CALIENTE PROVENIENTE DEL MOTOR Y DEVOLVERLO ENFRIADO.	RECALENTAMIENTO DE MOTOR
	VERIFICAR ESTADO DE FAJA DEL VENTILADOR	ROTURA DE LA FAJA	DESGASTE EN LOS RODAMIENTOS	CONECTA LA POLEA DEL CIGÜEÑAL Y EL ALTERNADOR AL VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO DEL MOTOR.	DEJA DE FUNCIONAR EL VENTILADOR, POR ENDE NO HAY ENFRIAMIENTO
	CAMBIO DE BOMBA DE AGUA	FUGA DE REFRIGERANTE	FAJA DETERIORADA	SE ENCARGA DE HACER QUE EL LÍQUIDO REFRIGERANTE DEL MOTOR CIRCULE POR TODO SU INTERIOR, ASÍ COMO POR LOS CONDUCTOS DE REFRIGERACIÓN DEL MISMO.	RUIDO DE RECHINAMIENTO Y FUGA DE LÍQUIDO REFRIGERANTE

4.6.6. Definición de la política de mantenimiento

En este paso vamos a definir las políticas y frecuencias de mantenimiento con el recurso asignado.

En la tabla 4.6 se muestra el desarrollo este paso.

Tabla 4.6. Definición de la política de mantenimiento

SISTEMA	ACTIVIDAD	FALLA	MODO DE FALLA	FUNCION	CONSECUENCIA	POLÍTICA	FRECUENCIA	RECURSO
TRANSMISIÓN	COMPROBAR LOS NEUMÁTICOS, LAS LLANTAS Y LAS TUERCAS DE LAS RUEDAS	BAJA PRESIÓN DE NEUMÁTICOS	CORTES, TERRENO BRUSCO, CONDICIONES DE TRABAJO	SOPORTAR EL PESO DEL EQUIPO Y SU CARGA	CONSTANTES PARADAS, SE ALTERA LA ESTABILIDAD	MEDICIÓN	DIARIO	OP-01
DIRECCIÓN	VERIFICAR LAS PRESIONES EN EL SISTEMA DE PILOTAJE	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO	BRINDAR PRESIÓN PARA EL ACCIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES	RESPUESTA LENTA PARA EL ACCIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES	REGULACIÓN	500H	MEC-01
	VERIFICAR LAS PRESIONES EN EL SISTEMA DE DIRECCIÓN	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO	BRINDAR MAYOR PRECISIÓN PARA LA DIRECCIÓN DE DESPLAZAMIENTO	DIIFICULTAD PARA REALIZAR MANIOBRAS DE DESPLAZAMIENTO	REGULACIÓN	500H	MEC-01
	COMPROBACIÓN DE LOS FAROS	FARO DEFECTUOSO	FALLO DE FUSIBLE O RELÉ A CAUSA DE CONTACTO CON EL AGUA	VISIBILIDAD DE OPERACIÓN EN LOS FRENTES DE TRABAJO	POCA VISIBILIDAD EN LOS FRENTES DE TRABAJO	INSPECCIÓN	DIARIO	OP-01
ELÉCTRICO	VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DEL ALTERNADOR	VOLTAJE IRREGULAR	FAJA DESAJUSTADA	CARGAR LA BATERÍA	DEFICIENCIA DE CARGA DE BATERÍA	MEDICIÓN DE Amp y V	500H	ELE-01
	VERIFICAR ESTADO DE BATERÍA/CAMBIAR SI ES NECESARIO	BATERÍA DESCARGADA	SULFATACIÓN DE PLACAS	PONER EN MARCHA EL MOTOR Y DAR FUNCIÓN A COMPONENTES ELÉCTRICOS	IMPIDE PONER EN MARCHA EL MOTOR Y SISTEMAS ELÉCTRICOS	SUSTITUCIÓN	4000H	ELE-01
ESTRUCTURA	REVISAR LAS CONDICIONES DE LA CUCHARA POR RAJADURAS Y DESGASTE DE PLANCHAS, LABIO, O SISTEMA GET	RAJADURA DEL SISTEMA GET	ROCA DURA	PENETRAR EN LOS MATERIALES PREVIAMENTE REMOVIDOS	DEFICIENCIA DE UNIFORMIDAD EN LA PENETRACIÓN Y MAYOR ESFUERZO DEL EQUIPO	INSPECCIÓN	500H	MEC-01
HIDRÁULICO	VERIFICAR PRESIONES DE LOS SISTEMAS HIDRÁULICOS	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO	PRECISIÓN EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS PISTONES Y CILINDROS DE ACCIONAMIENTO PARA LEVANTE Y VOLTEO	APECTA EN LOS TIEMPOS DE CARGUÍO	COMPROBAR	250H	MEC-01
	COMPROBAR LA PRESIÓN DE LA BOMBA DEL FRENO	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	MANGUERAS DE LÍNEA DE FRENO DAÑADAS	CONVIERTE FUERZA MECÁNICA EN PRESION HIDRÁULICA	DEFICIENCIA DE FRENADO	COMPROBAR	1000H	MEC-01
	COMPRUEBE LA PRESIÓN DE LA BOMBA DE DIRECCIÓN	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	ACOPLAMIENTO DE MANGUERAS RESECOS, SOBREPRESIÓN EN LA OPERACIÓN, FUGAS DE ACEITE	IMPULSAR EL ACEITE DESDE EL DEPÓSITO AL DISTRIBUIDOR DE LA DIRECCIÓN A TRAVÉS DEL CIRCUITO HIDRÁULICO.	LA DIRECCIÓN SE BLOQUEA DEJANDO ATRAPADO AL OPERADOR EN LA CABINA	COMPROBAR	1000H	MEC-01
LEVANTE Y VOLTEO	PRESIÓN DE LEVANTE	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	FUGA DE ACEITE POR MANGUERAS HIDRÁULICAS	PRESIÓN NECESARIA PARA LEVANTAR LA CARGA	PÉRDIDA DE FUERZA	COMPROBAR	500H	MEC-01
	PRESIÓN DE CUCHARAO	DESCALIBRACIÓN DE PRESIONES	BOMBA DE INYECCIÓN DESCALIBRADA	PRESIÓN NECESARIA PARA JUNTAR Y VACIAR LA CARGA	PÉRDIA DE FUERZA Y SOBRESFUERZO DE LA BOMBA	COMPROBAR	500H	MEC-01
MOTOR	COMPROBAR EL NIVEL DE REFRIGERANTE DEL MOTOR	FUGA DE REFRIGERANTE	DESGASTE DE LA JUNTA DE CULATA	MANTENER LA TEMPERAURA DE TRABAJO DEL MOTOR 82°C	SOBRECALENTAMIENTO DE MOTOR	INSPECCIÓN	DIARIO	OP-01
	LAVAR EL RADIADOR	OBSTRUCCIÓN DE SUS ALETAS METÁLICAS	NO SE LAVA EN SUS MANENIMIENTOS PREVENTIVOS	BAJAR LA TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE CALIENTE PROVENIENTE DEL MOTOR Y DEVOLVERLO ENFRIADO.	RECALENTAMIENTO DE MOTOR	LIMPIEZA	50H	MEC-01
	VERIFICAR ESTADO DE FAJA DEL VENTILADOR	ROTURA DE LA FAJA	DESGASTE EN LOS RODAMIENTOS	CONECTA LA POLEA DEL CIGÜEÑAL Y EL ALTERNADOR AL VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO DEL MOTOR.	DEJA DE FUNCIONAR EL VENTILADOR, POR ENDE NO HAY ENFRIAMIENTO	INSPECCIÓN	125H	MEC-01
	CAMBIO DE BOMBA DE AGUA	FUGA DE REFRIGERANTE	FAJA DETERIORADA	SE ENCARGA DE HACER QUE EL LÍQUIDO REFRIGERANTE DEL MOTOR CIRCULE POR TODO SU INTERIOR, ASÍ COMO POR LOS CONDUCTOS DE REFRIGERACIÓN DEL MISMO.	RUIDO DE RECHINAMIENTO Y FUGA DE LÍQUIDO REFRIGERANTE	SUSTITUCIÓN	4000H	MEC-01

4.6.7. Agrupación y revisión.

Se trabaja con el personal que está involucrado de manera directa en la realización de las actividades de mantenimiento, y se establecen las tareas y responsables en función a la información analizada. Las actividades y cumplimiento de los planes de mantenimiento son validadas por la gerencia. El equipo de trabajo establecido se muestra en la figura 20.

Figura 4.2. Equipo de trabajo para el cumplimiento del PMO



4.6.8. Aprobación e implementación.

Una vez validado el plan de mantenimiento por la gerencia, se procede a la implementación, dando a conocer a todo el equipo de trabajo y personal involucrado, sobre las nuevas disposiciones.

Se realiza un formato de reportes de operación, inspección y cartillas de mantenimiento para mejor control de las actividades.

4.6.9. Programa dinámico.

Una vez implementado el plan, se pone en marcha y se va realizando el seguimiento con una herramienta que nos permita verificar el cumplimiento de los indicadores, así mismo registrar las ocurrencias diarias.

En la tabla 4.8 se muestra la matriz de performance, la cual tendrá el registro de datos de todas las ocurrencias.

Tabla 4.7. Matriz de performance scooptram LH410

 MINERA AURÍFERA CUATRO DE ENERO S.A.																				
PERFORMANCE SCOOPTRAM LH410																				
FECHA	HR INICIAL	HR FINAL	HORAS MOTOR	INSPECC	TIPO DE MANTTO	MANTTO PREV (HR)	MANTTO CORREC PROG(HR)	MANTTO CTVO 1 (HR)	MANTTO CTVO 2 (HR)	MANTTO CTVO 3 (HR)	REPARA ACC / OTROS	STAND BY	HORAS TOTAL	% UTIL	N° FALLAS/P ARADAS	MTTR	MTBF	DM	DESCRIPCIÓN	

4.7. Aspectos éticos en la investigación

La elaboración de este proyecto de investigación se realizará con la ética profesional y principios morales respetando y garantizando la protección de su integridad y la confidencialidad de los datos proporcionado por la empresa Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A., así mismo respetando la norma ISO 690 para el manejo de información.

V. RESULTADOS

5.1. Plan de mantenimiento de scooptram LH410 después de PMO

Tabla 5.1. Plan de mantenimiento de scooptram LH410 después de PMO

ITEM	SISTEMA	TAREA	ACTIVIDAD	TIPO DE PM	FRECUENCIA	TIEMPO EMPLEADO (minutos)	RECURSO
1	ESTRUCTURA	INSPECCIÓN	Comprobar el estado de las etiquetas de señalización y notas de seguridad, advertencia y peligro	INSPECCIÓN	DIARIO	3	OP-01
2	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Comprobar que todos los mandos funcionen correctamente	INSPECCIÓN	DIARIO	5	OP-01
3	FRENO	INSPECCIÓN	Compruebe la función del freno del ralentí.	INSPECCIÓN	DIARIO	5	OP-01
4	DIRECCIÓN	INSPECCIÓN	Compruebe el funcionamiento del sistema de dirección de emergencia (opcional).	INSPECCIÓN	DIARIO	5	OP-01
5	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Comprobar el funcionamiento y el estado del interruptor de interbloqueo de la puerta	INSPECCIÓN	DIARIO	2	OP-01
6	ESTRUCTURA	INSPECCIÓN	Comprobar el extintor de incendios portátil	INSPECCIÓN	DIARIO	1	OP-01
7	ESTRUCTURA	INSPECCIÓN	Rellenar el tanque de combustible	INSPECCIÓN	DIARIO	7	OP-01
8	ESTRUCTURA	INSPECCIÓN	Reapriete de los casquillos de cierre de las cuchillas GET (opcional) (tras cada uno de los 3 primeros turnos)	INSPECCIÓN	DIARIO	40	OP-01
9	ESTRUCTURA	INSPECCIÓN	Comprobación visual de la sujeción de las cuchillas GET (opcional) (tras los 3 primeros turnos)	INSPECCIÓN	DIARIO	5	OP-01
10	ESTRUCTURA	LUBRICACIÓN	Comprobación del llenado del sistema automático de lubricación central (opcional)	INSPECCIÓN	DIARIO	5	OP-01
11	ESTRUCTURA	LUBRICACIÓN	Engrasar los pasadores del amortiguador	INSPECCIÓN	DIARIO	2	OP-01
12	ESTRUCTURA	LUBRICACIÓN	Engrase de los pasadores del cilindro de elevación, los del cilindro de inclinación y los del brazo de elevación	INSPECCIÓN	DIARIO	8	OP-01
13	ESTRUCTURA	LUBRICACIÓN	Engrase de los pasadores de la articulación central	INSPECCIÓN	DIARIO	2	OP-01
14	ESTRUCTURA	LUBRICACIÓN	Engrase de los pasadores del cilindro de dirección	INSPECCIÓN	DIARIO	4	OP-01
15	ESTRUCTURA	LUBRICACIÓN	Engrase de los pasadores del cilindro eyector (opcional)	INSPECCIÓN	DIARIO	3	OP-01
16	MOTOR	INSPECCIÓN	Comprobar el equipamiento adicional del motor	INSPECCIÓN	DIARIO	3	OP-01
17	MOTOR	INSPECCIÓN	Comprobar el aceite del motor	INSPECCIÓN	DIARIO	2	OP-01
18	MOTOR	INSPECCIÓN	Comprobar el estado del conjunto del filtro	INSPECCIÓN	DIARIO	2	OP-01
19	MOTOR	INSPECCIÓN	Comprobar la existencia de fugas en las conexiones y conductos de admisión	INSPECCIÓN	DIARIO	3	OP-01
20	MOTOR	INSPECCIÓN	Comprobar el nivel de refrigerante del motor	INSPECCIÓN	DIARIO	2	OP-01
21	TRANSMISIÓN	MEDICIÓN	Comprobar los neumáticos, las llantas y las tuercas de las ruedas	INSPECCIÓN	DIARIO	4	OP-01
22	TRANSMISIÓN	INSPECCIÓN	Comprobar el nivel del aceite de la transmisión	INSPECCIÓN	DIARIO	2	OP-01

23	HIDRÁULICO	INSPECCIÓN	Comprobar el nivel de aceite hidráulico del freno	INSPECCIÓN	DIARIO	1	OP-01
24	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Comprobación de las luces de alarma	INSPECCIÓN	DIARIO	2	OP-01
25	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Comprobar la parada de emergencia y el sistema de parada	INSPECCIÓN	DIARIO	2	OP-01
26	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Comprobación de los faros	INSPECCIÓN	DIARIO	1	OP-01
27	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Comprobar las alarmas del sistema de control	INSPECCIÓN	DIARIO	2	OP-01
28	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Comprobar los manómetros y los indicadores luminosos	INSPECCIÓN	DIARIO	3	OP-01
29	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Comprobación del sistema de control remoto (opcional)	INSPECCIÓN	DIARIO	3	OP-01
30	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Comprobar las cajas de conexiones	PM1	50H	3	ELE-01
31	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Comprobar los mazos de cables	PM1	50H	7	ELE-01
32	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Comprobar las baterías	PM1	50H	5	ELE-01
33	ESTRUCTURA	INSPECCIÓN	Comprobación de la velocidad de calado del motor/convertidor	PM1	50H	3	MEC-01
34	ESTRUCTURA	INSPECCIÓN	Comprobar las estructuras del bastidor	PM1	50H	10	MEC-01
35	ESTRUCTURA	LIMPIEZA	Limpieza general	PM1	50H	20	MEC-01
36	HIDRÁULICO	LIMPIEZA	Lavar transmisión / refrigeradores de aceite hidráulico	PM1	50H	10	MEC-01
37	TRANSMISIÓN	LUBRICACIÓN	Engrase los cojinetes de apoyo del eje de transmisión	PM1	50H	3	MEC-01
38	ESTRUCTURA	LUBRICACIÓN	Comprobar el sistema de lubricación central y llenar el depósito del lubricante	PM1	50H	2	MEC-01
39	ESTRUCTURA	LUBRICACIÓN	Engrasar los extremos estacionarios de los pasadores del brazo / del cucharón	PM1	50H	3	MEC-01
40	ESTRUCTURA	LUBRICACIÓN	Engrasar los pasadores estacionarios de la palanca de oscilación	PM1	50H	3	MEC-01
41	TRANSMISIÓN	INSPECCIÓN	Comprobar la presión de los neumáticos	PM1	50H	3	MEC-01
42	FRENO	VERIFICAR	Comprobar el funcionamiento de la bomba de liberación del freno	PM1	50H	5	MEC-01
43	MOTOR	DRENAR	Drenar el agua de los filtros de combustible	PM1	50H	9	MEC-01
44	MOTOR	LIMPIEZA	Lavar el radiador	PM1	50H	15	MEC-01
45	ESTRUCTURA	LIMPIEZA	Limpieza de la grasa sobresaliente en los puntos de engrase.	PM2	125H	10	MEC-01
46	ESTRUCTURA	INSPECCIÓN	Comprobar engrase y condición de eje oscilante.	PM2	125H	7	MEC-01
47	ESTRUCTURA	LUBRICACIÓN	Lubricación de líneas cardánicas	PM2	125H	5	MEC-01
48	HIDRÁULICO	INSPECCIÓN	Verificar el nivel de aceite hidráulico	PM2	125H	5	MEC-01

49	MOTOR	SUSTITUCIÓN	Cambiar aceite de motor	PM2	125H	20	MEC-01
50	MOTOR	SUSTITUCIÓN	Cambiar filtros de aceite de motor	PM2	125H	30	MEC-01
51	MOTOR	MUESTREO	Tomar muestras de aceite (análisis de laboratorio)	PM2	125H	10	MEC-01
52	MOTOR	AJUSTAR	Verificar la hermeticidad y reajustar las abrazaderas del sistema de admisión	PM2	125H	10	MEC-01
53	MOTOR	AJUSTAR	Verificar la hermeticidad y reajustar las abrazaderas del sistema de escape	PM2	125H	10	MEC-01
54	MOTOR	INSPECCIÓN	Verificar estado de faja del ventilador	PM2	125H	7	MEC-01
55	MOTOR	LIMPIEZA	Limpieza de enfriadores	PM2	125H	10	MEC-01
56	MOTOR	INSPECCIÓN	Verificar filtros de admisión del motor, reemplazar inmediatamente si requiere o de acuerdo al indicador de saturación y/o alarma de equipo	PM2	125H	15	MEC-01
57	MOTOR	DRENAR	Drenar agua y cambiar el filtro separador de combustible/agua según el indicador	PM2	125H	15	MEC-01
58	MOTOR	SUSTITUCIÓN	Cambiar filtro de combustible	PM2	125H	15	MEC-01
59	MOTOR	INSPECCIÓN	Verificación nivel de aceite de motor	PM2	125H	5	MEC-01
60	TRANSMISIÓN	VERIFICAR	Verificar el nivel de aceite en la caja de transmisión	PM2	125H	5	MEC-01
61	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Comprobar las cajas de empalmes	PM3	250H	10	ELE-01
62	ESTRUCTURA	INSPECCIÓN	Verificar condición de topes de cuchara y brazo.	PM3	250H	10	MEC-01
63	ESTRUCTURA	INSPECCIÓN	Verificar condición de topes de dirección.	PM3	250H	15	MEC-01
64	HIDRÁULICO	INSPECCIÓN	Verificar si hay fugas de aceite hidráulico	PM3	250H	10	MEC-01
65	HIDRÁULICO	INSPECCIÓN	Verificar la presión del ciclo de carga del acumulador	PM3	250H	10	MEC-01
66	HIDRÁULICO	COMPROBAR	Verificar presiones de los sistemas hidráulicos	PM3	250H	20	MEC-01
67	HIDRÁULICO	SUSTITUCIÓN	Sustituir el filtro de retorno de barrido del freno	PM3	250H	15	MEC-01
68	MOTOR	INSPECCIÓN	Verificar el estado de funcionamiento del display lectura de temperatura y presión del motor	PM3	250H	10	MEC-01
69	MOTOR	MEDICIÓN	Tomar y registrar las RPM del motor: Máximas y mínimas	PM3	250H	7	MEC-01
70	TRANSMISIÓN	VERIFICAR	Comprobación de los pares de apriete de las tuercas de las ruedas	PM3	250H	10	MEC-01
71	ESTRUCTURA	MEDICIÓN	Comprobar el Sandvik FS1000 fire suppression system (opcional)	PM3	250H	5	MEC-01
72	ESTRUCTURA	LIMPIEZA Y SUSTITUCIÓN	Limpieza del sistema de acondicionamiento de aire y sustitución de los filtros de aire grueso y fino (si existe)	PM3	250H	25	MEC-01
73	ESTRUCTURA	LUBRICACIÓN	Limpiar y lubricar las conexiones de unión del asiento del operario, el freno y el pedal acelerador	PM3	250H	5	MEC-01

74	ESTRUCTURA	LUBRICACIÓN	Lubricar las bisagras de la puerta y de las trampillas	PM3	250H	5	MEC-01
75	MOTOR	SUSTITUCIÓN	Realizar el mantenimiento de los filtros de aire	PM3	250H	15	MEC-01
76	MOTOR	INSPECCIÓN	Comprobar los soportes del motor	PM3	250H	10	MEC-01
77	MOTOR	SUSTITUCIÓN	Cambiar los elementos del filtro de combustible	PM3	250H	25	MEC-01
78	TRANSMISIÓN	VERIFICAR	Comprobación del nivel de aceite en los cubos planetarios y los diferenciales	PM3	250H	30	MEC-01
79	DIRECCIÓN	REGULACIÓN	Verificar las presiones en el sistema de pilotaje	PM4	500H	15	MEC-01
80	DIRECCIÓN	REGULACIÓN	Verificar las presiones en el sistema de dirección	PM4	500H	15	MEC-01
81	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Verificar el funcionamiento de la alarma de retroceso y claxon	PM4	500H	5	ELE-01
82	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Revisar estado de conectores en electro-válvulas del sistema hidráulico.	PM4	500H	7	ELE-01
83	ELÉCTRICO	MEDICIÓN DE Amp y V	Verificar el funcionamiento del arrancador y tomar parámetros	PM3	500H	10	ELE-01
84	ELÉCTRICO	MEDICIÓN DE Amp y V	Verificar el funcionamiento del alternador	PM4	500H	7	ELE-01
85	ESTRUCTURA	INSPECCIÓN	Revisar las condiciones de la cuchara por rajaduras y desgaste de planchas, labio, o sistema GET	PM4	500H	7	MEC-01
86	ESTRUCTURA	INSPECCIÓN	Verificar la condición de los pines y bocinas de la cuchara	PM4	500H	7	MEC-01
87	FRENO	COMPROBAR	Verificar las presiones de los frenos: Sin pisar el pedal y sin pisar el pedal	PM4	500H	10	MEC-01
88	HIDRÁULICO	MUESTREO	Tomar muestra de aceite hidráulico.	PM4	500H	10	MEC-01
89	HIDRÁULICO	SUSTITUCIÓN	Cambio de filtros de aceite hidráulicos	PM4	500H	15	MEC-01
90	LEVANTE Y VOLTEO	COMPROBAR	Verificar las presiones de accionamiento del sistema	PM4	500H	10	MEC-01
91	LEVANTE Y VOLTEO	COMPROBAR	Presión de levante	PM4	500H	7	MEC-01
92	LEVANTE Y VOLTEO	COMPROBAR	Presión de cuchareo	PM4	500H	7	MEC-01
93	MOTOR	INSPECCIÓN	Revisar si hay fugas de aceite y/o combustible del motor	PM4	500H	5	MEC-01
94	MOTOR	INSPECCIÓN	Verificar conexiones de sensores y harness de motor	PM4	500H	7	MEC-01
95	TRANSMISIÓN	SUSTITUCIÓN	Cambio de aceite de transmisión.	PM4	500H	15	MEC-01
96	TRANSMISIÓN	INSPECCIÓN	Verificar pernos de anclaje de la transmisión	PM4	500H	5	MEC-01
97	TRANSMISIÓN	MUESTREO	Muestra de aceite de transmisión	PM4	500H	10	MEC-01
98	TRANSMISIÓN	VERIFICAR	Comprobar los aprietes del eje de oscilación	PM4	500H	20	MEC-01

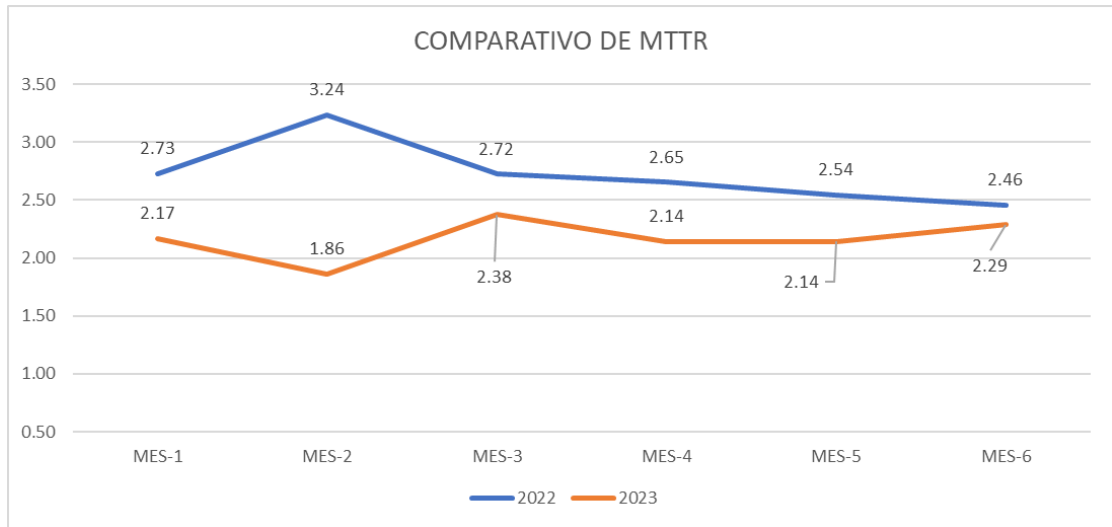
99	TRANSMISIÓN	VERIFICAR	Comprobar los aprietes de las tuercas de fijación del eje	PM4	500H	10	MEC-01
100	TRANSMISIÓN	AJUSTAR	Reajuste de los pernos de todas las crucetas.	PM4	500H	20	MEC-01
101	ESTRUCTURA	DRENAR	Drene el agua del depósito de combustible	PM4	500H	30	MEC-01
102	MOTOR	COMPROBAR	Comprobar las sujeciones del sistema de escape	PM4	500H	15	MEC-01
103	MOTOR	COMPROBAR	Comprobar los conductos de refrigerante	PM4	500H	15	MEC-01
104	MOTOR	COMPROBAR	Comprobación visual de la cubierta del ventilador	PM4	500H	10	MEC-01
105	MOTOR	COMPROBAR	Comprobar las correas de la transmisión, el tensor de correa y las ruedas pivotantes	PM4	500H	20	MEC-01
106	TRANSMISIÓN	SUSTITUCIÓN	Cambiar el filtro de aceite de la transmisión	PM4	500H	15	MEC-01
107	TRANSMISIÓN	VERIFICAR	Comprobación de los pares de apriete de los pernos de la brida del tren motor	PM4	500H	60	MEC-01
108	TRANSMISIÓN	INSPECCIÓN	Comprobar visualmente las fijaciones del eje	PM4	500H	20	MEC-01
109	TRANSMISIÓN	MEDICIÓN	Medición del desgaste de los revestimientos del freno	PM4	500H	30	MEC-01
110	HIDRÁULICO	SUSTITUCIÓN	Cambiar el filtro de aceite de retorno del cucharón y el sistema hidráulico de dirección	PM4	500H	15	MEC-01
111	HIDRÁULICO	SUSTITUCIÓN	Cambiar los elementos del filtro del respiradero para los depósitos hidráulicos	PM4	500H	20	MEC-01
112	HIDRÁULICO	SUSTITUCIÓN	Cambiar el filtro de aceite a alta presión del sistema de freno hidráulico	PM4	500H	20	MEC-01
113	DIRECCIÓN	INSPECCIÓN	Verificar el funcionamiento de la(s) válvula(s) de control	PM5	1000H	10	MEC-01
114	DIRECCIÓN	INSPECCIÓN	Inspección de los topes del cilindro (inferior y superior)	PM5	1000H	10	MEC-01
115	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Evaluación del estado de los Harness de la transmisión.	PM5	1000H	10	ELE-01
116	ELÉCTRICO	INSPECCIÓN	Evaluación del estado de los harness del tablero de control.	PM5	1000H	15	ELE-01
117	ESTRUCTURA	INSPECCIÓN	Evaluación de la condición general del equipo:	PM5	1000H	90	MEC-01
118	FRENO	COMPROBAR	Verificación del pedal de freno.	PM5	1000H	15	MEC-01
119	FRENO	COMPROBAR	Verificar el funcionamiento del freno de servicio	PM5	1000H	10	MEC-01
120	FRENO	COMPROBAR	Verificar la precarga de los acumuladores	PM5	1000H	15	MEC-01
121	FRENO	COMPROBAR	Verificar el funcionamiento del freno de parqueo	PM5	1000H	10	MEC-01
122	FRENO	COMPROBAR	Verificar el funcionamiento de los botones de parada de emergencia	PM5	1000H	10	MEC-01
123	HIDRÁULICO	SUSTITUCIÓN	Cambio de aceite hidráulico y de freno	PM5	1000H	90	MEC-01

124	HIDRÁULICO	LIMPIEZA	Limpieza de los tanques hidráulicos.	PM5	1000H	60	MEC-01
125	HIDRÁULICO	LIMPIEZA	Limpieza del filtro de succión.	PM5	1000H	20	MEC-01
126	HIDRÁULICO	COMPROBAR	Verificar el caudal de las bombas (levante, dirección, freno)	PM5	1000H	30	MEC-01
127	LEVANTE Y VOLTEO	COMPROBAR	Verificar el funcionamiento de las válvulas de control	PM5	1000H	20	MEC-01
128	MOTOR	LIMPIEZA	Limpieza del tanque de combustible	PM5	1000H	60	MEC-01
129	MOTOR	MEDICIÓN	Verificar parámetros de stall del motor	PM5	1000H	25	MEC-01
130	TRANSMISIÓN	MEDICIÓN	Tomar y registrar las presiones de la transmisión en forward y reversa	PM5	1000H	20	MEC-01
131	TRANSMISIÓN	INSPECCIÓN	Verificar la bomba de carga	PM5	1000H	25	MEC-01
132	TRANSMISIÓN	INSPECCIÓN	Verificar condición de todos los cardanes y crucetas.	PM5	1000H	60	MEC-01
133	TRANSMISIÓN	SUSTITUCIÓN	Cambio de aceite de ejes (diferencial y mandos finales)	PM5	1000H	30	MEC-01
134	TRANSMISIÓN	AJUSTAR	Ajuste de tuerca de mandos finales (Eje Kessler)	PM5	1000H	40	MEC-01
135	TRANSMISIÓN	COMPROBAR	Realización de la prueba del sensor de presión de la transmisión	PM5	1000H	20	MEC-01
136	FRENO	COMPROBAR	Comprobación del sensor de presión de carga del freno	PM5	1000H	20	MEC-01
137	MOTOR	INSPECCIÓN	Comprobación visual del purificador de gas de escape	PM5	1000H	5	MEC-01
138	MOTOR	SUSTITUCIÓN	Cambio del filtro de refrigerante	PM5	1000H	5	MEC-01
139	MOTOR	INSPECCIÓN	Revisar el sistema de refrigeración	PM5	1000H	15	MEC-01
140	TRANSMISIÓN	SUSTITUCIÓN	Cambiar el filtro del aceite y el aceite de la transmisión	PM5	1000H	40	MEC-01
141	TRANSMISIÓN	SUSTITUCIÓN	Sustituya el aceite de los cubos planetarios y diferenciales	PM5	1000H	90	MEC-01
142	HIDRÁULICO	VERIFICAR	Comprobar el acumulador de presión del sistema de frenada	PM5	1000H	25	MEC-01
143	HIDRÁULICO	COMPROBAR	Comprobación de la presión hidráulica del sistema piloto	PM5	1000H	25	MEC-01
144	HIDRÁULICO	COMPROBAR	Comprobación de la presión del sistema de la dirección	PM5	1000H	30	MEC-01
145	HIDRÁULICO	COMPROBAR	Comprobación de la presión de la bomba del ventilador refrigerador del motor	PM5	1000H	30	MEC-01
146	HIDRÁULICO	COMPROBAR	Comprobar la presión de la bomba del freno	PM5	1000H	30	MEC-01
147	HIDRÁULICO	COMPROBAR	Comprobar la presión de la bomba del cucharón	PM5	1000H	20	MEC-01
148	HIDRÁULICO	COMPROBAR	Compruebe la presión de la bomba de dirección	PM5	1000H	30	MEC-01

149	HIDRÁULICO	COMPROBAR	Comprobar el acumulador de presión del sistema piloto	PM5	1000H	15	MEC-01
150	HIDRÁULICO	COMPROBAR	Comprobación de los acumuladores de suspensión del brazo (opcional)	PM5	1000H	20	MEC-01
151	HIDRÁULICO	COMPROBAR	Compruebe la presión del eyector (opcional)	PM5	1000H	30	MEC-01
152	HIDRÁULICO	SUSTITUCIÓN	Cambiar aceite hidráulico	PM5	1500H	120	MEC-01
153	MOTOR	COMPROBAR	Comprobar el turbocompresor	PM6	2000H	90	MEC-01
154	MOTOR	COMPROBAR	Comprobar el juego de las válvulas	PM6	2000H	240	MEC-01
155	MOTOR	SUSTITUCIÓN	Sustitución de las correas de la transmisión	PM6	2000H	60	MEC-01
156	TRANSMISIÓN	AJUSTAR	Ajustar los cojinetes de la rueda	PM7	4000H	600	MEC-01
157	MOTOR	SUSTITUCIÓN	Sustituir el refrigerante y cambiar el filtro de refrigerante	PM7	4000H	120	MEC-01
158	MOTOR	SUSTITUCIÓN	Cambie las abrazaderas y las mangueras de goma de aire de carga / admisión	PM7	4000H	90	MEC-01
159	ESTRUCTURA	MANTENIMIENTO	Realizar el mantenimiento del sistema de control de incendios	PM7	4000H	180	MEC-01
160	ELÉCTRICO	SUSTITUCIÓN	Cambie la batería Checkfire (opción)	PM7	4000H	20	ELE-01
161	MOTOR	SUSTITUCIÓN	Calibración de válvulas de admisión	PM7	4000H	240	MEC-01
162	MOTOR	TORQUEADO	Torqueado de pernos de la culata	PM7	4000H	40	MEC-01
163	MOTOR	SUSTITUCIÓN	Cambio de bomba de agua	PM7	4000H	60	MEC-01

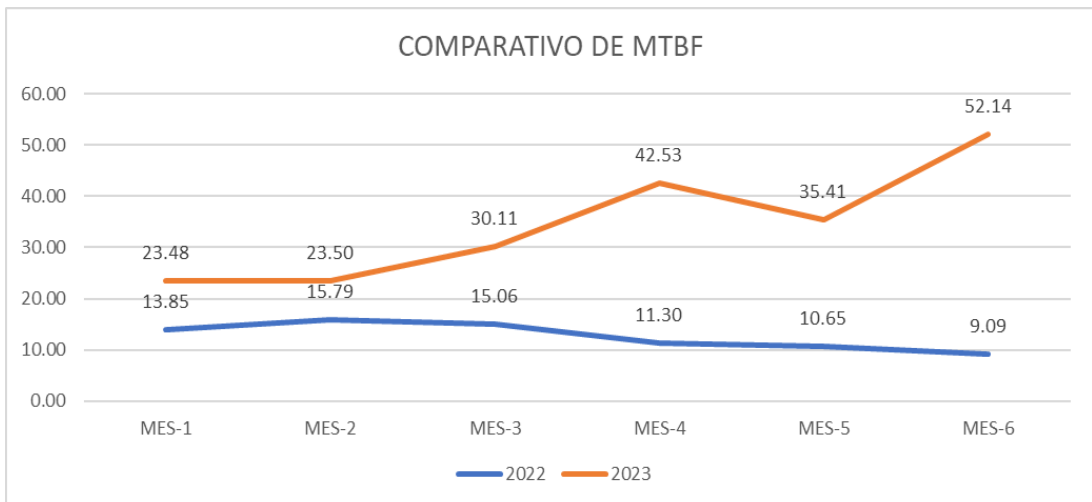
5.2. Resultados descriptivos

Figura 5.1. Comparativo del MTTR



En la figura 5.1 se muestra el MTTR antes (2022) y después (2023) con una diferencia promedio de 0.56h, lo cual representa el incremento de la mantenibilidad del scooptram, luego de la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO).

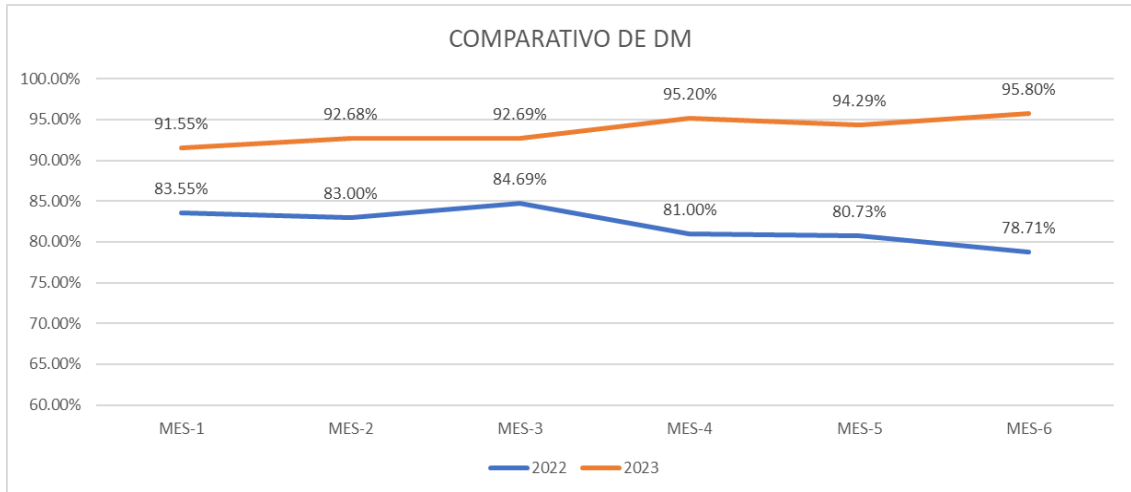
Figura 5.2. Comparativo del MTBF



En la figura 5.2 se muestra el MTBF antes (2022) y después (2023) con una diferencia promedio de 21.91h, lo cual representa el incremento de la

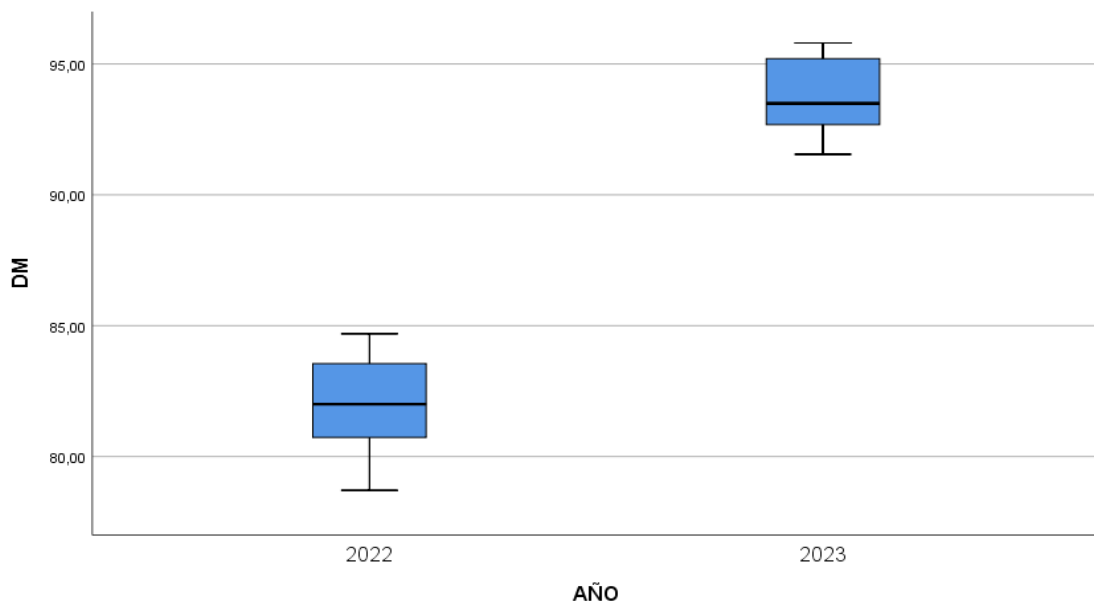
confiabilidad del Scooptram, luego de la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO).

Figura 5.3. Comparativo de la disponibilidad mecánica



En la figura 5.3 se muestra la disponibilidad mecánica (DM) antes (2022) y después (2023) con un incremento promedio de 11.76%. lo cual representa el incremento de la confiabilidad del scooptram, luego de la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO).

Figura 5.4. Comparación de DM 2022 y DM 2023



En la figura 5.4 se observa que la disponibilidad del scooptram LH410 de la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. se ha incrementado con la implementación del Plan de Mantenimiento Basado en el PMO.

5.3. Resultados inferenciales.

Debemos contrastar que los datos obtenidos de la disponibilidad mecánica (DM), confiabilidad (MTBF) y mantenibilidad (MTTR), responden a un comportamiento no paramétrico o paramétrico, por lo tanto, realizamos la prueba de normalidad.

Si $C_p <$, los datos de la serie tienen un comportamiento no paramétrico.

Si $C_p >$, los datos de la serie tienen un comportamiento paramétrico.

Tabla 5.2. Prueba de normalidad

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Tiempo de evaluación	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Disponibilidad mecánica	2022	,184	6	,200 [*]	,963	6	,842
	2023	,230	6	,200 [*]	,937	6	,633
Confiabilidad	2022	,190	6	,200 [*]	,935	6	,623
	2023	,169	6	,200 [*]	,920	6	,509
Mantenibilidad	2022	,324	6	,049	,839	6	,127
	2023	,281	6	,151	,920	6	,509

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

De acuerdo con la figura 5.2 los datos tienen un comportamiento paramétrico:

P-Value 2022 > 0.05 => Comportamiento paramétrico.

P-Value 2023 > 0.05 => Comportamiento paramétrico.

El P-Value es mayor a 0.05, los datos de la disponibilidad mecánica (DM), confiabilidad (MTBF) y mantenibilidad (MTTR), tienen un comportamiento normal, por lo tanto, los datos serán analizados con el T-Student.

Tabla 5.3. Prueba T-Student

Estadísticas de grupo					
	Tiempo de evaluación	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Disponibilidad mecánica	2022	6	81,9467	2,19356	,89552
	2023	6	93,7017	1,65476	,67555
Confiabilidad	2022	6	12,6233	2,66832	1,08934
	2023	6	34,5283	11,29767	4,61225
Mantenibilidad	2022	6	2,7233	,27398	,11185
	2023	6	2,1633	,17671	,07214

U0: Media de disponibilidad mecánica, confiabilidad y mantenibilidad 2022

U1: Media de disponibilidad mecánica, confiabilidad y mantenibilidad 2023

Regla de decisión:

Ho: $U0 > U1$

Hg: $U0 < U1$

Contrastación de la hipótesis general

Hipótesis Nula: Ho = La aplicación de la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO) no incrementará la disponibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – 2022. (RECHAZADA)

Hipótesis alternativa: Hg = La aplicación de la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO) incrementará la disponibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – 2022. (ACEPTADA)

Contrastación de la hipótesis específica 1

Hipótesis Nula: Ho = La aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) no incrementará la confiabilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – 2022. (RECHAZADA).

Hipótesis alternativa: H_g = La aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementará la confiabilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – 2022. (ACEPTADA).

Contrastación de la hipótesis específica 2

Hipótesis Nula: H_o = La aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) no incrementará la mantenibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – 2022. (RECHAZADA).

Hipótesis alternativa: H_g = La aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementará la mantenibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – 2022. (ACEPTADA).

5.4. Otro tipo de resultados.

La aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para incrementar la disponibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía minera aurífera cuatro de enero, como efecto secundario se ha tenido los siguientes resultados:

- Reducción de carga laboral para los técnicos mecánicos y eléctricos, debido a la mejor distribución de actividades y eliminación de actividades redundantes.
- Reducción de costos de mantenimientos preventivos, ya que existe más tareas preventivas para eliminar fallas inesperadas.
- Mayor orden administrativo, organización de files de mantenimiento, ya que se cuenta con un equipo de trabajo con funciones bien distribuidas.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con sus resultados

Los resultados obtenidos del desarrollo de la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO), nos demuestra que:

- Se incrementó la disponibilidad, en los últimos 06 meses del año 2022 fue de 81.94% y los 06 primeros meses del año 2023, se incrementó a 93.70%, teniendo un aumento de 11.76%, lo cual nos demuestra que con la buena aplicación de la metodología podemos brindar una buena disponibilidad y contribuir con la producción.
- Se incrementó la confiabilidad (MTBF), en los últimos 06 meses del año 2022 fue de 12.62h y se incrementó a 34.53h, teniendo un aumento de 21.91h.
- Se incrementó la mantenibilidad, la cual se ve reflejada en el tiempo medio de reparación (MTTR), Tiempo medio de reparación en los últimos 06 meses del año 2022 (MTTR) 2.72h y en los primeros 06 meses del año 2023 se disminuyó a 2.16h.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

- En contraste con las conclusiones de Escalante (2016), en sus tesis titulada "Propuesta de optimización del mantenimiento planificado en el área de chancado primario en una empresa minera de cobre" en esta investigación realizó el desarrollo de los pasos del PMO basados en la análisis de criticidad donde mejoró la disponibilidad en un 0.44% en el área de chancado primario.
- En contraste con las conclusiones de Maldonado (2019), en su tesis titulada "Plan de mantenimiento basado en la metodología: optimización de planes de mantenimiento (PMO) para incrementar la confiabilidad de la flota de camiones 797f de minera Chinalco Perú", donde se realiza el desarrollo de los paso del PMO, donde en la figura 5-1 se muestra el MTBF antes (2017) y después (2018) con una diferencia promedio de 13.37h, lo cual representa el incremento de la confiabilidad de los

camiones 797F luego de la propuesta “Plan de Mantenimiento Basado en el PMO”.

Esto quiere decir que la implementación de la metodología PMO aplicada de forma adecuada y siguiendo todos sus pasos se obtiene mejora en la confiabilidad, mantenibilidad y por ende en la disponibilidad.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes

Pedro Alberto Yoplac Bacalla, con DNI N°71502949, y Jimmy Anderson Sifuentes Velasquez, con DNI N°60126968, autores de este trabajo de investigación, nos comprometemos a cumplir las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía. Así mismo, declaramos bajo juramento que toda documentación, información y datos adjuntos son veraces y auténticos.

VII. CONCLUSIONES

- Al contrastar nuestros resultados, se comprobó y demostró que la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementó la disponibilidad mecánica (DM) del scooptram modelo LH410, de 81.94% a 93.70%, representando un incremento del 11.76%; de esta manera se garantiza el funcionamiento del equipo de acuerdo con la proyección de operaciones mina.
- Se determinó que la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementó la confiabilidad del scooptram modelo LH410, incrementando el tiempo medio entre fallas (MTBF) de 12.62h a 34.53h, con un aumento de 21.91h; concluyendo que aumenta la operatividad del equipo, sin necesidad de realizar mantenimiento correctivo.
- Se determinó que la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementó la mantenibilidad del scooptram modelo LH410, siendo representada por el tiempo medio de reparación (MTTR), el cual se disminuyó de 2.72h (2 horas con 43 minutos) a 2.16h (2 horas con 10 minutos); por lo tanto, podemos concluir que las intervenciones por paradas no programadas se realizan 33 minutos más rápido que antes.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar la optimización del mantenimiento planeado (PMO) a toda la flota de equipos de la compañía Minera Aurífera Cuatro Enero S.A., ya que se obtuvo resultados favorables en la investigación aplicada.
- Se recomienda capacitar constantemente al personal tanto operativo como de mantenimiento, con respecto a las nuevas actualizaciones o procedimientos para la realización de las actividades, así como también en el uso de las nuevas herramientas o tecnologías de análisis de fallas.
- Tener un manejo eficiente y responsable de la información para lo cual se recomienda implementar un ERP accesible a todo el equipo de trabajo, donde se pueda cargar toda la data y poder obtener indicadores de mantenimiento de manera más dinámica.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARIAS, J. 2021. *Diseño y metodología de la investigación* [en línea]. Arequipa: Enfoques consulting EIRL [fecha de consulta: 20 de octubre de 2023]. ISBN 978-612-48444-2-3 Disponible en: Disponible en: https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf.
2. AYALA VERASTEGUI, Cristian Ronald. 2022. *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad del sistema hidráulico de la maquinaria scooptram, en la empresa Silver SAC, 2022*. Tesis [Ingeniero Mecánico]. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
3. BALESTRINI ACUÑA, Mirian. 2006. *Como se elabora el proyecto de investigación*. 7ª. ed. Caracas: Consultores Asociados. ISBN 980-6293-03-7.
4. BAENA PAZ Guillermina. 2017. *Metología de la investigación*. 3ª. ed. Mexico: Patria. 17, 18 pp. ISBN 978-607-744-748-1.
5. BELTRAN FREITE, Mayra Alejandra, FUENTES POLO, Brainer Yesid, MARTINEZ RAMIREZ, Katherin Dayana. 2014. *Definición de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos clasificados como críticos e identificación de las fallas mecánicas de mayor impacto en la planta de producción de Itacol S.A. Barranquilla* Tesis [Ingeniero Industrial]. Barranquilla: Universidad de la Costa.
6. BERNAL TORRES, Cesar Augusto. 2010. *Metodología de la investigación: administración economía, humanidades y ciencias sociales*. 3ª. ed. Colombia: Pearson Educación. ISBN 978-958-699-128-5
7. BORJA, M. 2016. *Metodología de Investigación Científica para ingenieros*. [en línea]. Chiclayo [Fecha de consulta: 27 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil.
8. COLOMBIA. 2023. *PMO – optimizacion mantenimiento planeado. IMC soluciones integrales* [en línea]. [consulta: 27 noviembre 2023]. Disponible

en: <https://www.imcsolucionesintegrales.com/pmo-optimizacion-mantenimiento-planeado/>.

9. CONCHA FLORES, Shirley Inés. 2019. *Incidencia de la metodología PMO en el cumplimiento del plan de mantenimiento de limpieza industrial del área electrometalurgia de una refinería de zinc en Cajamarquilla*. Tesis [Maestro en Gerencia del Mantenimiento]. Lima: Universidad Nacional del Callao.
10. CARREÑO RAMIREZ, Constanza Paz. 2022. *Mejoras técnicas enfocadas al aumento de disponibilidad de los sistemas de impulsión de arenas del tranque el torito, el soldado*. Memoria [Ingeniero Civil Mecánica]. Santiago: Universidad de Chile.
11. ESCALANTE LUNA, Andrea Carolina. 2016. *Propuesta de optimización del mantenimiento planificado en el área de chancado primario en una empresa minera de cobre*. Tesis [Ingeniero Industrial]. Arequipa: Universidad Católica de Santa María.
12. ESPINOZA MONTES, Ciro. 2014. *Metodología de investigación tecnológica*. 2ª. ed. Huancayo: Soluciones Gráficas S.A.C. ISBN 978-612-00-1667-1.
13. GARCÍA, O. 2007. *El Sistema PMO: Optimización Real del Mantenimiento Planeado* [en línea]. En: Conferencia Latinoamericana de Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad Operacional GMC 2007. (Santiago). Conferencia [fecha de consulta: 27 de noviembre de 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/320540199_El_Sistema_PMO_Optimizacion_Real_del_Mantenimiento_Planeado
14. GARCÍA GARRIDO, Santiago. 2003. *Organización y gestión integral de mantenimiento: Manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A. 257-259 pp. ISBN 84-7978-548-9
15. GONZALES BLANCO, Diego Francisco. 2020. *Análisis de mantenibilidad basada en la producción de la planta lavadora de la empresa Ciprodyser*

- S.A. en Samacá Boyacá. Tesis [Ingeniero Mecánico]. Tunja: Universidad Santo Tomás Tunja.
16. HERNÁNDEZ, Roberto., FERNÁNDEZ, Carlos. Y BAPTISTA, María del Pilar. 2014. *Metodología de la investigación*. 6ª. ed. Mexico: MC Graw Hill Education. 141, 159 pp. ISBN 978-1-4562-2396-0.
 17. HUERTA, R. 2000. *El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional*. [en línea]. en: Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica (2ª: Habana). Ponencia [fecha de consulta: 10 de octubre]. Disponible en: <https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/364/704>.
 18. LANGE, K., LEGGET, S. Y BACKER S. 2001. *Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales*. 3ª. ed.
 19. LUQUE HUAMAN, Ronald Giancarlos. 2021. *Diseño de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos trackless de la empresa Corimayo S.A.C en la U.M. Parcoy*. Tesis [Ingeniero Mecánico]. Lima: Universidad Nacional del Callao.
 20. MALDONADO AYMACHOQUE, Noel. 2019. *plan de mantenimiento basado en la metodología: optimización de planes de mantenimiento (PMO) para incrementar la confiabilidad de la flota de camiones 797f de minera Chinalco Perú*. tesis [Maestro]. Lima: Universidad Nacional del Callao.
 21. MANCUZO, G. 2020. *Evolución del Mantenimiento: Historia y Actualidad*. Blog - ComparaSoftware [en línea]. [consulta: 27 noviembre 2023]. Disponible en: <https://blog.comparasoftware.com/evolucion-del-mantenimiento/>.
 22. MESA, Darío. H., ORTIZ, Yesid Y Pinzón, Manuel. 2006. *La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento*. Mayo, 155-160. ISSN: 0122-1701.
 23. OSORIO, S. 2023. *Drástico recorte en proyección de crecimiento del PBI de Perú para 2023*. Bloomberg Línea [en línea]. [consulta: 22 noviembre 2023]. Disponible en:

<https://www.bloomberglinea.com/latinoamerica/peru/drastico-recorte-en-proyeccion-de-crecimiento-del-pbi-de-peru-para-2023/>.

24. OUDSHOORN, M., KOPPENBERG, T. y YORKE-SMITH, N. 2022. *Optimization of annual planned rail maintenance. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* [en línea]. vol. 37, no. 6, [consulta: 27 noviembre 2023]. ISSN 1467-8667. DOI 10.1111/mice.12764. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/mice.12764>.
25. PÉREZ RONDÓN, Félix. 2021. *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial*. 1ª. ed. Bucaramanga: Ediciones USTA. ISBN 978-958-8477-92-3.
26. PISTARELLI, Alejandro Jorge. 2010. *Manual de mantenimiento: Ingeniería gestión y organización*. 1ª. ed. Buenos Aires: El autor. 681-683 pp. ISBN 978-987-05-8420-9.
27. PRANDO, R. 1996. *Manual gestión de mantenimiento a la medida*. [en línea]. Guatemala: Piedra Santa [fecha de consulta: 30 de noviembre de 2023]. ISBN 84-8377-399-6 Disponible en: https://mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20antenimiento_archivos/libros%20scienc.oas.org/all_manten.pdf.
28. RELIABILITYWEB. *PMO – Optimización de Mantenimiento*. [en línea]. [consulta: 5 diciembre 2023]. Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/pmo-optimizacion-de-mantenimiento>.
29. RONCEROS, C. y POMBLAS, R. 2023. *Modelo de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad Operacional para una Planta Compresora de Gas*. Revista Politécnica [en línea]. vol. 51, no. 1, [consulta: 27 noviembre 2023]. ISSN 2477-8990. DOI 10.33333/rp.vol51n1.10. Disponible en: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/1384.
30. SUMARIA, A. 2021. *Mantenimiento y su importancia*. [en línea]. Febrero [consulta: 27 noviembre 2023]. Disponible en:

<https://www.mantenimientoelectrico.com/mantenimiento/mantenimiento-y-su-importancia-n1137>.

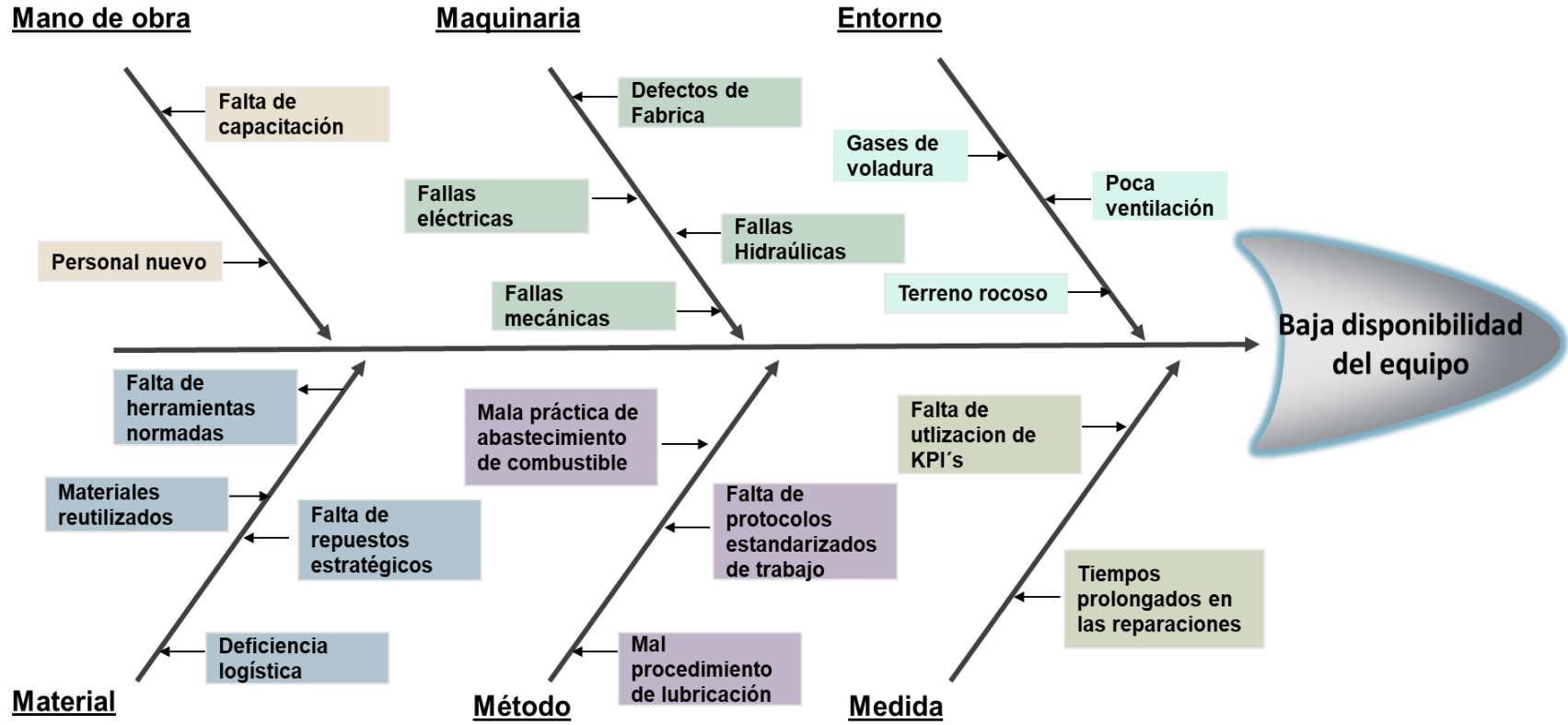
31. VALENCIA VALENCIA, Nivares David. 2023. *Optimización del mantenimiento planeado en una línea de producción de cilindros de uso domésticos de gas licuado de petróleo GLP*. Tesis [Maestro]. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
32. WIKIPEDIA. Labor (minería). [consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Labor_\(miner%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Labor_(miner%C3%ADa)).
33. ZAMBRANO E., PRIETO A., y CASTILLO R. 2015. *Indicadores de gestión de mantenimiento en las instituciones públicas de educación superior del municipio Cabimas*. Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales [en línea]. vol. 17, no. 3, [consulta: 27 noviembre 2023]. ISSN 2343-5763, 1317-0570. DOI 10.36390/telos173.08. Disponible en: <http://ojs.urbe.edu/index.php/telos/article/view/2266>.

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

APLICACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO (PMO) PARA EL INCREMENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE UN SCOOPTRAM MODELO LH410 EN LA COMPAÑÍA MINERA AURÍFERA CUATRO DE ENERO S.A.				
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Metodología
¿En qué medida la aplicación de la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO) Incrementa la disponibilidad de un Scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A.?	Determinar en qué medida la aplicación de la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO) Incrementa la disponibilidad de un Scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A.	La aplicación de la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO) Incrementará disponibilidad de un Scooptram modelo LH410 en la compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A	<p>Optimización del mantenimiento planeado</p> <p>Dimensiones Diagnóstico Análisis de modo de falla (FAM) Planificación Implementación</p>	<p>Tipo: Aplicada Enfoque: Cuantitativo Nivel: Explicativo Diseño: Pre experimental Alcance: Longitudinal Método: Hipotético deductivo Población: Scooptram LH410 Muestra: Scooptram LH410 Técnica de recolección: Análisis documental Instrumento: Check list</p>
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables	
¿En qué medida la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la confiabilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía minera Aurífera Cuatro de Enero S.A?	Determinar en qué medida la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la confiabilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía minera Aurífera Cuatro de Enero S.A	La aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementará la confiabilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía minera Aurífera Cuatro de Enero S.A	<p>Disponibilidad</p> <p>Dimensiones Confiabilidad Mantenibilidad</p>	
¿En qué medida la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la mantenibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía minera Aurífera Cuatro de Enero S.A?	Determinar en qué medida la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la mantenibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía minera Aurífera Cuatro de Enero S.A	la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementará la mantenibilidad de un scooptram modelo LH410 en la compañía minera Aurífera Cuatro de Enero S.A		

ANEXO 2. DIAGRAMA DE ISHIKAWA




ANEXO 3. FORMATO DE CARTILLA DE MANTENIMIENTO

 <p>MACDESA Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A.</p>	MINERA AURÍFERA CUATRO DE ENERO S.A.		Código	XXXX										
			Versión	XXXX										
			Fecha	XXXX										
Cartilla de Inspeccion Diaria/Mantenimiento - Scooptram LH410														
Cod. Interno	SC-001	TURNO: <input type="checkbox"/> DIA <input type="checkbox"/> NOCHE	HOR. INICIO:											
Nombre Operador:		FECHA: / /	HOR. FINAL:											
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 25%; border: none;">R: REPARADO</td> <td style="width: 25%; border: none;">S: SE HIZO MANTENIMIENTO</td> <td style="width: 25%; border: none;">C: CAMBIADO</td> <td style="width: 25%; border: none;">A: AJUSTADO</td> <td style="width: 25%; border: none;">B: BUENO</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">FR: FALTA REP</td> <td style="border: none;">FS: FALTA MANTENIMIENTO</td> <td style="border: none;">FC: FALTA CAMBIAR</td> <td style="border: none;">FA: FALTA AJUSTAR</td> <td style="border: none;">NT: NO LLEVA</td> </tr> </table>					R: REPARADO	S: SE HIZO MANTENIMIENTO	C: CAMBIADO	A: AJUSTADO	B: BUENO	FR: FALTA REP	FS: FALTA MANTENIMIENTO	FC: FALTA CAMBIAR	FA: FALTA AJUSTAR	NT: NO LLEVA
R: REPARADO	S: SE HIZO MANTENIMIENTO	C: CAMBIADO	A: AJUSTADO	B: BUENO										
FR: FALTA REP	FS: FALTA MANTENIMIENTO	FC: FALTA CAMBIAR	FA: FALTA AJUSTAR	NT: NO LLEVA										
GENERAL														
TEM	PROCEDIMIENTO	B	R	M	OBSERVACIONES									
1	Detallar las actividades a realizar de acuerdo al tipo de mantenimiento y componente													
2														
3														
4														
5														
<p>.....</p> <p>Nombre y Firma del operador y/o mecánico</p>		<p>.....</p> <p>Nombre y Firma Jefe y/o Supervisor de Mantenimiento</p>												

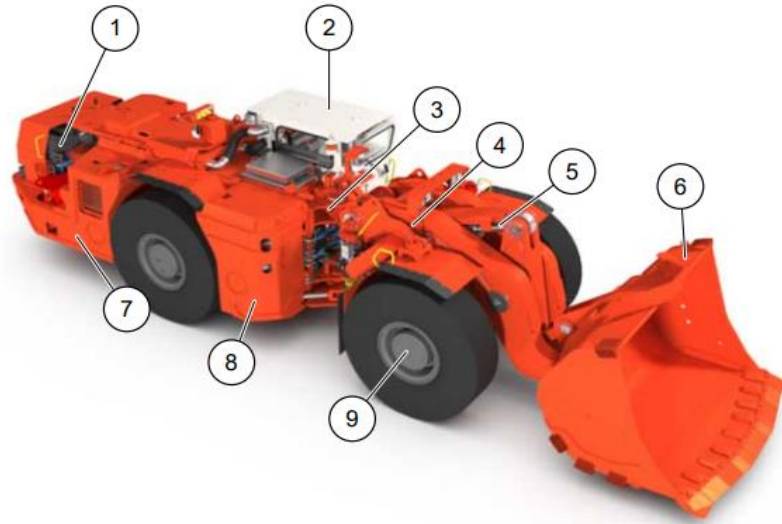
ANEXO 4. PROPUESTA DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se plantea trabajar con esta planilla para el ingreso de datos, tales como horómetros de operación, eventos de falla, registro de mantenimientos.

 MINERA AURÍFERA CUATRO DE ENERO S.A.																				
PERFORMANCE SCOOPTRAM LH410																				
FECHA	HR INICIAL	HR FINAL	HORAS MOTOR	INSPECC	TIPO DE MANTTO	MANTTO PREV (HR)	MANTTO CORREC PROG(HR)	MANTTO CTVO 1 (HR)	MANTTO CTVO 2 (HR)	MANTTO CTVO 3 (HR)	REPARA ACC / OTROS	STAND BY	HORAS TOTAL	% UTIL	N° FALLAS/P ARADAS	MTTR	MTBF	DM	DESCRIPCIÓN	

ANEXO 5. INFORMACIÓN BÁSICA DEL SCOOPTRAM LH410

Ubicaciones de los componentes principales



1 Unidad de accionamiento

3 Bisagra intermedia

5 Brazo

7 Chasis trasero

9 Neumáticos

2 Cabina

4 Bastidor delantero

6 Cangilón

8 Depósito de aceite hidráulico

Copyright-Sandvik-ID: GUID- 1703FDC7-9D95-4BB5-82E2-611D4D53A399 es-ES 3 2021-11-26-manual de mantenimiento.

Especificaciones de la máquina

Dimensiones de la máquina (cucharón de 4,0 m³)		
Longitud total (cucharón en el suelo)	10 073 mm	396,6 pulgadas
Anchura máxima	2550 mm	100,4 pulgadas
Altura (cabina estándar)	2384 mm	93,9 pulgadas

Radio de giro (cucharón de 4,0 m³)		
Ángulo de giro	42,5°	
Radio interior, derecho	3300 mm	129,9 pulgadas
Radio exterior, derecho	6441 mm	253,6 pulgadas
Radio interior, izquierdo	3231 mm	127,2 pulgadas
Radio exterior, izquierdo	6479 mm	255,1 pulgadas

El nivel de presión acústica de emisión medida con ponderación A en el interior del techo protector en el puesto del operario, L_{pA} [dB re 20 μ Pa]	94
Incertidumbre de la medición, K_{pA} [dB]	3

Ralentí alto (2220 rpm)

El nivel de presión acústica de emisión medida con ponderación A en el interior del techo protector en el puesto del operario, L_{pA} [dB re 20 μ Pa]	94
Incertidumbre de la medición, K_{pA} [dB]	3

Carga máxima (2020 rpm)

Vibración en el cuerpo entero durante un ciclo de trabajo simulado	
Valor r.m.s. máximo a_w [m/s ²]	0,78
VDV _w periodo de unos 15 min. [m/s ^{1,75}]	9,66

Copyright-Sandvik-ID: GUID- 1703FDC7-9D95-4BB5-82E2-611D4D53A399 es-ES 3 2021-11-26-manual de mantenimiento.

Tiempo y movimiento del brazo y el cucharón	
Brazo elevado	6,7 s
Brazo bajado	4,3 s
Inclinación del cucharón	2,7 s

Velocidades de avance de la máquina (nivel/cargada) con el motor Volvo TAD1140VE		
1.º cambio	5,5 km/h	3,4 mph
2.º cambio	10,2 km/h	6,3 mph
3er cambio	17,5 km/h	10,9 mph
4º cambio	31,7 km/h	19,7 mph

Ángulos de gradiente máx.	
Pendiente ascendente, brazo bajado	15°
Pendiente descendente, brazo bajado	15°

Ángulos de inclinación máx.	
No articulado, brazo bajado	20°
No articulado, brazo elevado, sin carga	10°
No articulado, brazo elevado, cargado	5°
Articulado, sin carga, brazo bajado	15°
Articulado, cargado, brazo bajado	10°
Articulado, sin carga, brazo elevado	7°
Articulado, cargado, brazo elevado	2°

Pesos de la máquina

Pesos en funcionamiento		
Peso total en funcionamiento	28 500 kg	62 800 lb
Eje delantero	12 850 kg	28 300 lb
Eje trasero	15 650 kg	34 500 lb

Pesos cargada		
Peso cargado total	38 500 kg	84 900 lb
Eje delantero	28 250 kg	62 300 lb
Eje trasero	10 250 kg	22 600 lb

Capacidades		
Carga útil	17 200 kg	37 900 lb.

Copyright-Sandvik-ID: GUID- 1703FDC7-9D95-4BB5-82E2-611D4D53A399 es-ES 3 2021-11-26-manual de mantenimiento.

Sistema de frenos

Sistema de frenos	
Frenos de servicio	<p>Los frenos multidisco están accionados por muelle y enfriados por líquido (SAHR), tienen sistema de liberación hidráulico en todas las ruedas y dos circuitos separados para los ejes delantero y trasero.</p> <p>Los frenos se han diseñado para tener suficiente fuerza de frenado para detener la máquina a la velocidad adecuada en las pendientes máximas permitidas.</p>
Freno de emergencia/estacionamiento	<p>Los frenos de servicio también funcionan como frenos de emergencia, cuando el sistema de frenos de emergencia está aplicado.</p> <p>Los frenos se han diseñado para tener suficiente fuerza de frenado para mantener la máquina en las pendientes máximas permitidas.</p>
Accionamiento del freno de estacionamiento	Se acciona automáticamente cuando el motor se apaga (es decir, la presión hidráulica está desactivada).
Presión de desconexión del freno	90 bares
Presión de barrido de los frenos	1 bar

Motor Volvo TAD1140VE

Tipo	Volvo TAD1140VE
Capacidad	235 kW (319 CV)/2100 rpm
Par de apriete	1581 Nm (1166 lb/pie)/1250 rpm
Número de cilindros	6
Cilindrada	10,8 l (659 pulg. cúbicas)
Peso	1036 kg/2283 lb
Sistema de refrigeración	Refrigerado por líquido
Principio de combustión	Sobrealimentado, posrefrigerado, inyección directa
Filtración del aire	Donaldson PowerCore
Sistema eléctrico	24 V

Copyright-Sandvik-ID: GUID- 1703FDC7-9D95-4BB5-82E2-611D4D53A399 es-ES 3 2021-11-26-manual de mantenimiento.

ANEXO 6. CONSENTIMIENTO DE USO DE DATOS DE LA EMPRESA

CARTA DE AUTOTIZACIÓN DE USO DE DATOS DE LA EMPRESA

Yo Herberth Chirinos Olivera, identificado con DNI 42009041, en mi calidad de presidente del directorio del área de directorio de la empresa Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. con ruc N° 20498680144 ubicada en el centro poblado Cuatro Horas, distrito de Chaparra, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa.

OTORGO LA AUTORIZACIÓN

Al señor Jimmy Anderson Sifuentes Velasquez con DNI N°60126968, bachiller de la escuela profesional de ingeniería mecánica, que utilice la siguiente información de la empresa: manuales de mantenimiento, cartillas de mantenimiento y datos de operación del scooptram LH410, con la finalidad de que pueda desarrollar su tesis para optar el título profesional de ingeniero mecánico, de tal forma también se autoriza mencionar el nombre de la empresa.




MINERA AURÍFERA CUATRO DE ENERO S.A.
RUC: 20498680144
HERBERTH CHIRINOS OLIVERA
Herberth Chirinos Olivera
DNI: 42009041

El Bachiller declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el bachiller será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.


Jimmy Anderson Sifuentes Velasquez
DNI: 60126968