

**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 INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS  
SCOOPTRAMS EN LA CIA. MINERA SANTA LUISA S.A. - 2022”

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

**AUTORES**

JUAN CARLOS BARRERA BUSTILLOS  
JEFFERSON RODRIGO MORE BRAVO

**ASESOR**

Mg. ARTURO PERCEY GAMARRA CHINCHAY

**LINEA DE INVESTIGACIÓN**  
INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

Callao, 2024  
PERÚ



## INFORMACIÓN BÁSICA

**FACULTAD:**

Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:**

Unidad de investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía

**TÍTULO:**

“Aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para incrementar la disponibilidad de los equipos Scooptrams en la CIA. Minera Santa Luisa S.A. - 2022”

**AUTORES:**

Juan Carlos Barrera Bustillos DNI: 71020822

Orcid: [0009-0008-3391-0285](https://orcid.org/0009-0008-3391-0285)

Jefferson Rodrigo More Bravo DNI: 74906389

Orcid: [0009-0000-0905-0045](https://orcid.org/0009-0000-0905-0045)

**ASESOR:**

Mg. Arturo Percey Gamarra Chinchay DNI: 08787195

Orcid: [0000-0003-4470-0028](https://orcid.org/0000-0003-4470-0028)

**LUGAR DE EJECUCIÓN:** CIA Minera Santa Luisa S.A.- Bolognesi - Ancash

**UNIDAD DE ANÁLISIS:** Equipos Scooptrams

**TIPO:** Aplicada

**ENFOQUE:** Cuantitativo

**DISEÑO:** Pre-Experimental

**TEMA OCDE:** 2.03.01 Ingeniería Mecánica

## **HOJA DE REFERENCIA DE JURADO Y APROBACIÓN**

### **MIEMBROS DEL JURADO**

**PRESIDENTE DEL JURADO DE TESIS:** Mg. Alfonso Santiago Caldas Basauri

**SECRETARIO:** Mg. José Carlos Casado Márquez

**VOCAL:** Mg. Guillermo Alonso Gallarday Morales

**ASESOR:** Mg. Arturo Percey Gamarra Chinchay

**N° DE LIBRO:** 001

**N° DE FOLIO:** 182

**N° DE ACTA:** 156

**FECHA DE APROBACIÓN DE TESIS:** 10 de noviembre del 2023

**RESOLUCIÓN DE CONSEJO DE FACULTAD:** 302-2023-CF-FIME

**ACTA N°155 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

**LIBRO 001, FOLIO N°181, ACTA N°155 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO TALLER DE  
TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO.**

A los 12 días del mes de enero del año 2024, siendo las 15:26 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 **JUAN CARLOS BARRERA BUSTILLOS**, 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 INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS SCOOPTRAMS EN LA CIA MINERA SANTA LUISA 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 **14 (CATORCE)**, 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 15:45 horas del día 12 de enero de 2024.

  
Mg. Alfonso Santiago Caldas Basauri  
Presidente

  
Mg. José Martín Casado Márquez  
Secretario

  
Mg. Guillermo Alfonso Gallarday Morales  
Vocal

**ACTA N°156 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

**LIBRO 001, FOLIO N°182, ACTA N°156 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO TALLER DE  
TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO.**

A los 12 días del mes de enero del año 2024, siendo las 15:26 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 **JEFFERSON RODRIGO MORE BRAVO**, 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 INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS SCOOPTRAMS EN LA CIA MINERA SANTA LUISA 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 **14 (CATORCE)**, 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 15:45 horas del día 12 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° 004-2024 - Jurado Evaluador de Sustentación  
del II Ciclo Taller de Tesis 2023**

Bellavista, 22 de abril 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° 009-2024 – II CTT – FIME, de fecha 15 de abril 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° 003-2024 – Jurado Evaluador de Sustentación del II Ciclo Taller de Tesis 2023, a las trece (13) 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 cuarta vez las trece (13) tesis luego de su sustentación para determinar si las observaciones realizadas en la tercera revisión fueron levantadas, se verificó que en las trece (13) tesis se levantaron completamente.

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 trece (13) tesis presentadas por el señor coordinador del II Ciclo de Taller de Tesis 2023, después de la cuarta revisión posterior al proceso de sustentación, las trece (13) tesis levantaron todas las observaciones, cuyos títulos y autores se indican a continuación:



1. “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

2. “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

3. “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  
MORE BRAVO, JEFFERSON RODRIGO  
Especialidad: Ingeniería Mecánica  
Asesor: Mg. Arturo Percey Gamarra Chinchay

4. “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

5. “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

6. 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



7. 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

8. "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

9. "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

10. "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

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

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

12. "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



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



13. "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 TM/H en Puerto Chicama – La Libertad, 2022".

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

**TERCERO.-** Se adjunta al presente dictamen los archivos de las trece (13) tesis revisadas.

**CUARTO.-** 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

## Document Information

Analyzed document	Informe final de Tesis - Barrera Bustillos - More Bravo.docx (D182719930)
Submitted	2023-12-28 01:07:00 UTC+01:00
Submitted by	
Submitter email	investigacion.fime@unac.pe
Similarity	20%
Analysis address	investigacion.fime.unac@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 8. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION WILSON -JARVIK REV FINAL.pdf</b> Document 8. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION WILSON -JARVIK REV FINAL.pdf (D174124401) Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.arkund.com		7
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 11. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION AGUIRRE CANCION.pdf</b> Document 11. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION AGUIRRE CANCION.pdf (D174124405) Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.arkund.com		1
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 3. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION TERRONES CABANILLAS.pdf</b> Document 3. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION TERRONES CABANILLAS.pdf (D174124396) Submitted by: fime.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fime.posgrado.unac@analysis.arkund.com		3
<b>SA</b>	<b>TESIS CORO Y COTRINA 17.09.2021 (1).docx</b> Document TESIS CORO Y COTRINA 17.09.2021 (1).docx (D112887435)		1
<b>SA</b>	<b>9991-Arroyo Salazar, Rolando_.pdf</b> Document 9991-Arroyo Salazar, Rolando_.pdf (D37293582)		2
<b>SA</b>	<b>10212-Blancas Hidalgo José Luis_.pdf</b> Document 10212-Blancas Hidalgo José Luis_.pdf (D37382188)		3
<b>SA</b>	<b>Valenzuela_Diego_16-10-23.pdf</b> Document Valenzuela_Diego_16-10-23.pdf (D178066746)		4

## **DEDICATORIA**

Mi tesis la dedico a mi hija Renata que es maravillosa, quien ha sido mi fuente de inspiración, cada página escrita lleva consigo el anhelo de construir un mejor futuro para ti. A mis padres Consuelo y Federico por enseñarme y forjarme como la persona que soy en la actualidad. A mi novia María Fernanda por su amor y perseverancia durante todo este tiempo.

Juan Carlos Barrera Bustillos

Esta tesis está dedicada especialmente a mi madre Delia, quien me brindó su apoyo incondicional en todo momento. Considero que, sin ella no pudiera llegar tan lejos ni tener la motivación para lograr mis objetivos y en especial esta tesis.

Jefferson Rodrigo More Bravo

## **AGRADECIMIENTO**

Por la culminación de la tesis agradecemos a todos los ingenieros que nos inspiraron y ayudaron con las inquietudes durante el proceso de desarrollo de esta tesis, a la empresa que nos brindó la información necesaria para hacer posible este proyecto que aportaron para el desarrollo de la tesis.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS .....	4
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT .....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	10
1.2. Formulación del problema .....	13
1.2.1. Problema general.....	13
1.2.2. Problemas específicos .....	13
1.3. Objetivos de la investigación .....	14
1.3.1. Objetivo general .....	14
1.3.2. Objetivo específico .....	14
1.4. Justificación.....	14
1.4.1. Justificación práctica.....	15
1.4.2. Justificación metodológica.....	15
1.5. Delimitantes de la investigación.....	16
1.5.1. Delimitación teórica.....	16
1.5.2. Delimitación temporal .....	16
1.5.3. Delimitación espacial .....	16
II. MARCO TEÓRICO .....	17
2.1. Antecedentes .....	17
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	17
2.2.2. Antecedentes nacionales .....	21

2.2.	Bases teóricas.....	25
2.2.1.	Plan de mantenimiento .....	25
2.2.2	Gestión del mantenimiento .....	25
2.3.	Marco conceptual.....	26
2.4.	Definición de términos básicos .....	46
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	48
3.1.	Hipótesis general y específicas.....	48
3.2.	Operacionalización de variable.....	49
IV.	METODOLÓGIA DEL PROYECTO .....	50
4.1.	Tipo y diseño de investigación .....	50
4.2.	Método de investigación .....	51
4.3.	Población y muestra.....	52
4.3.1.	Población.....	52
4.3.2.	Muestra.....	52
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado.....	52
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información .....	52
4.6.	Análisis y procesamiento de datos .....	52
4.7.	Aspectos Éticos de la investigación.....	53
V.	RESULTADOS.....	69
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	77
VII.	CONCLUSIONES .....	83
VIII.	RECOMENDACIONES .....	84
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	85
	ANEXOS.....	88



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Descripción de tareas .....	53
Tabla 4.2 Indicadores Pre-Aplicación PMO .....	54
Tabla 4.3 Análisis de modos de falla (FMA) .....	57
Tabla 4.4 Racionalización y revisión del análisis de modo de falla .....	58
Tabla 4.5 Análisis funcional .....	59
Tabla 4.6 Evaluación de consecuencias.....	62
Tabla 4.7 Definición de política de mantenimiento .....	63
Tabla 4.8 Revisión y agrupación.....	64
Tabla 4.9 Prueba de normalidad Pre-Test.....	69
Tabla 4.10 Prueba estadística .....	71
Tabla 4.11 Prueba de normalidad Post-Test .....	73
Tabla 4.12 Prueba de Kolmogorov-Smirnov .....	75
Tabla 5.1 Prueba T de muestras relacionadas para la hipótesis general.....	77
Tabla 5.2 Prueba T de muestras relacionadas de la hipótesis específica I.....	78
Tabla 5.3 Prueba T de muestras relacionadas de la hipótesis específica II.....	79
Tabla 5.4 Prueba T de muestras relacionadas de la hipótesis específica III.....	81
Tabla 5.5 Prueba T de muestras relacionadas de la hipótesis específica IV ....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Frecuencia de problemas en maquinarias .....	12
Figura 2.1 Pasos de la implementación del PMO.....	27
Figura 2.2 Círculo vicioso del mantenimiento .....	30
Figura 2.3 Evolución de los tipos de mantenimiento .....	31
Figura 2.4 Matriz de criticidad.....	36
Figura 2.5 Muestras de aceite para análisis .....	38
Figura 2.6 Resultados de análisis de aceite .....	39
Figura 2.7 Scooptram CAT .....	42
Figura 2.8 Componentes del tren de potencia.....	42
Figura 2.9 Componentes principales del motor - Vista lateral derecha.....	43
Figura 2.10 Componentes principales del motor - Vista lateral izquierda .....	44
Figura 2.11 Componentes del sistema hidráulico.....	44
Figura 2.12 Componentes del sistema de dirección.....	45
Figura 2.13 Componentes del sistema de frenos .....	46
Figura 4.1 Disponibilidad en PRE - Aplicación PMO .....	56
Figura 4.2 Matriz de criticidad.....	60
Figura 4.3 Matriz de criticidad.....	61
Figura 4.4 Matriz de criticidad.....	61
Figura 4.5 Indicadores POST - Aplicación PMO .....	65
Figura 4.6 Disponibilidad en POST-Aplicación PMO .....	66
Figura 4.7 Indicador de las reparaciones no programadas .....	66
Figura 4.8 N° Factor de equipos durante PRE y POST aplicación PMO .....	67
Figura 4.9 Evolución de las fallas críticas.....	67
Figura 4.10 Evolución de la cantidad de capacitaciones.....	68
Figura 4.11 Evolución de las fallas frecuentes .....	68

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Planned maintenance optimization / Optimización del mantenimiento planeado (PMO)

Mean time to repair / Tiempo medio de reparación (MTTR)

Mean time between failures /Tiempo medio entre fallos (MTBF)

Análisis de criticidad (AC)

American Society for Testing and Materials / Sociedad americana para pruebas y materiales (ASTM)

## RESUMEN

La ausencia de mantenimientos preventivos genera deterioro en los componentes de los equipos scooptrams y generan pérdidas que podrían ser evitadas a través de correctas prácticas de mantenimiento.

El objetivo se realizó con el fin de analizar y modificar el plan de mantenimiento de los equipos scooptrams de modelos Caterpillar R1600 y Epiroc ST1030 a través de una serie de pasos como indica la metodología de la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO).

El método de investigación del presente es aplicado, de carácter cuantitativo, ya que presenta una base de datos el cual será recolectado y se analizará.

Respecto al criterio en el que una buena gestión y buenas prácticas de mantenimiento contribuyen al aumento de la disponibilidad mecánica, mejorar la producción, fiabilidad y rendimiento de los equipos. Así como también a través de las constantes capacitaciones al personal operativo.

Durante el desarrollo del trabajo se alcanzó determinar que se omite mantenimientos rutinarios en componentes el cual se verá reflejado y tendrá un gran impacto en los próximos mantenimientos correctivos. Asimismo, se omiten ejecución de actividades, a su vez no utilización de instructivos. Además, consideramos que no se lleva un adecuado flujo de inventariado de repuestos y herramientas.

Por ende, es necesario enfocarse en la Aplicación de la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO) de tal forma que se logre mejorar el plan de mantenimiento para lograr incrementar la disponibilidad de los equipos Scooptrams en un porcentaje mayor al 80%.

## **ABSTRACT**

The absence of preventive maintenance generates deterioration in the components of the scooptram equipment and generates losses that could be avoided through correct maintenance practices.

The objective was carried out in order to analyze and modify the maintenance plan of the scooptrams equipment of the Caterpillar R1600 and Epiroc ST-1030 models through a series of steps as indicated by the methodology of the application of planned maintenance optimization (PMO).

The present research method is applied, quantitative in nature, since it presents a database which will be collected and analyzed.

Regarding the criterion in which good management and good maintenance practices contribute to increasing mechanical availability, improving production, reliability and performance of the equipment. As well as through constant training for operational personnel.

During the development of the work, it was determined that routine maintenance on components is omitted, which will be reflected and will have a great impact on the next corrective maintenance. Likewise, the execution of activities is omitted, and in turn the use of instructions is not used. Furthermore, we consider that an adequate inventory flow of spare parts and tools is not maintained.

Therefore, it is necessary to focus on the Application of Planned Maintenance Optimization (PMO) in such a way that the maintenance plan is improved to increase the availability of Scooptrams equipment by a percentage greater than 80%.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mantenimiento es considerado no solamente un impacto directo sobre la capacidad productiva de un proyecto, sino, un elemento clave para alcanzar condiciones de seguridad acordes a la política de desarrollo sostenible de la empresa. (Herbert, 2009)

En la industria, el ciclo de minado es una parte muy importante en la etapa operativa en toda unidad minera, ya que, mediante el método de explotación empleado, produce el mineral económico, el cual después de pasar por diversos procesos metalúrgicos y su posterior comercialización genera rentabilidad a la compañía minera. Actualmente, las etapas de acarreo y transporte son las que poseen menor eficiencia con respecto a las etapas de perforación y voladura.

El desarrollo de las actividades mineras está vinculado con un plan de mantenimiento. Asimismo, a través del tiempo, la mecanización de las industrias mineras generó una serie de necesidades, incluida la reparación de inicial de varios equipos.

Las industrias mineras presentan diversos tipos de maquinarias y equipos según sea su necesidad y condiciones geográficas en las que se explotará el mineral, sea tajo abierto o socavón. Debido a lo expuesto, estos equipos y maquinarias presentan fallas posteriores a una cantidad de horas trabajadas.

En la última parte de este siglo, junto con el aumento de las demandas de calidad de los productos y servicios por parte de los consumidores, el mantenimiento pasó de ser ignorado a ser uno de los procesos más cruciales en el desarrollo y desempeño de los equipos y/o sistemas, en un grado de igual importancia a lo que era en el área de operación.

El mantenimiento tiene como finalidad brindar el soporte necesario de un correcto funcionamiento de equipos, sistemas a través de un intervalo de tiempo. Gracias a esta premisa, comprenderemos mejor la evolución del mantenimiento

a través de diferentes épocas, de acuerdo a las diferentes necesidades que presenta cada cliente, que producen una gran variedad de productos, ya sea intangible, reales mediante utilización de estos activos para producirlos.

Por ello, el objetivo de este proyecto es aplicar la optimización de mantenimiento planeado (PMO) para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos Scooptrams de la CIA. Minera Santa Luisa S.A., con la finalidad de reducir los tiempos de parada de reparación y reducir significativa los costos de mantenimiento, esto conllevará la generación de ahorros económicos a través de la implementación de buenas prácticas de mantenimiento. Cabe mencionar que, el alcance del trabajo presenta como unidad de estudio los equipos Scooptrams de la CIA. Minera Santa Luisa S.A.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

A nivel internacional, de acuerdo con Herbert (2009, p.3), el mantenimiento es una actividad que tiene no solamente un impacto directo sobre la capacidad productiva de un proyecto, sino que es un elemento clave para alcanzar unas condiciones de seguridad y de protección medioambiental acordes con las políticas de desarrollo sostenibles de la empresa. Es por tanto y desde todo punto de vista, una actividad que adquiere un papel preponderante en la viabilidad de un proyecto o de una empresa.

La minería es una actividad clave. Económicamente se erige como un pilar fundamental e incide de manera directa e indirecta sobre las cifras económicas y el desarrollo, por lo que cada detalle debe ser considerado con atención.

Sin embargo, el concepto de mantenimiento ha tenido un fuerte ascenso en la industria minera. A medida que la tecnología y la productividad se relacionan con más fuerza, se vuelve imprescindible establecer una planificación que responda a la necesidad de mantener en perfecto estado una serie de equipos relacionados con las distintas actividades que componen el proceso de producción de los distintos minerales que se obtienen en el planeta.

A nivel nacional, en la reciente Conferencia Magistral organizada por el Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, el especialista Ing. Marco Ulloa, coordinador de Proyectos y Mejora Continua de Minera Chinalco Perú expuso acerca de los “Indicadores de mantenimiento en la industria minera”, en el que precisó que los activos de una empresa minera deben contar con una disponibilidad diaria del 85% para producir.

“Los activos no suelen operar las 24 horas, a excepción de la planta procesadora, ya que se consideran los tiempos de cambio de guardia, refrigerio y capacitación, los cuales toman 4 horas. Por tanto, de las 20 horas restantes se pide un mínimo de disponibilidad del 85%, es decir, 17 al día.” (Institutos De Ingenieros De Minas

Del Perú, 2022)

La CIA. Minera Santa Luisa S.A. ubicada en la provincia de Bolognesi, está dedicada a la extracción de diversos minerales como concentrados de cobre, zinc y plomo. Sin embargo, su producción se ve afectada en cierto porcentaje debido a una baja disponibilidad de los equipos Scooptrams. De acuerdo, al estudio de los datos estadísticos recopilados el año 2021 - 2022, se observa que la disponibilidad de los equipos Scooptrams se encuentra inferior al 60%. Los indicadores como MTTR, MTBF, así como la disponibilidad de los equipos muestran vínculo con la utilidad considerable de estos. Asimismo, debemos considerar es la tardía respuesta de la adquisición in situ de los repuestos que son necesarios para ejecutar el mantenimiento o preventivo. Esta deficiente gestión respecto al abastecimiento de los repuestos en stock genera un desequilibrio en el control temporal de un mantenimiento preventivo. Por ello, consideramos que la planificación es un proceso fundamental y es el medio adecuado para lograr el máximo valor de la gestión de equipos de trabajo en su ciclo de reparación.

La compañía minera cuenta con 7 equipos Scooptrams, de los cuales, 4 equipos se encuentran operativos y 3 en proceso de reparación. Estos equipos no han superado el 60% de disponibilidad mecánica, por ello, mediante la Aplicación de la Metodología de la Optimización de Mantenimiento Planeado (PMO) se calcula que se podría aumentar la disponibilidad mayor a un 80%

Para determinar el problema más frecuente y mayor impacto en los equipos scooptrams de la CIA. Minera Santa Luisa S.A. por el cual disminuye la disponibilidad se utilizó el diagrama de Pareto.

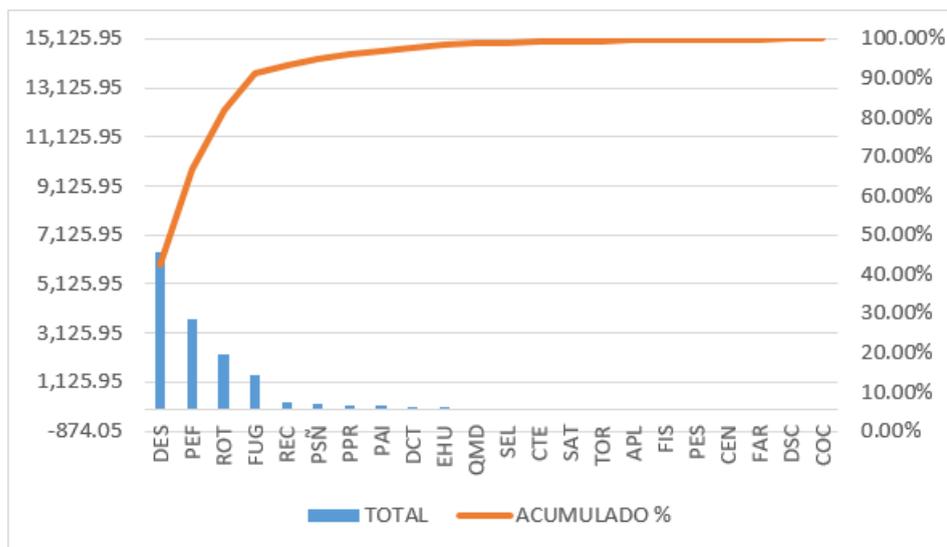
En el diagrama de Pareto, se visualiza que la metodología empleada respecto al mantenimiento planeado en los equipos Scooptrams es deficiente. El problema más frecuente es el “desgaste” de los componentes propios de los equipos como se observa en la siguiente figura.

Tabla 1.1 Factores que disminuyen la disponibilidad

COD AVERÍA	DESCRIPCIÓN	RELACIÓN
APL	Aplastamiento	TACCI
CEN	Corte de Energía	TELEC
COC	Cortocircuito	TOPER
CTE	Corte	TELEC
DST	Deterioro contactos	TMECA
DES	Desgaste	TMECA
DSC	Descalibración	TMECA
EHU	Exceso de Humo	TMECA
FAR	Falla Arranque	TMECA
FIS	Fisura	TMECA
FSI	Falta de Sincronización	TELTN
FUG	Fuga	TMECA
PAI	Pérdida de aislamiento	TELEC
PEF	Pérdida de eficiencia	TMECA
PES	Parada espera componente	TMECA
PPR	Pérdida de presión	TMECA
PSÑ	Pérdida de señal	TELTN
QMD	Quemado	TELEC
REC	Recalentamiento	TMECA
ROT	Rotura	TOPER
SAT	Saturación	TMECA
SEL	Sobrecarga eléctrica	TELEC
TOR	Torcedura	TOPER

Fuente: Elaboración propia

Figura 1.1 Frecuencia de problemas en maquinarias



Fuente: Elaboración propia

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿En qué medida la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementará la disponibilidad de equipos Scooptrams de la CIA. Minera Santa Luisa S.A.?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿De qué manera se calificará el diagnóstico en la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para el incremento de la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA. Minera Santa Luisa S.A.?
- ¿Cómo se realizará el análisis en la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para el incremento de la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA. Minera Santa Luisa S.A.?
- ¿Cómo se determinará la planificación en la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para el incremento de la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA. Minera Santa Luisa S.A.?
- ¿Cómo se desarrollará la implementación en la Optimización del mantenimiento planeado (PMO) para el incremento de la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA. Minera Santa Luisa S.A.?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Aplicar la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para incrementar la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA. Minera Santa Luisa S.A.

#### **1.3.2. Objetivo específico**

- Calificar el diagnóstico en la optimización del mantenimiento planeado para incrementar la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA. Minera Santa Luisa S.A.
- Realizar el análisis en la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para incrementar la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA. Minera Santa Luisa S.A.
- Determinar la planificación en la optimización de mantenimiento planificado (PMO) para incrementar la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA. Minera Santa Luisa S.A.
- Desarrollar la implementación en la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para incrementar la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.

### **1.4. Justificación**

Para la compañía minera, una mejora en la disponibilidad de la flota de Scooptrams acompañada de una disminución de costos por mantenimientos y mayor número de ingresos, permitirá obtener beneficios, gracias a esto, permitirá brindar una mayor competitividad de la CIA. Minera Santa Luisa S.A. en el mercado. Además, actualmente el área de mantenimiento de la CIA. Minera Santa Luisa S.A. no tienen estandarizadas unas buenas prácticas de mantenimiento y un adecuado plan de mantenimiento. Estos puntos negativos generan pérdidas grandes en la empresa, lo cual ha incidido en la disponibilidad promedio de la flota de Scooptrams en el año 2022 con un promedio aproximado de un 60%

en la disponibilidad. En este sentido, consideramos que la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado mostrará un gran impacto y de mucha importancia en la empresa, ya que es un proceso simple, práctico y de aplicación sencilla, que ayudará a detectar las fallas más comunes en los equipos realizando la gestión de manera correspondiente. Asimismo, lograr una mejora en la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, por ende, se logrará con las metas y objetivos del área a una mayor escala.

#### **1.4.1. Justificación práctica**

“Se considera que una investigación tiene una justificación práctica, cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o, por lo menos propone estrategias que al aplicarse contribuirán a resolverlo.” (Borja, 2012).

Mediante esta premisa, la investigación presenta justificación práctica debido a contribuir de manera práctica la solución de un problema aplicando la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para incrementar la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA. Minera Santa Luisa 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.” (Montes, 2010).

“En la investigación científica, la justificación metodológica del estudio se da cuando el proyecto por realizar propone un nuevo método o una nueva estrategia para generar conocimiento válido y confiable” (Bernal, 2010).

Mediante esta premisa, la investigación presenta justificación metodológica debido al empleo de técnicas como el uso de registro de

datos, fichas de recolección de datos y procesamientos en software. Así, los resultados generados y obtenidos de la investigación se soportan en las técnicas de investigación válidas en el medio.

## **1.5. Delimitantes de la investigación**

### **1.5.1. Delimitación teórica**

La presente investigación cuenta con delimitación teórica debido a que se encuentra soportado en teorías de formulación de proyectos, ingeniería de la confiabilidad y mecánica de fluidos, asimismo, en las bases teóricas de análisis de criticidad.

### **1.5.2. Delimitación temporal**

La presente investigación se delimita temporalmente, ya que se realiza el estudio y análisis en un intervalo de tiempo que abarca un periodo desde inicios hasta finales del 2022.

### **1.5.3. Delimitación espacial**

La presente investigación presenta delimitación espacial ya que el estudio se realiza en la CIA. Minera Santa Luisa S.A. ubicada en el distrito de Huallanca, provincia de Bolognesi, Ancash.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Se contará con los siguientes antecedentes que guardan relación con el presente trabajo de investigación respecto a la implementación de un programa de lubricación para la flota de Scooptrams.

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Milton (2017), en su investigación titulada “*Optimización del mantenimiento planificado (PMO) de la central de generación eléctrica Cuyabeno Bloque 58*”. Tuvo como objetivo Optimizar el mantenimiento planificado en la Central de Generación Cuyabeno Bloque 58. La metodología utilizada en el presente estudio es de tipo cuantitativo. Se utilizaron datos del diagnóstico de la situación actual, analizando las tareas existentes y los modos, efectos de falla y sus consecuencias. La población de estudio son los siete grupos electrógenos de la central de generación Cuyabeno, se utilizó como guía los nueve pasos de la metodología Optimización del Mantenimiento Planificado (PMO); se utilizaron datos tanto físico, como digitales, así como también se tomaron sugerencias del personal de operaciones y mantenimiento. Los principales resultados fueron 36% menos en el costo de mantenimiento por cada barril de petróleo producido, teniendo una mejora en la disponibilidad operativa del 3.71% y una reducción de las pérdidas de producción inicial del 14% del año 2014 al 2015 y del 36% del año 2015 al 2016, esto se ha logrado con la implementación de nuevas tareas y la optimización de las existentes, mejorando los índices de mantenimiento, reduciendo el número de fallas funcionales, optimizando recursos, generando la participación del personal de operaciones en actividades de mantenimiento autónomo. Se concluye la aplicación de la metodología PMO es efectiva en equipos con alto índice de fallas. (Milton, 2017); la

investigación citada ofrece al trabajo en ejecución una visión más amplia de la aplicación del PMO para identificar los altos índices de falla o avería, así como su confiabilidad y disponibilidad.

Según Ruiz Llorente et al. (2020), en su investigación titulada “*Desarrollo de una propuesta con base en la metodología PMO para las unidades de bombeo mecánico de extracción de crudo*”. Tuvo como objetivo Desarrollar una propuesta basada en la metodología PMO para las unidades de bombeo mecánico de extracción de crudo. La metodología para realizar todos los objetivos propuestos se estructuró en cuatro etapas lo cuales fueron diagnóstico, investigación, análisis resultados y propuesta a realizar. La población de estudio es las unidades de bombeo mecánico de extracción de crudo, la muestra es los datos históricos de operaciones, mantenimientos y fallas que han presentado las UBM en los últimos meses; los instrumentos empleados los cuales aportaron valor a la metodología y para las tomas de decisiones fueron la auditoria de mantenimiento, cuantificación de los modos de falla, diagrama de Pareto, PMO. Los principales resultados fueron unificar y centralizar las actividades de mantenimiento, creando un plan más robusto con un alcance específico, cuantificando los recursos y las horas hombres a ser empleadas con una frecuencia específica de intervención con proyección a un año. Reducción de 37 a 22 tareas a realizar y logrando la optimización del tiempo de 120.03 horas a 93.52 horas de tiempo efectivo de ejecución lo cual representa una mejora de los recursos utilizados para la ejecución del plan de mantenimiento. Se concluye realizar la propuesta en base a disminuir el número de fallas y tener una confiabilidad del equipo del 95% esto tendría consecuencias favorables como es la disminución de las horas hombres en tareas de mantenimiento correctivo y a su vez evitar pérdidas financieras por las horas de indisponibilidad de las unidades de bombeo mecánico de extracción de crudo; (Jose, 2020) la investigación citada ofrece al trabajo una visión en disminuir el número de fallas y tener un índice de confiabilidad superior al 95% de las cuales

tendría una disminución de horas hombres en tareas de mantenimiento correctivo.

Según Lagos (2017) en su investigación titulada "*Optimización del mantenimiento preventivo de flotas en base a técnicas de clustering y aprendizaje supervisado*". Tuvo como objetivo modelación de la confiabilidad de una flota con la respectiva optimización del mantenimiento preventivo a través del uso de técnicas de clustering y aprendizaje supervisado para el modelamiento de la confiabilidad dentro de cada sub población de equipo. El tipo de investigación es cualitativa se obtuvo una base de datos de camiones utilizados en la minería. Los datos brutos consisten en horómetros, información de los motores y análisis de aceite. Se estudiaron los mecanismos de falla de los motores. Los instrumentos empleados tensorflow y scikit learn para la implementación en Python. Los principales resultados fueron La confiabilidad de cada clúster se calcula para el tiempo esperado según fuente del dueño de 18000 horas y el tiempo promedio de fallas de los 32 casos estudios de 16271 horas. El clúster 1 y clúster 3 tiene confiabilidad de que los motores duren 18000 horas de 42 y 0,02% respectivamente y en el caso de que duren más de 16271 horas su confiabilidad es de 49 y 0,08% respectivamente. Lo cual se concluyó la metodología propuesta en el presente trabajo. El empleo de técnicas de aprendizaje supervisado y clustering logran competir e incluso reemplazar la opinión del experto para los mantenimientos al considerar las condiciones de operación de los equipos/máquinas. El algoritmo de clustering identifica diferentes subgrupos con características comunes asociándoles las posibles causas de falla. Por otra parte, el clasificador permite clasificar los motores que estén en funcionamiento, lo cual es una ventaja que podrá realizar un mejor diagnóstico de su flota y evitar pérdidas por fallas imprevistas.

Según Ballester Mora (2019) en su investigación titulada "*Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa Re-Ingenierías S.A.S. utilizada para*

*proyectos de construcción de servicios de obras civiles e industriales ubicada en Ocaña – norte de Santander*”. Tuvo como objetivo implementar un plan de mantenimiento para la maquinaria utilizadas para servicios de obras civiles e industriales de la empresa RE- INGENIERIAS S.A.S ubicada en Ocaña, Norte de Santander. La población de estudio son las maquinarias pesadas de aplicación para obras civiles. Emplearon una metodología mixta y descriptiva, obteniéndose como resultado basándose en el inventario realizado, que la empresa cuenta con maquinaria en un estado adecuado, luego se implementó el plan preventivo generando resultados positivos para la empresa.

Según Olmedo Jumbo (2019) en su investigación titulada “*Optimización del plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada, en los talleres del gobierno autónomo descentralizado municipal de RIOBAMBA, aplicando la metodología (PMO)*”. Tuvo como objetivo optimizar el plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada, en los talleres del gobierno autónomo descentralizado municipal de Riobamba, aplicando la metodología PMO. La población de estudio es la maquinaria pesada del gobierno autónomo descentralizado municipal de Riobamba. Los instrumentos empleados fueron entrevistas a los colaboradores de sus funciones. Los principales resultados fueron determinar 21 máquinas y 165 subsistemas, así como rediseñar el plan generalizado de 12 tareas promedio a un plan de mantenimiento preventivo de 26 tareas. Se concluyó que el plan de mantenimiento preventivo vigente de maquinaria pesada, en los talleres municipales del GADM Riobamba, con un cuestionario para el personal administrativo, personal técnico de los cuales se obtuvo valores de efectividad del cumplimiento de las responsabilidades 46% y 48 % respectivamente, encontrando así oportunidades de mejora del 54% ( Rutinas programadas, codificación de activos para mantenimiento, documentos de mantenimiento, capacitación al personal) para el personal administrativo y 52% ( mantenimiento autónomo, histórico de falla, análisis de los modos de falla) para el personal técnico. Se aplicó la metodología PMO sobre los 21 activos de

maquinaria pesada, logrando así pasar de un plan de mantenimiento inicial con promedios de 12 tareas por máquina, a un plan de mantenimiento con un promedio de 26 tareas por máquina, lo que indica que el plan de mantenimiento inicial es incipiente.

### **2.2.2. Antecedentes nacionales**

Según Salcedo (2022) en la investigación titulada “*Aplicación de la metodología PMO para incrementar la confiabilidad en la flota de camiones CAT 793 en minería a tajo abierto Cajamarca 2022*”. Tuvo como objetivo determinar el efecto de la aplicación la metodología PMO para incrementar la disponibilidad y confiabilidad en la flota de camiones CAT 793 en minería a tajo abierto Cajamarca 2022. Esta investigación es de tipo cuantitativa, ya que se usó datos y resultados cuánticos otorgados por la empresa, en base a fórmulas numéricas como lo es la eficiencia y productividad. Según su manipulación de variables esta investigación es cuasiexperimental. La población de estudio está conformada por los camiones de la flota CAT 793 Caterpillar, la muestra fue de 20 camiones CAT 793F. los instrumentos empleados fueron hojas de control, Ishikawa, diagrama de flujos y gráficos. Los principales resultados del estudio permitieron realizar un diagnóstico relacionado con aspectos de mantenimiento y disponibilidad de los camiones de acarreo. Se observa el comportamiento de la disponibilidad en cada mes del periodo 2021 y muestra como máxima disponibilidad un 85.2%. también se observa el comportamiento de la confiabilidad en cada trimestre del periodo 2021 alcanzo un 62.37%. los procesos de mantenimiento deben asegurar la efectividad de la gestión de mantenimiento, lo cual explica cómo actuar frente al mantenimiento programado y no programado de los equipos y maquinarias que tiene repercusión importante en el sistema productivo de la compañía. Se concluye que los equipos de acarreo se encuentran en mal funcionamiento, de acuerdo al diagnóstico actual se evidencia que la disponibilidad de 82.07%, tiempo promedio para reparar es 3.86 horas /

falla y finalmente la confiabilidad alcanza un 62.37% y como mínimo 53.50% generando baja competitividad. El incremento de la disponibilidad de los camiones mineros CAT 793 obtenida al implementar el plan de gestión de mantenimiento lo que ha mejorado en un promedio de 86.13%. La investigación citada ofrece al trabajo en ejecución una visión más amplia de la aplicación del PMO para identificar el incremento de la disponibilidad y confiabilidad obtenida al implementar un plan de gestión de mantenimiento.

Según Luna (2016) en la investigación titulada *“Propuesta de optimización del mantenimiento planificado en el área de chancado primario en una empresa minera de cobre”*. Tuvo como objetivo el 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. El tipo de investigación tiene un enfoque cuantitativo y descriptivo, la población de estudio es el área de chancado primario; los instrumentos empleados son el análisis del diagrama de Pareto y el análisis del diagrama de Jack Knife. Los principales resultados fueron la implementar de la metodología del PMO en el área de chancado, mejorar la disponibilidad de los equipos de la planta concentradora, estrategias al personal de mantenimiento del área de chancado primario. Por lo que se concluyó que la implementación de la optimización del mantenimiento del área de chancado primario de una planta concentradora de cobre mejoro la disponibilidad en un 0.44% con una reducción de costos del \$125,527.64. además, se logró optimizar el plan de mantenimiento con la aplicación del PMO con los principios del RCM además de un análisis de confiabilidad de equipos.

Según Mostacero (2018) en la investigación titulada *“Optimización del mantenimiento planeado en una línea de producción de bebidas carbonatadas”*. Tuvo como objetivo analizar el histórico de fallas de una

línea de producción de bebidas carbonatadas identificando equipos críticos que generan mayor tiempo de parada. Fue un estudio de tipo cuantitativo, la población de estudio línea de producción de bebidas carbonatadas, los instrumentos empleados son los análisis de diagrama de Pareto. los principales resultados en la implantación del PMO son reflejados a diario y mensual de eficiencias pertenecientes a la línea 2 PET en el mes de julio, lo cual la área de producción maneja dos eficiencias, la de producción propiamente dicha y la eficiencia pagada, ambas tienen metas mensuales en caso de julio tiene una meta de eficiencia pagada de 65.51% y una eficiencia de producción de 68.07%.lo cual se concluye la necesidad de mejorar la productividad, de manejar una amplia lista de información y de evaluar eficazmente el desempeño de los equipos industriales hizo en la línea de producción se realice un diagnostico mostrando condiciones actuales de los equipos, las ineficiencias de los mismos así como también la eficiencia de toda la línea lo cual permitió establecer la gran necesidad de mejorar el mantenimiento actual ya que los resultados de ineficiencias de equipos y eficiencias de línea se encontraron muy por debajo de la meta propuesta por planta. La táctica de mantenimiento PMO es altamente efectiva ya que analiza sus actividades de una especialidad en particular, dichas actividades realizadas en un equipo o línea de producción que presenta numerosos modos de falla extraídos de un historial de fallas priorizan aquellas que afectan directamente a la productividad de la línea de producción.

Según Salas Paco (2021) en su investigación titulada "*Plan de mantenimiento aplicando PMO y RCM para mejorar la confiabilidad operacional de tractores de orugas Caterpillar D11T en una empresa minera de Tacna*". Tuvo como objetivo desarrollar un plan de mantenimiento aplicando la metodología PMO y RCM para mejorar la confiabilidad operacional de tractores CAT D11T en una empresa minera de Tacna. El diseño de la investigación es de tipo no experimental por las variables no son manipuladas y de carácter transeccional porque los

hechos se observan en un determinado momento. La población está constituida por la flota de tractores de orugas Caterpillar D11T de una empresa minera de Tacna; los instrumentos empleados son la observación directa, entrevistas estructuradas, análisis de documentos. Los principales resultados muestran los valores de la disponibilidad de la flota de tractores de orugas D11T, obtenidos a lo largo de los últimos tres años, se visualiza la mejora significativa desde que se realizó el implemento el programa de mantenimiento PMO / RCM de una media global de 87.63% (2017, año de estudio) a 91.58% (2019, año de implementación). Teniendo en cuenta que la comparación de los resultados gira fundamentalmente en torno al cambio y mejora de los planes de mantenimiento desarrollados en el año 2017 en la flota de tractores Caterpillar D11T, medido en disponibilidad física como indicador de evaluación y los resultados de los años 2018 al 2019 luego de la aplicación de manera piloto del plan de mantenimiento PMO y RCM. Se concluye que el planteamiento metodológico nos indica que aplicando la metodología RCM y PMO podemos ajustar y mejorar de manera sustancial los planes de mantenimiento vigentes ya que se analizan los patrones de falla existentes en la actualidad.

Según Romero Guia (2022) en su investigación titulada "*Propuesta de Diseño de una PMO para la dirección de proyectos en el sector electromecánico de la empresa INPROMAYO EIRL*". Tuvo como objetivo presentar una propuesta de diseño de una oficina de dirección de proyectos para la empresa INPROMAYO EIRL. Fue un estudio de tipo no experimental, muestra empresa INPROMAYO EIRL, los principales instrumentos son la recopilación de datos, la observación directa, análisis de documentos. Los principales resultados fueron la mayor disponibilidad de los recursos con competencia en dirección de proyectos, transferencia efectiva de conocimiento en dirección de proyectos. De la presente tesis se concluye que todos los niveles de dirección son sensatos e importancia de la dirección de proyectos en INPROMAYO EIRL, los esfuerzos para

preparar a los colaboradores para la dirección de proyectos no han tenido éxito y la empresa no ha tenido éxito por lo tanto, aun hoy, el personal clave no tiene buenas habilidades de dirección de proyectos, principalmente porque no existe una metodología única que unifique los procesos y procedimientos de implementación de proyectos en INPROMAYO EIRL. Mediante la encuesta realizada se pudo determinar la expectativa de los stakeholders, los cuales se dan mayor importancia al aumento de la productividad en proyectos, menor exposición a los riesgos, mayor visibilidad del avance del proyecto. Entonces se puede decir que la metodología del PMO como propuesta puede reducir el impacto financiero de la organización actualmente y también puede traer beneficios económicos como el ahorro en proyectos que han sido cancelados, en proyectos que superan los costos lo cual indica un mejor uso eficiente de los recursos.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Plan de mantenimiento**

El plan de mantenimiento se define como todas las actividades que se deben realizar para garantizar la disponibilidad de las máquinas y equipos. Estas actividades deben programarse y documentarse, y deben revisarse y actualizarse constantemente para reflejar cambios potenciales, incidentes en la planta y el progreso del mantenimiento programado. Es fundamental utilizar y administrar los indicadores de gestión. (Santiago, 2003).

### **2.2.2 Gestión del mantenimiento**

Según Gallo (2019), el término "gestión de mantenimiento" se refiere a un conjunto organizado de métodos que se utilizan para lograr un objetivo específico mediante la integración de recursos y estructuras organizacionales.

Los programas y directrices gerenciales de varios procesos estratégicos y de apoyo conforman esta gestión. Han creado estrategias basadas en

el cumplimiento de procesos y herramientas para el desarrollo de la gestión.

### **2.3. Marco conceptual**

#### **Optimización del mantenimiento planeado (PMO)**

Optimización PM u Optimización del Mantenimiento Planeado es un método revolucionario para mejorar la efectividad de las estrategias y programas de mantenimiento. Optimización PM u Optimización del Mantenimiento Planeado empieza con el actual programa de mantenimiento utilizado en la planta. A través del trabajo en equipos multidisciplinarios desde los niveles operativos, el equipo PMO identifica las tareas redundantes o repetidas que existen al interior de su propio entorno y aquellos elementos del actual programa de mantenimiento que son útiles y aquellos que son inapropiados. El equipo luego establece las fallas críticas por fuera del programa de mantenimiento que pueden ser atacadas a través del PM o Mantenimiento Planeado. Una vez que este proceso es finalizado, el equipo establece el método más eficiente y efectivo para gestionar el mantenimiento de los activos locales asignados de producción y factores logísticos. Las consideraciones de seguridad, medio ambiente y de tipo legal son siempre sumamente importantes para este proceso. Además, los principios de RCM son aplicados al análisis. Los aspectos más importantes de la optimización del PM o Mantenimiento planeado entonces comienzan a implementarse. Este proceso es conducido desde diferentes niveles en la organización. (OMCS International).

## Fases de la implementación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO)

La implementación del PMO presenta los siguientes pasos:

Figura 2.1 Pasos de la implementación del PMO



Fuente: Elaboración propia

### FASE I: RECOPIACIÓN DE DATOS

En esta fase se realiza la recopilación de datos sobre el rendimiento de los equipos, focalizando las fallas de los equipos. Básicamente la herramienta Excel es el software más usado por la CIA. minera Santa Luisa S.A. Sin embargo, existen softwares más avanzados como los “Sistemas computarizados de gestión de mantenimiento” (CMMS).

#### PASO 1:

- Recoger o documentar el programa de mantenimiento vigente formal o informal, documentando e introducirlo en una base de datos donde se accederá fácilmente a los datos.
- Preparar la historia de fallas y los datos sobre la disponibilidad.

## **FASE II: ANÁLISIS Y AGRUPAMIENTO DE DATOS**

En esta fase se procede a la generación de indicadores clave de desempeño (KPI) de los activos más críticos. Se realizan los análisis y se generan las recomendaciones correspondientes.

La fase II consta de una serie de pasos los cuales son los siguientes:

### **PASO 2:**

- Elaborar una lista de los modos de falla que están siendo atacados por el plan de mantenimiento.

### **PASO 3:**

- Agrupar o clasificar los modos de falla de cada componente para que la duplicación de tareas pueda ser fácilmente identificada y eliminada.

### **PASO 4:**

- Análisis Funcional (Opcional) - Las funciones perdidas por cada modo de falla.

### **PASO 5:**

- Evaluación de las consecuencias.

### **PASO 6:**

- Determinación de Política de mantenimiento, desde la perspectiva de la reducción de los riesgos a un nivel tolerable o desde la perspectiva de la economía.

### **PASO 7:**

Revisión y Agrupación.

### **FASE III: APROBACIÓN E IMPLEMENTACIÓN**

En esta etapa se ejecuta el reajuste del programa de mantenimiento a lo largo del plazo. La Fase III consta de los siguientes pasos

- **PASO 8:** Aprobación
- **PASO 9:** Implementación dinámica.

#### **Beneficios de la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO)**

- Máxima confiabilidad de los activos, así mismo la minimización de las paradas no programadas e incremento de la capacidad de producción. Típicamente, el tiempo de mantenimiento no programado empieza a reducirse de seis a ocho meses después de iniciado el proceso.
- Máxima efectividad del equipo de Mantenimiento. En proyectos previos, el personal de mantenimiento a incrementado su efectividad en al menos 20% e inclusive más productivos a medida que se tornan más proactivos en sus esfuerzos durante el proceso.
- Gastos mínimos invertidos en mantenimiento. Los costos de mantenimiento se minimizan, aunque no a costa de tiempo adicional de producción (Donde comercialmente pueda justificarse).
- Personal motivado los cuales tienen el conocimiento, los procesos y las herramientas necesarias para mejorar continuamente la confiabilidad de los equipos. Todo el personal es entrenado en el uso de criterios de selección de tareas de RCM bajo el estándar SAE.
- Un enfoque estructurado amplio y consistente del negocio al análisis y selección de tareas de mantenimiento.
- Mejoramiento del desempeño del manejo de la seguridad y el medio ambiente. (OMCS International).

Figura 2.2 Círculo vicioso del mantenimiento



Fuente: ReliabilityWeb, 2023

## Mantenimiento

Todas las acciones necesarias para mantener o restaurar un objeto en una condición específica. (Gallo, 2019)

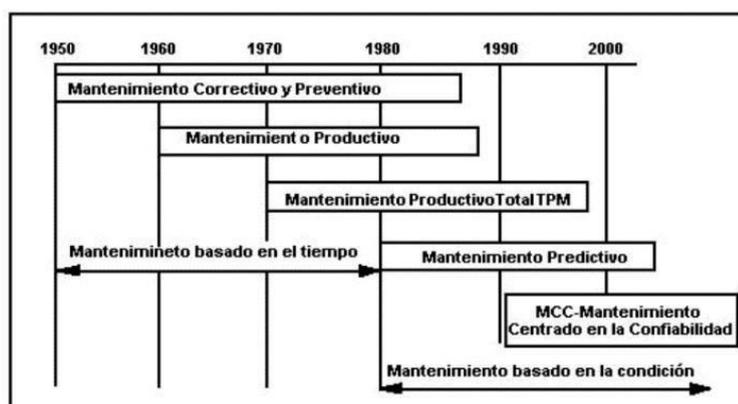
- **Mantenimiento preventivo:** "El mantenimiento preventivo es la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas y programadas, así como de un servicio de trabajos de mantenimiento previsto como necesario, para aplicar a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de reducir los casos de emergencias y permitir un mayor tiempo de operación en forma continua". (Gallo, 2019)
- **Mantenimiento predictivo:** "Consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos con la evolución de la falla, para así determinar en qué periodo de tiempo esta falla va a tomar relevancia importante, y así poder planificar todas las intervenciones con suficiente tiempo, para que la falla no tenga consecuencias graves". (Gallo, 2019)
- **Mantenimiento correctivo:** "Se realiza cuando un equipo o sistema deja de funcionar por causas desconocidas, poniéndolo en funcionamiento lo más rápido posible para buscar el motivo." Y desarrollando medidas preventivas. (Gallo, 2019).

## Criterio de Confiabilidad

La confiabilidad puede ser definida como la “confianza” que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un periodo de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. Otra definición importante de confiabilidad es; probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas. (Mesa Garajales, y otros, 2006).

De otra manera, podemos considerar que la confiabilidad es la probabilidad de que no ocurra una falla de determinado tipo, para misión definida y con un nivel de confianza dado.

Figura 2.3 Evolución de los tipos de mantenimiento



Fuente: ISSN 0122-1701 Vol. XII, núm. 30, mayo 2006, pp. 155-160

La confiabilidad de un equipo o producto puede ser expresada a través de la expresión:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (2.1)$$

Donde:

R(t): Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado.

e: Constante Neperiana (e = 2.303).

λ: tasa de fallas

t: tiempo

## Criterio de Mantenibilidad

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa de que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con los procedimientos prescritos. En términos probabilísticos se define la mantenibilidad como la “probabilidad de reestablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos equipos que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo t.

De manera análoga a la confiabilidad, la mantenibilidad puede ser estimada con ayuda de la expresión:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \dots\dots\dots(2.2)$$

Donde:

M(t): es la función mantenibilidad, que representa la probabilidad de que la reparación comience en el tiempo t=0 y sea concluida satisfactoriamente en el tiempo “t” (probabilidad de duración de la reparación).

e: constante neperiana (e=2. 303..)

$\mu$ : Tasa de reparaciones o número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo.

t: tiempo previsto de reparación TMPR.

Normalmente los tiempos que ocurren entre parada y el retorno a la operación de un equipo son presentándose en la siguiente tabla:

Tabla 2.1 Probabilidad de duración de reparación

<b>Tiempo</b>	<b>Descripción</b>
t=0	Instante en que se verifica la falla
1	Tiempo para la localización del efecto
2	Tiempo para el diagnóstico
3	Tiempo para el desmontaje ( Acceso)
4	Tiempo para la remoción de la piezas
5	Tiempo de espera por repuesto (logístico)
6	Tiempo para la sustitución de piezas
7	Tiempo para el remontaje
8	Tiempo para ajustes y pruebas

Fuente: ISSN 0122-1701 Vol. XII, núm. 30, mayo 2006, pp. 155-160

Cuando se analizan los tiempos descritos anteriormente se verifica que directa e indirectamente, todos ellos son responsabilidad del personal del mantenimiento. Pero también existen otros tiempos empleados como la planificación de los servicios, problemas de liberación de equipos y calificación personal. En este sentido el tiempo previsto de reparación puede considerarse no solo comprendido por todos los tiempos que son pertinentes a las acciones del mantenimiento en sí, sino que hay que entender en el tiempo en el que el equipo está fuera de operación debe ser reducido y ese debe ser el objetivo de los involucrados en el proceso de organización del mantenimiento. (Mesa Garajales, y otros, 2006).

### **Disponibilidad**

"La disponibilidad es la aptitud de un producto, máquina o sistema para cumplir su función o estar en condiciones de hacerlo en un momento dado cualquiera", explica claramente el concepto de disponibilidad y destaca que va más allá de la confiabilidad y la mantenibilidad". (Nieto, 2021).

Es la probabilidad de que después del fallo sea reparado en un tiempo dado. Es la rapidez con la cual las fallas o el funcionamiento defectuoso en los equipos son diagnosticados y corregidos, o el mantenimiento programado es ejecutado con éxito. Asimismo, es la capacidad de dicho

objeto o elemento bajo determinadas condiciones de uso y aplicaciones para conservar o ser reconstruido un estado en el que pueda realizar la función necesaria por dicha operación cuando el mantenimiento se realiza bajo determinadas condiciones y usando procedimientos y recursos establecidos correctamente.

### **Índices de disponibilidad**

La disponibilidad total, la disponibilidad por fallas, el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio entre reparaciones son los índices de disponibilidad que se detallan a continuación:

#### **- Disponibilidad total**

Es la relación entre las horas que una máquina o equipo ha estado disponible para el trabajo y las horas totales en un período o turno de trabajo. Su fórmula es: Las horas de trabajo totales divididas por las horas de mantenimiento son la disponibilidad total. En una empresa con varias líneas de producción es recomendable determinar la disponibilidad de cada línea de producción, luego obtener un promedio de todas las líneas de producción para obtener la disponibilidad de toda la planta de producción. En caso de que las máquinas no formen una línea de producción, es preferible identificar las máquinas más importantes o críticas y determinar la disponibilidad de cada máquina para obtener un promedio de la disponibilidad de todas las máquinas. (Nieto, 2021).

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ Totales - Horas\ paradas\ por\ mantenimiento}{Horas\ Totales} \dots\dots(2.3)$$

#### **- Disponibilidad por averías**

En este caso, el cálculo es similar al cálculo de disponibilidad total, con la diferencia de que las horas de descanso por mantenimiento deben ser solo las horas de descanso, mientras que su fórmula para fallas sería: (Nieto, 2021).

$$\text{Disponibilidad por averías} = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas paradas por averías}}{\text{Horas Totales}} \dots\dots(2.4)$$

En este caso, las horas de parada de los equipos o máquinas programadas no se toman en cuenta. Si las máquinas están en línea o independientes, su tratamiento es igual al anterior.

- **MTBF (Mid Time Failure, tiempo medio entre fallos)**

El término "tiempo medio entre fallas", también conocido como MTBF, nos indica la frecuencia con la que ocurren las averías. Su fórmula de cálculo es: (Nieto, 2021).

$$MTBF = \frac{\text{Nº de Horas totales del periodo de tiempo analizado}}{\text{Nº de averías}} \dots\dots\dots(2.5)$$

- **MTTR (Mid Time To Repair, tiempo medio de reparación)**

El tiempo promedio que se emplea desde que una maquina está inoperativa hasta que vuelva a su estado operativo se conoce como Tiempo Medio de Reparación (MTTR). Su fórmula de cálculo es: (Nieto, 2021).

$$MTTR = \frac{\text{Nº de horas de paro por avería}}{\text{Nº de averías}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Otra forma de poder calcular este indicar es de la siguiente forma:

$$\text{Disponibilidad por avería} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF} \dots\dots\dots(2.7)$$

**Análisis de criticidad**

El Análisis de Criticidad (AC) es una metodología "semicuantitativa" para dimensionar el riesgo que permite establecer jerarquías o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos (ISED'S) de acuerdo con una gura de mérito llamada "Criticidad", que es proporcional al "Riesgo". La siguiente ecuación se utiliza para calcular la criticidad:

$$CRITICIDAD = Frecuencia\ de\ Falla\ x\ Impacto.....(2.8)$$

La cual es proporcional a la siguiente ecuación:

$$RIESGO = Prob.\ Falla\ x\ Consecuencia.....(2.9)$$

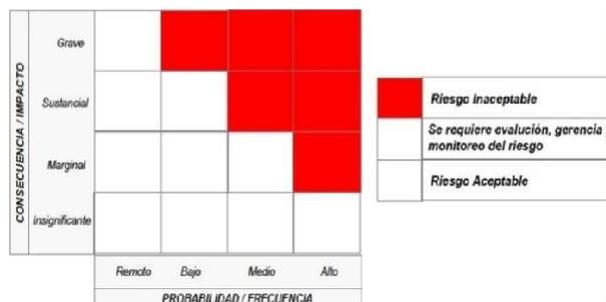
La criticidad es proporcional al riesgo porque la frecuencia de fallas es proporcional a la probabilidad de fallas y el impacto de una falla es proporcional a la consecuencia de una falla.

El análisis de criticidad es una técnica fácil de manejar y comprender que utiliza rangos relativos para representar las probabilidades, frecuencias y efectos de los eventos. Después de agregar ambas magnitudes, frecuencias e impactos, se crea una matriz con un código de colores que indica la intensidad del riesgo asociado con la instalación, el sistema, el equipo o el dispositivo en cuestión.

La figura 2.4 muestra una matriz de riesgo semicuantitativa típica de 4x4. Como se puede ver, el eje de probabilidad o frecuencia se clasifica en categorías de calificación como Alto, Medio, Bajo y Remoto, así como en categorías de consecuencias como Grave, Substancial, Marginal e Insignificante. Estos rangos deben estar relacionados con valores numéricos para estudios cuantitativos y/o con descripciones muy claras para estudios semicuantitativos o cualitativos.

La definición de los rangos de probabilidad o frecuencia y de impacto o consecuencias es un componente crucial del establecimiento de una matriz de riesgo. Aquí hay algunos ejemplos de definiciones de rangos:

Figura 2.4 Matriz de criticidad



Fuente: Predictiva21

En la matriz se pueden distinguir tres áreas, como: Inaceptable zona de riesgo, Aceptable zona de riesgo.

Una zona que se encuentra entre las áreas de riesgo aceptable e inaceptable y requiere acciones de evaluación, gestión y monitoreo del riesgo.

Esta matriz solo ilustra la división en regiones. La norma NORZOK Z-013, "Análisis de riesgos y preparación para situaciones de emergencia", recomienda esta sección. Sin embargo, es importante aclarar que, para cada proceso, tipo de industria o sistema particular bajo estudio, se debe establecer claramente lo que se considerará riesgo intolerable y lo que se considerará riesgo tolerable. Esto también debe cumplir con un "gran acuerdo" que todos los niveles de la organización o proceso donde se realiza la matriz.

### **Análisis de aceite**

El análisis de aceites estudia las propiedades físicas y químicas del aceite lubricante para determinar el estado de funcionamiento de una máquina. El aceite es esencial para las máquinas porque lo protege del desgaste, regula la temperatura y elimina las impurezas. Cuando el aceite está contaminado y/o degradado de manera significativa, no cumple con estas funciones y la máquina comienza a fallar. La técnica de análisis de aceites permite medir el nivel de contaminación y/o degradación del aceite mediante una serie de pruebas que se realizan en laboratorios especializados sobre una muestra tomada de una máquina durante el funcionamiento o después de su detención. El nivel de contaminación del aceite es un buen indicador del estado de la máquina porque está relacionado con la presencia de partículas de desgaste y sustancias extrañas. El grado de degradación del aceite sirve como indicador de su estado porque indica la disminución en la capacidad de lubricar causada por cambios en sus propiedades y aditivos. La contaminación de una muestra de aceite se mide midiendo:

- ✓ Partículas metálicas de desgaste.
- ✓ Combustible.
- ✓ Agua.
- ✓ Viscosidad.
- ✓ Constante dieléctrica.

Las pruebas físicas y químicas del aceite ayudan a elegir el mejor plan de lubricación y mantenimiento para la máquina. (Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria, 2010).

Figura 2.5 Muestras de aceite para análisis



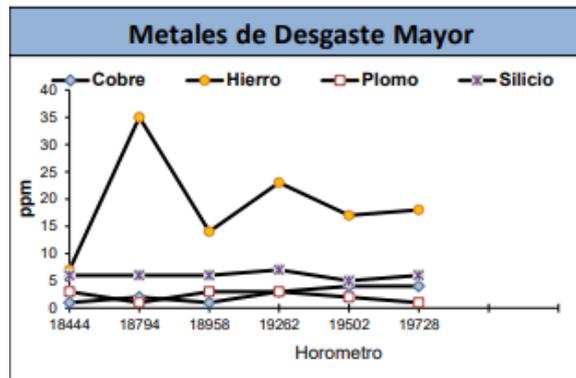
Fuente: CIA. Minera Santa Luisa S.A.- 2022

### Monitoreo químico

Las técnicas descritas en esta sección se usan para detectar elementos en fluidos – generalmente aceite lubricante – que indican que la falla potencial se ha presentado en algún otro lugar del sistema, en forma opuesta a la falla insipiente del fluido en sí mismo.

Los elementos detectados más comúnmente por estas técnicas se enuncian abajo, y pueden aparecer como resultado de desgaste, pérdidas o corrosión.

Figura 2.6 Resultados de análisis de aceite



Fuente: MUR-WY S.A.C.

### Metales desgastados

Los siguientes metales desgastados se miden en aceites lubricantes:

- Aluminio: de pistones, chumaceras, laminas, arandelas de empuje, accesorios, cajas de cojinetes de planetarios, bombas, engranajes, bombas lubricadoras, etc.
- Antimonio: de algunos rodamientos de aleación y componentes grasos.
- Cromo: de desgaste de componentes enchapados como ser ejes, cerraduras, anillos de pistones, cilindros, cajas de cojinetes y algunos rodamientos.
- Cobre: de chumaceras, cojinetes de empuje, brazos de apoyo de oscilación de leva, engranaje, válvula, Se presentan en bronce o cobre y se detectan en conjunción con el zinc en el primero y lata en el segundo.
- Hierro: forros de cilindros fundidos, anillos de pistones, ejes de leva, cigüeñales. Guías de válvulas, rieles de cojinetes antifricción, engranajes, ejes, bombas de lubricación, y estructuras de maquinarias, etc.
- Plomo: de chumaceras y cerraduras.
- Magnesio: de accesorios de turbinas, ejes y válvulas.
- Manganeso: de válvulas y ventiladores.
- Molibdeno: de anillos superiores de pistones enchapados en algunos motores diésel.

- Níquel: de válvula, paletas de turbinas, rodamientos y platos de leva.
- Plata: de motores locomotrices, cojinetes soldables
- Estaño: de cojinetes, de bronce sellos y soldaduras.
- Zinc: de componentes de bronce, sellos de neopreno.

### **Pérdidas**

Los siguientes componentes están asociados a pérdidas:

- Aluminio: de la contaminación atmosférica.
- Boro: de pérdidas enfriantes de aceite.
- Calcio: Si se lo encuentra en el combustible, generalmente indica contaminación de agua marina.
- Cobre: de agua de enfriamiento en aceites.
- Magnesio: de contaminación de agua marina.
- Fósforo: de una pérdida de enfriamiento de aceite.
- Potasio: de contaminación por agua marina en el aceite.
- Silicio: de contaminación por silicio de sistemas de inducción o fluidos de limpieza.
- Sodio: de agentes anticorrosión en las soluciones de enfriamiento de motores, generalmente como resultado de una pérdida de enfriamiento.

### **Corrosión**

Los siguientes elementos se asocian con la corrosión:

- Aluminio: De la corrosión de bloque de motor
- Hierro: Por la corrosión estanques de almacenamiento y cañerías.
- Manganeso: A veces se lo encuentra con el hierro como resultados de la corrosión de metales.

### **Confiabilidad**

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un componente, dispositivo, producto, proceso o sistema funcione o cumpla con una función después de un tiempo específico de duración o uso, en condiciones especificadas. (ASTM International, 2018)

## **Mantenibilidad**

Es la probabilidad de que después del fallo sea reparado en un tiempo dado. Es la rapidez con la cual las fallas o el funcionamiento defectuoso en los equipos son diagnosticados y corregidos, o el mantenimiento programado es ejecutado con éxito. Es la capacidad de dicho objeto o elemento bajo determinadas condiciones de uso y aplicaciones para conservar o ser reconstruido un estado en el que pueda realizar la función necesaria por dicha operación cuando el mantenimiento se realiza bajo determinadas condiciones y usando procedimientos y recursos establecidos correctamente.

## **Desempeño.**

La medición y evaluación del desempeño es el proceso de cuantificar la eficiencia y la efectividad de las acciones; es una aplicación sistemática, rigurosa y meticulosa de métodos científicos para evaluar el diseño, la ejecución, el mejoramiento o los repuestos de éter.

El objetivo de la optimización de procesos industriales de la organización es asegurar:

- El aumento máximo de la productividad.
- Una mayor protección.
- Reducir los costos operativos.

La optimización de recursos se define como la mejor forma de realizar una tarea en lugar de ahorrar o suprimir recursos.

En el ámbito empresarial, la optimización de los recursos se relaciona con la eficiencia, es decir, utilizar los recursos de la manera más eficiente posible para obtener los mayores beneficios a un costo mínimo. La eficacia está estrechamente relacionada con la eficiencia porque se centra en los resultados, la consecución de objetivos y la creación de valores. Para optimizar los recursos, no solo tendría que ser eficiente, sino también efectivo.

## SCOOPTRAMS

Es una máquina de carga, acarreo, diseñado específicamente para operar en minería subterránea, considerado también como equipo de bajo perfil.

Figura 2.7 Scooptram CAT

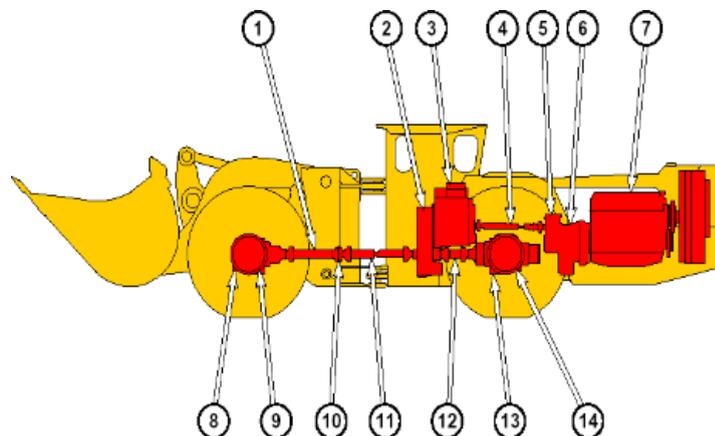


Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, los equipos Scooptrams presentan sistemas hidráulicos y mecánicos similares independientemente de la marca de estos (CAT y Epiroc). Por ello, mencionaremos las principales partes que presentan interacción con los fluidos como aceite y agua.

### - TREN DE POTENCIA

Figura 2.8 Componentes del tren de potencia

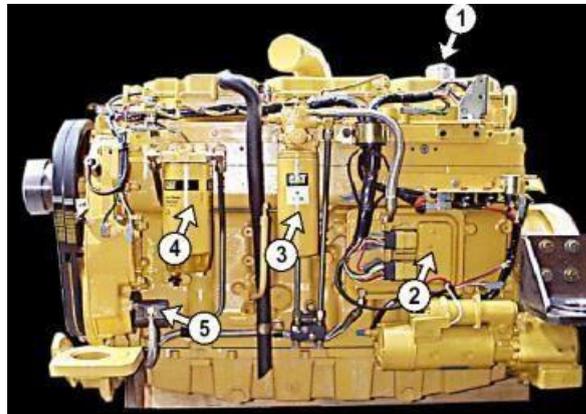


Fuente: Ferreyros S.A.

1. Eje de transmisión delantero.
2. Caja de transferencia de salida.
3. Transmisión.
4. Eje de transmisión superior.
5. Engranajes de transferencia de accionamiento del convertidor de par.
6. Convertidor de par.
7. Motor.
8. Diferencial delantero.
9. Mandos finales delanteros.
10. Rodamiento central.
11. Eje de transmisión central.
12. Eje de transmisión trasero.
13. Diferencial trasero.
14. Mandos finales traseros.

- MOTOR

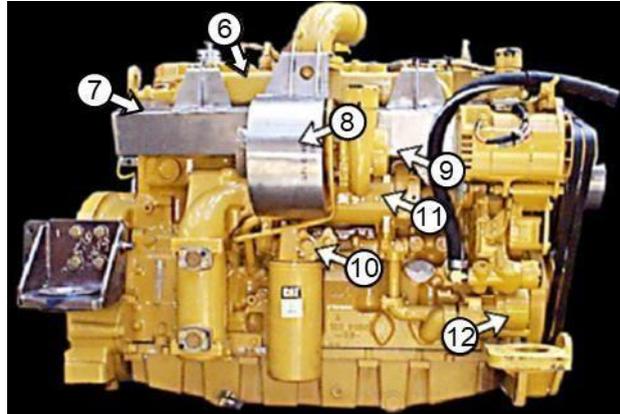
Figura 2.9 Componentes principales del motor - Vista lateral derecha



Fuente: Ferreyros S.A.

1. Filtro de aceite.
2. Módulo de control electrónico.
3. Filtro secundario de combustible.
4. Filtro primario de combustible / separador de agua.
5. Bomba de combustible.

Figura 2.10 Componentes principales del motor - Vista lateral izquierda

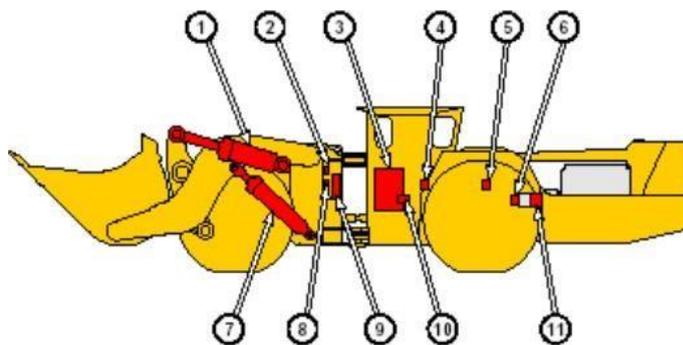


Fuente: Ferreyros S.A.

6. Colector de admisión.
7. Colector de escape.
8. Cargador de turbo.
9. Entrada de aire.
10. Base de filtro de aceite.
11. Enfriador de aceite.
12. Bomba de aceite.

## - SISTEMA HIDRÁULICO

Figura 2.11 Componentes del sistema hidráulico



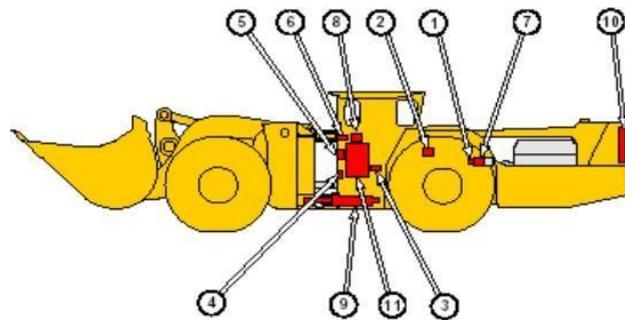
Fuente: Ferreyros S.A.

1. Cilindro de inclinación.
2. Válvula de flotación y secuencia.
3. Tanque hidráulico.
4. Válvula de control piloto joystick.

5. Válvula reductora de presión.
6. Bomba de aceite piloto.
7. Cilindro de Levante.
8. Válvula de posicionamiento del cucharón.
9. Válvula de control principal.
10. Válvula selectora y de control de presión.
11. Bomba hidráulica principal.

- SISTEMA DE DIRECCIÓN

Figura 2.12 Componentes del sistema de dirección



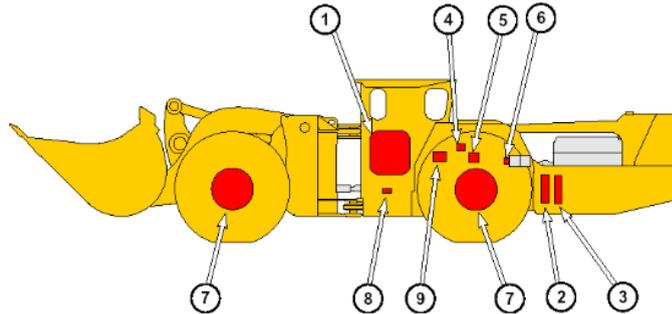
Fuente: Ferreyros S.A.

1. Bomba piloto.
2. Válvula reductora de presión.
3. Válvula selectora y de control de presión.
4. Neutralizador de puerta.
5. Válvula de control piloto.
6. Neutralizadores de giro.
7. Bomba de dirección
8. Válvula de control principal
9. Cilindro de dirección.
10. Enfriador de aceite.
11. Tanque hidráulico

## - SISTEMA DE FRENOS

Entre los componentes encontramos los siguientes puntos:

Figura 2.13 Componentes del sistema de frenos



Fuente: Ferreyros S.A.

1. Tanque hidráulico.
2. Acumulador freno delantero.
3. Acumulador freno posterior.
4. Válvula reductora de presión.
5. Válvula de carga del acumulador.
6. Bomba piloto y freno.
7. Disco de freno.
8. Válvula del freno de servicio.
9. Válvula de control de freno de parqueo / emergencia.

### 2.4. Definición de términos básicos

- **Accesorio:** Elemento de un sistema o máquina. Puede ser considerado como producto o subproducto.
- **Ciclo de vida:** es considerado como el tiempo que un activo conserva su capacidad de operación.
- **Componente:** Dispositivo el cual puede formar parte de un circuito eléctrico, mecánico, electrónico, entre otros.

- **Equipo:** Se puede definir como el conjunto de máquinas requeridas para lograr un objetivo.
- **Evento de falla:** Situación en la que se puede presenciar anomalías de carácter técnico en un equipo
- **Falla:** Situación dada, afectando la capacidad de un equipo, de ejecutar su función
- **Función:** Desempeño de un equipo bajo sus estándares de funcionamiento
- **Inspección:** Actividades que se realizan en el proceso del mantenimiento preventivo. Se usa pasos definidos con cierta periodicidad y corta duración en el momento de revisar el equipo o máquina.
- **Lubricación:** Actividad involucrada en el mantenimiento preventivo, donde se adiciona fluido (lubricante) que tiene como finalidad evitar el contacto entre 2 superficies y minimizar su desgaste.
- **Mantenimiento en parada:** Acciones realizadas cuando el equipo se encuentra en estado de reposo.
- **Máquina:** sistema conformado con piezas y/o materiales resistentes con capacidad de convertir o transmitir energía.
- **Mecanismos:** Piezas resistentes que conjuntamente realizan movimientos relativos restringidos.
- **Parámetro:** variable para medir o cuantificar

- **Pronóstico:** Análisis de síntomas de daños, para predecir la condición o eventos futuros del equipo y su vida útil restante.
- **Parada general:** Serie de revisiones, mejoras, reparaciones, entre otros, que se realiza a una serie de activos. Son programadas por un tiempo definido.

### **III. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis general y específicas**

##### **Hipótesis general**

La aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.

##### **Hipótesis específicas**

- La calificación del diagnóstico en la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la disponibilidad de los equipos scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.
- El análisis en la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la disponibilidad de los equipos scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.
- La planificación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la disponibilidad de los equipos scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.
- El desarrollo de la implementación en la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la disponibilidad de los equipos scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.

### 3.2. Operacionalización de variable

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN						
APLICACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO (PMO) PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS SCOOPTRAMS EN LA CIA MINERA SANTA LUISA S.A.						
Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice / ítems	Método y técnica
<b>Variable Independiente:</b> Aplicación de optimización del mantenimiento planeado (PMO)	La optimización del mantenimiento planeado (PMO) es un metodología diseñada para revisar los requerimientos del mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los equipos y activos en operación. (Cuéllar Velilla, y otros, 2010)	La optimización del mantenimiento planeado (PMO) es una herramienta necesaria para mejorar la eficacia de los equipos a través de un proceso donde se diagnostica, analiza los fallos de los equipos para posteriormente planificar e implementar un plan de mantenimiento que esté fuera del programa de mantenimiento.	Diagnóstico	Nº Factores de fallas en los equipos	Diagrama de Pareto	<b>Método:</b>  Hipotético-Deductivo  <b>Técnica:</b>  Análisis documental  Observación directa
			Análisis	Número de Fallas Frecuentes	Ordinario	
				% Reparaciones no programadas	$R = \frac{\# \text{ Rep. no program.}}{\# \text{ Rep. totales}}$	
				Número de Fallas Críticas	Matriz de criticidad	
				Estudio de análisis de aceite	-	
			Planificación	Nº Capacitaciones	Ordinario	
Implementación	Nº Mantenimientos	Ordinario				
<b>Variable dependiente</b> Disponibilidad	La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que en un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa con el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente. (Mesa Garajales, y otros, 2006)	La disponibilidad es el indicador mediante el cual señalamos la probabilidad de que un equipo esté operable y/o presente cuando exista la necesidad. Para determinar la disponibilidad dependemos de la mantenibilidad y confiabilidad	Mantenibilidad	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	$MTBF = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de paradas}}$	
			Confiabilidad	Tiempo medio de reparación (MTTR)	$MTTR = \frac{\text{tiempo total de mantenimiento}}{\text{número de reparaciones}}$	

## **IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

### **4.1. Tipo y diseño de investigación**

#### **Por el tipo de investigación**

Según Gonzales (2021), la investigación aplicada se abastece por el tipo básico o puro, ya que mediante, la teoría se encarga de resolver problemas prácticos, se basa en los hallazgos, descubrimientos y soluciones que se planteó en el objetivo del estudio, normalmente este tipo de investigación se utiliza en la medicina o ingenierías.

La presente investigación plantea aplicar la metodología de la optimización de mantenimiento planeada para incrementar la disponibilidad de los Scooptrams.

#### **Por su naturaleza o enfoque: Cuantitativo**

Según Sampieri (2004), el enfoque cuantitativo se fundamenta en un esquema deductivo y lógico que busca formular preguntas de investigación e hipótesis para posteriormente probarlas.

De acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior, la presente investigación es de enfoque cuantitativo, debido a contener datos numéricos o cuantificables, los cuales poseen un campo o universo grande y considerable.

#### **Por su finalidad**

Según Murillo (2008), la investigación científica aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad.

La investigación es aplicada debido a búsqueda de la solución de un problema en la CIA Minera Santa Luisa S.A. a través de la aplicación de la Optimización del mantenimiento planeado (PMO) para incrementar la disponibilidad.

#### **Según su diseño: Pre-experimental**

En este sub-diseño de a investigación pre- experimental la variable independiente cuenta con un solo nivel: grupo de experimentación, el cual recibe la intervención que el investigador aplique. La variable independiente debe ser medida con algún instrumento: pre-post test. (Galarza, 2021).

#### **Por su alcance transversal**

La presente investigación es transversal, debido al análisis de la recopilación de datos de la variable dependiente, estos datos presentan 1 años de antigüedad para aplicar la metodología de la optimización de mantenimiento planificado (PMO) y se presentará los resultados después de 6 meses de ejecución del PMO.

## **4.2. Método de investigación**

### **Método Hipotético-deductivo**

Según Zarzar (2015) el método hipotético-deductivo o método experimental, que se utiliza más en ciencias naturales, consiste en la experimentación directa sobre el objeto de estudio, con el fin de comprobar la verdad o falsedad de determinadas hipótesis previamente establecidas”

La presente investigación presenta formulación de hipótesis que serán contrastadas con datos empíricos.

#### **4.3. Población y muestra**

##### **4.3.1. Población**

La investigación presenta una población de 7 equipos Scooptrams (5 equipos CAT R1600 y 2 equipos Epiroc ST-1030).

##### **4.3.2. Muestra**

La investigación tiene como muestra 7 equipos scooptrams (5 equipos CAT R1600 y 2 equipos Epiroc ST-1030).

#### **4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado**

La presente investigación se realiza en las instalaciones de unidad Minera Santa Luisa S.A. ubicada en la provincia de Bolognesi.

#### **4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información**

##### **Técnica Documental**

La técnica documental es la selección de distintos medios para obtención de información, tales como, catálogos, registros de datos. Algunos datos y evidencias como imágenes de los equipos de los equipos de la CIA Minera Santa Luisa S.A.

##### **Técnica Empírica**

Para la presente tesis, utilizamos la técnica de las encuestas, que consiste en la recolección de información más usada. Sin embargo, debido a las respuestas fluctuantes o impredecibles de las personas encuestadas, puede haber sesgo. A su vez, la encuesta se basa en un cuestionario preparado para obtener la información requerida.

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

Para el desarrollo la presente tesis se tendrá en consideración parámetros y valores, ya sea la cantidad de paradas de cada equipo, tiempo de cada parada para su mantenimiento. También, se utilizarán los softwares de análisis de datos Microsoft Excel, en los cuales se compilarán los datos

recolectados mediante las encuestas para cada una de las variables a analizar, para luego aplicar diversas pruebas estadísticas y así obtener los respectivos cuadros y gráficos, los cuales se interpretarán de según las hipótesis y objetivos detallados.

#### 4.7. Aspectos Éticos de la investigación

La presente tesis cuenta con el permiso necesario de la empresa para usar el nombre, data. Así como también respetamos el derecho de autor de las fuentes de información brindadas para llevar a cabo esta tesis.

Se adjunta el permiso de uso de los datos brindados por la CIA. Minera Santa Luisa S.A. en los anexos.

## DESARROLLO DE LA APLICACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO

### PASO 1: RECOPIACION DE DATOS

Se realiza la recopilación de información de registros y tareas realizadas en los Scooptrams. Los registros que se obtienen es mediante una base de datos en el Software Excel.

Tabla 4.1 Descripción de tareas

ITEM	ANTES DE ARRANCAR	RESPONSABLE
1	NIVEL DE ACEITE MOTOR (ENTRE RAYAS)	MECÁNICO
2	ESTADO DE FAJAS DEL ALTERNADOR	MECÁNICO
3	ESTADO DE FAJAS DEL VENTILADOR	MECÁNICO
4	EXTINTOR	MECÁNICO
5	ESTADO DE LLANTAS (AJUSTE Y PRESIONES)	MECÁNICO
6	LUCES DELANTERAS, POSTERIORES y DE CABINAS	ELÉCTRICO
7	CONDICIÓN DE BATERIAS (NIVEL DE SOLUCIÓN)	ELÉCTRICO
8	COMPROBACIÓN DEL CLAXON	ELÉCTRICO
9	NIVEL DE COMBUSTIBLES Y PURGA	MECÁNICO
10	CHOQUES, ACCIDENTES Y OTROS	MECÁNICO
11	NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO DEL TANQUE	MECÁNICO
12	REVISIÓN DE CRUCETAS Y CARDANES	MECÁNICO
13	NIVEL DEL REFRIGERANTE (AGUA DESTILADA)	MECÁNICO
14	ALARMA DE RETROCESO	ELÉCTRICO
15	CIRCULINA	ELÉCTRICO

16	LUZ DE FRENO DE SERVICIO	ELÉCTRICO
17	PAÑOS ABSORVENTES	MECÁNICO
18	ASIENTO	MECÁNICO
<hr/>		
ITEM	DESPUÉS DE ARRANCAR	
1	ENFRIADOR DE ACEITE DE LOS EJES (VENTILADORES)	MECÁNICO
2	NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	MECÁNICO
3	PRESIÓN DE ACEITE DE MOTOR	MECÁNICO
4	TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE DEL MOTOR (107°C - 225°F)	MECÁNICO
5	TEMPERATURA DE ACEITE DE TRANSMISIÓN ( 129°C - 264°F)	MECÁNICO
6	TEMPERATURA DE ACEITE HIDRÁULICO > 93°C	MECÁNICO
7	ESTADO DEL FRENO DE SERVICIO	MECÁNICO
8	ESTADO DEL FRENO DE PARQUEO	MECÁNICO
9	CARGA DE ALTERNADOR (24-28V)	ELÉCTRICO
10	CÓDIGO DE ADVERTENCIA	MECÁNICO
11	CATEGORÍA DE ADVERTENCIA 1	MECÁNICO
12	CATEGORÍA DE ADVERTENCIA 2 (CAMBIAR EL MODO DE OPERACIÓN)	MECÁNICO
13	CATEGORÍA DE ADVERTENCIA 3 (PARAR Y APAGAR INMEDIATAMENTE EL MOTOR)	MECÁNICO
14	REVISAR FUGAS DE ACEITE MOTOR E HIDRÁULICO	MECÁNICO
<hr/>		
ITEM	TANQUE DE LUBRICACIÓN AUTOMÁTICA	
1	EL TANQUE SE DEBE ENCONTRAR LLENO DE GRASA	MECÁNICO
2	REVISAR EL PIN ENTRE LA CUCHARA Y EL BRAZO	MECÁNICO
3	REVISAR EL ZETA BRAZO	MECÁNICO
4	REVISAR EL PIN DEL VÁSTAGO DEL PISTÓN DE VOLTEO	MECÁNICO

De la misma manera, se realiza un seguimiento de la disponibilidad conjuntamente con el MTTR, MTBF de los equipos en el intervalo de las primeras 30 semanas respectivamente.

Tabla 4.2 Indicadores Pre-Aplicación PMO

SEMANA	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD (%)
S1	27.5	40.9	40.20
S2	36.1	53.9	40.11
S3	21.4	65.1	24.74
S4	29.7	50.8	36.89
S5	26.8	52.7	33.71
S6	16.6	27.7	37.47
S7	41.6	39.6	51.23
S8	41	52.2	43.99
S9	43.6	38.2	53.30
S10	31.7	62.5	33.65
S11	31.1	66.5	31.86

S12	25.1	28	47.27
S13	14.2	30.5	31.77
S14	43.6	32	57.67
S15	31.7	17	65.09
S16	31.1	30.6	50.41
S17	25.1	34.2	42.33
S18	14.2	33	30.08
S19	43.6	33.7	56.40
S20	34.9	60.2	36.70
S21	20.7	52.5	28.28
S22	20.4	43.2	32.08
S23	28.8	46.9	38.04
S24	36.4	57.5	38.76
S25	26.3	44.9	36.94
S26	44.1	45.9	49.00
S27	36.1	52.1	40.93
S28	20.8	46.5	30.91
S29	29.7	43.2	40.74
S30	40.6	38.3	51.46

---

Consideramos el cálculo de la disponibilidad de la siguiente manera:

Disponibilidad 1 (D1):

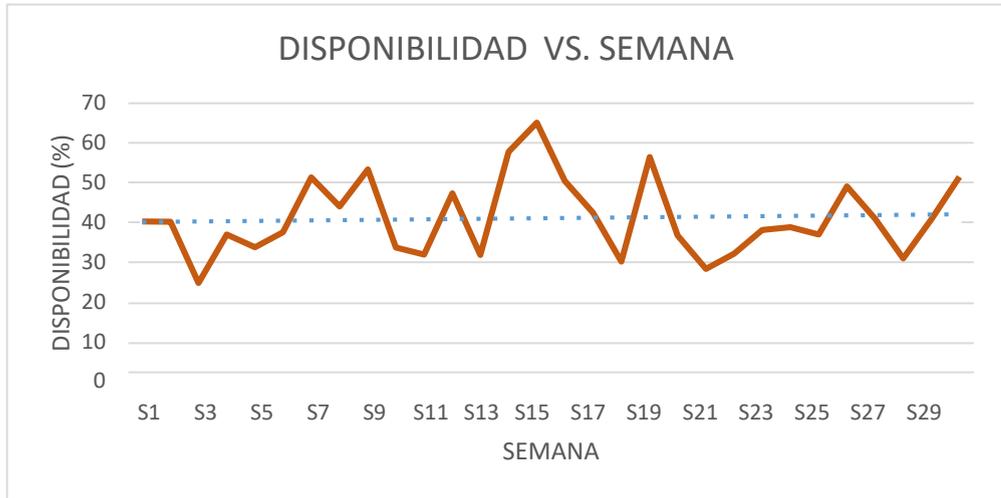
$$D1 = \frac{MTBF(1)}{MTBF(1) + MTTR(1)} \times 100$$

$$D1 = \frac{27.5}{27.5 + 40.9} \times 100 = 40.2\%$$

De la misma manera realizamos el cálculo de la disponibilidad de la semana 2 hasta la semana 30, según muestra la tabla 4. 2.

Mediante los datos obtenidos, se realiza la gráfica de líneas para visualizar los rangos de la disponibilidad.

Figura 4.1 Disponibilidad en PRE - Aplicación PMO



## 2. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA (FMA)

El objetivo de este punto del PMO es determinar el modo de falla que intenta prevenir o detectar antes del suceso.

Tabla 4.3 Análisis de modos de falla (FMA)

EVENTO	TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	FALLA	MODOS DE FALLA
ANTES DEL ARRANQUE	VERIFICAR NIVEL DE ACEITE	SEMANAL	MECÁNICO	DESGASTE DE COMPONENTES	PERIODO DE TRABAJO, FUGAS.
	VERIFICAR ESTADO DE FAJAS DEL ALTERNADOR	SEMANAL	MECÁNICO	TENSIÓN INCORRECTA, CUARTEADA	PERIODO DE TRABAJO.
	VERIFICAR ESTADO DE FAJAS DEL VENTILADOR	SEMANAL	MECÁNICO	TENSIÓN INCORRECTA, CUARTEADA	PERIODO DE TRABAJO
	VERIFICAR PRESIONES DE LOS NEUMÁTICOS (AJUSTE Y PRESIONES)	SEMANAL	MECÁNICO	BAJA PRESIÓN DE NEUMÁTICOS	FUGAS DE AIRE POR CORTES GENERADOS EN CAMPO
	VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE LUCES DELANTERAS, POSTERIORES Y CABINA	SEMANAL	ELÉCTRICO	FUNCIONAMIENTO DEFECTUOSO	FALSO CONTACTO, FUSIBLES DETERIORADOS
	VERIFICAR CONDICIÓN DE BATERÍA (NIVEL DE SOLUCIÓN)	SEMANAL	ELÉCTRICO	VOLTAJE INESTABLE	CONEXIÓN DEFECTUOSA, CORROSION EN LOS TERMINALES.
	REVISAR EL NIVEL DE COMBUSTIBLE Y PURGA	SEMANAL	MECÁNICO	CORTA VIDA DE FILTROS	FUGA DE COMBUSTIBLE POR MANGUERAS
	VERIFICAR DESGASTE (CHASIS)	SEMANAL	MECÁNICO	FISURAS, CORROSIÓN	CONTACTO CON MATERIAL RÍGIDO
	COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL CLAXON	SEMANAL	ELÉCTRICO	MAL FUNCIONAMIENTO	CONEXIÓN DEFECTUOSA, SUSIBLE QUEMADO
	REVISIÓN DE DESGASTE DE CUCHARA	SEMANAL	MECÁNICO	FISURAS, CORROSIÓN	CARGA DE MATERIAL RÍGIDO
	REVISIÓN DE NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO DEL TANQUE	SEMANAL	MECÁNICO	SOBRECALENTAMIENTO	FUGA DE ACEITE HIDRÁULICO, GASTO DE ACEITE HIDRÁULICO
	REVISIÓN DE CARDANES Y CRUCETAS	SEMANAL	MECÁNICO	FISURA O ROTUA DE CARDAN Y CRUCETAS	VRIBRACIONES EXTREMAS
	INSPECCIÓN DEL NIVEL DE REFRIGERANTE	SEMANAL	MECÁNICO	SOBRECALENTAMIENTO	FUGA DE ACEITE
	VERIFICACIÓN DE ALARMAS DE RETROCESO	SEMANAL	ELÉCTRICO	MAL FUNCIONAMIENTO	FALSO CONTACTO, FUSIBLE DETERIORADOS
	VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE CIRCULINA	SEMANAL	ELÉCTRICO	MAL FUNCIONAMIENTO	FALSO CONTACTO, FUSIBLE DETERIORADOS
VERIFICACIÓN DE LUZ DE FRENO DE SERVICIO	SEMANAL	ELÉCTRICO	MAL FUNCIONAMIENTO	FALSO CONTACTO, FUSIBLE DETERIORADOS	
DESPUES DEL ARRANQUE	ENFRIADOR DE ACEITE DE LOS EJES (VENTILADORES)	SEMANAL	MECÁNICO	SOBRECALENTAMIENTO	FUGA DE ACEITE
	VERIFICAR EL NIVEL DEL ACEITE DE LOS ENFRIADORES	SEMANAL	MECÁNICO	SOBRECALENTAMIENTO	FUGA DE ACEITE
	VERIFICAR LA PRESIÓN DE ACEITE DEL MOTOR	SEMANAL	MECÁNICO	SOBRECALENTAMIENTO	FUGA DE ACEITE
	VERIFICAR TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE DEL MOTOR (107°C - 225°F)	SEMANAL	MECÁNICO	ACEITE DE MALA CALIDAD , RADIADOR NO FUNCIONE ADECUADAMENTE, OBSTRUCCIONES SISTEMA DE ENFRIAMIENTO, TERMOSTATO.	NIVEL BAJO DE REFRIGERANTE
	VERIFICAR TEMPERATURA DE ACEITE DE TRANSMISIÓN ( 129°C - 264°F)	SEMANAL	MECÁNICO	SOBRECALENTAMIENTO	FUGA DE ACEITE HIDRÁULICO DE TRANSMISIÓN
	VERIFICAR TEMPERATURA DE ACEITE HIDRÁULICO > 93°C	SEMANAL	MECÁNICO	DESGASTE DE COMPONENTES	FUGA DE ACEITE HIDRÁULICO
	VERIFICAR EL ESTADO DEL FRENO DE SERVICIO	SEMANAL	MECÁNICO	FRENO DEFECTUOSO	VÁLVULAS DEFECTUOSAS
	VERIFICAR ESTADO DEL FRENO DE PARQUEO	SEMANAL	MECÁNICO	FRENO DEFECTUOSO	FUGA DE ACIETE
	REVISAR CARGA DE ALTERNADOR (24-28V)	SEMANAL	ELÉCTRICO	VOLTAJE INESTABLE	FUSIBLE DETERIORADO
	CÓDIGO DE ADVERTENCIA				
	CATEGORÍA DE ADVERTENCIA 1	SEMANAL	ELÉCTRICO	REDUCCION EN EL RENDIMIENTO DEL EQUIPO	PERIODO DE TRABAJO, CONEXIONES DEFECTUOSA
	CATEGORÍA DE ADVERTENCIA 2 (CAMBIAR EL MODO DE OPERACIÓN)	SEMANAL	ELÉCTRICO	GENERACIÓN DE GRANDES DAÑOS EN LOS COMPONENTES	PERIODO DE TRABAJO, CONEXIONES DEFECTUOSA
	CATEGORÍA DE ADVERTENCIA 3 (PARAR Y APAGAR INMEDIATAMENTE EL MOTOR)	SEMANAL	ELÉCTRICO	GENERACIÓN DE DAÑOS CRÍTICOS EN LOS COMPONENTES	PERIODO DE TRABAJO, CONEXIONES DEFECTUOSA
	REVISAR FUGAS DE ACEITE MOTOR E HIDRÁULICO	SEMANAL	MECÁNICO	SOBRECALENTAMIENTO	FUGA DE ACEITE
	VERIFICACIÓN DEL NIVEL DE GRASA EN EL TANQUE	SEMANAL	MECÁNICO	DESGASTE DE COMPONENTES	FUGA DE GRASA
TANQUE DE LUBRICACION AUTOMÁTICA	VERIFICACIÓN DE ENGRASE Y ESTADO DEL PIN ENTRE LA CUCHARA Y EL BRAZO	SEMANAL	MECÁNICO	DESGASTE DE COMPONENTES	FUGA DE GRASA / FLEXIÓN DE PIN
REVISAR PUNTOS DE ENGRASE DEL ZETA BRAZO	SEMANAL	MECÁNICO	DESGASTE DE COMPONENTES	FUGA DE GRASA	
REVISAR PUNTOS DE ENGRASE DEL PIN DEL VÁSTAGO DEL PISTÓN DE VOLTEO	SEMANAL	MECÁNICO	DESGASTE DE COMPONENTES	FUGA DE GRASA	

### 3. RACIONALIZACIÓN Y REVISIÓN DEL ANÁLISIS DE MODO DE FALLA

En este proceso se examina y se organiza cada resultado de análisis de modo de falla y se agrega todos los modos de fallas faltantes en función del historial de fallas de los equipos.

Tabla 4.4 Racionalización y revisión del análisis de modo de falla

SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLA
TRANSMISIÓN	EJE DE TRANSMISIÓN	Desalineamiento de eje	Desgaste la corona de eje delantera
	NEUMATICOS	Desgaste superficial	Rotura del neumático
	EJE DE TRANSMISIÓN	Fugas de aceite hidráulico	Desgaste de componentes
	CARDÁN	Fuga de aceite	Desgaste de componentes
	SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	Incorrecto testeo de presión de aceite	Desgaste de componentes
LUBRICACION	SENSOR DE SATURACIÓN	Tiempo de uso	Bajo rendimiento del motor
	SENSOR DE FRENOS	Incorrecto testeo de nivel de refrigerante, descalibración	Pérdida de frenos en el equipo
MOTOR DIESEL	BOMBA DE ENGRASE	Tiempo de uso	Falta de lubricación en los componentes, desgaste de componentes.
	SENSOR DE AIRE	Pérdida de lectura	Pérdida de potencia del motor
	PUENTE DE VALVULAS DE ADMISION	Rotura del filtro	Parada de funcionamiento del equipo.
	FILTRO DE ADMISION	Desgaste del filtro	Bajo rendimiento del motor
	FAJA DE VENTILADOR	Pérdida de tensión de la faja	Baja ventilación al motor, sobrecalentamiento del motor
	CONEXIONES DE SENSORES	Perdida de señal, conexión defectuosa, falso contacto	Pérdida de señal de parámetros y mostrar indicadores incorrectos
	ATERNADOR	Desgaste en eje de la polea	Rotura de eje y falta de carga a baterías / equipo sin funcionamiento
	ARRANCADOR	Tiempo de uso	Sin funcionalidad
	SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	Incorrecto testeo	Incorrecta lubricacion del motor, desgaste de componentes del motor
	FAJA DE ALTERNADOR	Desgaste del componente	Pérdida de transmisión de potencia
ESTRUCTURAL	TANQUE DE REFRIGERANTE	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento
	CUCHARÓN	Desgaste estructural	Fisuras en la estructura
	CHASIS	Desgaste estructural	Fisuras en la estructura
	PASADORES DE ARTICULACIÓN	Desgaste	Flexion del pin
SISTEMA ELECTRICO	BRAZO, CUCHARÓN Y CASQUILLOS	Desgaste	Deformaciones de casquillos
	FAROS DELANTEROS	Falso contacto	No funcionamiento de los faros, estrobos en la iluminación
	CIRCULINA	Falso contacto	No funcionamiento de la circulina, estrobos en la iluminación
SISTEMA HIDRÁULICO	BATERÍA	Sulfatación de placas	Motor sin funcionamiento, sin alimentación para arranque
	CILINDRO DE VOLTEO	Fuga de aceite hidráulico	Falta de fuerza en el cilindro hidráulico
	VALVULA DE LEVANTE Y VOLTEO	Desgaste de oring en los tapones y fuga de aceite	Pérdida de fuerza en el levante del cucharón
	VALVULA DE CONTROL	Fuga de aceite en valvula check, desgaste	Pérdida de fuerza en el accionamiento del cilindro hidráulico
	VALVULA DE DIRECCIÓN	Desgaste de oring en block	Mal control del sistema hidráulico
	CILINDRO DE LEVANTE	Fuga de aceite hidráulico	Falta de fuerza en el cilindro hidráulico
	MANDOS HIDRÁULICOS	Obstrucción de válvulas	Sin funcionalidad de comandos
	VALVULA RELIEF	Tiempo de uso	inestabilidad en presiones

#### 4. ANÁLISIS FUNCIONAL (FMA)

Este proceso tiene como finalidad indicar los requisitos funcionales para la planta y/o activos y evaluar su capacidad real, es decir, las funciones perdidas por cada modo de falla. Por ello, indicará el funcionamiento de cada componente. A continuación, se elaborará una tabla en el cual se muestra la función e importancia de cada componente en el sistema.

Tabla 4.5 Análisis funcional

SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLO	EFEECTO DE FALLA	FUNCIÓN
TRANSMISIÓN	EJE DE TRANSMISIÓN	Desalineamiento de eje	Desgaste la corona de eje delantera	Transmitir la potencia motriz del motor a las ruedas
	NEUMÁTICOS	Desgaste superficial	Rotura del neumático	Soportar y facilitar el transporte del material
	CARDÁN	Fuga de aceite	Desgaste de componentes	Transmitir los movimientos rotativos desde un eje conductor a otro
	SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	Incorrecto testeo de presión de aceite	Desgaste de componentes	Distribuir correctamente el aceite
	SENSOR DE SATURACIÓN	Tiempo de uso	Alteración en el sensor de saturación	Indicar las obstrucciones en el motor
LUBRICACION	SENSOR DE FRENO	Incorrecto testeo de nivel de refrigerante, descalibración	Pérdida de frenos en el equipo	Indicar el óptimo funcionamiento del freno
	BOMBA DE ENGRASE	Tiempo de uso	Falta de lubricación en los componentes, desgaste de componentes.	Alimentar válvulas progresiva de engrase para todos los componentes
MOTOR DIÉSEL	SENSOR DE AIRE	Pérdida de lectura	Pérdida de potencia del motor	Indicar la presión a aireal motor
	PUENTE DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN	Rotura del filtro	desbalance en la mezcla combustible/aire en el motor	Permite el ingreso de mezcla de aire y combustible a la cámara.
	FILTRO DE ADMISIÓN	Desgaste del filtro	Bajo rendimiento del motor	Impedir que elementos como impurezas, suciedad entren al motor
	FAJA DE VENTILADOR	Pérdida de tensión de la faja	Baja ventilación al motor, sobrecalentamiento del motor	Brindar el movimiento correcto de las hélices
	CONEXIONES DE SENSORES	Perdida de señal, conexión defectuosa, falso contacto	Pérdida de señal de parámetros y mostrar indicadores incorrectos	Brindar indicaciones al operador del correcto funcionamiento del sistemas electrónicos y/o mecánicos
	ATERNADOR	Desgaste en eje de la polea	Rotura de eje y falta de carga a baterías / equipo sin funcionamiento	Transformar la energía mecánica en eléctrica
	ARRANCADOR	Tiempo de uso	Sin funcionalidad	Convertir la energía eléctrica en mecánica para encender el vehículo
	SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	Incorrecto testeo	Incorrecta lubricación del motor, desgaste de componentes del motor	Indicar el nivel óptimo de aceite en el vehículo
FAJA DE ALTERNADOR	Desgaste del componente	Pérdida de transmisión de potencia	Transformar la energía mecánica en eléctrica	
ESTRUCTURAL	TANQUE DE REFRIGERANTE	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	Almacenar refrigerante necesario para el enfriamiento del equipo
	CUCHARON	Desgaste estructural	Fisuras en la estructura	Carga de material
	PASADORES DE ARTICULACIÓN	Desgaste estructural	Fisuras en la estructura	Protección de los componentes internos del equipo
SISTEMA ELÉCTRICO	BRAZO, CUCHARON Y CASQUILLOS	Desgaste	Flexión del pin	Garantizar la unión entre 2 componentes
		Desgaste	Deformaciones de casquillos	Garantizar la carga del material y rotación entre 2 piezas móviles
SISTEMA HIDRÁULICO	BATERÍA	Falso contacto	No funcionamiento de los faros, estrobos en la iluminación	Iluminar dentro del beta
	CILINDRO DE VOLTEO	Fuga de aceite hidráulico	Voltaje inestable en el equipo	Brindar energía eléctrica para iluminación, sensores, entre otros.
	VÁLVULA DE LEVANTE Y VOLTEO	Desgaste de oring en los tapones y fuga de aceite	Falta de fuerza en el cilindro hidráulico	Direccionar el material cargado
	VÁLVULA DE CONTROL	Fuga de aceite en valvula check, desgaste	Perdida de fuerza en el levante del cucharon	Direccionar el fluido (aceite) a los cilindros
	VÁLVULA DE DIRECCIÓN	Desgaste de oring en block	Perdida de fuerza en el accionamiento del cilindro hidráulico	Direccionar el fluido sin retorno del fluido Direccionar el fluido para extender o comprimir el cilindro de dirección del scoop.
SISTEMA HIDRÁULICO	CILINDRO DE LEVANTE	Fuga de aceite hidráulico	Mal control del sistema hidráulico	Direccionar el material cargado
	MANDOS HIDRAULICOS	Obstrucción de válvulas	Falta de fuerza en el cilindro hidráulico	Direccionar con la fuerza necesaria un fluido, controlar el flujo del fluido de trabajo, entre otros
	VÁLVULA RELIEF	Tiempo de uso	Sin funcionalidad de bomba, cilindro, motor hidraulico y válvulas	Controlar la presión en un sistema hidráulico
			Inestabilidad en presiones	

## 5. EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS

Este paso es considerado como una herramienta fundamental en la Aplicación de la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO).

Ubicamos el resultado de SEVERIDAD y PROBABILIDAD en la siguiente matriz, para determinar si el RIESGO es: Alto, Medio o Bajo.

Figura 4.2 Matriz de criticidad

NIVEL DE RIESGO		
CLASE DE RIESGO	DESCRIPCIÓN	TOLERANCIA EN LA ORGANIZACIÓN
<b>ALTO (6 - 9)</b>	1. Requiere la implementación de controles adicionales. 2. En caso se necesite realizar la actividad, el riesgo se controlará a través de la aplicación del PTR. 3. Si no se puede controlar el PELIGRO con los elementos adicionales a implementar se paraliza los trabajos hasta que se implemente lo necesario para bajar su clasificación de riesgo.	<b>RIESGO INACEPTABLE</b>
<b>MEDIO (3 - 4)</b>	Situación que aún requiere seguimiento, opcionalmente pueden aplicarse controles, adicionales a los existentes para que reduzca la clasificación de riesgo.	<b>RIESGO TOLERABLE</b>
<b>BAJO (1 - 2)</b>	Situación bajo control, con los controles, existentes, no requiere invertir en controles, adicionales a los ya definidos.	<b>RIESGO ACEPTABLE</b>

<b>SEVERIDAD</b>	Crítico	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
	Moderado	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
	Leve	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
		Permanente	Probable	Improbable
		<b>PROBABILIDAD</b>		

Fuente: CIA Minera Santa Luisa S.A.

Para ello, debemos considerar las siguientes tablas:

Figura 4.3 Matriz de criticidad

	<b>Naturaleza del incidente / Consecuencia a la salud</b>	<b>Naturaleza del daño a la propiedad / Proceso</b>	<b>Reacción de las autoridades / Personas</b>	<b>Implicancias financieras</b>
<b>Crítico (3)</b>	Una o más muertes o lesiones incapacitantes total permanente	Pérdidas serias con repercusión en varias áreas de la planta . Paralización del proceso e más de una semana	Interés de la autoridad competente. Multas elevadas. Cierres temporales y/o permanentes.	Incapacidad financiera prolongada. El desempeño financiero de la planta se compromete gravemente.
<b>Moderado (2)</b>	Lesión con consecuencias incapacitantes total temporal o parcial permanente	Pérdida significativa en un área de la planta. Paralización del proceso de un día hasta una semana	Multas. Reclamos pertinentes de sindicatos, con potencial de acudir a una acción legal. Inspecciones gubernamentales.	Impacto financiero significativo temporal sobre la sede.
<b>Leve (1)</b>	Lesiones con tratamiento de primeros auxilios	Pequeñas pérdidas en la propiedad de la empresa. Paralización menor a un día.	Se genera un factor con potencial de reclamo o de no conformidad con los estándares.	Pérdidas menores, no significativas.

Fuente: CIA Minera Santa Luisa S.A.

Figura 4.4 Matriz de criticidad

	<b>Personal expuesto</b>	<b>Tiempo de Exposición</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Capacitación</b>	<b>Controles Existentes</b>
<b>Permanente (3)</b>	Más de 10 personas	Una vez en el día	No existen procedimientos documentados o si existen no se aplican	El personal no cuenta con capacitaciones	No existen controles
<b>Probable (2)</b>	De 4 a 10 personas	Una vez en la semana	Existen procedimientos documentados, pero se aplican parcialmente	Todo el personal cuenta con un máximo de dos capacitaciones identificadas para su puesto de trabajo	Existen controles, pero deben implementarse otros
<b>Improbable (1)</b>	De 1 a 3 personas	Una vez en el mes	Existen procedimientos documentados y son correctamente aplicados	Todo el personal cuenta con por lo menos 4 capacitaciones identificadas para su puesto de trabajo	Se tienen implementados todos los controles

Fuente: CIA Minera Santa Luisa S.A.

Por lo tanto, se procederá a colocar los índices de Severidad y Probabilidad.

Tabla 4.6 Evaluación de consecuencias

SISTEMA	COMPONENTE	RESPONSABLE	MODO DE FALLO	FUNCIÓN	CONSECUENCIAS		
					SEVERIDAD	PROBAB	RIESGO
TRANSMISIÓN	EJE DE TRANSMISIÓN	MECÁNICO	Desalineamiento de eje	Transmitir la potencia motriz del motor a las ruedas	3	1	3
	NEUMÁTICOS	MECÁNICO	Desgaste superficial	Soportar y facilitar el transporte del material	1	1	1
		MECÁNICO	Fuga de aceite	Transmitir los movimientos rotativos desde un eje conductor a otro	2	1	2
	SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	ELÉCTRICO	Incorrecto testeo de presión de aceite	Distribuir correctamente el aceite	1	2	2
LUBRICACIÓN	SENSOR DE SATURACIÓN	ELÉCTRICO	Tiempo de uso	Indicar las obstrucciones en el motor	1	2	2
	SENSOR DE FRENOS	ELÉCTRICO	Incorrecto testeo de nivel de refrigerante, descalibración	Indicar el óptimo funcionamiento del freno	1	2	2
	BOMBA DE ENGRASE	MECÁNICO	Tiempo de uso	Alimentar válvulas progresiva de engrase para todos los componentes	1	1	1
	SENSOR DE AIRE	ELÉCTRICO	Pérdida de lectura	Indicar la presión a aireal motor	2	1	2
	PUENTE DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN	MECÁNICO	Rotura del filtro	Permite el ingreso de mezcla de aire y combustible a la cámara.	2	1	2
	FILTRO DE ADMISIÓN	MECÁNICO	Desgaste del filtro	Impedir que elementos como impurezas, suciedad entren al motor	1	1	1
	FAJA DE VENTILADOR	MECÁNICO	Pérdida de tensión de la faja	Brindar el movimiento correcto de las hélices	1	1	1
MOTOR DIÉSEL	CONEXIONES DE SENSORES	ELÉCTRICO	Perdida de señal, conexión defectuosa, falso contacto	Brindar indicaciones al operador del correcto funcionamiento del sistemas electrónicos y/o mecánicos	1	1	1
	ALTERNADOR	ELÉCTRICO	Desgaste en eje de la polea	Transformar la energía mecánica en eléctrica	1	1	1
	ARRANCADOR	ELÉCTRICO	Tiempo de uso	Convertir la energía eléctrica en mecánica para encender el vehículo	1	1	1
	SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	ELÉCTRICO	Incorrecto testeo	Indicar el nivel óptimo de aceite en el vehículo	2	2	4
	FAJA DE ALTERNADOR	MECÁNICO	Desgaste del componente	Transformar la energía mecánica en eléctrica	1	1	1
	TANQUE DE REFRIGERANTE	MECÁNICO	Fuga de refrigerante	Almacenar refrigerante necesario para el enfriamiento del equipo	1	1	1
	CUCHARÓN	MECÁNICO	Desgaste estructural	Carga de material	2	2	4
	CHASIS	MECÁNICO	Desgaste estructural	Proteccion de los componentes internos del equipo	2	2	4
	PASADORES DE ARTICULACIÓN	MECÁNICO	Desgaste	Grantizar la unión entre 2 componentes	2	2	4
	BRAZO, CUCHARÓN Y CASQUILLOS	MECÁNICO	Desgaste	Garantizar el carga del material y rotación entre 2 piezas móviles	2	2	4
SISTEMA ELÉCTRICO	FAROS DELANTEROS	ELÉCTRICO	Falso contacto	Iluminar dentro del beta	1	1	1
	BATERÍA	ELÉCTRICO	Sulfatación de placas	Brindar energía eléctrica para iluminación, sensores, entre otros.	1	1	1
SISTEMA HIDRÁULICO	CILINDRO DE VOLTEO	MECÁNICO	Fuga de aceite hidráulico	Direccionar el material cargado	1	2	2
	VÁLVULA DE LEVANTE Y VOLTEO	MECÁNICO	Desgaste de oring en los taponos y fuga de aceite	Direccionar el fluido (aceite) a los cilindros	1	1	1
	VÁLVULA DE CONTROL	MECÁNICO	Fuga de aceite en valvula check, desgaste	Direccionar el fluido sin retorno del fluido	1	1	1
	VÁLVULA DE DIRECCIÓN	MECÁNICO	Desgaste de oring en block	Direccionar el fluido para extender o comprimir el cilindro de direccion del scoop.	1	1	1
	CILINDRO DE LEVANTE	MECÁNICO	Fuga de aceite hidráulico	Direccionar el material cargado	1	2	2
	MANDOS HIDRÁULICOS	MECÁNICO	Obstruccion de válvulas	Direccionar con la fuerza necesaria un fluido, controlar el flujo del fluido de trabajo, entre otros	1	2	2
	VÁLVULA RELIEF	MECÁNICO	Tiempo de uso	Controlar la presión en un sistema hidráulico	1	1	1

## PASO 6: DEFINICIÓN DE LA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO

Este paso tiene como finalidad definir las políticas y frecuencias de las tareas con recursos asignados. Asimismo, se centra en definir las estrategias de gestión de fallas y se establecerá la nueva política de tareas el cual será implementado. En este proceso se analiza y clasifica los tipos de falla mediante decisiones informadas sobre la implementación.

Tabla 4.7 Definición de política de mantenimiento

SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLO	FUNCIÓN	POLÍTICA	FRECUENCIA	RESPONSABLE
TRANSMISIÓN	EJE DE TRANSMISIÓN	Desalineamiento de eje	Transmitir la potencia motriz del motor a las ruedas	INSPECCIÓN	250 HR	MECÁNICO
	NEUMÁTICOS	Desgaste superficial	Soportar y facilitar el transporte del material	MEDICIÓN	DIARIO	MECÁNICO
		Fuga de aceite	Transmitir los movimientos rotativos desde un eje conductor a otro	INSPECCIÓN	250 HR	MECÁNICO
	SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	Incorrecto testeo de presión de aceite	Distribuir correctamente el aceite	REGULACIÓN	DIARIO	ELÉCTRICO
	SENSOR DE SATURACIÓN	Tiempo de uso	Indicar las obstrucciones en el motor	REGULACIÓN	DIARIO	ELÉCTRICO
LUBRICACIÓN	SENSOR DE FRENOS	Incorrecto testeo de nivel de refrigerante, descalibración	Indicar el óptimo funcionamiento del freno	REGULACIÓN	DIARIO	ELÉCTRICO
	BOMBA DE ENGRASE	Tiempo de uso	Alimentar válvulas progresiva de engrase para todos los componentes	INSPECCIÓN	DIARIO	MECÁNICO
MOTOR DIÉSEL	SENSOR DE AIRE	Pérdida de lectura	Indicar la presión a aireal motor	CALIBRACIÓN	250 HR	ELÉCTRICO
	PUENTE DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN	Rotura del filtro	Permite el ingreso de mezcla de aire y combustible a la cámara.	SUSTITUCIÓN	125 HR	MECÁNICO
	FILTRO DE ADMISIÓN	Desgaste del filtro	Impedir que elementos como impurezas, suciedad entren al motor	SUSTITUCIÓN	DIARIO	MECÁNICO
	FAJA DE VENTILADOR	Pérdida de tensión de la faja	Brindar el movimiento correcto de las hélices	SUSTITUCIÓN	DIARIO	MECÁNICO
	CONEXIONES DE SENSORES	Perdida de señal, conexión defectuosa, falso contacto	electrónicos y/o mecánicos	VERIFICACIÓN	DIARIO	ELÉCTRICO
	ALTERNADOR	Desgaste en eje de la polea	Transformar la energía mecánica en eléctrica	INSPECCIÓN	125 HR	ELÉCTRICO
	ARRANCADOR	Tiempo de uso	Convertir la energía eléctrica en mecánica para encender el vehículo	SUSTITUCIÓN	125 HR	ELÉCTRICO
ESTRUCTURAL	SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	Incorrecto testeo	Indicar el nivel óptimo de aceite en el vehículo	REGULACIÓN	250 HR	ELÉCTRICO
	FAJA DE ALTERNADOR	Desgaste del componente	Transformar la energía mecánica en eléctrica	SUSTITUCIÓN	DIARIO	MECÁNICO
	TANQUE DE REFRIGERANTE	Fuga de refrigerante	Almacenar refrigerante necesario para el enfriamiento del equipo	SUSTITUCIÓN	500 HR	MECÁNICO
	CUCHARÓN	Desgaste estructural	Carga de material	VERIFICACIÓN	DIARIO	MECÁNICO
	CHASIS	Desgaste estructural	Proteccion de los componentes internos del equipo	VERIFICACIÓN	DIARIO	MECÁNICO
SISTEMA ELÉCTRICO	PASADORES DE ARTICULACIÓN	Desgaste	Grantizar la unión entre 2 componentes	SUSTITUCIÓN	DIARIO	MECÁNICO
	BRAZO, CUCHARÓN Y CASQUILLOS	Desgaste	Garantizar el carga del material y rotación entre 2 piezas móviles	SUSTITUCIÓN	DIARIO	MECÁNICO
	FAROS DELANTEROS	Falso contacto	Iluminar dentro del beta	INSPECCIÓN	DIARIO	ELÉCTRICO
SISTEMA HIDRÁULICO	BATERÍA	Sulfatación de placas	Brindar energía eléctrica para iluminación, sensores, entre otros.	SUSTITUCIÓN	125 HR	ELÉCTRICO
	CILINDRO DE VOLTEO	Fuga de aceite hidráulico	Direccionar el material cargado	INSPECCIÓN	DIARIO	MECÁNICO
	VÁLVULA DE LEVANTE Y VOLTEO	Desgaste de oring en los tapones y fuga de aceite	Direccionar el fluido (aceite) a los cilindros	INSPECCIÓN	500 HR	MECÁNICO
	VÁLVULA DE CONTROL	Fuga de aceite en valvula check, desgaste	Direccionar el fluido sin retorno del fluido	INSPECCIÓN	500 HR	MECÁNICO
	VÁLVULA DE DIRECCIÓN	Desgaste de oring en block	Direccionar el fluido para extender o comprimir el cilindro de direccion del scoop.	AJUSTAR	500 HR	MECÁNICO
	CILINDRO DE LEVANTE	Fuga de aceite hidráulico	Direccionar el material cargado	INSPECCIÓN	DIARIO	MECÁNICO
	MANDOS HIDRÁULICOS	Obstruccion de válvulas	Direccionar con la fuerza necesaria un fluido, controlar el flujo del fluido de trabajo, entre otros	LIMPIEZA	DIARIO	MECÁNICO
VÁLVULA RELIEF	Tiempo de uso	Controlar la presión en un sistema hidráulico	SUSTITUCIÓN	500 HR	MECÁNICO	

## PASO 7: REVISIÓN Y AGRUPACIÓN

Este paso tiene como finalidad garantizar que la política de mantenimiento (PASO 6) se compatibilice con los objetivos de producción trazados. Teniendo en cuenta la planificación de las tareas establecidas y tiempo de paradas, se puede mejorar la confiabilidad de los equipos.

Tabla 4.8 Revisión y agrupación

SISTEMA	COMPONENTE	ACTIVIDAD	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLA	FRECUENCIA
TRANSMISIÓN	EJE DE TRANSMISIÓN	Inspeccionar nivel de aceite de transmisión	Desalineamiento de eje	Desgaste la corona de eje delantera	250 HR
	NEUMÁTICOS	Verificar presión de Neumáticos	Desgaste superficial	Rotura del neumático	DIARIO
		Inspeccionar estado de la línea cardánica	Fuga de aceite	Desgaste de componentes	250 HR
	SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	Verificar funcionamiento de sensor	Incorrecto testeo de presión de aceite	Desgaste de componentes	DIARIO
	SENSOR DE SATURACIÓN	Verificar funcionamiento de sensor	Tiempo de uso	Alteración en el sensor de saturación	DIARIO
	SENSOR DE FRENOS	Verificar funcionamiento de sensor	Incorrecto testeo de nivel de refrigerante, descalibración	Pérdida de frenos en el equipo	DIARIO
LUBRICACIÓN	BOMBA DE ENGRASE	Verificar nivel de engrase y filtro	Tiempo de uso	Falta de lubricación en los componentes, desgaste de componentes.	DIARIO
	SENSOR DE AIRE	Inspeccionar sensor	Pérdida de lectura	Pérdida de potencia del motor	250 HR
	PUENTE DE VÁLVULAS DE ADMISIÓN	Escanear con ET	Rotura del filtro	desbalance en la mezcla combustible/aire en el motor	125 HR
	FILTRO DE ADMISIÓN	Inspeccionar filtro	Desgaste del filtro	Bajo rendimiento del motor	DIARIO
	FAJA DE VENTILADOR	Inspeccionar tensión de la faja	Pérdida de tensión de la faja	Baja ventilación al motor, sobrecalentamiento del motor	DIARIO
MOTOR DIÉSEL	CONEXIONES DE SENSORES	Inspeccionar conexiones de sensores	Perdida de señal, conexión defectuosa, falso contacto	Pérdida de señal de parámetros y mostrar indicadores incorrectos	DIARIO
	ALTERNADOR	Verificar conversión adecuada	Desgaste en eje de la polea	Rotura de eje y falta de carga a baterías / equipo sin funcionamiento	125 HR
	ARRANCADOR	Inspección de estado de arrancador	Tiempo de uso	Sin funcionalidad	125 HR
	SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	Verificar funcionamiento del sensor	Incorrecto testeo	Incorrecta lubricación del motor, desgaste de componentes del motor	250 HR
	FAJA DE ALTERNADOR	Inspeccionar tensión de la faja	Desgaste del componente	Pérdida de transmisión de potencia	DIARIO
	TANQUE DE REFRIGERANTE	Llenar tanque de refrigerante	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	500 HR
ESTRUCTURAL	CUCHARÓN	Inspeccionar estado superficial del cucharón	Desgaste estructural	Fisuras en la estructura	DIARIO
	CHASIS	Inspeccionar estado superficial del chasis	Desgaste estructural	Fisuras en la estructura	DIARIO
	PASADORES DE ARTICULACIÓN	Inspeccionar estado de los pasadores	Desgaste	Flexión del pin	DIARIO
	BRAZO, CUCHARÓN Y CASQUILLOS	Inspeccionar estado de brazo, cucharón y casquillos.	Desgaste	Deformaciones de casquillos	DIARIO
SISTEMA ELÉCTRICO	FAROS DELANTEROS	Verificar funcionamiento de los faros	Falso contacto	No funcionamiento de los faros, estrobos en la iluminación	DIARIO
	BATERÍA	Inspeccionar estado de batería	Sulfatación de placas	Voltaje inestable en el equipo	125 HR
SISTEMA HIDRAULICO	CILINDRO DE VOLTEO	Verificar presión de volteo	Fuga de aceite hidráulico	Falta de fuerza en el cilindro hidráulico	DIARIO
	VÁLVULA DE LEVANTE Y VOLTEO	Inspeccionar estado	Desgaste de oring en los tapones y fuga de aceite	Pérdida de fuerza en el levante del cucharón	500 HR
	VÁLVULA DE CONTROL	Inspeccionar estado	Fuga de aceite en válvula check, desgaste	Pérdida de fuerza en el accionamiento del cilindro hidráulico	500 HR
	VÁLVULA DE DIRECCIÓN	Verificar estado	Desgaste de oring en block	Mal control del sistema hidráulico	500 HR
	CILINDRO DE LEVANTE	Verificar presión de levante	Fuga de aceite hidráulico	Falta de fuerza en el cilindro hidráulico	DIARIO
	MANDOS HIDRÁULICOS	Inspeccionar componentes del mando	Obstrucción de válvulas	Sin funcionalidad de bomba, cilindro, motor hidráulico y válvulas	DIARIO
	VÁLVULA RELIEF	Verificar presiones	Tiempo de uso	inestabilidad en presiones	500 HR

- DEMOSTRACIÓN DE RESULTADOS

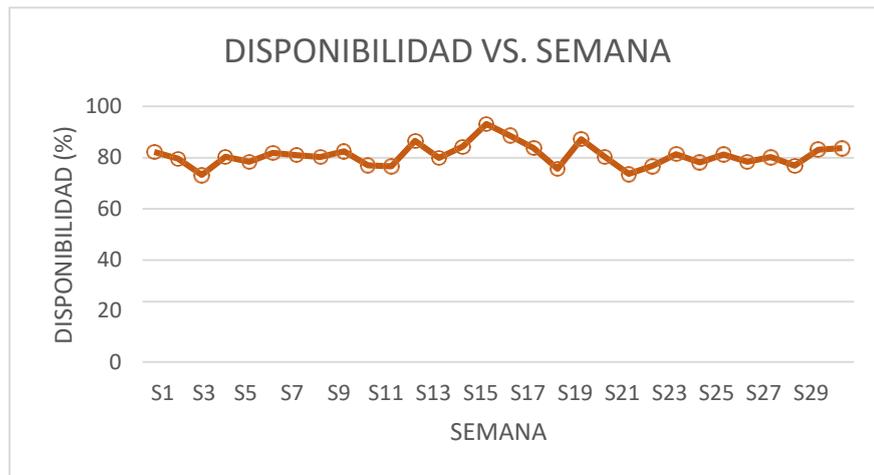
Posterior a lo establecido por nuevas tareas, se evalúan los indicadores del confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, donde se muestra que se incrementó a comparación con las 30 primeras semanas.

Figura 4.5 Indicadores POST - Aplicación PMO

SEMANA	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD (%)
S31	76.45	16.63	82.13
S32	85.58	22.09	79.48
S33	74.47	27.35	73.14
S34	83.78	20.57	80.29
S35	75.58	20.98	78.27
S36	46.98	10.49	81.75
S37	69.78	16.43	80.94
S38	86.87	21.48	80.18
S39	68.62	14.64	82.42
S40	88.44	26.48	76.96
S41	88.26	27.03	76.55
S42	71.54	11.15	86.52
S43	48.00	12.14	79.81
S44	69.67	13.01	84.26
S45	91.93	6.77	93.14
S46	93.92	12.18	88.52
S47	71.28	13.9	83.68
S48	40.56	13.14	75.53
S49	91.08	13.42	87.16
S50	98.84	24.47	80.16
S51	59.28	21.34	73.53
S52	57.57	17.56	76.63
S53	81.10	18.67	81.29
S54	78.39	22.03	78.06
S55	74.35	17.2	81.21
S56	65.82	18.27	78.27
S57	85.36	21.18	80.12
S58	58.91	17.82	76.78
S59	84.17	17.2	83.03
S60	74.69	14.67	83.58

Asimismo, se genera el gráfico en el cuál se muestra la nueva curva de la disponibilidad en el periodo de las siguientes 30 semanas.

Figura 4.6 Disponibilidad en POST-Aplicación PMO



En la siguiente imagen se muestra un cambio respecto al número de reparaciones en el que se puede visualizar 60 semanas. Se observa que existen picos que se aproximan a un porcentaje del 14% de las horas de trabajo.

Figura 4.7 Indicador de las reparaciones no programadas

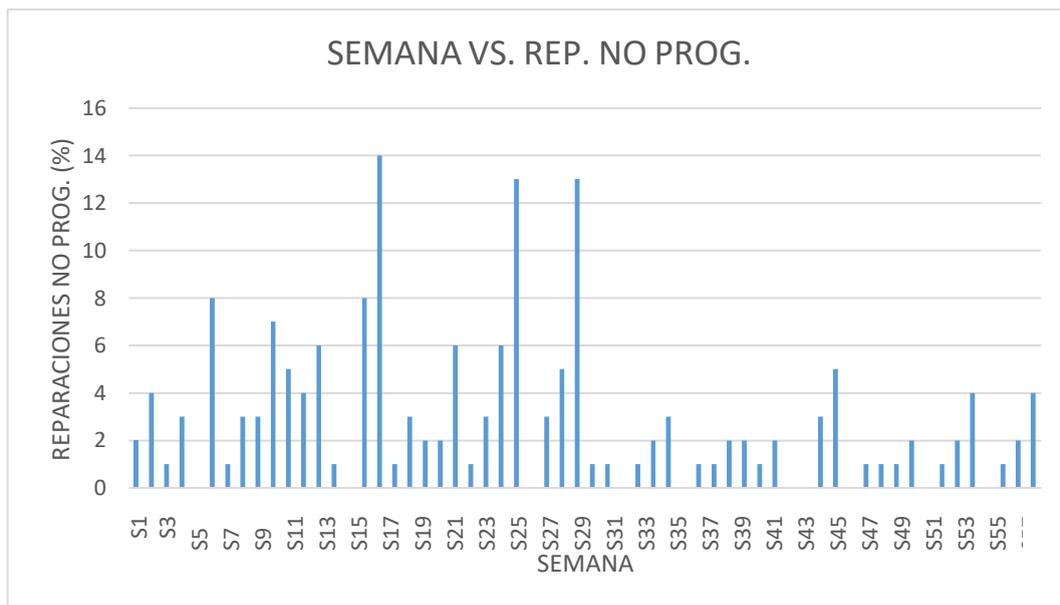
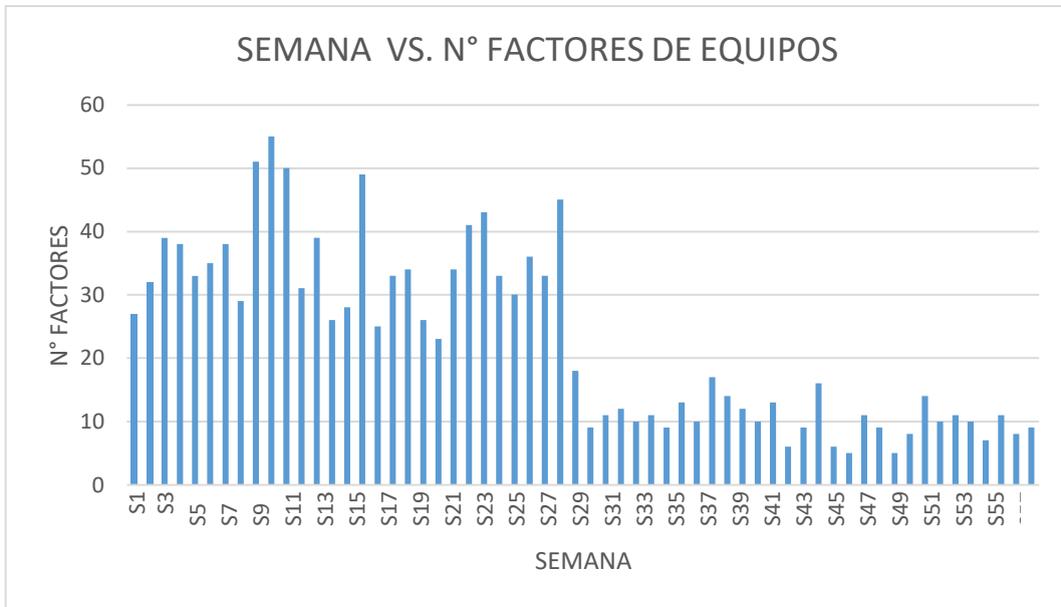
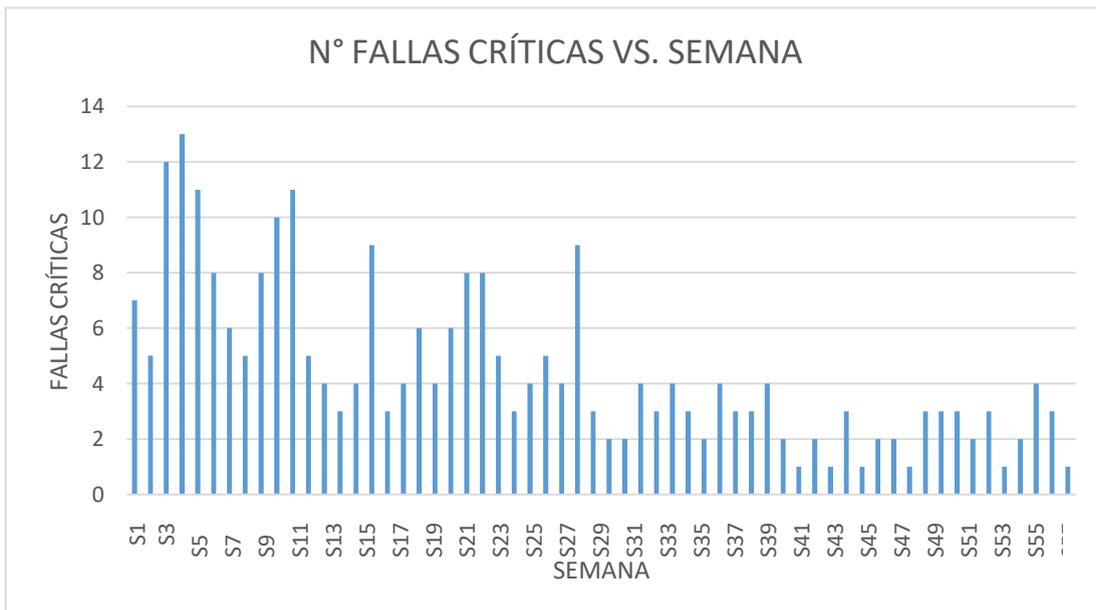


Figura 4.8 N° Factor de equipos durante PRE y POST aplicación PMO



Las fallas críticas disminuyen considerablemente a partir de la semana 30 en el cual ya se implementó la metodología de la optimización del mantenimiento planeado. El rango de las fallas después de la implementación del PMO no sobrepasa 04 (cuatro) fallas críticas en el transcurso de la semana.

Figura 4.9 Evolución de las fallas críticas



La cantidad de capacitaciones se incrementan debido a aplicación de la metodología PMO. Asimismo, se observa en la figura mostrada líneas abajo (Ver imagen 4.7). Estas capacitaciones consisten en indicar las buenas prácticas del mantenimiento preventivo

Figura 4.10 Evolución de la cantidad de capacitaciones

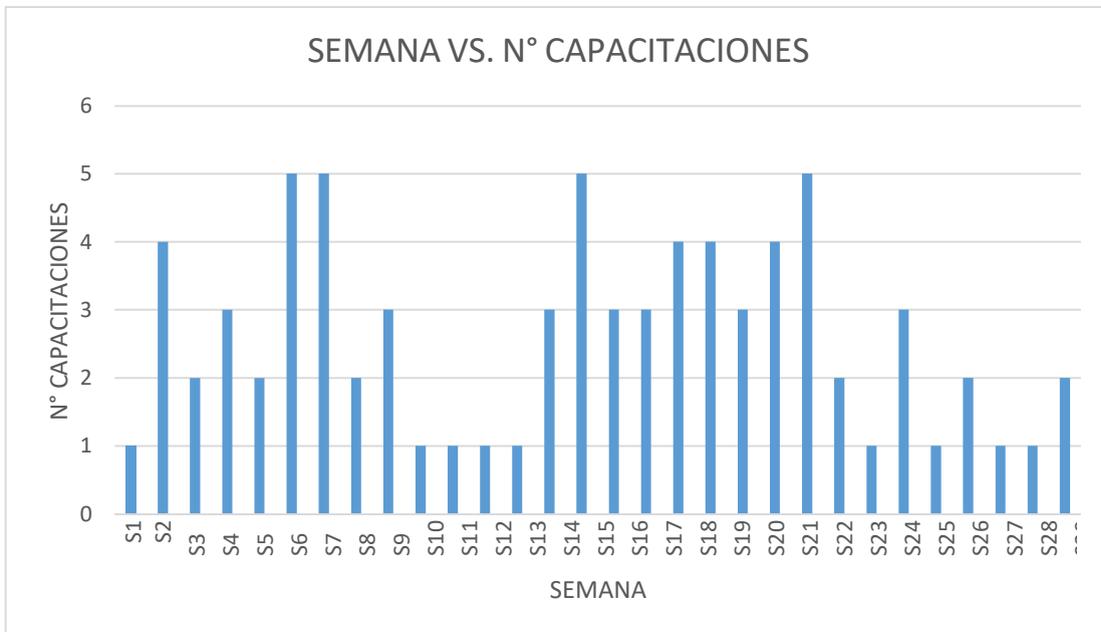
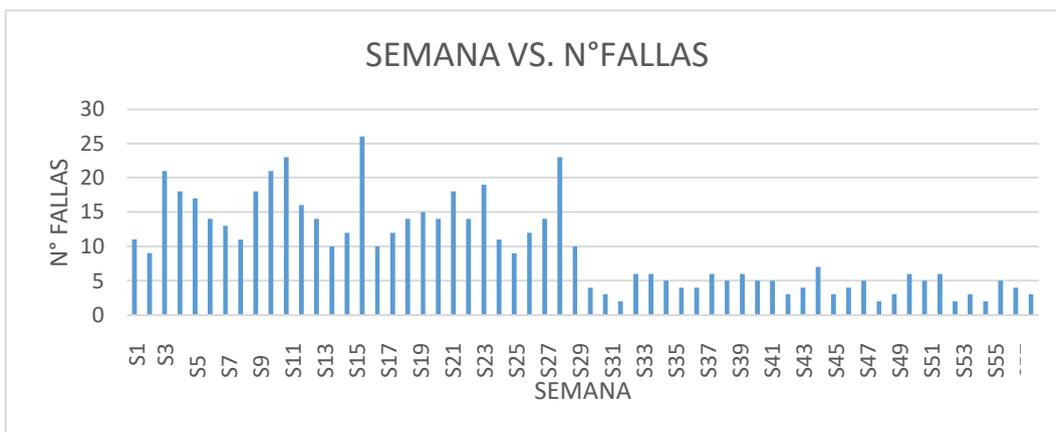


Figura 4.11 Evolución de las fallas frecuentes



## PASO 8: APROBACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN

Se realiza la implementación de la Optimización del manteniendo planeado con capacitaciones a los operativos de manera asíncrona. Asimismo, se observará el incremento de las capacitaciones en las tablas de ubicado en el inciso de resultados.

## PASO 9: PROGRAMACIÓN DINÁMICA

### V. RESULTADOS

#### Resultados descriptivos

Tabla 4.9 Prueba de normalidad Pre-Test

SEMANA	PRI -TEST									
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	D1
S1	27	11	2	7	5	2	1	27.5	40.9	40.20
S2	32	9	4	5	4	1	4	36.1	53.9	40.11
S3	39	21	1	12	2	1	2	21.4	65.1	24.74
S4	38	18	3	13	4	0	3	29.7	50.8	36.89
S5	33	17	0	11	5	2	2	26.8	52.7	33.71
S6	35	14	8	8	7	1	5	16.6	27.7	37.47
S7	38	13	1	6	3	1	5	41.6	39.6	51.23
S8	29	11	3	5	1	0	2	41	52.2	43.99
S9	51	18	3	8	4	1	3	43.6	38.2	53.30
S10	55	21	7	10	5	0	1	31.7	62.5	33.65
S11	50	23	5	11	0	0	1	31.1	66.5	31.86
S12	31	16	4	5	2	0	1	25.1	28	47.27
S13	39	14	6	4	1	1	1	14.2	30.5	31.77
S14	26	10	1	3	3	2	3	43.6	32	57.67
S15	28	12	0	4	3	1	5	31.7	17	65.09
S16	49	26	8	9	4	0	3	31.1	30.6	50.41
S17	25	10	14	3	2	2	3	25.1	34.2	42.33
S18	33	12	1	4	1	2	4	14.2	33	30.08
S19	34	14	3	6	0	1	4	43.6	33.7	56.40
S20	26	15	2	4	1	0	3	34.9	60.2	36.70
S21	23	14	2	6	1	1	4	20.7	52.5	28.28
S22	34	18	6	8	2	1	5	20.4	43.2	32.08
S23	41	14	1	8	3	1	2	28.8	46.9	38.04
S24	43	19	3	5	2	2	1	36.4	57.5	38.76
S25	33	11	6	3	1	2	3	26.3	44.9	36.94
S26	30	9	13	4	2	1	1	44.1	45.9	49.00
S27	36	12	0	5	1	2	2	36.1	52.1	40.93

S28	33	14	3	4	1	1	1	20.8	46.5	30.91
S29	45	23	5	9	3	0	1	29.7	43.2	40.74
S30	18	10	13	3	2	1	2	40.6	38.3	51.46

### **ABREVIATURAS:**

- I1 → Numero de factores de equipos.
- I2 → Número de fallas frecuentes.
- I3 → Porcentaje de reparaciones no programadas.
- I4 → Número de fallas críticas.
- I5 → Estudio de análisis de aceite.
- I6 → Número de análisis de aceite.
- I7 → Número de capacitaciones.
- I8 → Tiempo medio entre fallas (MTBF).
- I9 → Tiempo medio de reparación (MTTR).
- D1 → Porcentaje de disponibilidad.

### **Hipótesis:**

H<sub>0</sub>: Los datos recolectados presentan una distribución normal.

H<sub>1</sub>: Los datos recolectados no presentan una distribución normal.

Nivel de significación:

$\alpha = 0.05$

## PRUEBA ESTADÍSTICA

Tabla 4.10 Prueba estadística

	Nº de factores en los equipos	Nº de fallas frecuentes	Reparac. no programadas (%)	Nº de fallas críticas	Análisis de aceite	Nº de capacita.	Nº de mantenimiento	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Tiempo medio de reparación (MTTR)	Disponibilidad Pre Test	
N	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
Parámetros normales (a,b)	Media	35.13	14.97	4.16	6.43	2.50	1.00	6.97	30.4833	44.0100	41.0670
	Desv. típica	8.788	4.552	3.797	2.909	1.676	.743	3.783	9.01742	12.25945	9.72995
Diferencias más extremas	Absoluta	.118	.184	.169	.189	.184	.233	.132	.102	.088	.139
	Positiva	.118	.184	.169	.189	.184	.233	.132	.080	.088	.139
	Negativa	-.076	-.095	-.149	-.119	-.119	-.233	-.095	-.102	-.079	-.065
Z de Kolmogorov-Smirnov	.646	1.008	.924	1.035	1.007	1.278	.722	.561	.483	.761	
Sig. asintót. (bilateral)	.798	.261	.361	.235	.262	.076	.675	.912	.974	.609	

(a) La distribución de contraste es la Normal.

(b) Se han calculado a partir de los datos.

Decisión:

Podemos apreciar que:

- ✓ Utilizando la prueba estadística de Shapiro-Wilk (debido a que la cantidad de datos analizados igual o mayor a 30), se aprecia lo siguiente:
  - Significación de N° de factores en los equipos:  $0.798 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
  - Significación de N° de fallas frecuentes:  $0.261 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
  - Significación de Porcentaje de reparaciones no programadas:  $0.361 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
  - Significación de N° de fallas críticas:  $0.235 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
  - Significación de Estudio de análisis de aceite:  $0.262 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
  - Significación de N° de capacitaciones:  $0.076 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
  - Significación de N° de mantenimientos:  $0.675 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
  - Significación de Tiempo medio entre fallas:  $0.912 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
  - Significación de Tiempo medio de reparación:  $0.974 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
  - Significación de Porcentaje de Disponibilidad:  $0.609 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .

Conclusión:

A un nivel de significación de 0.05, existe suficiente evidencia estadística para no rechazar  $H_0$ ; por lo cual se podría afirmar que los datos recolectados presentan y se ajustan a una distribución normal.

Tabla 4.11 Prueba de normalidad Post-Test

SEMANA	POST-TEST									
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	D1
S1	9	4	1	2	2	3	2	76.45	16.63	82.13
S2	11	3	1	2	1	3	11	85.58	22.09	79.48
S3	12	2	0	4	2	2	6	74.47	27.35	73.14
S4	10	6	1	3	1	5	8	83.78	20.57	80.29
S5	11	6	2	4	2	3	5	75.58	20.98	78.27
S6	9	5	3	3	2	2	13	46.98	10.49	81.75
S7	13	4	0	2	1	2	13	69.78	16.43	80.94
S8	10	4	1	4	1	4	5	86.87	21.48	80.18
S9	17	6	1	3	3	2	7	68.62	14.64	82.42
S10	14	5	2	3	2	5	2	88.44	26.48	76.96
S11	12	6	2	4	2	2	2	88.26	27.03	76.55
S12	10	5	1	2	1	4	4	71.54	11.15	86.52
S13	13	5	2	1	2	2	3	48.00	12.14	79.81
S14	6	3	0	2	1	3	8	69.67	13.01	84.26
S15	9	4	0	1	2	2	14	91.93	6.77	93.14
S16	16	7	3	3	1	4	7	93.92	12.18	88.52
S17	6	3	5	1	1	3	7	71.28	13.9	83.68
S18	5	4	0	2	2	3	11	40.56	13.14	75.53
S19	11	5	1	2	1	5	10	91.08	13.42	87.16
S20	9	2	1	1	4	4	7	98.84	24.47	80.16
S21	5	3	1	3	1	3	11	59.28	21.34	73.53
S22	8	6	2	3	2	2	15	57.57	17.56	76.63
S23	14	5	0	3	2	2	6	81.10	18.67	81.29
S24	10	6	1	2	2	3	4	78.39	22.03	78.06
S25	11	2	2	3	0	3	8	74.35	17.2	81.21
S26	10	3	4	1	0	2	2	65.82	18.27	78.27
S27	7	2	0	2	1	3	5	85.36	21.18	80.12
S28	11	5	1	4	1	2	4	58.91	17.82	76.78
S29	8	4	2	3	2	3	4	84.17	17.2	83.03
S30	9	3	4	1	1	2	5	74.69	14.67	83.58

**ABREVIATURAS:**

- I1 → Numero de factores de equipos.
- I2 → Número de fallas frecuentes.
- I3 → Porcentaje de reparaciones no programadas.
- I4 → Número de fallas críticas.
- I5 → Estudio de análisis de aceite.
- I6 → Número de análisis de aceite.
- I7 → Número de capacitaciones.
- I8 → Tiempo medio entre fallas (MTBF).
- I9 → Tiempo medio de reparación (MTTR).
- D1 → Porcentaje de disponibilidad.

Tabla 4.12 Prueba de Kolmogorov-Smirnov

PRUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA UNA MUESTRA											
		Nº de factores en los equipos	Nº de fallas frecuentes	Reparación no programada. (%)	Nº de fallas críticas	Análisis de aceite	Nº de capacitaciones	Nº de mantenimiento.	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Tiempo medio de reparación (MTTR)	Disponibilidad Pre test
Nº		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Parámetros normales (a,b)	10.20 2.941	4.27 1.437	1.47 1.306	2.47 1.008	1.53 .819	2.93 .980	2.60 1.404	74.7090 14.52132	17.6763 5.16662	80.7797 4.37046	41.0670 9.72995
Diferencias más extremas	.126	.162	.240	.202	.242	.240	.173	.104	.086	.087	.139
	.126	.144	.240	.178	.242	.240	.173	.067	.086	.087	.139
	-.108	-.162	-.131	-.202	-.216	-.171	-.127	-.104	-.079	-.067	-.065
Z de Kolmogorov-Smirnov		.691	.886	1.312	1.104	1.328	1.312	.946	.571	.473	.477
Sig. asintót. (lateral)		.726	.412	.064	.174	.059	.064	.333	.901	.979	.977

(a) La distribución de contraste es la Normal.

(b) Se han calculado a partir de los datos.

Decisión:

Podemos apreciar que:

- ✓ Utilizando la prueba estadística de Shapiro-Wilk (debido a que la cantidad de datos analizados igual o mayor a 30), se aprecia lo siguiente:
  - Significación de N° de factores en los equipos:  $0.726 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
  - Significación de N° de fallas frecuentes:  $0.412 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
  - Significación de Porcentaje de reparaciones no programadas:  $0.064 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
  - Significación de N° de fallas críticas:  $0.174 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .

- Significación de Estudio de análisis de aceite:  $0.059 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
- Significación de N° de capacitaciones:  $0.064 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
- Significación de N° de mantenimientos:  $0.333 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
- Significación de Tiempo medio entre fallas:  $0.901 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
- Significación de Tiempo medio de reparación:  $0.979 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .
- Significación de Porcentaje de Disponibilidad:  $0.977 > \alpha$ , por lo que no podemos rechazar  $H_0$ .

**Conclusión:**

A un nivel de significación de 0.05, existe suficiente evidencia estadística para no rechazar  $H_0$ ; por lo cual se podría afirmar que los datos recolectados presentan y se ajustan a una distribución normal.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIDAS (PRUEBA T) PARA MUESTRAS RELACIONADAS

Se utilizará la prueba “t de student” puesto que en este caso tenemos únicamente 2 factores a comprar “Porcentaje de Disponibilidad Pre-Test” y “Porcentaje de Disponibilidad Post-Test”.

Hipótesis:

$$H_0: \mu_{\text{Pre}} = \mu_{\text{Post}}$$

$$H_1: \mu_{\text{Pre}} \neq \mu_{\text{Post}}$$

Nivel de significación ( $\alpha$ ):

$$\alpha = 0.05$$

Prueba estadística:

Tabla 5.1 Prueba T de muestras relacionadas para la hipótesis general

		Prueba de muestras relacionadas								
		Diferencias relacionadas						t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. tip.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia					
					Inferior	Superior				
Par 1	Disponibilidad Pre Test - Disponibilidad Post Test	39.71267	6.45947	1.17933	-42.12467	-37.30066	-33.674	29	.000	

Decisión:

Podemos apreciar que:

- ✓ Utilizando la prueba estadística de t-student en los datos recolectados para el porcentaje de disponibilidad en el Pre y Post Test se obtiene una significación de  $0.00 < \alpha$ , por lo que podemos rechazar  $H_0$ .

Conclusión:

A un nivel de significación de 0.05, existe suficiente evidencia estadística para rechazar  $H_0$ ; por lo cual podemos afirmar que existe una diferencia significativa entre el porcentaje de disponibilidad promedio obtenido entre el Pre y Post Test.

## PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIDAS (PRUEBA T) PARA MUESTRAS RELACIONADAS

Se utilizará la prueba “t de student” puesto que en este caso tenemos únicamente 2 factores a comprar “Porcentaje de Disponibilidad Pre-Test” y “Porcentaje de Disponibilidad Post-Test”.

Hipótesis:

$$H_0: \mu_{\text{Pres}} = \mu_{\text{Post}}$$

$$H_1: \mu_{\text{Pre}} \neq \mu_{\text{Post}}$$

Nivel de significación ( $\alpha$ ):

$$\alpha = 0.05$$

Prueba estadística:

Tabla 5.2 Prueba T de muestras relacionadas de la hipótesis específica I

Prueba de muestras emparejadas										
	Diferencias emparejadas					Significación				
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza		t	gl	P de un factor	P de dos factores	
				Inferior	Superior					
Par 1	Número de factores en los equipos -	24.93333	7.09994	1.29627	22.28217	27.5845	19.235	29	<.001	<.001
	Número de factores en los equipos									

Decisión:

Podemos apreciar que:

- ✓ Utilizando la prueba estadística de t-student en los datos recolectados para el indicador que compone la dimensión “Diagnóstico” en el Pre y Post Test se obtiene una significación de  $0.001 < \alpha$ , por lo que podemos rechazar  $H_0$ .

Conclusión:

A un nivel de significación de 0.05, existe suficiente evidencia estadística para rechazar  $H_0$ ; por lo cual podemos afirmar que existe una diferencia significativa entre el Diagnóstico promedio obtenido entre el Pre y Post Test.

Se utilizará la prueba “t de student” puesto que en este caso tenemos únicamente 2 factores a comparar “Análisis Pre-Test” y “Análisis Post-Test”.

Hipótesis:

H0:  $\mu_{Pres} = \mu_{Post}$

H1:  $\mu_{Pre} \neq \mu_{Post}$

Nivel de significación:

$\alpha = 0.05$

Prueba estadística:

Se aplicará una prueba t para muestras emparejadas, a cada uno de los indicadores que componen la dimensión análisis.

Tabla 5.3 Prueba T de muestras relacionadas de la hipótesis específica II

		Prueba de muestras emparejadas					Significación			
		Diferencias emparejadas				t	gl	P de un factor	P de dos factores	
		Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza					
					Inferior	Superior				
Par 1	Número de fallas frecuentes	10.7	3.88765	0.70978	9.2483	12.1517	15.08	29	<.001	<.001
	Número de fallas frecuentes									
Par 2	Porcentaje de reparaciones no programadas -	2.8	2.64445	0.48281	1.8126	3.78745	5.799	29	<.001	<.001
	Porcentaje de reparaciones no programadas									
Par 3	Número de fallas críticas -	3.9667	2.37056	0.4328	3.0815	4.85185	9.165	29	<.001	<.001
	Número de fallas críticas									
Par 4	Estudio de análisis de aceite -	0.9667	1.73172	0.31617	0.32	1.6133	3.057	29	0.002	0.005
	Estudio de análisis de aceite									

Decisión:

Podemos apreciar que:

Utilizando la prueba estadística de t-student en los datos recolectados para cada uno de los indicadores que compone la dimensión “Análisis” en el Pre y Post Test se obtiene lo siguiente:

Número de fallas frecuentes: significación de  $0.001 < \alpha$ , por lo que podemos rechazar  $H_0$ .

Porcentaje de reparaciones no programadas: significación de  $0.001 < \alpha$ , por lo que podemos rechazar  $H_0$ .

Número de fallas críticas: significación de  $0.001 < \alpha$ , por lo que podemos rechazar  $H_0$ .

Estudio de análisis de aceite: significación de  $0.002 < \alpha$ , por lo que podemos rechazar  $H_0$ .

Conclusión:

A un nivel de significación de 0.05, existe suficiente evidencia estadística para rechazar  $H_0$ ; por lo cual podemos afirmar que existe una diferencia significativa entre el Análisis promedio obtenido entre el Pre y Post Test.

Se utilizará la prueba “t de student” puesto que en este caso tenemos únicamente 2 factores a comparar “Planificación Pre-Test” y “Planificación Post-Test”.

Hipótesis:

H0:  $\mu_{\text{Pres}} = \mu_{\text{Post}}$

H1:  $\mu_{\text{Pre}} \neq \mu_{\text{Post}}$

Nivel de significación:

$\alpha = 0.05$

Prueba estadística:

Tabla 5.4 Prueba T de muestras relacionadas de la hipótesis específica III

		Prueba de muestras emparejadas								
		Diferencias emparejadas				t	gl	Significación		
		Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza			P de un factor	P de dos factores	
					Inferior	Superior				
Par 1	Número de capacitaciones Número de capacitaciones	-1.9333	1.41259	0.2579	-2.4608	-1.40586	-7.496	29	<.001	<.001

Decisión:

Podemos apreciar que:

Utilizando la prueba estadística de t-student en los datos recolectados para el indicador que compone la dimensión “Planificación” en el Pre y Post Test se obtiene una significación de  $0.001 < \alpha$ , por lo que podemos rechazar H0.

Conclusión:

A un nivel de significación de 0.05, existe suficiente evidencia estadística para rechazar H0; por lo cual podemos afirmar que existe una diferencia significativa entre la Planificación promedio obtenido entre el Pre y Post Test.

Se utilizará la prueba “t de student” puesto que en este caso tenemos únicamente 2 factores a comparar “Implementación Pre-Test” y “Implementación Post-Test”.

Hipótesis:

H0:  $\mu_{\text{Pres}} = \mu_{\text{Post}}$

H1:  $\mu_{\text{Pre}} \neq \mu_{\text{Post}}$

Nivel de significación:

$\alpha = 0.05$

Prueba estadística:

Tabla 5.5 Prueba T de muestras relacionadas de la hipótesis específica IV

		Prueba de muestras emparejadas					Significación			
		Diferencias emparejadas					t	gl	P de un factor	P de dos factores
		Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza					
					Inferior	Superior				
Par 1	Número de mantenimientos Número de mantenimientos	4.36667	2.42804	0.4433	3.46	5.27331	9.85	29	<.001	<.001

Decisión:

Podemos apreciar que:

Utilizando la prueba estadística de t-student en los datos recolectados para el indicador que compone la dimensión "Implementación" en el Pre y Post Test se obtiene una significación de  $0.001 < \alpha$ , por lo que podemos rechazar H0.

Conclusión:

A un nivel de significación de 0.05, existe suficiente evidencia estadística para rechazar H0; por lo cual podemos afirmar que existe una diferencia significativa entre la Implementación promedio obtenido entre el Pre y Post Test.

## VII. CONCLUSIONES

- La aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA. Minera Santa Luisa S.A. Se logró incrementar la disponibilidad de los equipos hasta un 80.5%.
- La calificación del diagnóstico en la optimización del mantenimiento planeado incrementa la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A. Se observa la disminución de un número de factores desde un pico de 55 hasta un pico máximo de 18 en las siguientes 30 semanas después de la implementación. Asimismo, a través del diagrama de Pareto, determinamos que el desgaste es la falla más frecuente en los equipos Scooptrams.
- El análisis en la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la disponibilidad. Se observa la disminución de fallas críticas durante las 60 semanas evaluadas, teniendo como picos máximos de 13. Sin embargo, éste se reduce a picos de 4 posterior a la aplicación del PMO.
- La planificación de la aplicación del mantenimiento planeado (PMO) para el incremento de la disponibilidad se obtuvo mediante la consolidación en 30 puntos e indicando las frecuencias en horas de operación para realizar los mantenimientos respectivos de los componentes con fallas más críticas.
- El desarrollo de la implementación de la aplicación del mantenimiento planeado (PMO) se logra mediante las capacitaciones, el cual, presenta un incremento desde las 78 horas de capacitación en el Pre-Test hasta las 209 horas de capacitación durante las siguientes 30 semanas de Post-Test.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar la metodología de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) en los equipos partícipes de la extracción del mineral de la beta incrementar su disponibilidad.
- Se recomienda realizar un seguimiento de las fallas frecuentes en las flotas de equipos que presenta la compañía para posteriormente analizarlo mediante un “diagrama de Pareto” y validar la viabilidad de una aplicación de un PMO en los equipos.
- Se recomienda realizar un estudio de análisis de aceite en los equipos para averiguar la causa raíz, predecir las consecuencias y/o problemas críticos que podrían generarse. Posteriormente realizar un PMO con la finalidad de disminuir el impacto de la disponibilidad de los equipos.
- Se recomienda el cumplimiento estricto de la planificación de mantenimiento mina para garantizar la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos durante su operación.
- Se recomienda brindar constantes capacitaciones al personal de mantenimiento mina y operadores de los equipos con la finalidad de desarrollar las buenas prácticas de mantenimiento en todos los equipos que intervienen en la extracción del mineral, debido a ser los más propensos en presentar averías por causas de desgaste y se les permita asistir a los equipos rápidamente e identificar problemas con facilidad.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ASTM International.** Que es confiabilidad. 2018 [fecha de consulta: 9 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://sn.astm.org/esp/data-points/que-es-la-confiabilidad-jf18.html>.

**BERNAL.** Metodología de la investigación. [en línea] Colombia: Tercera Edición Pearson Educación, 2010. [fecha de consulta: 12 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigación-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>

**BORJA, MANUEL.** Metodología de la investigación científica para ingenieros, 2016. [en línea] Chiclayo, *Diseños de investigación experimental*. [fecha de consulta: 10 de diciembre de 2023] Disponible en <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-catolica-santa-maria-la-antigua/procesos-industriales/3-metodologia-de-inv-cientifica-para-ingenieros-borja/15765935>

**GALARZA, RAMOS.** Diseños de investigación experimental [en línea], Ecuador: s.n., 2021, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Vol. 10. 1390-9552. [fecha de consulta: 5 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7890336.pdf> ISSN: 1390-9592

**DURÁN, JOSÉ.** El mejoramiento de la confiabilidad operacional. Revisat Club Mantenimiento. . Bogotá: s.n., 2000, pág. 20. [fecha de consulta: 17 de octubre de 2023] Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4755/1/7315.pdf>

**GALLO y CÉSAR ROMÁN ALDANA.** *Gestión del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad en los equipos mineros de transporte en la unidad immaculada-ayacucho de la empresa unión de concreteras S.A. Callao, Universidad Nacional del Callao, 2019* [fecha de consulta: 3 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12952/4374>

**GONZALES, JOSÉ ARIAS.** *Diseño y metodología de la investigación*. [en línea] Lima: Enfoques Consulting EIRL, 2021 [fecha de consulta: 3 de noviembre de 2023]. ISBN: 978-612-48444-2-3.

**HERBERT, JUAN HERRERA.** *Introducción al mantenimiento minero* [en línea], *Laboratorio de Laboreo de Minas, Madrid, 2009* [fecha de consulta: 13 de octubre de 2023]. Disponible en: [https://oa.upm.es/10485/1/INTRODUCCION\\_AL\\_MANTENIMIENTO-090320\\_2.pdf](https://oa.upm.es/10485/1/INTRODUCCION_AL_MANTENIMIENTO-090320_2.pdf)

**INSTITUTOS DE INGENIEROS DE MINAS DEL PERÚ. 2022.** IIMP. [En línea] 12 de MAYO de 2022. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2023]. Disponible en:

<https://iimp.org.pe/institucional/noticias/experto-de-chinalco-recomienda-el-tiempo-adecuado-para-el-mantenimiento-de-equipos-y-maquinarias-mineras>.

**CARRERO MORENO JACKSON. 2020.** *Desarrollo de una propuesta basada en la metodología PMO para las unidades de bombeo mecánico de extracción de crudo.* [En línea] Universidad ECCI, Bogotá - Colombia: 2020.

**MESA GRAJALES, DARÍO, ORTIZ SANCHEZ, YESID Y PINZON, MANUEL. 2006.** *La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento.* [en línea], Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, Scientia Et Technica, 2006, Vol. XII [fecha de consulta: 20 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84920491036.pdf> ISSN: 0122-1701.

**RAVEN, ESTRELLA.** *La investigación cuantitativa, la investigación cualitativa y el investigador,* 2011. [fecha de consulta: 9 de noviembre de 2023]. Disponible en: <http://arje.bc.uc.edu.ve/arj15/art15.pdf>

**LAGOS, GASTÓN BÜTIKOFER. 2017.** *Optimización del mantenimiento preventivo de flotas en base a técnicas de clustering y aprendizaje supervisado.* [En línea] Universidad de Chile, 2017. [fecha de consulta: 7 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/149529>

**LUNA, ANDREA CAROLINA ESCALANTE. 2016.** *Propuesta de optimización del mantenimiento planificado en el área de chancado primario en una empresa minera de cobre.* Universidad Católica De Santa María, Santa María - Arequipa, Perú : 2016.

**MESA GARAJALES, DARIO H., ORTIZ SANCHEZ, YESID Y PINZON, MANUEL. 2006.** *La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento.* Pereira - Colombia : Scientia Et Technica, 2006. págs. 155-160.

**MILTON, ELIECER VILLACIS BONILLA. 2017.** *optimización del mantenimiento planificado (pmo) de la central de generación eléctrica cuyabeno bloque 58.* Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador : 2017.

**MONTES, CIRO ESPINOZA. 2010.** *Metodología de la investigación tecnológica. Metodología de la investigación tecnológica.* Huancayo : Imagen Gráfica S.A.C, 2010.

**MOSTACERO, ANGELINA ALEJANDRA PONCE. 2018.** *Optimización del mantenimiento planeado en una línea de producción de bebidas carbonatadas.* Universidad de Piura, Piura, PERU : 2018.

**MURILLO. 2008.** *La investigación científica.* 2008. [fecha de consulta: 6 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://revista.ispch.gob.cl/index.php/RISP/article/download/54/31/>

- NIETO, FERNÁNDEZ HEREDIA Y NEYRA. 2021.** *Gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad de las máquinas de la empresa Road Solutions E.I.R.L., 2021 [Tesis de título profesional, Universidad Señor de Sipán].* Repositorio Institucional, Pimentel - Perú : 2021.
- PISTARELLI, ALEJANDRO. 2010.** *Manual del mantenimiento: Ingeniería, gestión y organización.* s.l. : Talleres Gráficos RyC., 2010.
- RELIABILITYWEB OMCS International.** [En línea] [Citado el: 05/10/2023 de octubre de 2023.] Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/directory/details/omcs-international>.
- RUIZ LLORENTE, NIYSETH, CARRILLO SIERRA, MICHAEL LIROY Y CARRERO MORENO, JACKSON JOSÉ. 2020.** *Desarrollo de una propuesta basada en la metodología PMO para las unidades de bombeo mecánico de extracción de crudo.* . Universidad ECCL, Bogotá : 2020.
- SALCEDO, ROGER CUBAS. 2022.** *Aplicación de la metodología PMO para incrementar la confiabilidad en la flota de camiones CAT 793 en minería a tajo abierto cajamarca 2022.* Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Cajamarca, Peru : 2022.
- SAMPIERI. 2004.** *Plan de negocios como estrategia competitiva del campamento tomacoco.* 2004.
- SANTIAGO, GARCÍA. 2003.** *Organización y gestión integral de mantenimiento.* [aut. libro] Santiago García. España : s.n., 2003, pág. 67.
- OLARTE WILLIAM, BOTERO Y CAÑON BENHUR.** *Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria.* Pereira, Colombia : s.n., Agosto de 2010, págs. 223-226. [fecha de consulta: 5 de octubre de 2023].

# ANEXOS

## 7.1. Matriz de Consistencia

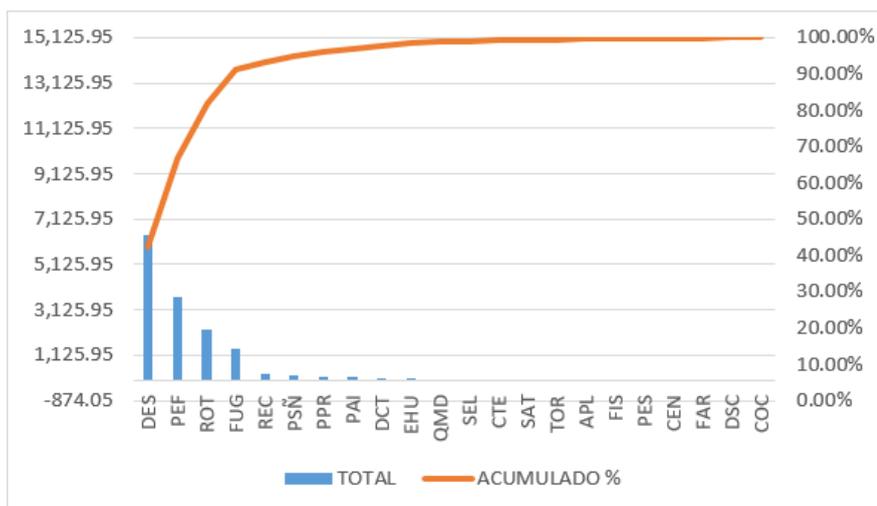
MATRIZ DE CONSISTENCIA				
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Metodología
¿En qué medida la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementará la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.?	Aplicar la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para incrementar la <b>disponibilidad</b> de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.	La aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la <b>disponibilidad</b> de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.	<b>Variable Independiente</b> <b>Optimización de mantenimiento planeado (PMO)</b>  <b>Dimensiones:</b> Diagnóstico Análisis de falla Planificación Implementación	<b>Tipo de Investigación:</b> Aplicada  <b>Enfoque</b> Cuantitativo  <b>Nivel:</b> Descriptivo
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		
¿De qué manera calificará el diagnóstico en la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para el incremento de la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.?	Calificar el diagnóstico en la optimización del mantenimiento planeado para el incremento de la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.	La calificación del diagnóstico en la optimización del mantenimiento planeado incrementa la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.	<b>Variable Dependiente</b> <b>Disponibilidad</b>  <b>Dimensiones:</b> Confiabilidad Mantenibilidad	<b>Diseño:</b> Pre - experimental  <b>Población y muestra:</b> Equipos Scooptrams  <b>Técnica de recolección:</b> Análisis instrumental
¿Cómo se realizará el análisis de falla en la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para el incremento de la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.?	Realizar el análisis de falla en la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para el incremento de la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.	El análisis de falla en la aplicación de la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la Minera CIA Santa Luisa S.A.		
¿Cómo se determinará la planificación en la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para el incremento de la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.?	Determinar la planificación en la optimización de mantenimiento planeado (PMO) para el incremento de la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.	La planificación en la optimización del mantenimiento aplicado incrementa la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.		
¿Cómo se desarrolla la implementación en la Optimización del mantenimiento planeado (PMO) para el incremento de la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.?	Desarrollar la implementación en la optimización del mantenimiento planeado (PMO) para el incremento de la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.	El desarrollo de la implementación en la optimización del mantenimiento planeado (PMO) incrementa la disponibilidad de los equipos Scooptrams de la CIA Minera Santa Luisa S.A.		

## 7.2. Diagrama de Pareto

Factores que disminuyen la disponibilidad

COD AVERÍA	DESCRIPCIÓN	RELACIÓN
APL	Aplastamiento	TACCI
CEN	Corte de Energía	TELEC
COC	Cortocircuito	TOPER
CTE	Corte	TELEC
DST	Deterioro contactos	TMECA
DES	Desgaste	TMECA
DSC	Descalibración	TMECA
EHU	Exceso de Humo	TMECA
FAR	Falla Arranque	TMECA
FIS	Fisura	TMECA
FSI	Falta de Sincronización	TELTN
FUG	Fuga	TMECA
PAI	Pérdida de aislamiento	TELEC
PEF	Pérdida de eficiencia	TMECA
PES	Parada espera componente	TMECA
PPR	Pérdida de presión	TMECA
PSÑ	Pérdida de señal	TELTN
QMD	Quemado	TELEC
REC	Recalentamiento	TMECA
ROT	Rotura	TOPER
SAT	Saturación	TMECA
SEL	Sobrecarga eléctrica	TELEC
TOR	Torcedura	TOPER

Frecuencia de problemas en maquinarias



Cartilla de inspección de equipos SOOPTRAMS en la CIA Minera Santa Luisa S.A.

	<b>CHECK LIST DE EQUIPOS DE ACARREO ST-710 N° 39</b>				COMPAÑÍA MINERA SANTA LUISA S.A.	
	Código: SGI-MIN-OP-PETS14-F4		Versión: 03			
	Vigencia de Formato: 01/05/2022		Página: 2			
Fecha de actualización: 01/01/2023						
HORÓMETRO DE MOTOR DIESEL	INICIAL	FINAL	JEFE DE GUARDIA			
			OPERADOR			
FECHA			TURNO	DIA	NOCHE	
LABOR INICIAL			UEA	SANTA LUISA	RECUERDO	
<b>ANTES DE ARRANCAR</b>				<b>REVISIÓN</b>		<b>OBSERVACIONES</b>
				INICIAL	FINAL	
1	NIVEL DE ACEITE MOTOR (ENTRE RAYAS)					
2	ESTADO DE FAJAS DEL ALTERNADOR					
3	ESTADO DE LLANTAS (AJUSTE Y CORTES)					
4	LUCES DELANTERAS Y POSTERIORES					
5	CONDICIÓN DEL CLAXON					
6	CHOQUES, ACCIDENTES Y OTROS					
7	NIVEL DE COMBUSTIBLE Y PURGAR					
8	EXTINTOR					
9	VERIFICAR SI HAY DERRAME DE HIDROCARBUROS EN EL SUELO DEL ESTACIONAMIENTO					
10	PAÑOS ABSORVENTES					
11	ESTADO DE CRUCETAS Y CARDANES					
12	ASIENTO					
<b>DESPUES DE ARRANCAR</b>						
1	PRESIÓN DE ACEITE MOTOR (MÍNIMO 10 PSI, ZONA VERDE)					
2	TEMPERATURA DEL MOTOR (ZONA VERDE)					
3	NIVEL DE ACEITE HID. DE TRANSMISIÓN (ARRANCADO Y NEUTRO)					
4	PRESIÓN DE ACEITE TRANSMI (240 - 280 PSI)					
5	TEMPERATURA DEL CONVERTIDOR (180 - 230 °F ZONA VERDE)					
6	ESTADO DE FRENOS (PRESIÓN 2000 PSI)					
7	NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO DEL TANQUE					
8	FUGAS DE ACEITE MOTOR E HIDRÁULICO					
<b>ENGRASE DE LOS SIGUIENTES PUNTOS</b>						
A	ENTRE LA CUCHARA Y BRAZO (2 PUNTOS)					
B	PIN ENTRE EL PISTON DE VOLTEO Y CUCHARA					
<b>REPARACIONES</b>			<b>DE</b>	<b>A</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	
MECÁNICAS						
ELECTRICAS						
OTROS						
Firma del jefe de guardia			Firma del operador		Firma del mecánico	
Elaborado por: Grupo de trabajo Wilfredo Pozo C.	Fecha : 05/01/2022	Revisado por: Ing. Walter Celestino Minaya	Fecha : 06/01/2022	Aprobado por: Ing. Walter Celestino Minaya	Fecha : 07/02/2022	
						

		CHECK LIST SCOOP CAT				CODIGO: 2105267	
		Código: SGI-MIN-OP-PETS14-F2		Versión: 03		COMPAÑÍA MINERA SANTA LUISA S.A.	
		Vigencia de Formato: 15/12/2020		Página: 2			
Fecha de actualización: 02/01/2024							
HORÓMETRO MOTOR DIESEL	INICIAL	FINAL	JEFE DE GUARDIA			SCOOP N°	
			OPERADOR				
FECHA			TURNO	DIA	NOCHE		
LABOR INICIAL			UEA	SANTA LUISA	RECUERDO		
ANTES DE ARRANCAR				REVISIÓN		OBSERVACIONES	
				INICIAL	FINAL		
1	NIVEL DE ACEITE MOTOR (ENTRE RAYAS)						
2	ESTADO DE FAJAS DEL ALTERNADOR						
3	ESTADO DE FAJAS DEL VENTILADOR						
4	EXTINTOR						
5	ESTADO DE LLANTAS (AJUSTE Y PRESIONES)						
6	LUCES DELANTERAS, POSTERIORES y DE CABINAS						
7	CONDICIÓN DE BATERIAS (NIVEL DE SOLUCIÓN)						
8	COMPROBACIÓN DEL CLAXON						
9	NIVEL DE COMBUSTIBLES Y PURGA						
10	CHOQUES, ACCIDENTES Y OTROS						
11	NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO DEL TANQUE						
12	REVISIÓN DE CRUCETAS Y CARDANES						
13	NIVEL DEL REFRIGERANTE (AGUA DESTILADA)						
14	ALARMA DE RETROCESO						
15	CIRCULINA						
16	LUZ DE FRENO DE SERVICIO						
17	PAÑOS ABSORVENTES						
18	VERIFICAR SI HAY DERRAME DE HIDROCARBUROS EN EL SUELO DEL ESTACIONAMIENTO						
19	ASIENTO						
<b>DESPUES DE ARRANCAR</b>							
1	ENFRIADOR DE ACEITE DE LOS EJES (VENTILADORES)						
2	NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIÓN						
3	PRESIÓN DE ACEITE DE MOTOR						
4	TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE DEL MOTOR (107°C - 225°F)						
5	TEMPERATURA DE ACEITE DE TRANSMISIÓN (129°C - 264°F)						
6	TEMPERATURA DE ACEITE HIDRÁULICO > 93°C						
7	ESTADO DEL FRENO DE SERVICIO						
8	ESTADO DEL FRENO DE PARQUEO						
9	CARGA DE ALTERNADOR (24-28V)						
10	CÓDIGO DE ADVERTENCIA						
11	CATEGORÍA DE ADVERTENCIA 1						
12	CATEGORÍA DE ADVERTENCIA 2 (CAMBIAR EL MODO DE OPERACIÓN)						
13	CATEGORÍA DE ADVERTENCIA 3 (PARAR Y APAGAR INMEDIATAMENTE EL MOTOR)						
14	REVISAR FUGAS DE ACEITE MOTOR E HIDRÁULICO						
<b>TANQUE DE LUBRICACIÓN AUTOMÁTICA</b>							
A	EL TANQUE SE DEBE ENCONTRAR LLENO DE GRASA						
B	REVISAR EL PIN ENTRE LA CUCHARA Y EL BRAZO						
C	REVISAR EL ZETA BRAZO						
D	REVISAR EL PIN DEL VÁSTAGO DEL PISTÓN DE VOLTEO						
<b>OBSERVACIONES: Indicar fugas de aceites, desperfectos encontrados al inicio y final del turno</b>							
Firma del jefe de guardia		Firma del operador		Firma del mecánico			
Elaborado por: Grupo de trabajo Wilfredo Pozo C.		Fecha : 05/09/2016		Revisado por: Ing. Walter Celestino Minaya		Fecha : 06/09/2016	
Aprobado por: Ing. Walter Celestino Minaya		Fecha : 07/09/2016					
							

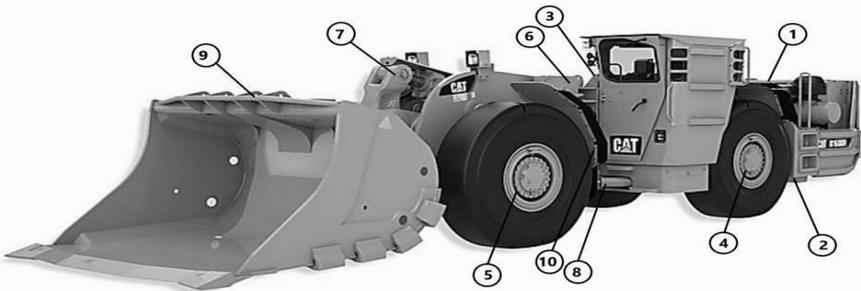
Cartilla gráfica de engrase en equipos SCOOPTRAMS en la CIA Minera Santa Luisa S.A.



**CARTILLA GRÁFICA DE ENGRASE**  
**SCOOP R1600G/H # 02 / 03 / 04 / 05 / 06 - CATERPILLAR**

NOMBRE DEL OPERADOR		ZONA		FECHA	
NOMBRE DEL SUPERVISOR		TURNO			

UBICACIÓN: MANTENIMIENTO MINA MANTENIMIENTO 12 Hrs



1. MOTOR  
2. TRANSMISIÓN  
3. SISTEMA HIDRÁULICO  
4. DIFERENCIAL POSTERIOR / P3 - P4

5. DIFERENCIAL DELANTERO / P1 - P2  
6. ARTICULACIÓN CENTRAL  
7. BRAZO LEVANTE  
8. CILINDRO DE DIRECCIÓN

9. CUCHARA  
10. LUBRICACIÓN CENTRALIZADA

24 Hrs	ITEM	ID	N° FIGURA	COMPONENTE	GRASA / ACEITE	LUBRICANTE	METODO DE APLICACIÓN	N° DE PUNTOS	CANTIDAD Gr./Lts./Un d	FRECUENCIA A Hrs.	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES
C A T	1	10	1	LUBRICACIÓN CENTRALIZADA	GRASA	MOBILGREASE XHP 222	MANUAL	1		10	DISTRIBUIDOR DE GRASA CENTRALIZADO	
	1	9	2	CUCHARA	GRASA	MOBILGREASE XHP 222	MANUAL	1		10	PIN DE UNIÓN CUCHARA Y BRAZO IZQUIERDO	
	1	9	3	CUCHARA	GRASA	MOBILGREASE XHP 222	MANUAL	1		10	PIN DE UNIÓN DE CUCHARA Y BRAZO DERECHO	
	2	7	4&5	BRAZO DE LEVANTE	GRASA	MOBILGREASE XHP 222	MANUAL	2		10	PIN DE HUESO DE PERRO INFERIOR Y SUPERIOR	
	1	7	6	BRAZO DE LEVANTE	GRASA	MOBILGREASE XHP 222	MANUAL	1		10	BARRA Z	
	0	6										



10



9



9



7



7

Lubricantes - capacidad - Frecuencia

Observaciones :

---



---



---

# MOTOR - CAT 2

# COMPAÑIA MINERA SANTA LUISA S.A.

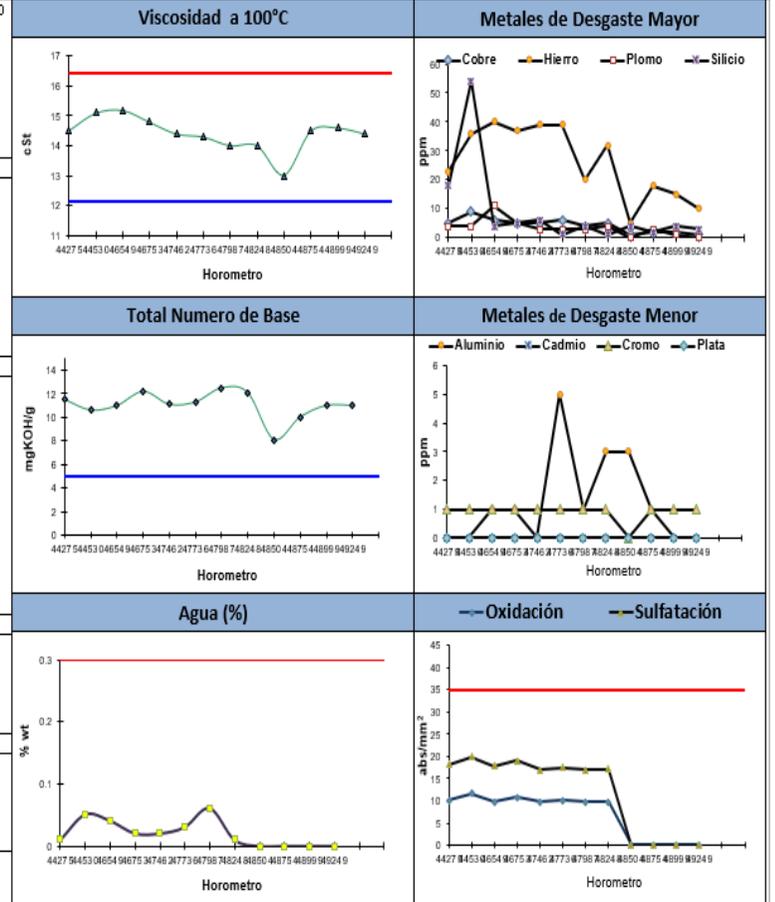
**MODELO:** R1600G  
**CAPACIDAD DEL SISTEMA:** glns.  
**LUBRICANTE RECOMENDADO:**  
**PUNTO TOMA DE MUESTRA:** CARTER  
**CAMBIO ACEITE/FITRO** 250 hr / 250 hr  
**TIPO DE COMBUSTIBLE:** Diesel  
**NUMERO REF.MUESTRA:** CAT 02-20

Límites ----- Mínimo Máximo

## INFORME DE RESULTADOS

NUMERO REFERENCIA LAB.			CAT 02-1	CAT 02-2	CAT 02-9	CAT 02-10	CAT 02-13	CAT 02-14	CAT 02-15	CAT 02-16	CAT 02-17	CAT 02-18	CAT 02-19	CAT 02-20
FECHA TOMADA			26-02-22	11-03-22	20-06-22	30-06-22	04-08-22	18-08-22	30-08-22	12-09-22	25-09-22	08-10-22	20-10-22	02-11-22
FECHA RECIBIDA			05-03-22	18-03-22	27-06-22	07-07-22	11-08-22	25-08-22	06-09-22	19-09-22	02-10-22	15-10-22	27-10-22	09-11-22
FECHA ANALIZADA			08-03-22	21-03-22	30-06-22	10-07-22	14-08-22	28-08-22	09-09-22	22-09-22	05-10-22	18-10-22	30-10-22	12-11-22
LUBRICANTE EN USO			MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	CD01540	MD01540						
HORAS DEL LUBRICANTE			256	255	267	204	218	274	251	261	256	250	245	250
LECTURA DEL HOROMETRO			44275	44530	46549	46753	47462	47736	47987	48248	48504	48754	48999	49249
LUBRICANTE SUPLEMENTADO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>PRUEBAS FISICO-QUIMICAS &amp; FTIR</b>														
VISCOSIDAD 40° C cSt	12.16	16.45	14.5	15.1	15.2	14.8	14.4	14.3	14.0	14.0	13.0	14.5	14.6	14.4
VISCOSIDAD 100° C cSt														
T.N.A. mgKOH/g		3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
T.N.B. mgKOH/g	5		11.5	10.6	11.0	12.2	11.1	11.3	12.5	12.1	8.1	10.0	11.0	11.0
OXIDACION (abs/mm2)		35	10.1	11.7	9.7	10.8	9.7	10.0	9.8	9.7	0.1	0.1	0.1	0.1
AGUA (ppm)		0.30	0.01	0.05	0.04	0.02	0.02	0.03	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
NITRACION (abs/mm2)		30	6.9	6.8	6.5	9.1	7.5	9.4	8.8	8.6	0.1	0.1	0.1	0.1
SULFATACION (abs/mm2)		40	18.1	19.9	17.8	19.1	16.9	17.5	17.0	17.2	0.0	0.0	0.0	0.0
HOLLIN (%wt)		3	2.8	3.5	2.4	2.9	2.3	2.2	2.2	2.3	0.3	0.8	0.6	0.5
<b>METALES DE DESGASTE</b>														
HIERRO	45	60	23	36	40	37	39	39	20	32	5	18	15	10
ALUMINIO	3	5	0	0	1	1	0	5	1	3	3	1	0	0
COBRE	9	13	5	9	6	5	6	4	5	1	2	2	1	0
CROMO	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
ESTAÑO	2	3	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0
PLOMO	8	10	4	4	11	5	3	3	3	4	0	3	1	0
MOLIBDENO			47	39	53	50	49	52	47	53	33	18	1	1
NIQUEL			0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
PLATA			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TITANIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MANGANESO			0	2	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0
CADMIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>METALES CONTAMINACION</b>														
SILICIO	14	20	18	54	4	5	6	1	4	1	4	2	4	3
SODIO	16	29	3	3	70	3	3	2	3	2	4	1	4	0
POTASIO			0	1	1	1	1	0	0	1	1	2	4	3
BOURO			0	0	2	1	0	1	2	1	64	46	74	58
YANADIO			1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>METALES ADITIIVOS</b>														
CALCIO			1624	2021	1576	1691	1480	1652	1512	1536	1495	1438	1625	1203
MAGNESIO			1415	1198	1318	1384	1247	1353	1232	1303	495	632	809	639
ZINC			1748	1833	1578	1493	1754	1467	1469	1484	836	876	917	765
FOSFORO			1268	1245	1234	1275	1302	1210	1149	1254	710	745	773	648
BARIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: Los valores condenatorios máximos y mínimos dados solo se deberan de tomar como referencia, consultar al fabricante de la maquinaria para obtener los valores correspondientes.

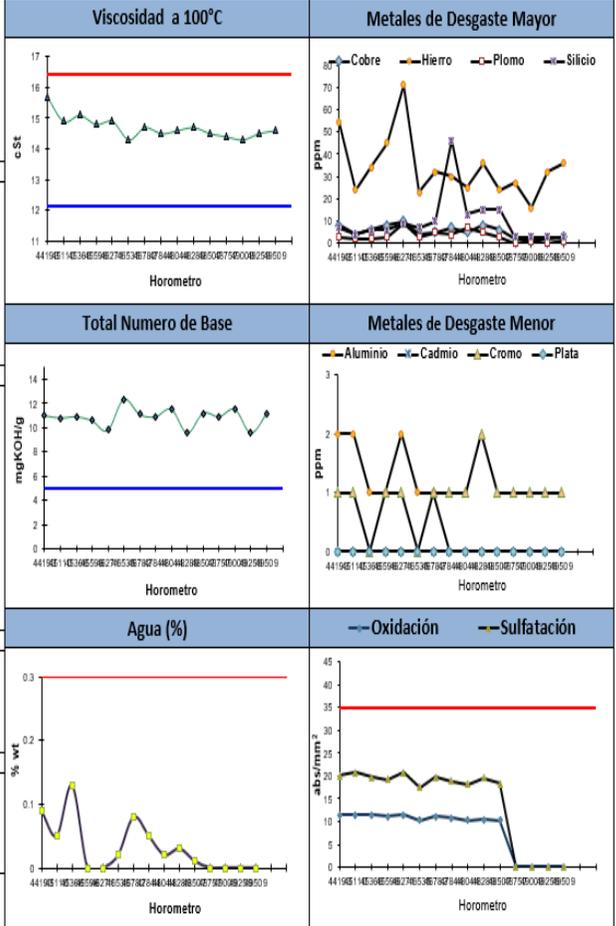


MARCA: CAT  
 MODELO: R1600G  
 CAPACIDAD DEL SISTEMA: glns.  
 LUBRICANTE RECOMENDADO:  
 PUNTO TOMA DE MUESTRA: CARTER  
 CAMBIO ACEITE/FITRO 250 hr / 250 hr  
 TIPO DE COMBUSTIBLE: Diesel  
 NUMERO REF.MUESTRA: CAT 03-20

MOTOR - CAT 3

MINERA SANTA LUISA S.A.

		INFORME DE RESULTADOS														
		Minimo	Máximo													
NUMERO REFERENCIA LAB.		CAT 03-1	CAT 03-2	CAT 03-3	CAT 03-4	CAT 03-7	CAT 03-8	CAT 03-9	CAT 03-13	CAT 03-14	CAT 03-15	CAT 03-16	CAT 03-17	CAT 03-18	CAT 03-19	CAT 03-20
FECHA TOMADA		08-02-22	26-03-22	07-04-22	19-04-22	23-05-22	05-06-22	17-06-22	09-08-22	19-08-22	01-09-22	11-09-22	24-09-22	07-10-22	19-10-22	01-11-22
FECHA RECIBIDA		15-02-22	02-04-22	14-04-22	26-04-22	30-05-22	12-06-22	24-06-22	16-08-22	26-08-22	08-09-22	18-09-22	01-10-22	14-10-22	26-10-22	08-11-22
FECHA ANALIZADA		19-02-22	05-04-22	17-04-22	29-04-22	02-06-22	15-06-22	27-06-22	19-08-22	29-08-22	11-09-22	21-09-22	04-10-22	17-10-22	29-10-22	11-11-22
LUBRICANTE EN USO		MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540
HORAS DEL LUBRICANTE		245	917	256	230	277	264	247	304	200	245	218	250	252	250	250
LECTURA DEL HOROMETRO		44193	45110	45366	45596	46271	46535	46782	47844	48044	48289	48507	48757	49009	49259	49509
LUBRICANTE SUPLEMENTADO		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>PRUEBAS FISICO-QUIMICAS &amp; FTIR</b>																
VISCOSIDAD 40° C cSt		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VISCOSIDAD 100° C cSt	12,16	16,45	15,7	14,9	15,1	14,8	14,9	14,3	14,7	14,5	14,6	14,7	14,5	14,4	14,3	14,5
T.N.A. mgKOH/g		3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T.N.B. mgKOH/g	5		11,0	10,8	10,9	10,6	9,8	12,3	11,1	10,9	11,5	9,6	11,2	10,9	11,5	9,6
OXIDACION (abs/mm2)		35	11,5	11,5	11,5	11,1	11,4	10,2	11,1	10,7	10,2	10,4	10,3	0,1	0,1	0,1
AGUA (ppm)	0,30	<b>0,09</b>	<b>0,05</b>	<b>0,13</b>	0,00	0,00	<b>0,02</b>	<b>0,08</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
NITRACION (abs/mm2)		30	7,1	5,7	6,9	7,2	8,6	7,3	9,9	9,1	8,2	7,9	7,9	0,1	0,1	0,1
SULFATACION (abs/mm2)		40	20,0	20,8	19,7	19,2	20,8	17,5	19,8	18,8	18,2	19,5	18,4	0,0	0,0	0,0
HOLLIN (%wt)		3	<b>3,2</b>	<b>3,6</b>	<b>3,4</b>	<b>2,9</b>	<b>3,7</b>	2,3	<b>3,4</b>	2,7	2,9	2,8	2,7	0,8	0,7	0,9
<b>METALES DE DESGASTE</b>																
		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
HIERRO	45 60	<b>54</b>	24	34	<b>45</b>	<b>71</b>	23	32	30	25	36	24	27	16	32	36
ALUMINIO	3 5	2	2	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
COBRE	9 13	8	4	6	8	10	4	5	7	5	8	6	2	2	2	3
CROMO	2 3	1	1	0	1	1	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1
ESTAÑO	2 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLOMO	8 10	3	2	2	3	9	3	5	4	7	5	3	0	1	0	1
MOLIBDENO		69	42	62	60	63	61	61	56	51	49	46	1	0	0	0
NIQUEL		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLATA		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TITANIO		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MANGANESO		1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CADMIO		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>METALES CONTAMINACION</b>																
		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
SILICIO	14 20	7	4	6	6	9	7	10	<b>45</b>	13	<b>15</b>	<b>15</b>	3	3	3	3
SODIO	16 29	2	0	2	2	20	8	<b>74</b>	3	3	3	2	6	2	4	0
POTASIO		0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	3	3	2	3
BORO		2	2	2	2	5	2	0	0	0	0	0	75	60	67	43
YANADIO		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>METALES ADITIVOS</b>																
		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
CALCIO		1630	1383	1569	1548	1491	1536	1738	1629	1693	1691	1723	1428	1351	1522	1220
MAGNESIO		1409	1158	1318	1224	1335	1228	1570	1449	1436	1423	1390	758	754	863	707
ZINC		1676	1330	1624	1601	1682	1566	2174	1805	1619	1690	1686	858	853	1002	767
FOSFORO		1368	1129	1279	1248	1298	1279	1417	1365	1258	1268	1241	730	751	863	657
BARIO		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Nota: Los valores condenatorios máximos y mínimos dados solo se deben de tomar como referencia, consultar al fabricante de la maquinaria para obtener los valores correspondientes.

MARCA: CAT  
 MODELO: R1600G  
 CAPACIDAD DEL SISTEMA: glns.  
 LUBRICANTE RECOMENDADO:  
 PUNTO TOMA DE MUESTRA: CARTER  
 CAMBIO AC: Área de trazado 250 hr / 250 hr  
 TIPO DE COMBUSTIBLE: Diesel

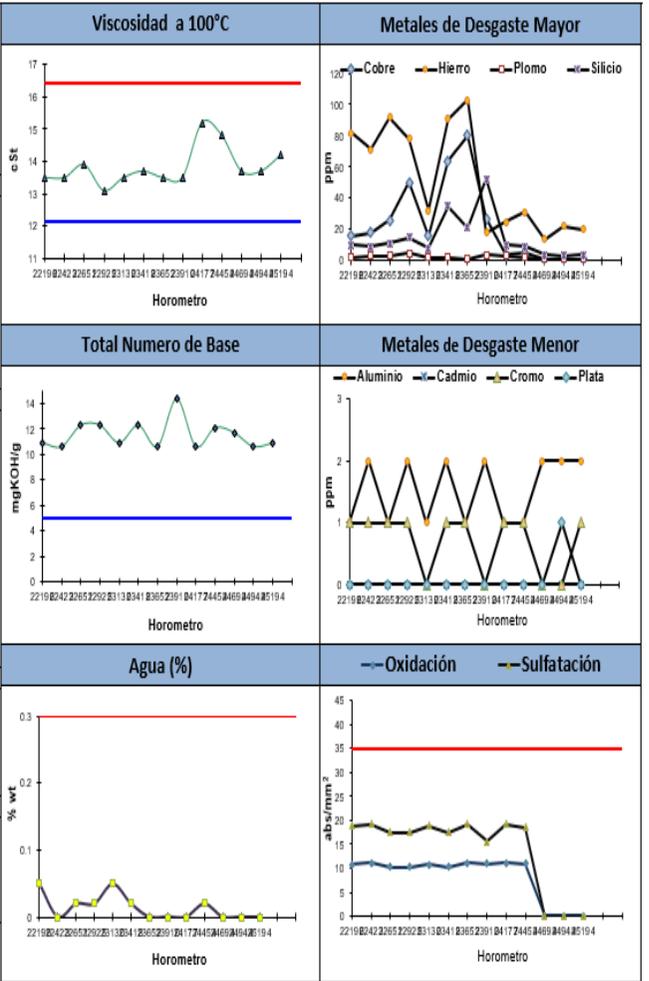
COMPANIA MINERA SANTA LUISA S.A.

MOTOR - CAT 4

NUMERO REF. MUESTRA: CAT 04-20  
 Límites ----- Mínimo Máximo

INFORME DE RESULTADOS

NUMERO REFERENCIA LAB.			CAT 04-5	CAT 04-6	CAT 04-7	CAT 04-8	CAT 04-9	CAT 04-10	CAT 04-11	CAT 04-12	CAT 04-13	CAT 04-14	CAT 04-15	CAT 04-16	CAT 04-17
FECHA TOMADA			28-04-22	09-05-22	21-05-22	03-06-22	14-06-22	28-06-22	10-07-22	23-07-22	05-08-22	19-08-22	31-08-22	12-09-22	25-09-22
FECHA RECIBIDA			05-05-22	16-05-22	28-05-22	10-06-22	21-06-22	05-07-22	17-07-22	30-07-22	12-08-22	26-08-22	07-09-22	19-09-22	02-10-22
FECHA ANALIZADA			08-05-22	19-05-22	31-05-22	13-06-22	24-06-22	08-07-22	20-07-22	02-08-22	15-08-22	29-08-22	10-09-22	22-09-22	05-10-22
LUBRICANTE EN USO			MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540
HORAS DEL LUBRICANTE			288	227	228	274	205	288	234	258	267	277	240	250	250
LECTURA DEL HOROMETRO			22196	22423	22651	22925	23130	23418	23652	23910	24177	24454	24694	24944	25194
LUBRICANTE SUPLEMENTADO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>PRUEBAS FISICO-QUIMICAS &amp; FTIR</b>															
VISCOSIDAD 40 °C cSt			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VISCOSIDAD 100 °C cSt	12,16	16,45	13,5	13,5	13,9	13,1	13,5	13,7	13,5	13,5	15,2	14,8	13,7	13,7	14,2
T.N.A. mgKOH/g	3		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T.N.B. mgKOH/g	5		10,9	10,8	12,3	12,3	10,9	12,3	10,6	14,4	10,6	12,1	11,7	10,6	10,9
OXIDACION (abs/mm <sup>2</sup> )	35		10,7	11,1	10,2	10,2	10,7	10,2	11,1	11,0	11,1	10,9	0,1	0,1	0,1
AGUA (ppm)	0,30		0,05	0,00	0,02	0,02	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
NITRACION (abs/mm <sup>2</sup> )	30		9,1	7,2	7,3	7,3	9,1	7,3	7,2	5,4	7,2	5,6	0,1	0,1	0,1
SULFATACION (abs/mm <sup>2</sup> )	40		18,8	19,2	17,5	17,5	18,8	17,5	19,2	15,6	19,2	18,5	0,0	0,0	0,0
HOLLIN (%wt)	3		2,5	2,5	2,6	2,7	2,5	2,6	2,3	0,3	2,9	2,7	0,4	0,5	0,5
<b>METALES DE DESGASTE</b>															
HIERRO	45	60	82	71	92	78	32	91	103	18	25	31	14	22	20
ALUMINIO	3	5	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	2	2
COBRE	9	13	16	18	26	50	16	64	80	27	4	5	1	1	1
CROMO	2	3	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1
ESTAÑO	2	3	0	0	1	5	1	6	9	3	0	0	0	0	0
PLOMO	8	10	2	3	3	5	2	2	1	4	3	2	1	1	1
MOLIBDENO			59	57	63	60	57	50	47	53	64	67	36	37	19
NIQUEL			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLATA			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
TITANIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MANGANESO			1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
CADMIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>METALES CONTAMINACION</b>															
SILICIO	14	20	10	9	11	15	8	35	21	52	10	9	4	3	4
SODIO	16	29	2	2	2	1	2	2	3	2	3	1	0	0	3
POTASIO			0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1
BORO			1	1	1	1	1	3	2	15	1	1	55	49	50
YANADIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>METALES ADITIVOS</b>															
CALCIO			1581	1626	1639	1614	1684	1720	1563	1526	1737	1877	1614	1614	1331
MAGNESIO			1268	1278	1358	1221	1276	1244	1229	1138	1407	1475	519	509	550
ZINC			1650	1680	1755	1576	1564	1676	1606	1513	1742	1817	904	898	792
FOSFORO			1267	1303	1361	1262	1314	1226	1150	1234	1375	1465	754	758	670
BARIO			0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0



Nota: Los valores condenatorios máximos y mínimos dados solo se deberán de tomar como referencia, consultar al fabricante de la maquinaria para obtener los valores correspondientes.

**MODELO:** R1600G  
**CAPACIDAD DEL SISTEMA:** glns.  
**LUBRICANTE RECOMENDADO:**  
**PUNTO TOMA DE MUESTRA:** CARTER  
**CAMBIO ACEITE/FILTRO:** 250 hr / 250 hr  
**TIPO DE COMBUSTIBLE:** Diesel  
**NUMERO REF.MUESTRA:** CAT 05-20

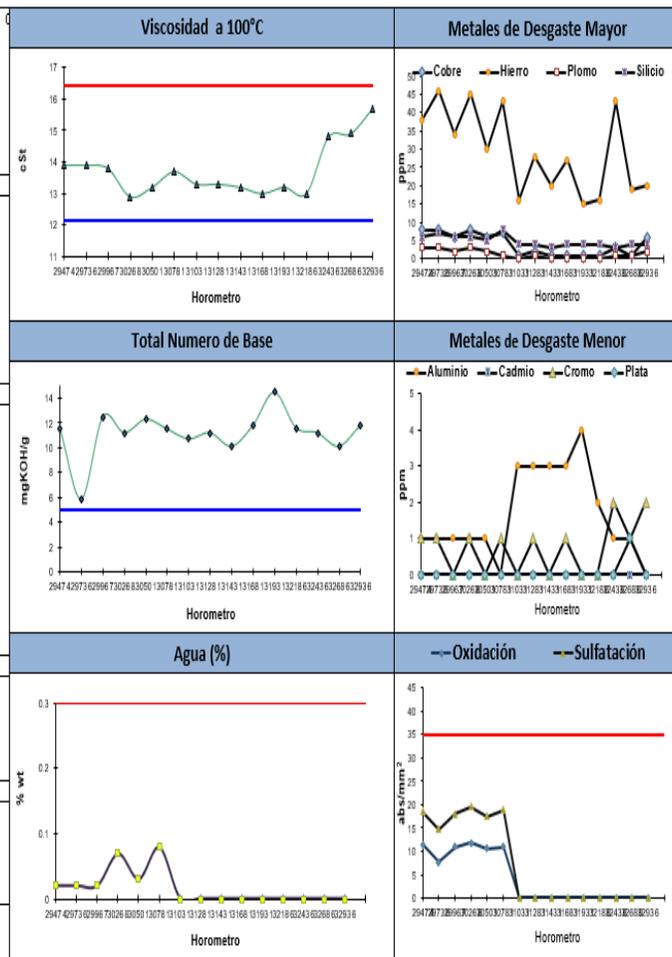
### MOTOR - CAT 5

### COMPANIA MINERA SANTA LUISA S.A.

#### INFORME DE RESULTADOS

Límites -----		Minimo	Máximo												
NUMERO REFERENCIA LAB.		CAT 05-7	CAT 05-8	CAT 05-9	CAT 05-10	CAT 05-11	CAT 05-12	CAT 05-13	CAT 05-14	CAT 05-15	CAT 05-16	CAT 05-17	CAT 05-18	CAT 05-19	
FECHA TOMADA		11-05-22	25-05-22	05-06-22	20-06-22	02-07-22	16-07-22	28-07-22	10-08-22	17-08-22	30-08-22	11-09-22	24-09-22	07-10-22	
FECHA RECIBIDA		18-05-22	01-06-22	12-06-22	27-06-22	09-07-22	23-07-22	04-08-22	17-08-22	24-08-22	06-09-22	18-09-22	01-10-22	14-10-22	
FECHA ANALIZADA		21-05-22	04-06-22	15-06-22	30-06-22	12-07-22	26-07-22	07-08-22	20-08-22	27-08-22	09-09-22	21-09-22	04-10-22	17-10-22	
LUBRICANTE EN USO		MDO1540	MDO1540	MDO1540	MDO1540	MDO1540	MDO1540	MDO1540	MDO1540	MDO1540	MDO1540	MDO1540	MDO1540	MDO1540	
HORAS DEL LUBRICANTE		806	262	231	301	233	280	250	250	160	250	250	255	250	
LECTURA DEL HOROMETRO		29474	29736	29967	30268	30501	30781	31031	31281	31431	31681	31931	32186	32436	
LUBRICANTE SUPLEMENTADO		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PRUEBAS FISICO-QUIMICAS & FTIR															
VISCOSIDAD 40 C cSt															
VISCOSIDAD 100 C cSt	12.16	16.45	13.9	13.9	13.8	12.9	13.2	13.7	13.3	13.3	13.2	13.0	13.0	14.8	
T.N.A. mgKOH/g		3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
T.N.E. mgKOH/g	5		11.6	5.8	12.5	11.2	12.3	11.5	10.7	11.2	10.1	11.8	14.5	11.6	11.2
OXIDACION (abstmm <sup>2</sup> )		35	11.4	7.6	10.9	11.8	10.6	10.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
AGUA (ppm)		0.30	0.02	0.02	0.02	0.07	0.03	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
NITRACION (abstmm <sup>2</sup> )		30	0.3	3.0	0.0	0.8	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
SULFATACION (abstmm <sup>2</sup> )		40	18.5	14.8	18.0	19.5	17.5	18.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
HOLLIN (%wt)		3	2.0	1.4	1.8	2.3	1.7	2.4	0.7	0.9	0.8	0.6	0.6	1.1	
METALES DE DESGASTE															
HERRO	45	60	38	46	34	45	30	43	16	28	20	27	15	16	43
ALUMINIO	3	5	1	1	1	1	1	0	3	3	3	3	4	2	1
COBRE	9	13	8	8	6	8	6	7	1	2	1	1	1	1	3
CROMO	2	3	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	2
ESTAÑO	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLOMO	8	10	3	3	2	3	2	1	0	1	0	0	0	0	1
MOLIBDENO			59	63	62	60	57	55	33	42	39	35	41	33	1
NIQUEL			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLATA			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TITANIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MANGANESO			1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
CADMIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
METALES CONTAMINACION															
SILICIO	14	20	6	7	6	6	5	8	4	4	3	4	4	4	3
SODIO	16	29	4	2	2	2	2	3	0	0	0	3	0	0	1
POTASIO			2	0	0	0	0	2	1	0	1	0	1	3	
BORO			2	2	2	2	1	1	85	55	49	50	56	53	63
YANADIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
METALES ADITIVOS															
CALCIO			1539	1523	1563	1548	1694	1593	1707	1745	1551	1519	1709	1476	1333
MAGNESIO			1235	1259	1318	1224	1235	1347	614	537	482	496	525	496	767
ZINC			1547	1620	1624	1601	1523	1539	978	971	869	962	946	841	875
FOSFORO			1220	1276	1279	1249	1255	1296	833	814	729	713	776	701	765
BARIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: Los valores condenatorios máximos y mínimos dados solo se deberan de tomar como referencia, consultar al fabricante de la maquinaria para obtener los valores correspondientes.



## MOTOR - CAT 6

LUBRICANTE RECOMENDADO:

PUNTO TOMA DE MUESTRA: CARTER

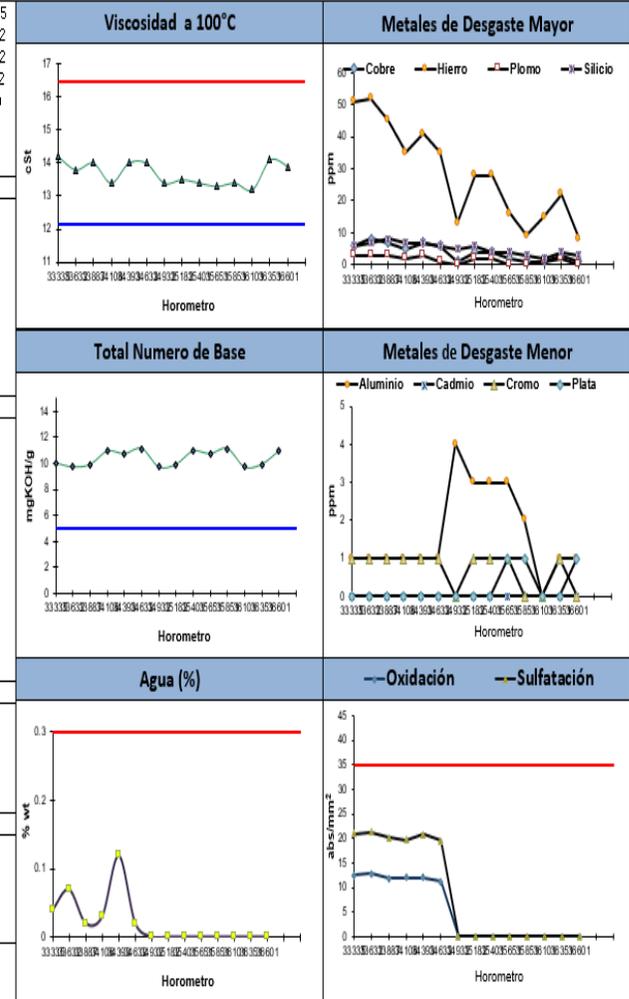
CAMBIO ACEITE/FITRO 250 hr / 250 hr

TIPO DE COMBUSTIBLE: Diesel

NUMERO REF. MUESTRA: CAT 06-20

Límites ----- Mínimo Máximo

NUMERO REFERENCIA LAB.			CAT 06-2	CAT 06-3	CAT 06-4	CAT 06-5	CAT 06-6	CAT 06-7	CAT 06-8	CAT 06-9	CAT 06-10	CAT 06-11	CAT 06-12	CAT 06-13	CAT 06-14	CAT 06-15
FECHA TOMADA			22-03-22	06-04-22	19-04-22	30-04-22	14-05-22	26-05-22	10-06-22	23-06-22	04-07-22	16-07-22	26-07-22	08-08-22	20-08-22	02-09-22
FECHA RECIBIDA			29-03-22	13-04-22	26-04-22	07-05-22	21-05-22	02-06-22	17-06-22	30-06-22	11-07-22	23-07-22	02-08-22	15-08-22	27-08-22	09-09-22
FECHA ANALIZADA			01-04-22	16-04-22	29-04-22	10-05-22	24-05-22	05-06-22	20-06-22	03-07-22	14-07-22	26-07-22	05-08-22	18-08-22	30-08-22	12-09-22
LUBRICANTE EN USO			MD01640	MD01640	MD01640	MD01640	MD01640	MD01640								
HORAS DEL LUBRICANTE			230	297	255	219	287	239	300	250	219	250	200	250	250	250
LECTURA DEL HOROMETRO			33335	33632	33887	34106	34393	34632	34932	35182	35401	35651	35851	36101	36351	36601
LUBRICANTE SUPLEMENTADO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>PRUEBAS FISICO-QUIMICAS &amp; FTIR</b>																
VISCOSIDAD 40° C cSt			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VISCOSIDAD 100° C cSt	12.16	16.45	14.2	13.8	14.0	13.4	14.0	14.0	13.4	13.5	13.4	13.3	13.4	13.2	14.1	13.9
T.N.A. mgKOH/g		3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
T.N.B. mgKOH/g	5		10.0	9.7	9.9	10.9	10.7	11.1	9.7	9.9	10.9	10.7	11.1	9.7	9.9	10.9
OXIDACION (abstmm <sup>2</sup> )		35	12.5	12.9	11.8	12.0	12.1	11.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
AGUA (ppm)	0.30	0.04	0.07	0.02	0.03	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NITRACION (abstmm <sup>2</sup> )	30	2.2	0.2	0.7	0.0	3.4	0.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
SULFATACION (abstmm <sup>2</sup> )	40	21.0	21.3	20.2	19.7	20.8	19.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HOLLIN (%wt)	3	3.1	3.0	2.6	2.3	2.7	2.5	0.4	0.6	0.6	0.5	0.4	0.6	0.6	0.4	0.4
<b>METALES DE DESGASTE</b>																
HIERRO	45	60	51	52	45	35	41	35	13	28	28	16	9	15	22	8
ALUMINIO	3	5	1	1	1	1	1	1	4	3	3	3	2	0	1	1
COBRE	9	13	6	8	7	5	7	6	1	4	4	2	1	1	3	1
CROMO	2	3	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0
ESTAÑO	2	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLOMO	8	10	3	3	3	2	3	1	0	2	2	0	0	1	2	0
MOLIBDENO			62	61	63	68	62	59	43	45	48	40	38	31	0	0
NIQUEL			0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLATA			0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	
TITANIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MANGANESO			1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
CADMIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>METALES CONTAMINACION</b>																
SILICIO	14	20	6	7	8	7	7	6	5	6	4	4	3	2	4	3
SODIO	16	29	2	2	1	2	1	2	5	0	0	0	0	0	2	1
POTASIO			0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	3	2
BORO			4	5	6	19	3	3	62	62	65	54	54	46	64	83
VANADIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>METALES ADITIVOS</b>																
CALCIO			1675	1660	1636	1652	1629	1446	1802	1828	1986	1690	1541	1420	1382	1361
MAGNESIO			1262	1331	1345	1200	1311	1193	543	565	608	523	480	490	765	738
ZINC			1617	1651	1676	1630	1614	1469	982	1009	1100	940	855	815	851	843
FOSFORO			1224	1237	1339	1276	1328	1212	823	847	918	791	727	680	739	721
BARIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Nota: Los valores condenatorios máximos y mínimos dados solo se deben de tomar como referencia, consultar al fabricante de la maquinaria para obtener los valores correspondientes.

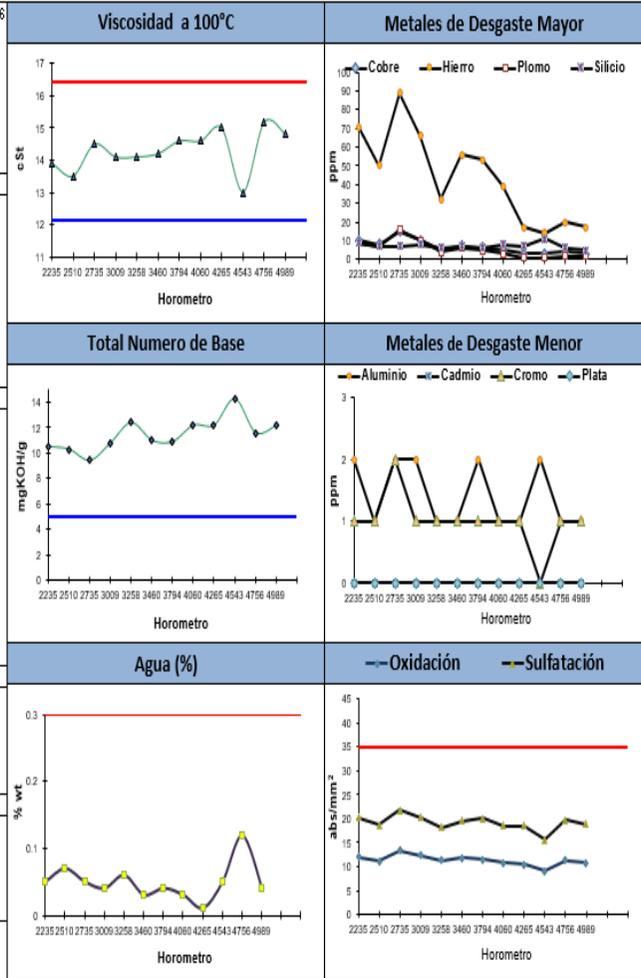
**MODELO:** ST1030-1  
**CAPACIDAD DEL SISTEMA:** glns.  
**LUBRICANTE RECOMENDADO:**  
**PUNTO TOMA DE MUESTRA:** CARTER  
**CAMBIO ACEITE/FITRO:** 250 hr / 250 hr  
**TIPO DE COMBUSTIBLE:** Diesel  
**NUMERO REF. MUESTRA:** ST 1030 - 01-20

## MOTOR - ST 1030-1

### INFORME DE RESULTADOS

Límites -----	Minimo		Máximo												
			ST 1030 - 01-5	ST 1030 - 01-6	ST 1030 - 01-7	ST 1030 - 01-8	ST 1030 - 01-9	ST 1030 - 01-10	ST 1030 - 01-11	ST 1030 - 01-12	ST 1030 - 01-13	ST 1030 - 01-14	ST 1030 - 01-15	ST 1030 - 01-16	
NUMERO REFERENCIA LAB.															
FECHA TOMADA			09-05-22	23-05-22	03-06-22	17-06-22	29-06-22	09-07-22	26-07-22	08-08-22	18-08-22	01-09-22	12-09-22	24-09-22	
FECHA RECIBIDA			16-05-22	30-05-22	10-06-22	24-06-22	06-07-22	16-07-22	02-08-22	15-08-22	25-08-22	08-09-22	19-09-22	01-10-22	
FECHA ANALIZADA			19-05-22	02-06-22	13-06-22	27-06-22	09-07-22	19-07-22	05-08-22	18-08-22	28-08-22	11-09-22	22-09-22	04-10-22	
LUBRICANTE EN USO			MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	MD01540	
HORAS DEL LUBRICANTE			275	225	274	249	202	334	266	205	278	213	233	235	
LECTURA DEL HOROMETRO			2235	2510	2735	3009	3258	3460	3794	4060	4265	4543	4756	4989	
LUBRICANTE SUPLEMENTADO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>PRUEBAS FISICO-QUIMICAS &amp; FTIR</b>															
VISCOSIDAD 40° C cSt			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
VISCOSIDAD 100° C cSt	12.16	16.45	13.9	13.5	14.5	14.1	14.1	14.2	14.6	14.6	15.0	13.0	15.2	14.8	
T.N.A. mgKOH/g		3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
T.N.B. mgKOH/g	5		10.5	10.3	9.4	10.8	12.4	11.0	10.9	12.2	12.2	14.3	11.6	12.2	
OXIDACION (abs/mm <sup>2</sup> )		35	12.0	11.2	13.4	12.3	11.3	11.8	11.4	10.7	10.5	9.1	11.3	10.8	
AGUA (ppm)	0.30		<b>0.05</b>	<b>0.07</b>	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>	<b>0.06</b>	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	<b>0.03</b>	0.01	<b>0.05</b>	<b>0.12</b>	<b>0.04</b>	
NITRACION (abs/mm <sup>2</sup> )		30	0.3	1.5	3.0	2.2	0.9	2.4	1.5	0.0	0.2	0.0	2.6	0.0	
SULFATACION (abs/mm <sup>2</sup> )		40	20.3	18.7	21.8	20.2	18.1	19.6	20.0	18.6	18.5	15.6	19.8	18.8	
HOLLIN (%wt)		3	2.8	1.9	3.2	2.4	1.6	2.2	2.4	2.0	2.2	0.9	2.6	2.4	
<b>METALES DE DESGASTE</b>			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	
HERRO	45	60	<b>71</b>	<b>50</b>	<b>89</b>	<b>66</b>	32	<b>56</b>	<b>53</b>	39	17	14	20	17	
ALUMINIO	3	5	2	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	
COBRE	9	13	10	8	15	10	5	7	6	5	3	3	4	3	
CROMO	2	3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	
ESTAÑO	2	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
PLOMO	8	10	9	7	16	10	4	6	5	3	1	1	2	2	
MOLIBDENO			63	55	63	59	56	60	65	56	59	51	65	63	
NIQUEL			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PLATA			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TITANIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MANGANESO			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
CADMIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>METALES CONTAMINACION</b>			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	
SILICIO	14	20	9	7	7	8	6	7	6	8	7	11	6	5	
SODIO	16	29	20	14	15	14	12	21	<b>27</b>	<b>48</b>	1	2	2	2	
POTASIO			1	1	1	1	1	2	4	1	1	1	0	0	
BORO			5	3	3	4	3	4	4	5	3	3	2	2	
VANADIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>METALES ADITIVOS</b>			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	
CALCIO			1491	1603	1632	1567	1540	1434	1676	1592	1540	1911	1649	1592	
MAGNESIO			1335	1183	1403	1371	1279	1271	1425	1289	1339	1170	1358	1382	
ZINC			1682	1616	1718	1726	1695	1558	1724	1604	1682	1624	1747	1774	
FOSFORO			1298	1225	1342	1324	1303	1324	1451	1269	1325	1311	1419	1441	
BARIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

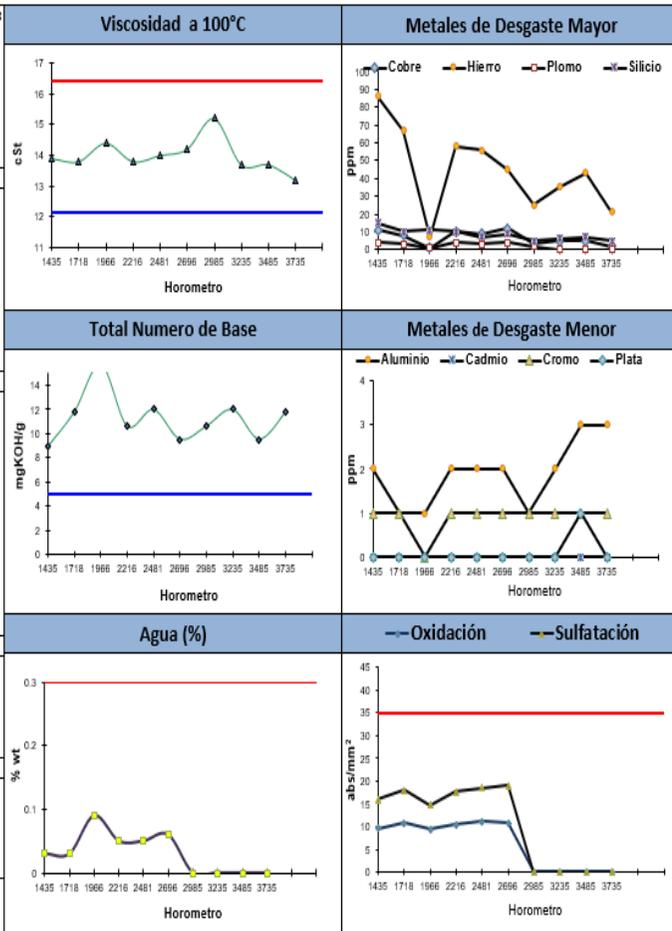
Nota: Los valores condenatorios máximos y mínimos dados solo se deben de tomar como referencia, consultar al fabricante de la maquinaria para obtener los valores correspondientes.



MARCA: EPIROC  
 MODELO: ST1030  
 CAPACIDAD DEL SISTEMA: glns.  
 LUBRICANTE RECOMENDADO:  
 PUNTO TOMA DE MUESTRA: CARTER  
 CAMBIO ACEITE/FITRO: 250 hr / 250 hr  
 TIPO DE COMBUSTIBLE: Diesel  
 NUMERO REF. MUESTRA: #REF!

## MOTOR - ST1030-02

	Límites -----											
	Minimo	Máximo	ST1030 - 03-4	ST1030 - 03-5	ST1030 - 03-6	ST1030 - 03-7	ST1030 - 03-8	ST1030 - 03-9	ST1030 - 03-10	ST1030 - 03-11	ST1030 - 03-12	ST1030 - 03-13
NUMERO REFERENCIA LAB.			ST1030 - 03-4	ST1030 - 03-5	ST1030 - 03-6	ST1030 - 03-7	ST1030 - 03-8	ST1030 - 03-9	ST1030 - 03-10	ST1030 - 03-11	ST1030 - 03-12	ST1030 - 03-13
FECHA TOMADA			28-07-22	11-08-22	24-08-22	05-09-22	18-09-22	29-09-22	14-10-22	26-10-22	08-11-22	20-11-22
FECHA RECIBIDA			04-08-22	18-08-22	31-08-22	12-09-22	25-09-22	06-10-22	21-10-22	02-11-22	15-11-22	27-11-22
FECHA ANALIZADA			07-08-22	21-08-22	03-09-22	15-09-22	28-09-22	09-10-22	24-10-22	05-11-22	18-11-22	30-11-22
LUBRICANTE EN USO			MD01540	MD01540	MD01540	MD01540						
HORAS DEL LUBRICANTE			283	248	250	265	215	289	250	250	250	250
LECTURA DEL HOROMETRO			1435	1718	1966	2216	2481	2696	2985	3235	3485	3735
LUBRICANTE SUPLEMENTADO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>PRUEBAS FISICO-QUIMICAS &amp; FTIR</b>												
VISCOSIDAD 40° C cSt			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VISCOSIDAD 100° C cSt	12.16	16.45	13.9	13.8	14.4	13.8	14.0	14.2	15.2	13.7	13.7	13.2
T.N.A. mgKOH/g		3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
T.N.B. mgKOH/g	5		8.9	11.8	15.8	10.6	12.0	9.5	10.6	12.0	9.5	11.8
OXIDACION (abs/mm2)		35	9.5	10.7	9.4	10.4	11.2	10.8	0.1	0.1	0.1	0.1
AGUA (ppm)		0.30	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.09</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>	0.00	0.00	0.00	0.00
NITRACION (abs/mm2)		30	0.6	0.0	0.0	1.7	1.7	1.4	0.1	0.1	0.1	0.1
SULFACION (abs/mm <sup>2</sup> )		40	15.9	18.0	14.7	17.6	18.6	19.1	0.0	0.0	0.0	0.0
HOLLIN (%wt)		3	1.8	1.8	0.1	1.9	2.1	2.1	1.5	0.8	0.8	0.6
<b>METALES DE DESGASTE</b>												
			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)						
HIERRO	45	60	<b>86</b>	<b>67</b>	7	<b>58</b>	<b>56</b>	45	25	35	43	21
ALUMINIO	3	5	2	1	1	2	2	2	1	2	3	3
COBRE	9	13	11	8	1	10	9	12	3	5	5	2
CROMO	2	3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
ESTAÑO	2	3	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PLOMO	8	10	4	3	1	4	3	4	2	0	0	0
MOLIBDENO			66	64	59	59	59	65	1	31	36	36
NIQUEL			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLATA			0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
TITANIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MANGANESO			1	1	1	2	0	2	0	1	1	1
CADMIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>METALES CONTAMINACION</b>												
			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)						
SILICIO	14	20	<b>15</b>	10	11	10	7	9	5	6	7	5
SODIO	16	29	4	2	1	4	4	10	3	0	0	2
POTASIO			0	0	0	1	0	1	3	0	1	1
BORO			5	4	4	4	4	6	46	35	44	45
VANADIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>METALES ADITIVOS</b>												
			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)						
CALCIO			1541	1635	1417	1645	1627	1745	1391	1519	1779	1856
MAGNESIO			1258	1349	1249	1223	1328	1363	779	481	569	478
ZINC			1633	1718	1647	1757	1729	1673	836	830	977	849
FOSFORO			1324	1271	1295	1283	1298	1317	740	682	828	707
BARIO			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Nota: Los valores condenatorios máximos y mínimos dados solo se deberan de tomar como referencia, consultar al fabricante de la maquinaria para obtener los valores correspondientes.



## COMPAÑÍA MINERA SANTA LUISA S.A.

Unidad Huanzalá, Distrito de Huallanca, Provincia de Bolognesi, Dpto. Ancash  
Teléfonos.: (043) 837004 Fax: (043) 837003

### CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE DATOS DE LA EMPRESA

Yo Elmer Mallqui Geronimo  
Identificado con DNI 09990862 en mi calidad de Jefe de Mantenimiento Mina  
Del área de Mantenimiento de  
La empresa / institución Cia. Minera Santa Luisa con  
RUC N° 20100120314 ubicada en la ciudad de Huallanca, Bolognesi, Ancash.

### OTORGO LA AUTORIZACIÓN

Al señor Juan Carlos Barrera Bustillos  
Identificado con DNI° 71020822, bachiller de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica que utilice la siguiente información de la empresa:

Compañía Minera Santa Luisa S.A.;

Con la finalidad de que se pueda desarrollar su Tesis para optar el Título Profesional

  
-----  
JUAN MOISES  
DE LA CRUZ ENCARNACION  
Ingeniero Mecánico  
CIP N° 296111

Ing. JUAN MOISES DE LA CRUZ ENCARNACION  
Planner de mantenimiento

DNI: 47459628

COMPAÑIA MINERA SANTA LUISA S.A.  
UNIDAD HUANZALA

  
-----  
ING. ELMER MALLQUI GERONIMO  
JEFE DE MANTENIMIENTO DE MINA

Ing. ELMER MALLQUI GERONIMO  
Jefe de mantenimiento mina

DNI: 09990862