

NOMBRE DEL TRABAJO

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE EQUIPO DE BAJO PE

AUTOR

JOSE ANTONIO CASTRO PUMA

RECUENTO DE PALABRAS

13866 Words

RECUENTO DE CARACTERES

79316 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

71 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.7MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 4, 2024 9:30 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 4, 2024 9:33 AM GMT-5

● **11% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



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

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

TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

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

DATOS PERSONALES

Apellidos y Nombres:	Castro Puma, Jose Antonio
D.N.I.:	45605113
Otro Documento:	_____
Nacionalidad:	Peruana
Teléfono:	989534237
e-mail:	jacastrop3@hotmail.com

DATOS ACADÉMICOS

Pregrado

Facultad:	Facultad de Ingeniería y Gestión
Programa Académico:	Trabajo de Suficiencia Profesional
Título Profesional otorgado:	Ingeniero Mecánico Electricista

Postgrado

Universidad de Procedencia:	_____
País:	_____
Grado Académico otorgado:	_____

Datos de trabajo de investigación

Título:	"PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE EQUIPO DE BAJO PERFIL - SCOOPTRAMS LH203 DE 3.5 TN. DE CARGA EN GESTIÓN MINERA INTEGRAL S.A.C. - HUAROCHIRI, LIMA"
Fecha de Sustentación:	16 de Diciembre del 2023
Calificación:	Aprobado Unanimidad
Año de Publicación:	2024

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

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

Marcar con una X su elección.

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

Si autorizo X No autorizo

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

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

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

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

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



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

Atribuciones de acceso restringido:

Motivos de la elección del acceso restringido:

CASTRO PUMA, JOSE ANTONIO

APELLIDOS Y NOMBRE

45605113

DNI

Firma y huella:



Lima, 15 de Marzo del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE EQUIPO DE BAJO PERFIL -
SCOOPTRAMS LH203 DE 3.5 TN. DE CARGA EN GESTIÓN MINERA
INTEGRAL S.A.C. - HUAROCHIRI, LIMA”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

CASTRO PUMA, JOSE ANTONIO

ORCID: 0009-0001-6250-1308

ASESOR

SÁNCHEZ AYTE, JORGE AUGUSTO

ORCID: 0000-0001-9734-3381

Villa El Salvador

2023



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

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

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

En Villa El Salvador, siendo las 10:25 horas del día 16 de diciembre, se reunieron en las instalaciones de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, los miembros del Jurado Evaluador del Trabajo de Suficiencia Profesional integrado por:

Presidente	:	MG. CARLOS VIDAL DAVILA IGNACIO	C.I.P. N° 96353
Secretario	:	MG. SOLIN EPIFANIO PUMA CORBACHO	C.I.P. N° 224387
Vocal	:	MG. ROLANDO PAZ PURISACA	C.I.P. N° 186976

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

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

El Bachiller: **JOSE ANTONIO CASTRO PUMA**

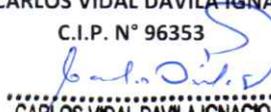
Sustentó su Trabajo de Suficiencia Profesional: "**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE EQUIPO DE BAJO PERFIL - SCOOPTRAMS LH203 DE 3.5 TN. DE CARGA EN GESTION MINERA INTEGRAL S.A.C. - HUAROCHIRI, LIMA**"

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

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

Siendo las 10:50 del día 16 de diciembre del 2023 se dio por concluido el acto de sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, firmando la presente acta los miembros del Jurado.


.....
Solin Epifanio Puma Corbacho
 **INGENIERO MECÁNICO**
CIP. N° 224387
SECRETARIO
MG. SOLIN EPIFANIO PUMA CORBACHO
C.I.P. N° 224387

PRESIDENTE
MG. CARLOS VIDAL DAVILA IGNACIO
C.I.P. N° 96353

.....
CARLOS VIDAL DAVILA IGNACIO
INGENIERO MECÁNICO
Reg. CIP: N° 96353


.....
ROLANDO PAZ PURISACA
INGENIERO MECÁNICO
Reg. CIP N° 186976
VOCAL
MG. ROLANDO PAZ PURISACA
C.I.P. N° 186976

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

DEDICATORIA

A Dios por darme la salud que tengo y por ponerme en el camino a personas que hicieron posible realizar este trabajo, y a mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur y profesores por el conocimiento adquirido durante la vida académica. Agradecer a mi asesor académico, por su guía, dedicación y paciencia a lo largo de la preparación del trabajo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTADO DE TABLAS	vi
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES	3
1.1 Contexto.....	3
1.1.1 Descripción de la empresa	3
1.1.2 Misión	3
1.1.3 Visión.....	3
1.2 Delimitación temporal y espacial del trabajo.....	4
1.2.1 Delimitación temporal	4
1.2.2 Delimitación espacial	4
1.3 Objetivos	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes	6
2.1.1 Antecedentes Nacionales	6
2.1.2 Antecedentes Internacionales	8
2.2 Bases teóricas	10
2.3 Definición de términos básicos	32
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL	37
3.1 Determinación y análisis del problema	37
3.1.1 Situación problemática	37
3.1.2 Análisis de criticidad de componentes del equipo Scooptrams LH203.....	39
3.2 Modelo de solución propuesto	44
3.3 Resultados	49
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	56
ANEXOS	59

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa GMI SAC.....	4
Figura 2. Sistemas de mantenimiento	10
Figura 3. Ciclo gráfico de mantenimiento correctivo	12
Figura 4. Ciclo gráfico del mantenimiento programado.....	13
Figura 5. Ciclo gráfico del mantenimiento preventivo.....	15
Figura 6. Ciclo gráfico del mantenimiento predictivo.....	16
Figura 7. Esencia del Mantenimiento Basado en el Riesgo.....	21
Figura 8. Ciclo gráfico del Mantenimiento Preventivo	22
Figura 9. Ciclo gráfico del mantenimiento preventivo: Aspectos de carga de trabajo.....	23
Figura 10. Ciclo gráfico del mantenimiento preventivo: Aspectos económicos.....	24
Figura 11. Modelo básico de Historial de Mantenimiento	30
Figura 12. Disponibilidad del equipo Scooptrams LH203.....	38
Figura 13. Disponibilidad del equipo Scooptrams LH203 en el periodo Enero-Junio 2023	39
Figura 14. Equipo de bajo perfil Scooptrams LH203 de 3.5 TN.....	40
Figura 15. Curva de productividad del equipo Scooptrams LH203.....	40
Figura 16. Modelo del plan de mantenimiento preventivo.....	45
Figura 17. Check list diario de componentes del equipo de bajo perfil LH203.....	48
Figura 18. Comparación de la disponibilidad promedio de cada equipo LH203 antes y después de la aplicación del nuevo modelo de mantenimiento preventivo	53
Figura 19. Análisis comparativo de la disponibilidad promedio.....	53

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas del mantenimiento correctivo.....	13
Tabla 2. Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo.....	17
Tabla 3. Lista de componentes y vida útil del equipo Scooptrams LH203	41
Tabla 4: Criterios para evaluar la criticidad de componentes	42
Tabla 5: Rango de referencia de criticidad	43
Tabla 6: Resultados del análisis de criticidad.....	44
Tabla 7: Cartilla de mantenimiento preventivo para 125HR, 250HR, 500HR y 1000HR ..	46
Tabla 8. Resultados de los indicadores de mantenimiento, periodo Enero-Junio 2023....	49
Tabla 9. Resultados de los indicadores de mantenimiento, periodo Agosto-Septiembre 2023.....	50
Tabla 10. Resultados de los indicadores de mantenimiento, periodo Agosto-Septiembre 2023.....	52

RESUMEN

Durante los años 2019 al 2022, se ha observado una tendencia preocupante en los niveles de disponibilidad de los equipos de bajo perfil LH203, críticos en las operaciones subterráneas. Estos equipos, conocidos como Scooptrams, han registrado una caída progresiva en su disponibilidad operativa, con porcentajes que han planteado serias preguntas sobre la eficacia del mantenimiento preventivo en curso. En base a lo señalado, el trabajo de suficiencia profesional tiene como objetivo principal describir los resultados de la aplicación de un plan de mantenimiento para equipos de bajo perfil LH203 desarrollado para la empresa GMI S.A.C., por lo que se realizó un análisis comparativo de los indicadores de mantenimiento MTTR, MTBF y disponibilidad de cada uno de los catorce equipos de bajo perfil, utilizados en la unidad minera Alpayana. Luego del análisis de los resultados se concluye que se logró identificar el impacto de mejora de la aplicación del plan de mantenimiento propuesto a los equipos de bajo perfil Scooptrams LH203 de 3.5 TN., en la empresa GMI SAC, siendo éste de 13.5%. Es decir, la disponibilidad inicial fue de 79.20%, mientras que al aplicar el modelo del plan de mantenimiento propuesto fue de 92.57%.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas tres décadas, las prácticas de mantenimiento en el ámbito industrial contemporáneo han sufrido cambios significativos en aspectos tecnológicos, económicos, sociales, organizativos y humanos; esto como resultado de la utilización esporádica de los planes de mantenimiento, viéndolo principalmente como una herramienta para afrontar situaciones de emergencia e incidentes inesperados (Angulo & Orellana, 2021). Generalmente, el mantenimiento se puede aplicar a través de planes denominados preventivo, correctivo o predictivo (Quispe, 2023). Particularmente, la implementación del mantenimiento preventivo se realiza con el objetivo de prevenir fallos anticipados en equipos, sistemas e instalaciones a través de una planificación y programación adecuada de las intervenciones periódicas (Arroyo & Obando, 2022). Por lo tanto, el mantenimiento preventivo alude al mantenimiento constante y de rutina con el fin de conservar los equipos en funcionamiento, evitando cualquier tiempo de inoperatividad no planificada, resultando crucial tanto para asegurar la continuidad del proceso productivo como para mantener el rendimiento normal del componente afectado (Chavez & Robles, 2021).

En el Perú, muchas organizaciones del sector minero consideran como relevantes los métodos y técnicas vinculados al mantenimiento preventivo, por lo cual monitorean indicadores dirigidos al logro de objetivos, mediante el registro histórico de ocurrencias de fallos en los equipos, los mismos que están asociados al Tiempo medio entre fallas (MTBF) y al Tiempo medio para reparar una falla (MTTR) (Aquino & Atalaya, 2020). En base a estos indicadores es posible tomar decisiones en búsqueda de lograr óptimos índices de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad para los equipos o máquinas; por lo que es indispensable evaluarlos de manera continua ya que esto permitirá determinar la efectividad del plan de mantenimiento (Puluc, 2023).

En consecuencia, la ausencia de un plan de mantenimiento preventivo que impida identificar los equipos y componentes críticos y sensibles a fallas oportunamente, repercute directamente en interrupciones extensas a causa de

la insuficiencia de componentes para solucionar la falla (Uribe, 2020). La inadecuada atención en el mantenimiento de los equipos crea dificultades relacionadas con la disponibilidad de los componentes de un conjunto específico de maquinarias, por lo que la medida de funcionamiento del equipo es establecida por el factor de disponibilidad, que refleja la duración total de funcionamiento del equipo durante el tiempo que se establece para hacer las tareas asignadas (Benavides, 2022). En este sentido, en este trabajo de suficiencia profesional se describe la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo que mejora la disponibilidad del equipo de bajo perfil - SCOOPTRAMS LH203 de 3.5 TN de carga, utilizada en la empresa Gestión Minera Integral S.A.C. (GMI), ubicada en la provincia de Huarochirí, departamento de Lima.

Por lo tanto, este trabajo se ha estructurado de la siguiente manera: En el Capítulo I se describe los aspectos generales, en la que se resalta el contexto de la organización a la que se va aplicar el plan de mantenimiento preventivo, precisando su visión, misión, delimitación temporal y espacial, así como los objetivos que conducirán al desarrollo de este trabajo de suficiencia profesional. En el capítulo II, se describen los antecedentes nacionales e internacionales que sostienen y justifican la solución propuesta, respecto a la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo para la mejora de la disponibilidad del equipo de bajo perfil SCOOPTRAMS LH203 de 3.5 TN de carga. Además, se detalla las bases teóricas utilizadas para el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo. Mientras que en el capítulo III, se describe la determinación y análisis del problema que motivó el desarrollo de la propuesta de solución. Luego se precisa y describe el plan de mantenimiento preventivo; para finalmente describir los resultados y las contribuciones obtenidas que benefician a la empresa GMI S.A.C.

CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES

1.1 Contexto

1.1.1 Descripción de la empresa

GMI S.A.C es una empresa destacada en la explotación y gestión de yacimientos mineros en Perú. Ofrece servicios integrales, desde la exploración hasta la operación de mina, con un enfoque multidisciplinario en diversas áreas, siendo las operaciones el núcleo central. GMI se encarga de la preparación y desarrollo de yacimientos, evaluación geomecánica, sostenimiento de labores subterráneas, acarreo, carguío y transporte de material mediante una flota de equipos de bajo perfil. El área de mantenimiento es clave para garantizar la operatividad y confiabilidad de los equipos utilizados, y se divide en sub áreas, destacando la sub área de Trackless, la misma que se encarga del mantenimiento de equipos de bajo perfil. La estrategia de mantenimiento se basa en un plan de planeamiento que programa mantenimientos preventivos según el horómetro de los equipos, buscando minimizar los tiempos de inactividad no planificados y optimizar la disponibilidad. GMI tiene una estrecha relación con la Unidad Minera Americana - Alpayana, beneficiándola con servicios y equipos para sus operaciones subterráneas.

1.1.2 Misión

Brindamos nuestros servicios guiados por altos estándares de operación, protegiendo la seguridad y bienestar de nuestros colaboradores, el medio ambiente y ofreciendo soluciones integrales de calidad basadas en el desarrollo sostenible.

1.1.3 Visión

Ser la mejor empresa especializada en desarrollar servicios de gestión y operación minera en el Perú, proponiendo soluciones innovadoras a las necesidades de nuestros clientes y alcanzando la excelencia operacional.

1.2 Delimitación temporal y espacial del trabajo

1.2.1 Delimitación temporal

El trabajo de suficiencia profesional describe la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo para equipos de bajo perfil LH203 desarrollado para la empresa GMI S.A.C., el mismo que tiene como delimitación temporal el periodo de tiempo comprendido entre los meses de agosto al mes de septiembre del presente año.

Durante ese periodo se realizó la recolección de datos históricos de fallas que permitieron obtener evidencias concretas, desde el punto de vista cuantitativo, que evidenciaron el problema de disponibilidad en los equipos en estudio, y que al mismo tiempo justificaron la propuesta de solución desarrollada.

1.2.2 Delimitación espacial

Así también este trabajo de suficiencia profesional, que parte de considerar como unidad de análisis a los equipos de bajo perfil LH203, se encuentran en la empresa Gestión Minera Integral S.A.C., por lo que la delimitación espacial queda definida por la ubicación de la sede en que se llevará a cabo el estudio. Está localizada en la Carretera Central, Km 115, paraje Piedra Parada, distrito de Chicla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima. En la Figura 1, se muestra la ubicación geográfica de la empresa GMI SAC.

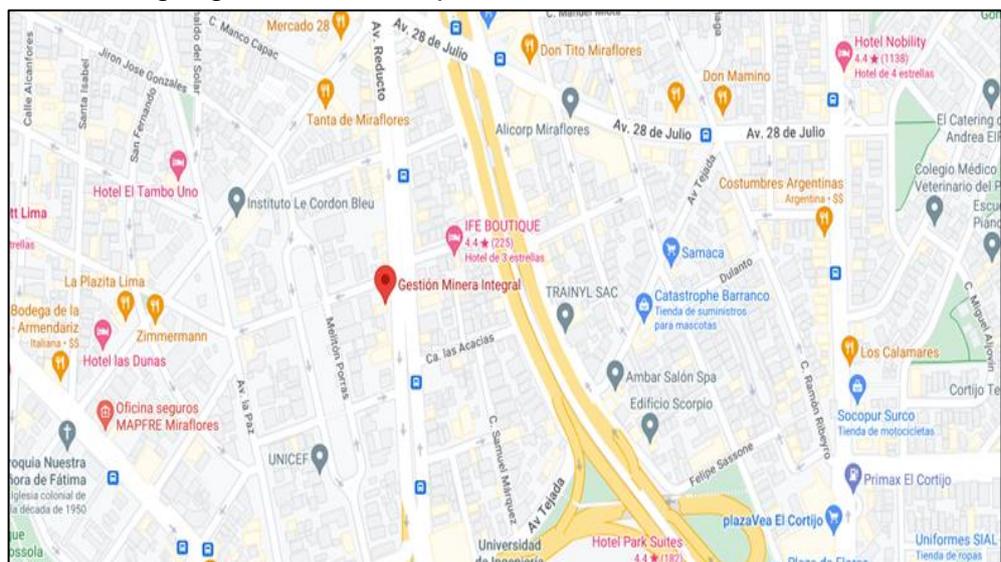


Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa GMI SAC
Tomado de: Google Maps

1.3 Objetivos

O1. Realizar el análisis de criticidad de los sistemas que afectan la disponibilidad de los equipos de bajo perfil Scooptrams LH203 de 3.5 TN., a partir de los registros históricos de mantenimiento, para su aplicación en la empresa GMI SAC, Huarochirí - Lima.

O2. Determinar el modelo de plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de bajo perfil Scooptrams LH203 de 3.5 TN., en la empresa GMI SAC, Huarochirí - Lima.

O3. Determinar en qué medida mejora la disponibilidad a partir de la aplicación del plan de mantenimiento a los equipos de bajo perfil Scooptrams LH203 de 3.5 TN., en la empresa GMI SAC, Huarochirí - Lima.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes Nacionales

Benavides (2022), en su tesis “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo aplicado a la maquinaria pesada de la municipalidad distrital de Cajaruro, provincia de Utcubamba– Amazonas”, establece como objetivo: “Proponer un plan de mantenimiento preventivo aplicado a la maquinaria pesada”. Con la implementación del plan de mantenimiento propuesto, identificó un incremento en la confiabilidad que oscila entre el 84% y el 89%, de mantenibilidad entre 10.36% y 40.50%, y de disponibilidad entre 83% al 97%. Concluye que la implementación del plan de mantenimiento preventivo resulta en una ventaja económica significativa, traduciéndose en un ahorro del 68% en los costos asociados al mantenimiento presente.

Rivera (2021), en su tesis “Elaboración del plan de mantenimiento para aumentar la disponibilidad del molino-MRV de la línea 01 de Celima S.S-Punta Hermosa-2019”, establece como objetivo: identificar las incidencias que afectan la disponibilidad y analizar las horas perdidas en la producción. Logró identificar que los eventos que perturban la producción, y que generan mayores tiempos de inactividad en la línea de producción, son el mantenimiento correctivo, las correcciones en la producción y la insuficiencia de materia prima. Concluyó que es necesario establecer programas continuos de mantenimiento para maquinaria y herramientas, asegurando así que el personal esté siempre preparado. Adicionalmente, se debe llevar a cabo de manera constante la revisión y clasificación del inventario para facilitar la adquisición de repuestos y asegurar su disponibilidad inmediata.

Chavez & Robles (2021) en su tesis “Plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos hidráulicos en la flota de una empresa pesquera, Lima 2021”, establece como objetivo: Implementar un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos hidráulicos en la flota de una empresa pesquera. Obtuvieron como resultados que los datos analizados revelaron cambios en los niveles de disponibilidad y confiabilidad a lo largo del periodo de junio a agosto de 2021. Se determinó que la aplicación de prácticas de mantenimiento preventivo mejoró sustancialmente la accesibilidad de la maquinaria hidráulica dentro de la flota de una entidad dedicada a la pesca.

Alca (2020) en su tesis “Propuesta de un plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, con el propósito de reducir el número de fallas de los cargadores frontales 950L, durante su operación, en la unidad minera Pampahuay, Oyón - 2020”, establece como objetivo: Elaborar una estrategia para un plan de mantenimiento enfocado en la confiabilidad, buscando minimizar la incidencia de fallos en los cargadores frontales 950L. Concluyen que, en última instancia, se llevó a cabo una valoración de la confiabilidad derivada de implementar un ensayo piloto en los sistemas bajo estudio, demostrando a través del informe de ocurrencias una disminución en la frecuencia de fallos de 85 a 39. Esto se traduce en una mejora porcentual en la reducción de errores del 64.11%.

Tarrillo (2020), en su tesis “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa Construcción y Administración S. A, provincia de Bagua – Amazonas”, establece como objetivo: Proponer un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa en mención. Los resultados indican una disminución de los costos asociados a las fallas producidas por la ausencia de mantenimiento preventivo. Desde el punto de vista económico, el proyecto arroja un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 256 770,71 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 25%.

2.1.2 Antecedentes Internacionales

Alcivar (2023), en su tesis “Diseño e implementación de mantenimiento preventivo para componentes hidráulicos de maquinaria pesada”, establece como objetivo: Mejorar el desempeño de los mantenimientos preventivos que realiza la empresa, con el fin de mejorar la productividad y conocimiento del personal técnico. Los resultados indicaron que el proceso de reparación no debería limitarse solamente a los pasos de desmontar, evaluar, reparar y probar; sino que es necesario iniciar este proceso mucho antes de que los componentes arriben al lugar destinado para su reparación. De esta manera, se sugiere que la empresa debe progresar y ajustarse conforme cambian las necesidades del entorno, implementando un sistema efectivo de gestión de inventarios que asegure tener siempre disponibles los repuestos necesarios.

Aquino (2021), en su tesis “Diseñar un plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada para la “constructora Vargas Soria CIA. LTDA”, del cantón de baños de Agua Santa”, establece como objetivo: Diseñar un Plan de Mantenimiento Preventivo de la maquinaria. Efectuó una evaluación en la que se descubrió que el mantenimiento preventivo de los equipos se realiza de forma empírica, inclinándose mayormente hacia un mantenimiento correctivo. Determinó que la razón principal de las interrupciones en la jornada laboral se debe a problemas en los sistemas hidráulicos y mecánicos, provocando pérdidas económicas y afectando el proceso de producción. La implementación del plan de mantenimiento preventivo sugerido tiene el potencial de reducir los periodos de inactividad habituales en un 10% en las maquinarias de trabajo pesado. Asimismo, estos procedimientos contribuirán a prolongar la vida útil de los componentes, disminuir los costos elevados en reparaciones, aumentar la producción y, por consiguiente, incrementar las ganancias netas de la empresa.

Machado(2020), en su tesis “Plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada y vehículos de la empresa multigrúas del Cesar S.A.S, ubicada en San Martín-Cesar” establece como objetivo: Diseñar un plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada y vehículos de la empresa multigrúas. Concluye que logró diseñar el plan de mantenimiento preventivo, en lo que se resalta su utilidad para equipos de oficina, vehículos de carga líquida, transporte especial, carrozanque y grúas. Con el fin propósitos de mantener y extender la vida útil de cada componente, alargando el tiempo de vida útil.

Ballesteros (2019), en su tesis “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”, establece 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. Concluye que logró crear un inventario meticuloso de posibles averías en los equipos usados en proyectos de construcción tanto civiles como industriales. Lo cual permitirá la planificación de un calendario de mantenimiento específico para cada equipo, considerando que son elementos cruciales para extender su vida útil. De esta manera, se busca asegurar su óptimo rendimiento y prevenir posibles problemas o daños en el futuro.

Torres (2019), en su tesis “Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria de la empresa constructores Santo Domingo, siguiendo los lineamientos de las normas Covenin 2500-93 y 3049-93”, establece como objetivo: Proponer un plan de mantenimiento preventivo a la maquinaria pesada de la empresa en mención. A través del cuestionario implementado en la mencionada entidad y las inspecciones realizadas, verificaron la ausencia de un sistema de control para el mantenimiento que asegure la disponibilidad completa de estos camiones. Además, cuando se necesitan para su uso

correspondiente, esta colección de vehículos pesados tampoco cuenta con un registro de tareas que especifique detalles como piezas de repuesto, labor, gastos, tiempo de trabajo, entre otros. Esto facilitó la creación de un documento diseñado para este propósito, fundamentado en las normativas existentes.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Gestión del Mantenimiento

Las compañías emplean diversas técnicas y enfoques para gestionar y llevar a cabo sus operaciones de mantenimiento, que van desde enfoques tan básicos como el mantenimiento reactivo o correctivo, hasta enfoques avanzados como el Mantenimiento Basado en Riesgo (MBR). La Figura 2 ilustra un esquema de estos enfoques de mantenimiento. Es importante destacar un apartado denominado Mantenimiento de Preparación, que se refiere a todas las tareas previas necesarias antes de emprender cualquier acción de mantenimiento. Esto incluye la obtención de repuestos, la organización de herramientas y equipos de soporte, la manufactura de componentes necesarios y la preparación del área de trabajo para desmontajes, entre otros. Este tipo de mantenimiento preparatorio debe integrarse en todas las estrategias de mantenimiento implementadas por la empresa (Montilla, 2016).

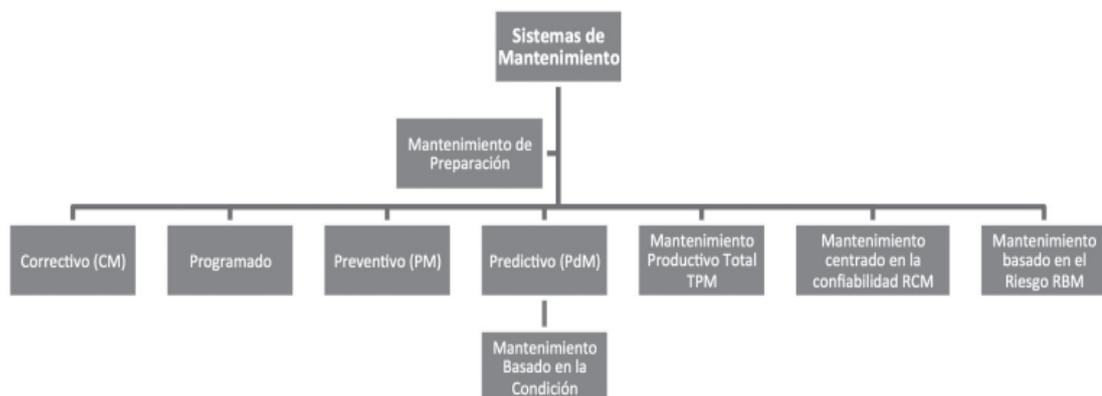


Figura 2. Sistemas de mantenimiento

Tomado de: Fundamentos de mantenimiento industrial. Montilla (2016)

A. Mantenimiento Correctivo o a la falla o de emergencia CM

Este enfoque de mantenimiento se aplica cuando un equipo falla o muestra claros signos de una inminente avería significativa. Se distinguen en dos categorías basadas en las definiciones de "falla funcional" y "falla potencial": mantenimiento correctivo de emergencia y mantenimiento correctivo programado (Montilla, 2016).

El mantenimiento correctivo de emergencia se realiza en respuesta a una falla inesperada durante el horario de producción, lo cual puede interrumpir o perturbar significativamente la producción. Este tipo de fallo puede ocasionar una variedad de problemas, como pérdida de producción, accidentes de trabajo, incumplimiento de entregas a clientes, cuestiones de calidad y daño ambiental (Montilla, 2016). Por otro lado, el mantenimiento correctivo programado se implementa cuando se detecta una falla potencial que aún no ha causado un impacto grave, permitiendo que la producción continúe hasta el fin del turno o ciclo de producción. Posteriormente, se llevan a cabo las reparaciones necesarias para evitar el fallo (Montilla, 2016).

La figura 3 muestra una representación gráfica que compara el nivel de desempeño de un equipo con el tiempo transcurrido durante el ciclo de Mantenimiento Correctivo. Se puede apreciar cómo el Tiempo entre Fallas (TBF, por sus siglas en inglés) disminuye gradualmente después de cada avería, conduciendo finalmente a una falla catastrófica. Una vez que se presente esta falla catastrófica, se debe realizar un análisis de costo-beneficio para decidir si es más conveniente reemplazar el equipo o realizar una reparación mayor, conocida como overhaul. A medida que el TBF se acorta, el equipo tiende a fallar en un nivel más alto de rendimiento (Montilla, 2016).

Dentro de la misma figura 3, hay una curva etiquetada como "Desvare", que ilustra un escenario frecuente donde se hacen reparaciones de emergencia de calidad inferior para poner rápidamente en funcionamiento la maquinaria o equipo. Esta práctica no restaura el equipo a su nivel óptimo de rendimiento anterior a la avería, y adicionalmente aumenta el riesgo de sufrir nuevas fallas más pronto y posiblemente de manera más grave (Montilla, 2016).

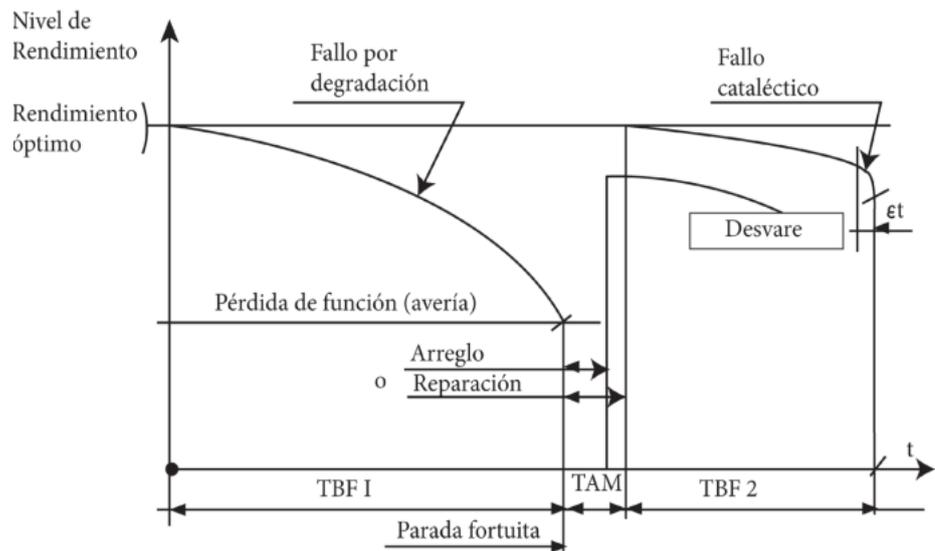


Figura 3. Ciclo gráfico de mantenimiento correctivo
Tomado de: Fundamentos de mantenimiento industrial. Montilla (2016)

Es esencial prevenir la realización de mantenimientos correctivos de emergencia en aquellas máquinas o equipos que son cruciales para el proceso de producción. Sin embargo, este tipo de mantenimiento puede ser más aceptable en elementos que no tienen un papel crítico en la producción, como podrían ser las lámparas o prensas de banco. Incluso con una gestión de mantenimiento ejemplar en una empresa, siempre habrá necesidad de una cierta cantidad de mantenimiento correctivo programado debido al desgaste natural y la degradación que sufren los componentes de máquinas y equipos con el tiempo. La Tabla 3 muestra un listado de pros y contras asociados al uso del Mantenimiento Correctivo (Montilla, 2016).

Tabla 1. Ventajas del mantenimiento correctivo

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • No requiere de planificaciones o programaciones minuciosas. • No necesita de una estructura técnica y administrativa compleja. • Es un método de mantenimiento rentable a corto plazo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Provoca fallas operativas, junto con todas las implicaciones negativas que esto implica. • A mediano y largo plazo, resulta ser bastante oneroso.

B. Mantenimiento programado

Se refiere al mantenimiento que se lleva a cabo interrumpiendo el funcionamiento del equipo tras completarse un período de tiempo preestablecido, seguido de una serie de tareas como limpieza, lubricación, desmontaje, reemplazo de piezas y posterior montaje; este período suele estar basado en las recomendaciones del fabricante del equipo, sin considerar el volumen real o la intensidad del uso que el equipo ha tenido. La Figura 4 muestra una representación gráfica de la relación entre el nivel de rendimiento y el tiempo en el contexto del ciclo de Mantenimiento Programado (Montilla, 2016).

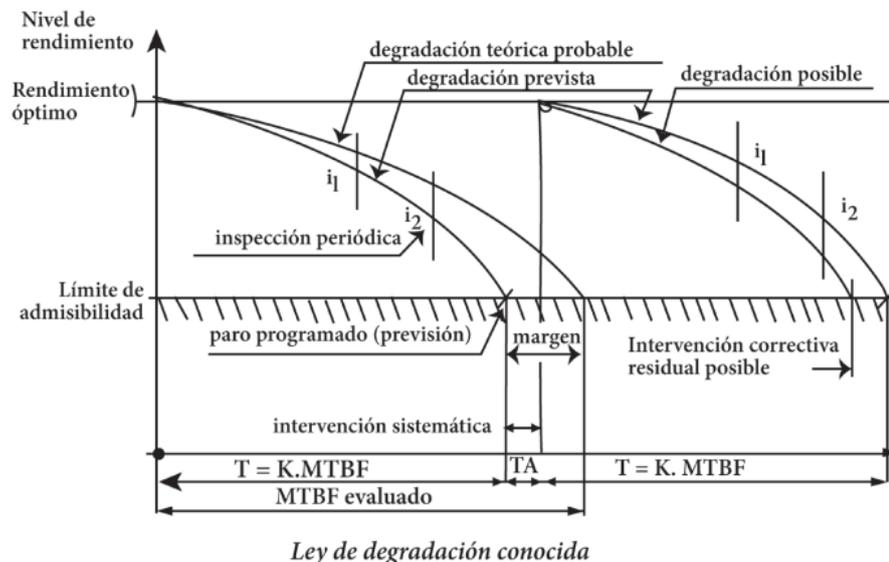


Figura 4. Ciclo gráfico del mantenimiento programado
Tomado de: Fundamentos de mantenimiento industrial. Montilla (2016)

De la gráfica mencionada se pueden extraer algunas observaciones detalladas: El equipo se somete a inspecciones de forma regular en intervalos marcados como puntos i en la gráfica, los cuales se establecen en función del tiempo medio entre fallos o MTBF (Mean Time Between Failure). Una vez que se determina el MTBF, se calcula un umbral de rendimiento aceptable ($K \times \text{MTBF}$). Al alcanzar este punto, se detiene el equipo de manera planificada para llevar a cabo su mantenimiento. Durante este proceso, se restaura el rendimiento óptimo del equipo antes de ponerlo en marcha nuevamente (Montilla, 2016).

C. Mantenimiento preventivo

Este es un método de mantenimiento cuyo propósito principal es evitar fallos en el sistema de producción. Se lleva a cabo mediante una serie de tareas esenciales como monitoreo, inspección, calibración, ajuste, reemplazo, lubricación, reparación, entre otras, que se realizan a intervalos establecidos y que son específicas para cada proceso productivo. La realización de estas tareas esenciales puede revelar la necesidad de ejecutar actividades adicionales programadas (tales como mantenimiento correctivo programado, modificaciones, reconstrucciones generales, etc.). La Figura 5 ilustra una gráfica elemental que compara el Nivel de rendimiento con el tiempo, en referencia al ciclo de Mantenimiento Preventivo (Montilla, 2016).

Además, tiene como ventajas: mejora la confiabilidad de las máquinas y equipos, ya que estos operan bajo condiciones más seguras al tener un conocimiento claro de su estado y funcionamiento, y proporciona una distribución equilibrada del trabajo para el equipo de mantenimiento (Montilla, 2016).

Gracias a una planificación cuidadosa de las tareas prolonga la vida útil de equipos e instalaciones, y reduce la necesidad de mantener un gran inventario de repuestos y los costos asociados a este. Minimiza el tiempo de inactividad y las interrupciones en el funcionamiento de máquinas y equipos; y reduce los costos asociados con las reparaciones (Montilla, 2016).

Así también como desventajas se tiene que: Requiere de una inversión inicial y continua en infraestructura y personal; Si las tareas de mantenimiento no se seleccionan y priorizan correctamente en cuanto a su número e intensidad, pueden resultar en una sobrecarga de trabajo que no contribuirá al desempeño óptimo de la maquinaria. Genera un coste elevado en inspecciones (Montilla, 2016).

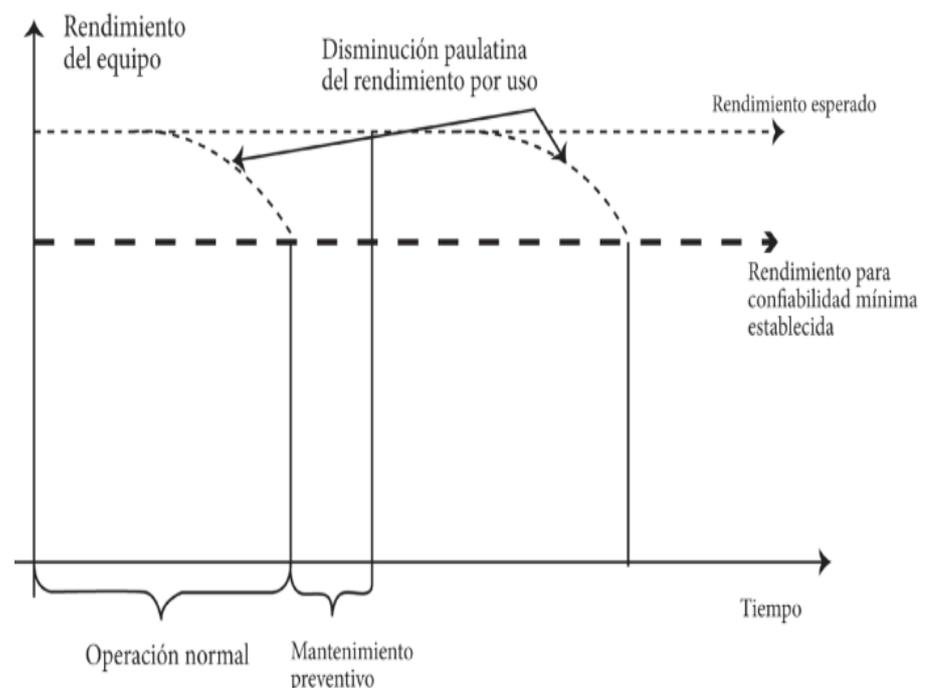


Figura 5. Ciclo gráfico del mantenimiento preventivo
Tomado de: Fundamentos de mantenimiento industrial. Montilla (2016)

D. Mantenimiento Predictivo PdM

Consiste en monitorear señales de deterioro y anticipar la posibilidad de fallos en una máquina, a través de la medición y el análisis de sus variables operativas. El Mantenimiento Predictivo es una etapa más sofisticada del Mantenimiento Preventivo, involucrando tanto la realización de pruebas en componentes específicos de las máquinas como la toma de mediciones de sus variables de funcionamiento (Pérez, 2021).

La Figura 6 ilustra una gráfica que compara el Nivel de rendimiento con el tiempo, específica para el ciclo de Mantenimiento Predictivo. Es necesario establecer un valor umbral de tolerancia y un valor para la señal de alerta temprana para la variable que se está monitoreando. Se realizarán mediciones periódicas de esta variable y, al alcanzar el valor de la señal de alerta, se debe planificar una intervención en el equipo para recuperar su nivel de rendimiento óptimo. Si se ignora la señal de alerta por parte del equipo de mantenimiento, existe el riesgo de superar el umbral de tolerancia, aumentando la probabilidad de sufrir una falla significativa (Pérez, 2021).

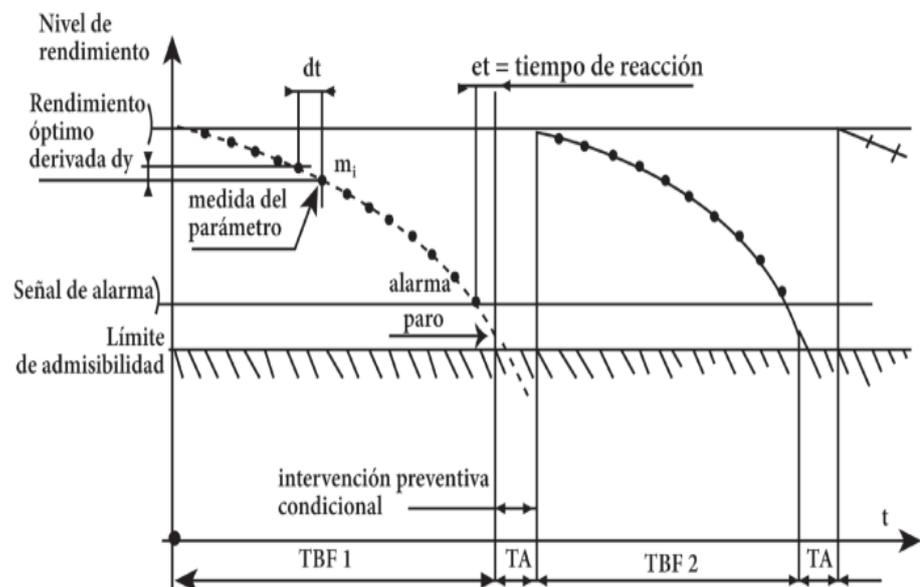


Figura 6. Ciclo gráfico del mantenimiento predictivo
Tomado de: Fundamentos de mantenimiento industrial. Montilla (2016)

El Mantenimiento Predictivo se fundamenta en el uso de tecnologías y métodos especializados que incluyen: análisis de vibraciones, termografía infrarroja, análisis de aceites lubricantes, pruebas de líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografía industrial, pruebas de partículas magnéticas, entre otros. La Tabla 2 proporciona un resumen que contrasta las ventajas y desventajas del Mantenimiento Predictivo (Pérez, 2021).

Tabla 2. Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Ofrece una considerable oportunidad de prevenir fallos, evidenciando su inminente desarrollo a medida que la variable de referencia excede los parámetros normales. • Gran parte de las pruebas, inspecciones y mediciones se realizan con la maquinaria en funcionamiento, lo cual tiene un impacto mínimo en el proceso productivo. • Reduce los tiempos de intervención necesarios para el equipo, realizando mantenimiento solo cuando las pruebas y diagnósticos indican una falla en desarrollo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere inversión en equipos especializados que suelen tener un alto costo. • Necesita de personal altamente capacitado para manejar estos equipos y para interpretar los datos recogidos. • Aunque las técnicas y pruebas del Mantenimiento Predictivo pueden señalar un fallo incipiente, no siempre determinan su causa subyacente, haciendo indispensable la experiencia y conocimiento de técnicos especializados.

E. Mantenimiento Productivo Total TPM

Más allá de ser simplemente un enfoque de mantenimiento, representa la implementación de una filosofía integral de gestión empresarial y actitud personal que aspira a optimizar la productividad en los procesos de producción. La productividad, tal como se define en la fórmula 1, es la optimización de la proporción entre los resultados logrados y los insumos utilizados. El objetivo de la productividad no es simplemente aumentar la producción, sino lograr la máxima eficiencia,

produciendo de manera óptima con los recursos más limitados posibles (Pérez, 2021).

$$Pr = \frac{i}{r} \quad \dots (1)$$

Donde:

Pr: Productividad o maximización de la producción.

i: Son los productos producidos.

r: Son los recursos empleados.

El TPM (Mantenimiento Productivo Total) tiene como objetivo lograr sistemas de producción altamente eficientes, erradicando las seis grandes pérdidas que los afectan: averías en el equipo, preparaciones y ajustes prolongados, defectos y re trabajos, operaciones en vacío o con velocidades reducidas, incidentes y accidentes en el lugar de trabajo, y contaminación en las instalaciones. El TPM aspira a establecer plantas con las siguientes características: cero averías, cero setup o tiempo de alistamiento, cero defectos, cero despilfarros, cero accidentes, y cero contaminaciones (Pérez, 2021).

En el enfoque del TPM, el operador de la máquina desempeña un rol central en el mantenimiento preventivo de su estación de trabajo y se involucra activamente en el aumento de la productividad de toda la organización, lo que incluye a todos los niveles, desde los operarios hasta la alta dirección. Para asumir esta función clave, el operador necesita sensibilizarse y formarse en prácticas esenciales del Mantenimiento Autónomo, que incluyen: Limpieza del equipo, Lubricación adecuada, Realización de ajustes menores, Elaboración de informes de incidencias y anomalías. Una etapa inicial en la adopción del TPM es el despliegue del sistema 5S o la estrategia de mejora continua, que es aplicable a cualquier tipo de empresa, sin importar su tamaño o nivel tecnológico. Las 5S (Clasificar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar y Sostener) están vinculadas con

la organización, limpieza y mejora constante de los lugares de trabajo (Pérez, 2021).

F. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM

El RCM es un enfoque estratégico de mantenimiento centrado en maximizar la fiabilidad operativa de un sistema, basándose en las condiciones específicas en las que opera. La priorización en RCM se da de acuerdo con la importancia de los activos, considerando los impactos potenciales de sus posibles fallos en la seguridad, el medio ambiente y las operaciones. El enfoque se centra en la eficacia global del sistema más que en los componentes individuales, resaltando la importancia de un equipo por la función que cumple en el proceso productivo. La palabra clave en RCM es "Confiabilidad" o "Fiabilidad" (Pérez, 2021).

La confiabilidad de un equipo se puede medir cuantitativamente, como lo demuestra la fórmula 2. Conocer la fiabilidad y la disponibilidad de un equipo es fundamental para programar la producción y establecer planes de contingencia efectivos (Pérez, 2021).

$$MTBF = \frac{Top}{Narr} \quad \dots (2)$$

Donde:

MTBF: Es la confiabilidad o tiempo promedio entre fallas.

Top: Es el tiempo real de operación de la planta.

Narr: Es el número de arranque de planta.

El RCM utiliza datos históricos de fallos para realizar un Análisis de Criticidad (CA) de distintas secciones o áreas de una instalación, y de esta forma, evaluar la importancia de los subsistemas dentro de las máquinas o equipos considerados críticos (Pérez, 2021).

Este proceso se lleva a cabo mediante una técnica conocida como Análisis de Modo y Efecto de Falla (FMEA), utilizando un parámetro denominado Número de Prioridad de Riesgo (NPR) para establecer la prioridad de las acciones a tomar. Una vez realizado este análisis, se elabora un plan de acción para el subsistema en cuestión, el cual puede sugerir la realización de mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo, la instalación de sistemas redundantes o incluso el rediseño del subsistema para mejorar su fiabilidad (Pérez, 2021).

G. Mantenimiento Basado en el Riesgo RBM

El RBM (Risk-Based Maintenance) es un enfoque moderno de mantenimiento que asigna los recursos basándose en una evaluación de la probabilidad de falla y el riesgo asociado. Esta metodología es ideal para aplicarse en industrias con alto grado de riesgo como las petroquímicas, nucleares o biológicas. La esencia del RBM se ilustra en la Figura 7. Por ejemplo, el área verde señala una baja probabilidad de fallo catastrófico para la máquina o equipo A, y en caso de fallo, sus consecuencias sobre la salud, el medio ambiente y otros equipos serían mínimas. En contraste, la zona roja para una máquina o equipo B muestra una alta probabilidad de fallo catastrófico y consecuencias graves, lo que indica la necesidad de dedicar más recursos y planificación a este equipo. El RBM utiliza sistemas integrados de seguridad (SIS) para reducir los riesgos a niveles manejables, aunque es importante reconocer que el riesgo nunca puede ser completamente eliminado. En el entorno industrial, el RBM es llevado a cabo por equipos de profesionales de diversas disciplinas (Montilla, 2016).

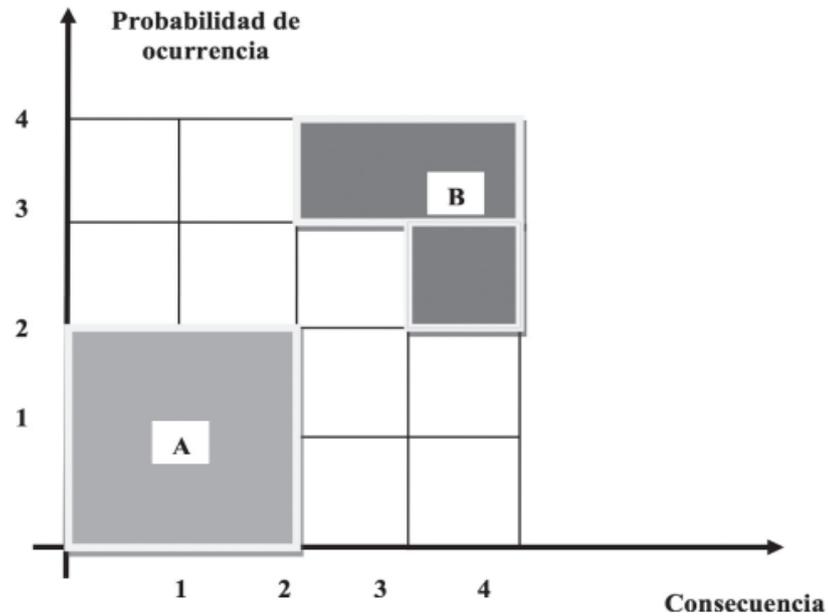


Figura 7. Esencia del Mantenimiento Basado en el Riesgo
Tomado de: Fundamentos de mantenimiento industrial. Montilla (2016)

2.2.2 Mantenimiento Preventivo

El objetivo principal del Mantenimiento Preventivo radica en evitar fallos dentro de un sistema de producción. Esto se logra mediante la realización de actividades esenciales como monitorear, examinar, calibrar, afinar, reemplazar, lubricar y arreglar, las cuales se llevan a cabo en intervalos establecidos que corresponden a cada proceso productivo específico.

La realización de estas actividades esenciales puede señalar la conveniencia de llevar a cabo labores adicionales planificadas, tales como mantenimiento correctivo programado, alteraciones, reconstrucción general, entre otras. La Figura 8 muestra cómo el Mantenimiento Preventivo afecta tanto el rendimiento óptimo como la duración del funcionamiento del equipo/máquina. Las intervenciones preventivas periódicas, denotadas por las letras Vi, deben planificarse basándose en el conocimiento previo de la conducta y eficiencia del equipo/máquina (investigación del límite aceptable) para programar

una detención preventiva antes de que se produzca una avería grave (García, 2012).

Dicha detención tiene una duración conocida como TA (tiempo de preparación), periodo en el cual se deben realizar ciertas tareas planificadas y otras que surgen de manera imprevista, dependiendo de lo que indiquen las revisiones (Mantenimiento correctivo programado). A medida que transcurre el tiempo, la frecuencia de los intervalos TBFi (Tiempo entre Fallas) tenderá a disminuir debido a factores como la inadecuación, la obsolescencia y la pérdida de eficiencia. Dicho de otra manera, la condición actual del equipo progresivamente se distanciará de su estado ideal o nominal. Es por esto que es necesario reevaluar con regularidad el estado nominal; los responsables del mantenimiento necesitan recalibrar los TBFi de manera que las detenciones programadas o las acciones preventivas se ejecuten antes de que el desempeño del equipo alcance o caiga por debajo del umbral de aceptabilidad previamente establecido, o en términos más simples, antes de que se presente una falla mayor o un problema funcional significativo (Montilla, 2016).

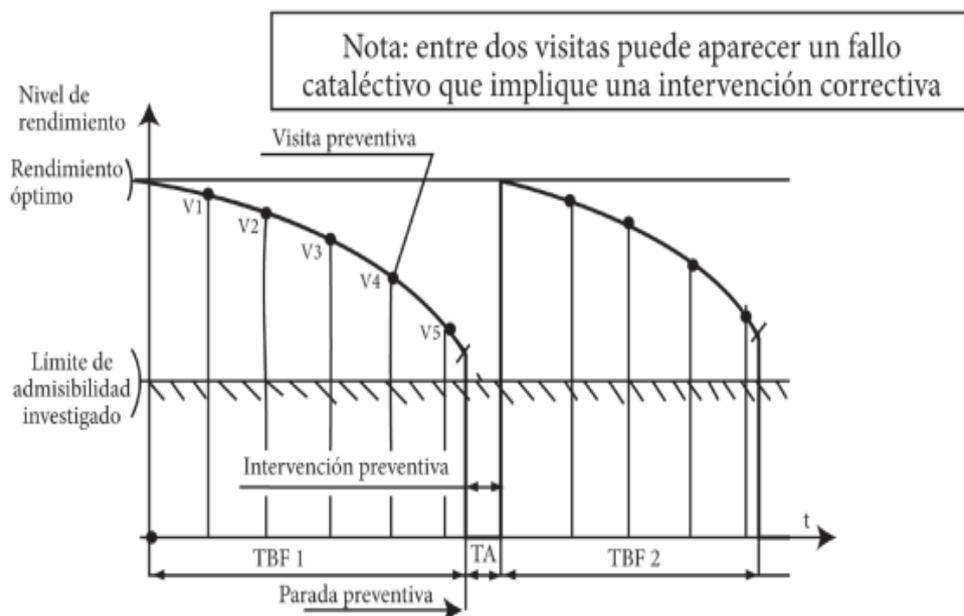


Figura 8. Ciclo gráfico del Mantenimiento Preventivo
Tomado de: Fundamentos de mantenimiento industrial. Montilla (2016)

La Figura 9 subraya la importancia de lograr un balance entre la carga laboral del Mantenimiento Preventivo y la del Correctivo, conocida como carga optimizada. Más allá de este punto de equilibrio, independientemente de la cantidad de mantenimiento preventivo que se realice, siempre persistirá un nivel residual (y no eliminable) de Mantenimiento Correctivo, que idealmente se desea sea un correctivo programado. Como se ha señalado, una de las desventajas significativas del Mantenimiento Preventivo es la posibilidad de incurrir en una carga de trabajo excesiva y, como consecuencia, en costos adicionales que no son necesarios. (García, 2012).

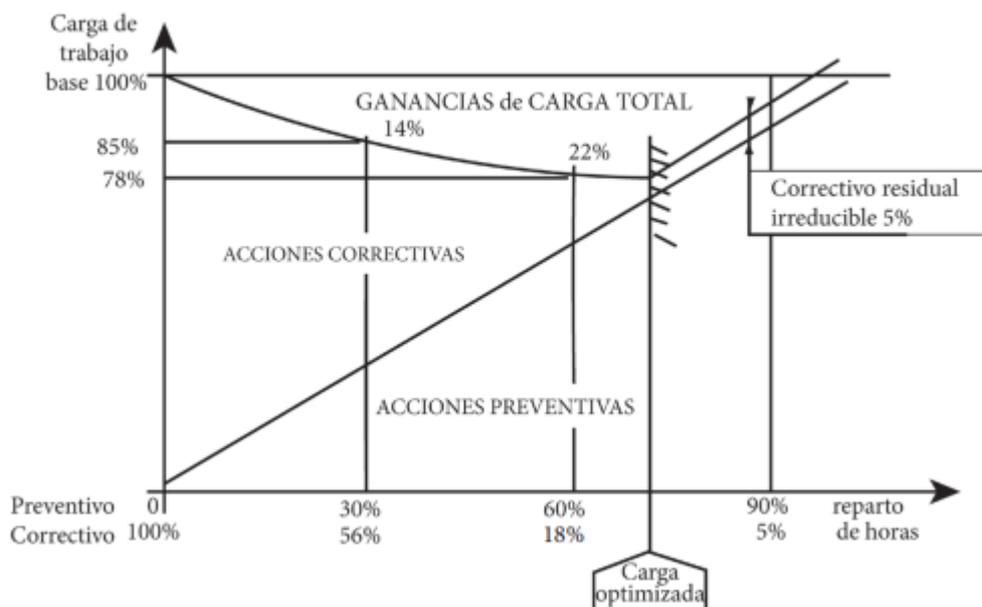


Figura 9. Ciclo gráfico del mantenimiento preventivo: Aspectos de carga de trabajo.
Tomado de: Fundamentos de mantenimiento industrial. Montilla (2016)

La Figura 10 ilustra una realidad también presente en numerosos sectores, encapsulada en la máxima de que tanto la escasez como el exceso son perjudiciales. Esta máxima, aplicada al Mantenimiento Preventivo, sugiere que tanto la insuficiencia en su aplicación (poco o nulo Preventivo y un excesivo Correctivo) como su práctica desmedida resultan en elevados costos, sin ofrecer ventajas adicionales. Según se observa en la gráfica del Costo Total de Mantenimiento, los costos más bajos se hallan en los intervalos de un 22 a 42 por ciento de Preventivo y de un 52 a 72 por ciento de

Correctivo. Se establece una proporción "ideal" en términos de gastos de un 30 por ciento en Preventivo frente a un 56 por ciento en Correctivo. Sin embargo, estos porcentajes son indicativos y varían según el sector industrial, ya que ciertas industrias pueden necesitar proporciones mayores o menores de mantenimiento Preventivo o Correctivo (García, 2012).

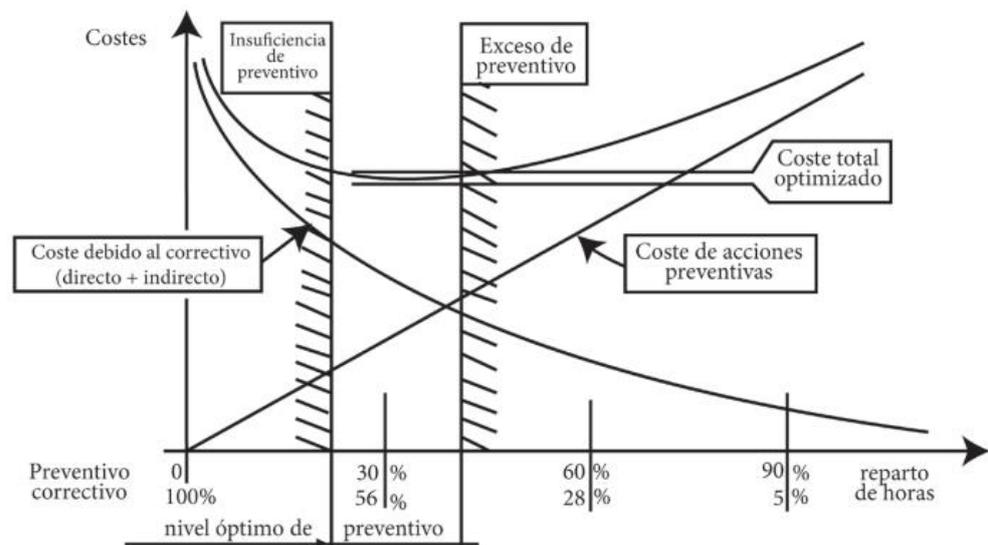


Figura 10. Ciclo gráfico del mantenimiento preventivo: Aspectos económicos.

Tomado de: Fundamentos de mantenimiento industrial. Montilla (2016)

2.2.3 Pasos para implementar el mantenimiento preventivo

Para establecer un plan de mantenimiento preventivo partiendo de cero o de una situación donde prevalece el mantenimiento correctivo, se propone la siguiente metodología general, estructurada a través de preguntas clave: Selección de equipos: ¿Qué máquinas o equipos requieren mantenimiento preventivo?, Identificación de Tareas: ¿Qué actividades específicas de mantenimiento deben llevarse a cabo?, Recursos Necesarios: ¿Qué personal, equipos de soporte, herramientas, suministros y materiales se necesitan para realizar estas tareas?, Planificación Temporal: ¿En qué momento se realizarán estas actividades de mantenimiento?, Protocolos de Ejecución: ¿Cuáles son los procedimientos detallados para llevar a cabo las tareas de mantenimiento?, Duración de las Actividades:

¿Cuánto tiempo se estima que tomará cada tarea de mantenimiento?, Documentación y Seguimiento: ¿Qué formatos o sistemas se utilizarán para registrar la información de manera sistemática y apoyar el seguimiento de las tareas?, Evaluación de Resultados: ¿De qué manera se medirá la efectividad del mantenimiento en términos de mejoras en la operatividad del equipo y reducción de fallas? (Montilla, 2016). La solución a las anteriores preguntas entrega el orden descrito a continuación:

A. Inventario de equipos

La tarea de realizar el inventario de equipos, inmuebles y vehículos es fundamental para crear un censo o listado exhaustivo que defina los activos que estarán incluidos en el Programa de Mantenimiento. Este paso es crucial para responder a la pregunta: ¿Sobre qué máquinas o equipos se va a intervenir? A partir de esta información, se puede establecer un archivo maestro de máquinas, que estará debidamente codificado para su fácil identificación y seguimiento (Aquino, 2021).

Al desarrollar este archivo, es importante considerar el tamaño y las capacidades de la empresa para elegir la herramienta adecuada de registro y seguimiento. Las micro y pequeñas empresas pueden optar por una hoja electrónica, que es una solución simple y accesible, mientras que las medianas y grandes empresas pueden beneficiarse de un Software de Mantenimiento o CMMS (Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado), que ofrece funcionalidades avanzadas para la gestión de mantenimiento (Aquino, 2021).

Es vital que el personal encargado de elaborar el inventario ejecute esta tarea con gran atención y precisión. Se debe evitar tanto la subvaloración como la sobrevaloración de los activos, ya que esto podría resultar en que equipos no esenciales sean incluidos innecesariamente en el programa, aumentando los

costos de mantenimiento, o que equipos críticos sean omitidos, corriendo el riesgo de fallos y paradas no programadas. La meticulosidad en este proceso asegura la eficiencia y la efectividad del Programa de Mantenimiento (Aquino, 2021).

B. Codificación de Equipos

Tras completar el inventario de las máquinas y equipos que serán incluidos en el programa de mantenimiento, es esencial proceder a su debida codificación. Esta asignación de un código numérico o alfanumérico garantiza una identificación precisa y única para cada activo. Aunque la metodología de codificación varía de una empresa a otra y puede adoptar distintos grados de complejidad, hay recomendaciones básicas que se deben seguir para garantizar un sistema efectivo (Rivera, 2021):

- **Clara Identificación:** Los códigos deben facilitar la rápida identificación del equipo, permitiendo a cualquier miembro del equipo reconocer el activo sin ambigüedades.
- **Simplicidad:** Los códigos deben ser concisos, simples y sin complicaciones para desglosar. Esto facilita su memorización y uso cotidiano.
- **Costo-Efectividad:** La implementación de la codificación no debe suponer un gasto excesivo. Se pueden utilizar métodos de bajo costo como pintura, adhesivos, placas identificativas de activo fijo, códigos de barras, entre otros.
- **Consistencia Interna:** Es crucial que la codificación esté alineada con otros sistemas de identificación utilizados en la empresa, especialmente con los sistemas de codificación contable para asegurar la coherencia en la gestión de activos.

Una estrategia práctica para codificar maquinaria y equipos es estructurar el sistema de codificación según la disposición y organización de la planta o empresa. Esto se hace segmentando por áreas, secciones, máquinas o equipos, componentes y partes

o elementos, tomando como referencia el diseño o Layout de la planta. De este modo, cada código reflejará no sólo el activo en sí, sino también su ubicación y función dentro del proceso productivo o de servicio de la empresa (Rivera, 2021).

C. Creación de la Tarjeta Maestra de Datos TMD

Una Tarjeta Maestra de Datos (TMD) es un documento que registra información detallada sobre una máquina, equipo o proceso, incluyendo datos de identificación, información de contacto de proveedores, características operativas y especificaciones técnicas de componentes clave. A pesar de no existir un formato unificado para las TMD, es fundamental que su estructura brinde una comprensión clara y accesible de la información relevante. Un ejemplo típico de una TMD puede incluir: Datos Generales de la Empresa: Aquí se incluyen el nombre de la empresa y la identificación conforme a las normas ISO 9000, como el código y la fecha de la última modificación del formato. Información Fundamental de la Máquina/Equipo: Esta sección recoge datos básicos como el código de activo fijo, nombre, marca, modelo, número de serie, año de fabricación e instalación, número de catálogo y opcionalmente una fotografía. Detalles Comerciales: En este apartado se documenta la información necesaria para contactar al proveedor o al representante comercial, incluyendo el país y ciudad de origen, nombre de la empresa, dirección, teléfono, correo electrónico, página web y número de pedido. Esto facilita la gestión de garantías, adquisición de repuestos, asistencia técnica y consultas operativas. Características Operativas: Se detallan las dimensiones principales como longitud, altura, profundidad y peso bruto. También se describe la capacidad operativa del equipo, su importancia en el proceso productivo, turnos de trabajo y los servicios necesarios para su funcionamiento como electricidad, vapor, aire comprimido, etc. Es preciso definir la capacidad operativa y los requerimientos de servicios en términos de

variables de ingeniería, tales como flujos, temperaturas, presiones, rendimiento por hora, etc. (Tarrillo, 2020).

Especificaciones de Componentes Principales: Esta sección informa sobre los componentes esenciales del equipo, como reductores, bombas, ventiladores y actuadores, incluyendo sus especificaciones principales. El objetivo es facilitar la solicitud de piezas de repuesto e identificar la posibilidad de estandarizar e intercambiar componentes para optimizar el inventario de repuestos. La TMD es una herramienta valiosa para el mantenimiento y la gestión de activos, proporcionando una referencia rápida y eficiente para el personal de operaciones y mantenimiento (Tarrillo, 2020).

D. Creación de las Hojas de Vida de máquinas/equipos

La Hoja de Vida de un equipo o máquina es un documento o conjunto de documentos que registra de manera integral toda la información relevante a lo largo de su ciclo de vida. Aquí se abordan las dos visiones mencionadas (Montilla, 2016).

Visión Completa: En este enfoque, la Hoja de Vida actúa como un archivo comprensivo que documenta cada detalle relacionado con la máquina o equipo. Incluye los siguientes elementos (Montilla, 2016):

- Tarjeta Maestra de Datos (TMD): Información básica y técnica del equipo.
- Relación de Requerimientos: Lista de necesidades operativas y de mantenimiento.
- Instructivos de Mantenimiento: Guías detalladas para realizar actividades de mantenimiento.
- Cronograma de Actividades: Planificación de las tareas de mantenimiento a realizar.

- Rutinas Básicas de Mantenimiento (RBM): Procedimientos estándar de mantenimiento preventivo.
- Catálogos de Partes y de Servicio: Documentos técnicos de los componentes y servicios de soporte.
- Listado de Repuestos: Inventario de piezas de repuesto disponibles para el equipo.
- Planos: Documentación técnica y esquemática del equipo.
- Historial de Mantenimiento: Registro de todas las intervenciones de mantenimiento, reparaciones y modificaciones realizadas.

Esta visión busca centralizar y ordenar la información, facilitando la gestión del mantenimiento y la toma de decisiones relacionadas con la operatividad del equipo (Montilla, 2016).

Visión Simple:

En organizaciones más pequeñas donde el manejo de la información no es tan robusto, la Hoja de vida a menudo se reduce al Historial de Mantenimiento. Este enfoque simplificado es menos ideal, ya que no proporciona una vista integral del estado y la historia del equipo, lo cual puede ser esencial para un mantenimiento efectivo y la prevención de fallos (Montilla, 2016).

La Figura 11, a la que haces referencia, probablemente ejemplifica cómo se organiza la información en un Historial de Mantenimiento típico. Un modelo básico de esta tabla puede incluir columnas para:

- Fecha del Servicio: Cuando se realizó la intervención.
- Descripción de la Intervención: Detalles de lo que se hizo.
- Horas de Mano de Obra: Tiempo que tomó realizar el trabajo.
- Piezas Reemplazadas: Lista de partes que se cambiaron.
- Costo de Reparación: Costos asociados a la intervención.

- Observaciones: Notas adicionales, resultados y recomendaciones.

Tener el historial de mantenimiento bien documentado y actualizado es crucial para rastrear la condición y las necesidades de mantenimiento de la máquina, facilitar el diagnóstico de problemas y planificar futuras intervenciones.

Ítem	Fecha	Descripción	Repuestos e insumos	Observaciones

Figura 11. Modelo básico de Historial de Mantenimiento
Tomado de: Fundamentos de mantenimiento industrial. Montilla (2016)

Es crucial registrar solo los eventos significativos que puedan influir en la eficiencia o la durabilidad del equipo o maquinaria en el Historial de Mantenimiento. Las actividades de mantenimiento de rutina se documentan generalmente en listas de verificación o registros de mantenimiento preventivo establecidos, mientras que las situaciones anormales, como fallos inesperados o daños que requieran reparaciones mayores, se deben anotar en el Historial de Mantenimiento. Estos incidentes pueden señalar la necesidad de revisar y posiblemente cambiar las prácticas de mantenimiento existentes (Pérez, 2021).

E. Instructivos de Mantenimiento

Estos documentos, también referidos como Normas o Guías, son formatos impresos o electrónicos donde se detalla toda la información necesaria para llevar a cabo cada tarea de mantenimiento. Esto incluye la identificación y el código tanto de la maquinaria como de la guía, precauciones de seguridad, listado de materiales y suministros requeridos, herramientas a emplear, pasos a seguir en la tarea, y el tiempo estimado que ésta tomará. Estas guías de mantenimiento proporcionan respuestas a preguntas sobre los recursos humanos y técnicos necesarios

para la actividad, y la duración estimada del trabajo (Montilla, 2016).

Estos documentos se clasifican en dos tipos: generales y específicos. Los primeros establecen procedimientos aplicables a una variedad de equipos o máquinas, mientras que los segundos se centran en equipos o componentes únicos por su complejidad, tamaño, ajustes especiales, etc., que raramente se encuentran en otros lugares de la instalación, como sería el caso de la calibración de los espacios en los revestimientos de un triturador hidráulico en la industria minera (Montilla, 2016).

2.2.4 Indicadores de eficacia del Mantenimiento

Estos están diseñados principalmente para informar al encargado o director de mantenimiento sobre el desempeño de su administración en términos de eficiencia operativa, como la operatividad de la instalación, la frecuencia de detenciones, las horas de inactividad debido a dichas detenciones y otros factores similares. Dentro de esta categoría, los índices más comúnmente empleados son los de Operatividad, Fiabilidad y Facilidad de Mantenimiento, que se explicarán en detalle más adelante (García, 2012).

La disponibilidad se refiere a la habilidad de una máquina o equipo para realizar la tarea esperada de manera efectiva por un intervalo establecido y bajo ciertas condiciones predefinidas. Se calcula basándose en el Tiempo medio para reparar una falla (MTTF) y el Tiempo de vida media del elemento entre falla y el otro (MTBF) (Montilla, 2016).

$$D = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} \quad \dots (3)$$

Confiabilidad se refiere a la posibilidad de que un equipo funcione sin problemas a lo largo de su funcionamiento. Se determina a través

del análisis del Tiempo Medio Entre Fallas (TMBF), tal como se expresó en la ecuación 2 (Montilla, 2016).

Mantenibilidad: Se conocen dos definiciones de diferente profundidad, pero que describen la misma situación. La mantenibilidad se evalúa con el Tiempo medio para reparar MTTR (Montilla, 2016).

Característica de un sistema o dispositivo que indica el nivel de trabajo necesario para mantener su operatividad habitual o para recuperarla después de un fallo. Un sistema se considerará de alta mantenibilidad si el trabajo necesario para su recuperación es mínimo. Por el contrario, sistemas de mantenibilidad reducida o baja demandan una cantidad significativa de recursos, como tiempo de trabajo, supervisión y materiales, para su mantenimiento o reparación (Montilla, 2016).

Es la probabilidad de que un equipo sea restaurado a un estado de funcionamiento en un tiempo determinado, bajo la condición de que el mantenimiento se realice siguiendo métodos previamente definidos (Montilla, 2016).

$$MTTR = \frac{T_{nop}}{N_{arr}} \quad \dots (4)$$

Donde

MTTR: es el tiempo promedio para reparar.

T_{nop}: es el tiempo que duró la reparación.

N_{arr}: es el número de arranques de planta.

2.3 Definición de Términos Básicos

Accesorio

Se puede decir que es todo el elemento que forma parte de una máquina o sistema, y es un complemento de la máquina o sistema, y una vez definido es

un producto o subproducto básico. Los accesorios pueden ser: arandelas, tuercas, tornillos, fusibles, resistencias, integrados, u otros.

Ciclo de vida

Tiempo durante el cual un bien o activo conserva su capacidad de operación, y se tiene en cuenta desde el inicio cuando se adquiere el activo, hasta el final al momento de sustituirlo.

Componente

Es un dispositivo que puede formar parte de un circuito eléctrico, electrónico, mecánico. Ejemplos de componentes o piezas: engranaje, polea, rodamiento, correa, rotor eléctrico, amplificador, acoplador electrónico, batería, cables, correas, bandas y otros.

Confiabilidad

Capacidad de una máquina, equipo o sistema para cumplir funciones específicas o requeridas, bajo condiciones de operación dadas, en un tiempo o período determinado.

Disponibilidad

Es una función que permite calcular el porcentaje de tiempo en el cual una máquina o equipo está disponible para cumplir la función para la cual fue diseñado y construido. Esto no implica necesariamente que esté operando o funcionando, sino que se encuentre en óptimas condiciones de operar.

Equipo

Se puede definir como el conjunto total de máquinas que son necesarias para cumplir un objetivo. Ejemplo: equipo de transporte de cereales; está compuesto por elevadores de cangilones, roscas transportadoras y tuberías.

Equipos de Línea Amarilla

Se refiere a maquinaria pesada y equipos utilizados en la construcción y minería, que generalmente tienen componentes amarillos como excavadores, retroexcavadoras, cargadores frontales, entre otros. Estos equipos

desempeñan un papel fundamental en la industria debido a su capacidad para ejecutar tareas de excavación, carga y movimiento de materiales.

Equipos de Línea Blanca

Por lo general, este término se refiere a electrodomésticos y equipos utilizados en el hogar o en aplicaciones comerciales que tienen un color predominante blanco, como lavadoras, secadoras, refrigeradores, estufas y lavavajillas. Aunque no están relacionados con la maquinaria pesada, su mantenimiento y operación eficiente también son importantes para su funcionalidad.

Evento de falla

Aquella situación que se puede presentar anómala de carácter técnico detectada en un equipo.

Falla

Una falla es un evento en el que un equipo o sistema no funciona según lo esperado o deja de funcionar por completo. Puede ser causada por diversos factores, como desgaste, daño, errores de operación o mantenimiento inadecuado. La identificación y resolución de fallas son elementos clave en la gestión de mantenimiento.

Fiabilidad

La fiabilidad se relaciona con la probabilidad de que un equipo o sistema funcione sin fallas durante un período determinado. Implica la capacidad de mantener un rendimiento consistente a lo largo del tiempo y minimizar las interrupciones.

Función

Es todo aquello por lo que la empresa, espera que el equipo cumpla con sus estándares de diseño y de desempeño.

Operatividad

La operatividad se refiere a la capacidad de un equipo o sistema para realizar las tareas para las que fue diseñado de manera efectiva y eficiente. Incluye factores como la disponibilidad, la fiabilidad y el rendimiento general.

Inspección

Actividades que se realizan en el mantenimiento preventivo, usando rutas definidas con cierta periodicidad y corta duración en el momento de revisar el equipo o máquina, donde normalmente se utilizan instrumentos de medición o los sentidos del ser humano, para verificar el buen funcionamiento del equipo, sin provocar que esto genere pararlo.

Lubricación

Actividades de mantenimiento preventivo, donde se adiciona un lubricante, con el objetivo de minimizar el contacto entre dos superficies, evitando así su desgaste.

Mantenibilidad

Es la facilidad de realizar tareas de mantenimiento en un equipo o máquina, para así devolver sus condiciones de operación en el menor tiempo posible, utilizando procedimientos definidos.

Mantenimiento en parada

Acciones que se realizan solamente cuando el equipo o máquina está detenido o está en reposo.

Máquina

Es una combinación de piezas de materiales resistentes que tienen movimientos definidos y son capaces de transmitir o transformar energía.

Mecanismos

Es una combinación de piezas de materiales resistentes, cuyas partes tienen movimientos relativos restringidos.

Pronóstico

Es el análisis de los síntomas de daños, para predecir la condición futura del equipo y su vida útil restante.

Parada general

Situación en la que, a un conjunto de activos, se les realiza periódicamente una serie de revisiones, reparaciones, mejoras, cambios, etc., y donde estas actividades están concertadas con los departamentos interesados y, por supuesto, están también programadas por un tiempo definido.

Reparación

La reparación es el proceso de corregir una falla o problema en un equipo o sistema para restaurar su funcionalidad. Puede incluir la sustitución de piezas dañadas, la reparación de componentes defectuosos o la solución de problemas técnicos. En tu trabajo, la gestión eficaz de las reparaciones es esencial para mantener la disponibilidad operativa.

CAPITULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL

3.1 Determinación y análisis del problema

3.1.1 Situación Problemática

En la industria minera, la eficiencia y la productividad están intrínsecamente ligadas a la operatividad continua de los equipos. Para la empresa "Gestión Minera Integral S.A.C.", que opera en la Unidad Minera Americana - Alpayana, esto no ha sido la excepción. Durante los años 2019 al 2022, se ha observado una tendencia preocupante en los niveles de disponibilidad de los equipos de bajo perfil LH203, críticos en las operaciones subterráneas. Estos equipos, conocidos como Scooptrams, han registrado una caída progresiva en su disponibilidad operativa, con porcentajes que han planteado serias preguntas sobre la eficacia del mantenimiento preventivo en curso.

En 2019, la disponibilidad de los Scooptrams LH203 fue del 89.10%, una cifra aceptable dentro de los estándares industriales. Sin embargo, en 2020, esta cifra cayó al 86.60%, seguido por una caída aún más significativa al 85.50% en 2021, y de 84.10% en el 2022, llegando a un preocupante 79.20% al mes de septiembre del 2023. Esta disminución constante puede atribuirse a una combinación de factores, como el aumento de fallas imprevistas, el envejecimiento de la flota, y posiblemente, prácticas de mantenimiento subóptimas que no han evolucionado con la complejidad y exigencias de las condiciones de operación.

La consecuencia directa de esta reducida disponibilidad se ha reflejado en la producción: cada punto porcentual de disponibilidad perdido se estima que ha reducido la producción diaria en aproximadamente 2.5 toneladas de mineral, lo que representa significativas pérdidas económicas y retrasos en los objetivos de producción anuales.

En la Figura 12 se muestran gráficamente los valores históricos de la disponibilidad promedio de los equipos de bajo perfil Scooptrams LH203 de 3.5 TN. Como es evidente hay un decrecimiento sostenido de la disponibilidad del equipo, lo cual resulta justificable cuestionarse respecto a las estrategias de mantenimiento preventivo que se vienen haciendo uso. Esto es debido a que la carencia de un programa de mantenimiento preventivo que no promueve inspecciones regulares, ajustes y reemplazos programados de componentes, conllevan a que los equipos están más propensos a fallas inesperadas que resultan en inactividad con reparaciones costosas.

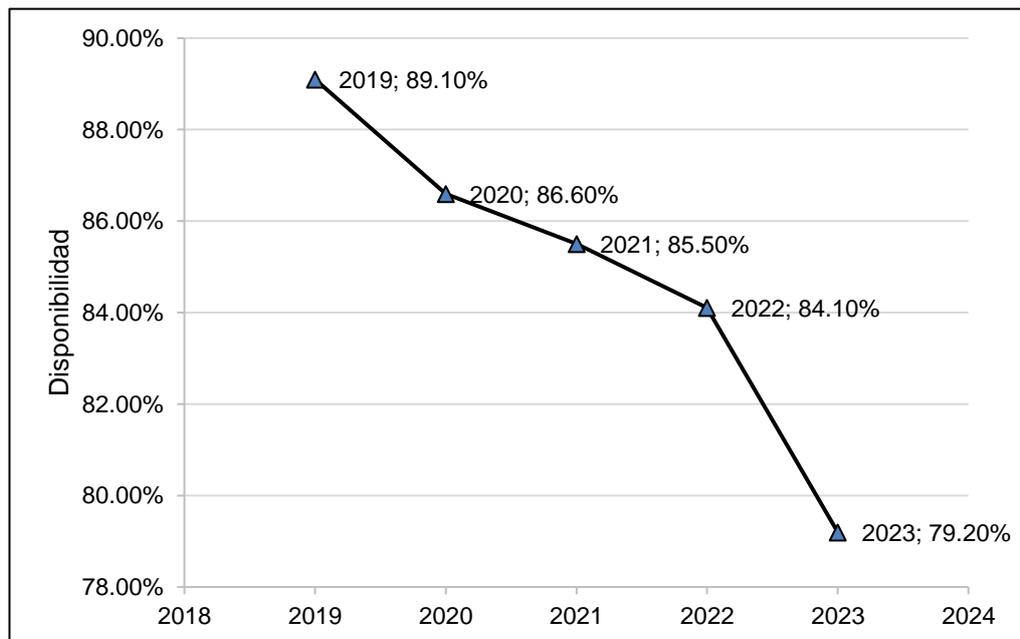


Figura 12. Disponibilidad del equipo Scooptrams LH203
Tomado de: Elaboración propia

Así también al analizar de forma detallada la disponibilidad promedio histórica correspondiente al año 2023, se tiene datos recogidos durante desde el mes de enero al mes de junio, por lo que en la Figura 13, se muestra la evolución de la disponibilidad en ese periodo de tiempo establecido. Si bien no se evidencia un decrecimiento constante en estos seis primeros meses del año, en los últimos cuatro meses sí se observa una tendencia a la disminución.

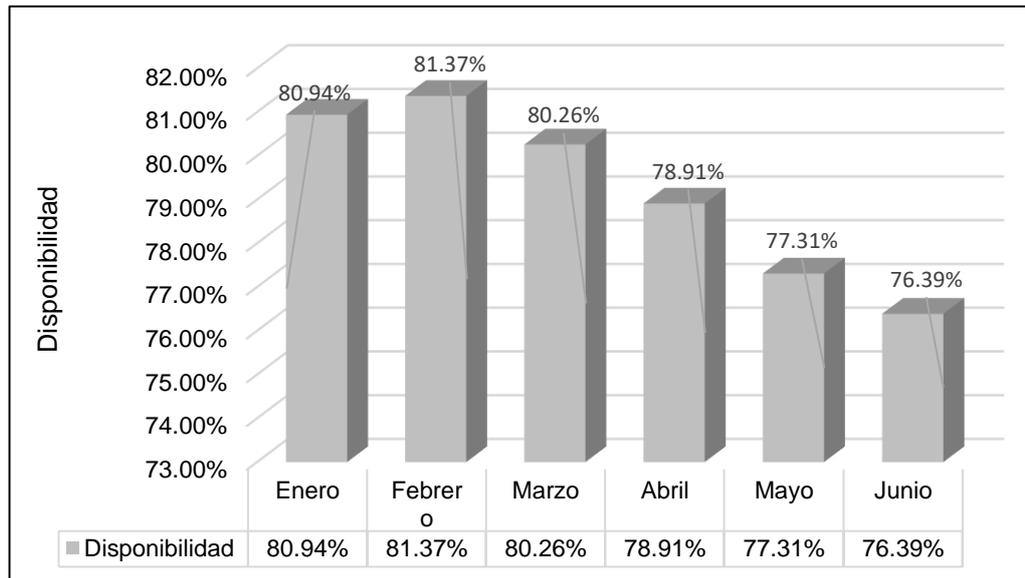


Figura 13. Disponibilidad del equipo Scooptrams LH203 en el periodo Enero-Junio 2023

Tomado de: Elaboración propia

3.1.2 Análisis de criticidad de componentes del equipo Scooptrams LH203

En el contexto de la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo para equipos como el Scooptrams LH203, se procedió a realizar el análisis de criticidad de componentes, esto debido a que este análisis permitirá identificar y priorizar los riesgos asociados con el fallo de componentes durante los procesos de producción o de servicio en la Unidad Minera Americana - Alpayana. Sin embargo, este análisis de criticidad también contribuirá a realizar una planificación de mantenimiento preventivo basado en prioridades, es decir al considerar que algunos componentes requerirán mantenimiento más frecuente o inmediato debido a su tendencia al desgaste o fallo, es preponderante conocer cuáles son estos componentes críticos, ya que permitirá planificar el mantenimiento de forma más efectiva y evitar paradas no planificadas. Otro aspecto considerado es que este análisis de criticidad permitirá optimizar el inventario, es decir el análisis de criticidad ayuda a determinar qué repuestos son esenciales para tener en stock, lo que reduce la inversión en inventario al mismo tiempo que

se mantiene la capacidad de respuesta ante averías del equipo Scooptrams LH203.

En la Figura 14 se muestra la imagen del equipo Scooptrams LH203 de 3.5 TN de capacidad de carga, la misma que presenta una curva de productividad como la mostrada en la Figura 15. En esta representación se relaciona la "distancia de ida en metros" con las "toneladas por hora". La gráfica está diseñada para mostrar cómo varía la productividad del Scooptrams basada en la distancia de recorrido en un solo viaje y la inclinación (o pendiente) de la ruta.



Figura 14. Equipo de bajo perfil Scooptrams LH203 de 3.5 TN.
Tomado de: <https://dukraft.com/product/cargadora-lh203-sandvik/>

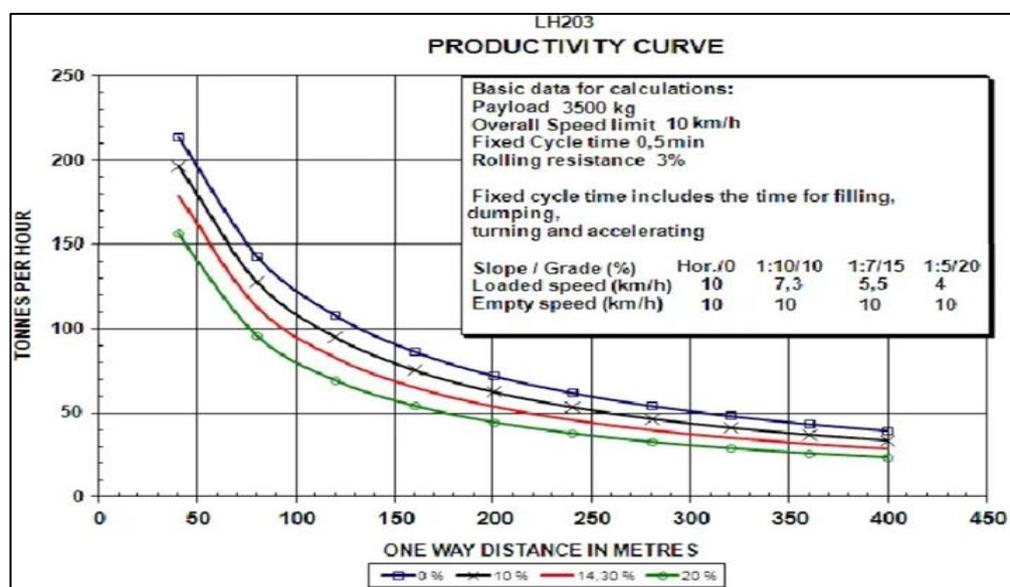


Figura 15. Curva de productividad del equipo Scooptrams LH203
Tomado de: <https://dukraft.com/product/cargadora-lh203-sandvik/>

Así también en la Tabla 3 se muestran los componentes más relevantes del equipo Scooptrams LH203, en la que también se detalla la vida útil de cada componente, esto según SANDVIK, fabricante del equipo.

Tabla 3. Lista de componentes y vida útil del equipo Scooptrams LH203

N°	Denominación del componente	Vida útil (Horas) // Km
1	Motor Diesel /Eléctrico	10,000/6,000 // 500,000/300,000
2	Caja de Transferencia	10,000 // 500,000
3	Bomba Hidrostática	6,000 // 300,000
4	Bomba Hidráulica (Dirección / Freno)	6,000 // 300,000
5	Bomba Hidráulica (Levante / Volteo)	6,000 // 300,000
6	Bomba Hidráulica de Carga	6,000 // 300,000
7	Motor Hidrostático	6,000 // 300,000
8	Eje Frontal	15,000 // 750,000
9	Eje Posterior	15,000 // 750,000
10	Convertidor	10,000 // 500,000
11	Caja de Transmisión	10, 000 // 500,000
12	Arrancador	4,000 // 200,000
13	Alternador	4,000 // 200,000
14	Bomba de Inyección	6,000 // 300,000
15	Válvula de control	4,000 // 200,000
16	Cilindros Hidráulicos	5,000 // 250,000

Tomando como referencia los elementos esenciales que inciden en la operatividad de los Scooptrams LH203 de bajo perfil y considerando los informes acumulados de mantenimiento de la Unidad Minera Americana Alpayana, se procederá a llevar a cabo un examen de criticidad que obedecerá a un esquema de clasificación jerárquica. Este procedimiento ordenará de forma prioritaria los sistemas vitales de los mencionados equipos de bajo perfil, estableciendo una guía útil que permitirá resaltar los factores más críticos y aquellos susceptibles de optimización. Esta herramienta será diseñada para facilitar la toma de decisiones estratégicas, debiendo ser de fácil aplicación y monitoreo.

A continuación, se presentan en la Tabla 4 los criterios para evaluar la criticidad; este instrumento fue validado por (Alca, 2020).

Tabla 4: Criterios para evaluar la criticidad de componentes

Ítem	VARIABLES EVALUADAS	Valoración
1	Ratio de Incidencias (RI)	
	< 10 incidentes/año	1 Pto.
	10 - 19 incidentes/año	2 Pto.
	20 - 49 incidentes/año	3 Pto.
	≥ 50 incidentes/año	4 Pto.
2	Consecuencias en Operaciones (CO)	
	Operatividad no se ve afectada significativamente	1 Pto.
	Ocasiona gastos operativos adicionales	2 Pto.
	Afecta la producción o la calidad	4 Pto.
	Interrupción de una línea de producción específica	6 Pto.
	Suspensión de actividades en toda la mina	10 Pto.
3	Adaptabilidad del Equipo en el Entorno (AE)	
	Posibilidad de reemplazo	1 Pto.
	Alternativa de desvío de operación del equipo	2 Pto.
	Sin opciones de recuperación	4 Pto.
4	Gastos en Mantenimiento (GM)	
	≤ \$7,821.90	1 Pto.
	> \$7,821.90	2 Pto.
5	Repercusiones en Seguridad y Medio Ambiente (RS)	
	Impacto medioambiental menor sin violar normativas	1 Pto.
	Daños menores al personal, con recuperación posible	2 Pto.
	Daños mayores al personal, con recuperación posible	4 Pto.
	Graves infracciones de normativas ambientales	6 Pto.
	Daño severo y permanente al personal o al entorno	10 Pto.

La Tabla 5 muestra la escala de referencia de criticidad que se utiliza para clasificar la importancia o urgencia de las acciones a tomar basadas en un análisis de criticidad. Está dividida en tres niveles,

siendo estos A (Altamente crítico): Esta categoría se asigna a elementos con una puntuación mayor a 15; indica que existe mayor necesidad de atención o acción inmediata. B (Medianamente crítico): Se refiere a componentes que obtienen una puntuación entre 8 y 15. El color amarillo señala una criticidad intermedia, sugiriendo que, aunque importantes, pueden no requerir una acción tan inmediata como los elementos en la categoría A. Finalmente C (No es crítico): esta categoría se aplica a elementos con una puntuación de 0 a 7. El color verde se utiliza aquí para indicar que estos elementos son los menos críticos y, por lo tanto, los de menor prioridad en términos de acción a atención requerida.

Tabla 5: Rango de referencia de criticidad

Codificación	Categorización de la criticidad	Rango de valoración
A	Altamente crítico (AC)	Mayor a 15 Pto.
B	Medianamente crítico (MC)	Entre 8 y 15 Pto.
C	No es crítico (NC)	De 0 a 7 Pto.

Luego haciendo uso de datos específicos como los historiales de mantenimiento y fallos, así como también las condiciones operativas y las recomendaciones del fabricante, se consiguió determinar los resultados mostrados en la Tabla 6, los mismos que forman parte de los resultados de criticidad. De esta tabla se evidencia que el Motor Diesel /Eléctrico, la Bomba Hidráulica (Dirección/Freno), la Bomba Hidráulica (Levante/Volteo), la Caja de Transferencia, el motor Hidrostático son los componentes altamente críticos, representando el 31.25% de la cantidad total de componentes. Sin embargo, el porcentaje restante corresponde a componentes medianamente críticos, por lo que también deberían considerarse como elementos a ser monitoreados permanentemente.

Tabla 6: Resultados del análisis de criticidad

Denominación del componente	Criterios de evaluación					Total	Nivel
	RI	CO	AE	GM	RS		
Motor Diesel /Eléctrico	3	6	4	2	4	19	AC
Caja de Transferencia	3	6	4	1	2	16	AC
Bomba Hidrostática	2	4	2	1	2	11	MC
Bomba Hidráulica (Dirección/Freno)	3	6	4	1	2	16	AC
Bomba Hidráulica (Levante/Volteo)	3	6	4	1	2	16	AC
Bomba Hidráulica de Carga	3	4	2	1	2	12	MC
Motor Hidrostático	3	6	4	1	4	18	AC
Eje Frontal	2	4	4	1	2	13	MC
Eje Posterior	2	4	4	1	2	13	MC
Convertidor	2	4	2	1	2	11	MC
Caja de Transmisión	2	6	4	1	2	15	MC
Arrancador	2	4	4	1	4	15	MC
Alternador	2	4	4	1	2	13	MC
Bomba de Inyección	2	4	4	1	2	13	MC
Válvula de control	2	4	4	1	2	13	MC
Cilindros Hidráulicos	2	4	4	1	2	13	MC

3.2 Modelo de solución propuesto

3.2.1 Propuesta del Mantenimiento Preventivo

Basado en los datos históricos de fallas que definen el análisis situacional del equipo de bajo perfil Scooptrams LH203, así como considerando los resultados del análisis de criticidad, se procede a mostrar el modelo propuesto para el mantenimiento preventivo. La Figura 15 muestra el modelo de flujo de actividades que se debe seguir como parte de un plan de mantenimiento, en la que se busca integrar actividades del proceso de planificación, gestión de recursos y ejecución del plan de mantenimiento.

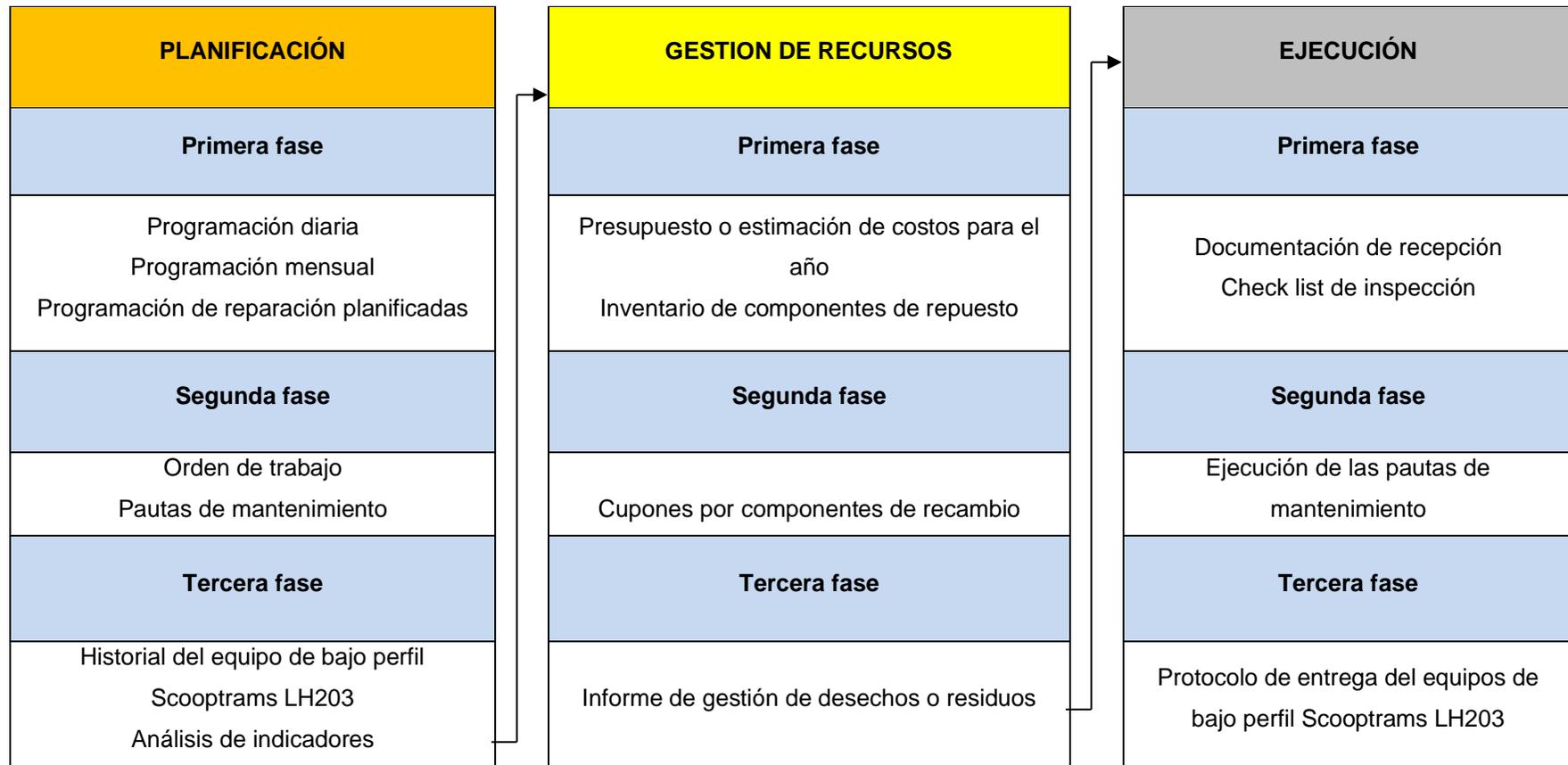


Figura 16. Modelo del plan de mantenimiento preventivo
Tomado de: Elaboración propia

En base a lo señalado y como parte de la planificación de las actividades correspondientes al plan de mantenimiento, se muestra en la Tabla 7 la cartilla de mantenimiento preventivo que contiene la información detallada y específica sobre las tareas y actividades de mantenimiento necesarias para garantizar el funcionamiento óptimo del equipo. Cada componente crítico, sistema hidráulico, eléctrico o mecánico será documentado minuciosamente, indicando las pautas de inspección, los procedimientos de lubricación, los intervalos de reemplazo de piezas y otros aspectos relevantes.

Esta herramienta proporcionará una guía clara y accesible para el personal de mantenimiento, garantizando que se sigan los protocolos correctos y que se realicen las tareas de manera coherente. Además, la cartilla de mantenimiento preventivo servirá como un recurso de referencia útil para el entrenamiento de nuevos miembros del equipo de mantenimiento, asegurando la transferencia de conocimientos y buenas prácticas. La creación de esta cartilla se basa en una revisión exhaustiva de los manuales de operación y mantenimiento proporcionados por el fabricante del equipo SANDVIK, y con mi contribución a las experiencias y datos recopilados durante el diagnóstico situacional y las fases de implementación del plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 7: Cartilla de mantenimiento preventivo para 125HR, 250HR, 500HR y 1000HR

# Parte	Descripción	125Hrs.	250Hrs.	500Hrs.	1000Hrs.
		MANT. A	MANT B	MANT. C	MANT. D
	Limpieza general del equipo	x	x	x	x
	Engrase general del equipo	x	x	x	x
	Inspeccionar y ajustar tuercas y pernos en general	x	x	x	x
	Eliminar fugas de aceites en general	x	x	x	x

	Inspeccionar y ajustar conexiones en general	x	x	x	x
	Examinar cables eléctricos en general	x	x	x	x
	Verificar niveles de aceites de todos los sistemas en general	x	x	x	x
	Examinar mangueras en general	x	x	x	x
	Revisar pines y bocinas en general	x	x	x	x
69041385	Refrigerante protecta cool				x
56018232	Filtro de aire de motor	x	x	x	x
69042849	Filtro de petróleo	x	x	x	x
55051165	Filtro separador de agua	x	x	x	x
P537876	Filtro de aire primario				
P537877	Filtro de aire secundario				
56001982	Filtro de transmisión			x	x
56018329	Filtro respiradero hidráulico			x	x
4004080	Filtro de retorno hidráulico de freno			x	x
4004091	Filtro de alta presión de freno			x	x
56000666	Filtro de retorno hidráulico principal			x	x
	Aceite mobil DLVAC MX 15W/40	x	x	x	x
	Aceite mobil TRANS HD 30			x	x
	Aceite mobil NUTO 68				x
	Aceite mobil BE HD 85W140				x

Así también, en base al modelo propuesto, en la Figura 17 se muestra el Check list diaria, el cual se compone de una lista de verificación que se compone por la inspección de componentes clave

como el motor, el sistema de transmisión, los frenos, los neumáticos, el sistema hidráulico y el sistema eléctrico.

OPERADOR :				
HR. INICIO :		MECANICO :		
HR FINAL :		SUPERVISOR MINA :		
PROCEDIMIENTO	BUENO	REGULAR	MALO	COMENTARIOS
PASO : 1 (MOTOR)				
1.- Verificar nivel de combustible				
2.- Verificar nivel de aceite				
3.- Verificar estado y tension de correa de transmision				
4.- Verificar nivel de refrigerante				
5.- Verificar estado de filtros de admision				
6.- Verificar presiones, temperaturas y RPM(Alta / baja)				
7.- Verificar tapas de aceite, combustible y radiador				
8.- Verificar estado de enfriador y radiador				
PASO : 2 (TRANSMISION)				
1.- Verificar estado eje cardan (motor - transmision)				
2.- Verificar estado eje cardan (transmision - ejes)				
3.- Verificar accionamiento de marcha y velocidad				
4.- Verificar el estado del pedal de aceleracion (valvula)				
5.- Verificar presiones de embrague FNR (1°, 2°, 3°, 4°)				
PASO : 3 (FRENOS)				
1.- Realizar procedimiento de prueba de frenos				
2.- Verificar estado (valvula)				
3.- Verificar presiones de servicio y parqueo				
PASO : 4 (NEUMATICOS)				
1.- Posicion 1 (verificar presion. Tapa valvula y seguros)				
2.- Posicion 2 (verificar presion. Tapa valvula y seguros)				
3.- Posicion 3 (verificar presion. Tapa valvula y seguros)				
4.- Posicion 4 (verificar presion. Tapa valvula y seguros)				
PASO : 5 (HIDRAULICOS)				
1.- Verificar fugas en cilindros hidraulicos				
2.- Verificar valvulas de control y pilotaje				
3.- Verificar topes de cilindros hidraulicos				
4.- Verificar presiones y caudales del sistema				
PASO 6 (ELECTRICO)				
1.- Verificar funcionamiento de sensores				
2.- Verificar funcionamiento de switch y botoneras				
3.- Verificar funcionamiento de luces, faros, etc.				
4.- Verificar estado de bateria y precalentadores				
CONSTANCIA DE PRUEBA DE FRENOS				
PROCEDIMIENTO	BUENO	REGULAR	MALO	COMENTARIOS
FRENO DE SERVICIO				
FRENO DE PARQUEO				
PROCEDIMIENTO :				
1	FRENO DE SERVICIO : Estacionar el equipo en posicion horizontal con el mtor encendido, quitar el freno de parqueo y enganchar es segunda marcha, para luego aplicar el freno de servicio con motor acelerado por un periodo de 08 @ 10 seg El equipo no deba desplazase			
2	FRENO DE PARQUEO : Comprobar con el testeador de parqueo			
OBSERVACIONES :				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				

Figura 17. Check list diario de componentes del equipo de bajo perfil LH203 Tomado de: Elaboración propia

3.3 Resultados

Con el propósito de evidenciar el impacto de la aplicación del nuevo modelo de mantenimiento preventivo, en la Tabla 8 se muestran los resultados promedio de los indicadores MTBF, MTTR y Disponibilidad, de los 14 equipos Scooptrams LH203, registrados durante el periodo enero-junio 2023; es decir antes de la aplicación del nuevo modelo de mantenimiento.

Tabla 8. Resultados de los indicadores de mantenimiento, periodo Enero-Junio 2023.

ID Equipo	MTBF (Horas)	MTTR (Horas)	Disponibilidad (%)	Periodo
Scooptrams LH203-1	105	26.8	79.67%	Ene.-Jun. 2023
Scooptrams LH203-2	98	23.4	80.72%	Ene.-Jun. 2023
Scooptrams LH203-3	101	21.4	82.52%	Ene.-Jun. 2023
Scooptrams LH203-4	115	22.3	83.76%	Ene.-Jun. 2023
Scooptrams LH203-5	89	28.9	75.49%	Ene.-Jun. 2023
Scooptrams LH203-6	93	26.7	77.69%	Ene.-Jun. 2023
Scooptrams LH203-7	104	29.6	77.84%	Ene.-Jun. 2023
Scooptrams LH203-8	108	36.7	74.64%	Ene.-Jun. 2023
Scooptrams LH203-9	95	35.2	72.96%	Ene.-Jun. 2023
Scooptrams LH203-10	89	32.5	73.25%	Ene.-Jun. 2023
Scooptrams LH203-11	115	27.8	80.53%	Ene.-Jun. 2023
Scooptrams LH203-12	121	21.6	84.85%	Ene.-Jun. 2023
Scooptrams LH203-13	87	14.5	85.71%	Ene.-Jun. 2023
Scooptrams LH203-14	96	25.2	79.21%	Ene.-Jun. 2023
Promedio	101.14	26.61	79.20%	

Tomado de: Empresa "Gestión Minera Integral S.A.C"

Así también, en la Tabla 9 se muestra los resultados al aplicar el nuevo modelo de mantenimiento; es preciso señalar que estos resultados son producto de la inspección diaria en una de los 14 equipos de bajo perfil en análisis. Si bien antes se realizaba mantenimiento preventivo éste no seguía un procedimiento estructurado que conlleve a generar reportes diarios, por lo que en este nuevo modelo se evidencia un mayor detalle de las ocurrencias o eventos de inspección.

Tabla 9. Resultados de los indicadores de mantenimiento, periodo Agosto-Septiembre 2023

Date	HORAS - MOTOR DIESEL			HORAS - MANTENIMIENTO			INDICADORES		
	Horómetro Inicial	Horómetro Final	Diferencia Horómetro	Inspecciones	Mantenimiento PREV	Repar. Acc./Otros	Horas Stand By	Horas Totales	D.M. (Disponibilidad Mecánica)
21/08/2023	1,885.1	1891.3	6.2	1.00			16.80	18.0	94.44%
01/09/2023	1,891.3	1900.5	9.2	1.00		1.0	12.80	18.0	88.89%
02/09/2023	1,900.5	1917.3	16.8	1.00			6.20	18.0	94.44%
03/09/2023	1,917.3	1929.6	12.3	1.00			10.70	18.0	94.44%
04/09/2023	1,929.6	1943.8	14.2	1.0			8.80	18.0	94.44%
05/09/2023	1,943.8	1954.0	10.2		6.0		7.80	18.0	66.67%
06/09/2023	1,954.0	1967.2	13.2	1.0			9.80	18.0	94.44%
07/09/2023	1,967.2	1979.0	11.8	1.0			11.20	18.0	94.44%
08/09/2023	1,979.0	1990.5	11.5	1.0			11.50	18.0	94.44%
09/09/2023	1,990.5	2005.9	15.4	1.0			7.60	18.0	94.44%
10/09/2023	2,005.9	2021.0	15.1	1.0			7.90	18.0	94.44%
11/09/2023	2,021.0	2034.8	13.8	1.0			9.20	18.0	94.44%

12/09/2023	2,034.8	2048.9	14.1	1.0		8.90	18.0	94.44%	
13/09/2023	2,048.9	2063.4	14.5	1.0		8.50	18.0	94.44%	
14/09/2023	2,063.4	2063.4	0.0	1.0		23.00	18.0	94.44%	
15/09/2023	2,063.4	2080.0	16.6	1.0		6.40	18.0	94.44%	
16/09/2023	2,080.0	2096.0	16.0	1.0		7.00	18.0	94.44%	
17/09/2023	2,096.0	2111.0	15.0	1.0		8.00	18.0	94.44%	
18/09/2023	2,111.0	2,122.4	11.4	1.0		11.60	18.0	94.44%	
19/09/2023	2,122.4	2,136.5	14.1	1.0		8.90	18.0	94.44%	
20/09/2023	2,136.5	2150.4	13.9	1.0		9.10	18.0	94.44%	
21/09/2023	2,150.4	2157.3	6.9	1.0		16.10	18.0	94.44%	
22/09/2023	2,157.3	2165.9	8.6		5.0	10.40	18.0	72.22%	
23/09/2023	2,165.9	2181.3	15.4	1.0		7.60	18.0	94.44%	
		Total	296.2	22	11	1	245.80	432	92.13%

Tomado de: Empresa "Gestión Minera Integral S.A.C"

A manera de resumir los resultados mostrados en la tabla anterior, en la Tabla 10 se muestran los indicadores MTBF, MTTR y Disponibilidad, de los 14 equipos Scooptrams LH203, registrados durante el periodo Agosto-Septiembre de 2023; es decir después de la aplicación del nuevo modelo de mantenimiento.

Tabla 10. Resultados de los indicadores de mantenimiento, periodo Agosto-Septiembre 2023

ID Equipo	MTBF (Horas)	MTTR (Horas)	Disponibilidad (%)	Periodo
Scooptrams LH203-1	296.2	25.29	92.13%	Ago.-Sep.2023
Scooptrams LH203-2	291.6	21.14	93.24%	Ago.-Sep.2023
Scooptrams LH203-3	289.1	20.62	93.34%	Ago.-Sep.2023
Scooptrams LH203-4	301.8	24.36	92.53%	Ago.-Sep.2023
Scooptrams LH203-5	288.7	24.51	92.17%	Ago.-Sep.2023
Scooptrams LH203-6	293.2	22.28	92.94%	Ago.-Sep.2023
Scooptrams LH203-7	304.3	21.69	93.35%	Ago.-Sep.2023
Scooptrams LH203-8	293.6	25.17	92.10%	Ago.-Sep.2023
Scooptrams LH203-9	294.6	22.23	92.98%	Ago.-Sep.2023
Scooptrams LH203-10	281.6	23.67	92.25%	Ago.-Sep.2023
Scooptrams LH203-11	301.6	24.87	92.38%	Ago.-Sep.2023
Scooptrams LH203-12	287.8	26.71	91.51%	Ago.-Sep.2023
Scooptrams LH203-13	294.6	24.39	92.35%	Ago.-Sep.2023
Scooptrams LH203-14	300.6	23.77	92.67%	Ago.-Sep.2023
Promedio	294.24	23.62	92.57%	

Tomado de: Empresa "Gestión Minera Integral S.A.C"

En base a estos resultados, se procedió a realizar un análisis comparativo de la evolución de la disponibilidad, antes y después de la aplicación del nuevo modelo de mantenimiento preventivo. En la Figura 18 se muestran los resultados de la comparación de la disponibilidad para cada una de los equipos de bajo perfil SCOOPTRAMS LH203 de 3.5 TN. Es evidente que existe una mejora en los indicadores de la disponibilidad después de la aplicación del nuevo modelo de mantenimiento preventivo. En ese sentido se puede establecer que el máximo valor de la disponibilidad es el que corresponde al equipo LH 2023-7 cuyo valor es 93.35%, mientras que el mínimo valor es el que corresponde al equipo LH203-12 cuyo valor es 91.51%.

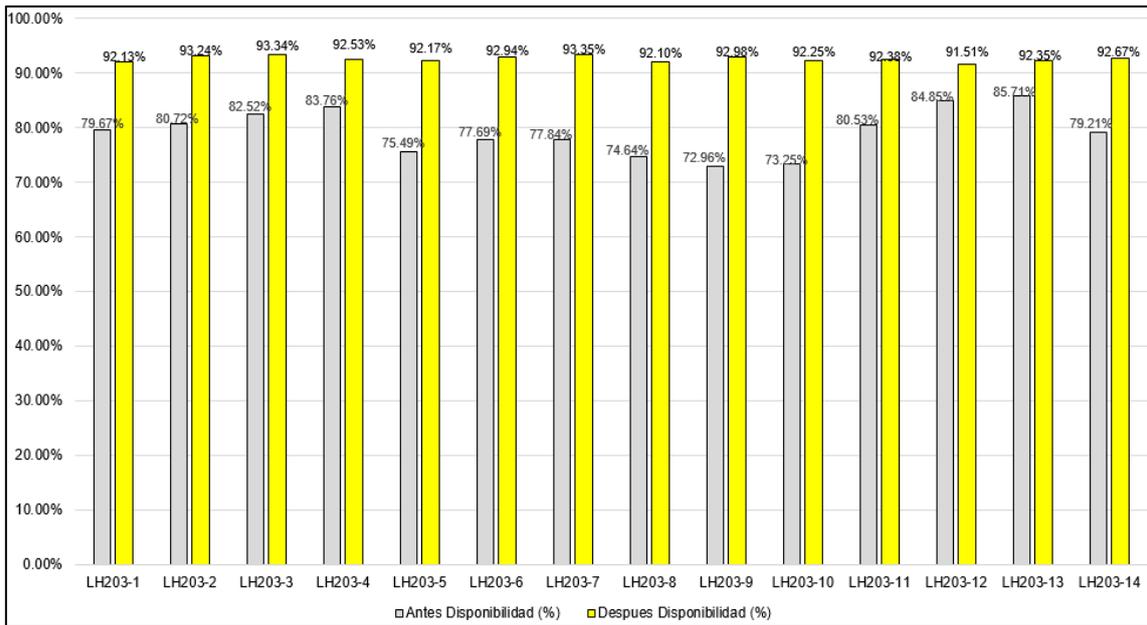


Figura 18. Comparación de la disponibilidad promedio de cada equipo LH203 antes y después de la aplicación del nuevo modelo de mantenimiento preventivo Tomado de: Elaboración propia

Finalmente haciendo una comparación de la disponibilidad promedio antes y después de la aplicación del modelo de mantenimiento preventivo, se tiene que la diferencia es de 13.5%, es decir la disponibilidad de los 14 equipos de bajo perfil LH203 aumentaron en promedio 13.5% con respecto al valor de la disponibilidad antes de la aplicación del modelo de mantenimiento preventivo propuesto.

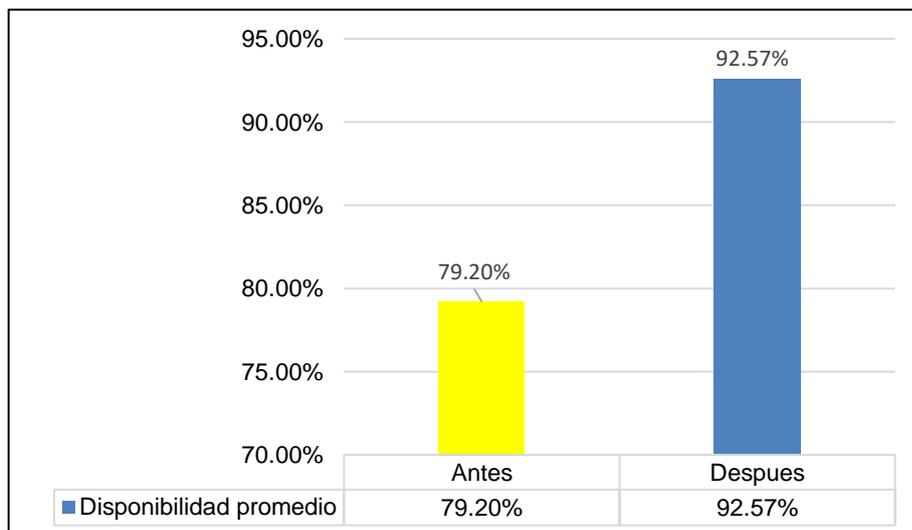


Figura 19. Análisis comparativo de la disponibilidad promedio Tomado de: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- Se concluye que se logró desarrollar el análisis de criticidad, el mismo que permitió identificar que los componentes que afectan en mayor medida la disponibilidad de los equipos de bajo perfil Scooptrams LH203 de 3.5 TN utilizados en la empresa GMI SAC son: Diésel/Eléctrico, la Bomba Hidráulica (Dirección/Freno), la Bomba Hidráulica (Levante/Volteo), la Caja de Transferencia, y el motor Hidrostático.
- Se concluye que el modelo de plan de mantenimiento propuesto para mejorar la disponibilidad de los equipos de bajo perfil Scooptrams LH203 de 3.5 TN., en la empresa GMI SAC está estructurado en base a 3 procesos, que a su vez se componen de 3 fases cada uno. En el proceso de planificación resaltan el desarrollo de programas de inspección y mantenimiento, generación de órdenes de trabajo e historial del equipo, así como de sus indicadores de mantenimiento. En el proceso de gestión de recursos resaltan el desarrollo de un presupuesto o estimación de costos anuales, y la generación de cupones o tickets por componentes de recambio. En el proceso de ejecución resaltan la elaboración de documentos de recepción y checklist de inspección diaria, así como la ejecución de pautas de mantenimiento y entrega de equipos de bajo perfil.
- Finalmente se concluye que se puede identificar la mejora de la disponibilidad al aplicar el nuevo plan de mantenimiento, propuesto para los equipos de bajo perfil Scooptrams LH203 de 3.5 TN., en la empresa GMI SAC, siendo éste de 13.5%. Es decir, la disponibilidad inicial fue de 79.20%, mientras que al aplicar el modelo del plan de mantenimiento propuesto fue de 92.57%.

RECOMENDACIONES

- En relación al análisis de criticidad, se recomienda implementar procedimientos de emergencia para dar respuesta rápida y de manera efectiva en caso alguno de los componentes identificados presente alguna falla. Es preciso señalar que este procedimiento de emergencia para equipos críticos debe ser expuesto a todo el personal encargado de su ejecución.
- En relación al modelo del plan de mantenimiento propuesto, se recomienda incluir una etapa de control y supervisión de forma trasversal a los 3 procesos que componen este modelo, esto con el fin de realizar el monitoreo de su cumplimiento, así como también con el propósito de realizar la mejora continua o feedback en caso se detecte el incumplimiento de alguna de sus etapas.
- En relación al impacto generado por el plan de mantenimiento preventivo propuesto sobre la disponibilidad de los equipos de bajo perfil Scooptrams LH203, se recomienda seguir monitoreando el MTTR y el MTBF, ya que, por motivos de tiempo, solo se considera información de los indicadores de mantenimiento de los meses de agosto y septiembre. Este impacto podrá ser corroborado con mayor exactitud a medida que se tenga mayores datos de la aplicación del modelo del plan de mantenimiento preventivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alca, J. (2020). Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, con el propósito de reducir el número de fallas de los cargadores frontales 950L, durante su operación en la unidad minera Pampahuay, Oyón-2020. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Lima.
- Alcivar, E. (2023). Diseño e implementación de mantenimiento preventivo para componentes hidráulico de maquinaria pesada. Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.
- Angulo, E., & Orellana, G. (2021). Mantenimiento para aumentar la disponibilidad de las máquinas. Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.
- Aquino, G. (2021). Diseñar un plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada para la constructora Vargas Soria CIA. LTDA. del cañon de baños de Agua Santa. Universidad Tecnológica Indoamérica, Ambato, Ecuador.
- Aquino, W., & Atalaya, S. (2020). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de equipos de la empresa GlobalTruck EIRL.- 2018-2019. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Arroyo, C., & Obando, R. (2022). Importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos. *Journal of Engineering Science*, 59-69.
- Ballesteros, H. (2019). Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa Re-Ingenieros S.S.S utilizada para proyectos de construcción de servicios de obras civiles. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Ocaña, Colombia.

- Benavides, L. (2022). Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo aplicado a la maquinaria pesada de la municipalidad distrital de Cajaruro, provincia de Utcubamba-Amazonas. Universidad Politécnica Amazónica, Bagua Grande.
- Chávez, B., & Robles, J. (2021). Plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos Hidráulicos en la flota de una empresa pesquera, Lima 2021. Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú.
- García, S. (2012). Ingeniería de Mantenimiento. Mexico: Renovetec.
- Machado, G. (2020). Plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada y vehículos de la empresa Multigrúas del Cesar S.A.S, ubicada en San Martín-Cesar. Universidad San Francisco de Paula Santander Ocaña, Ocaña, Colombia.
- Montilla, C. (2016). Fundamentos de mantenimiento industrial. Pereira: Editorial de Universidad Tecnológica de Pereira.
- Pérez, F. (2021). Conceptos Generales de la Gestión del Mantenimiento Industrial. Bucaramanga: Editorial USTA.
- Puluc, G. (2023). Diseño de investigación de un plan de mantenimiento preventivo para talanqueras hidráulicas del sistema de acceso vehicular en la ciudad de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.
- Quispe, N. (2023). Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de las palas de minería P&H 4100A. Universidad Señor de Sipan, Pimentel, Perú.
- Rivera, L. (2021). Elaboración del plan de mantenimiento para aumentar la disponibilidad del molino MRV de la Línea 01 de Celima S.A. Punta Hermosa-2019. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Lima.

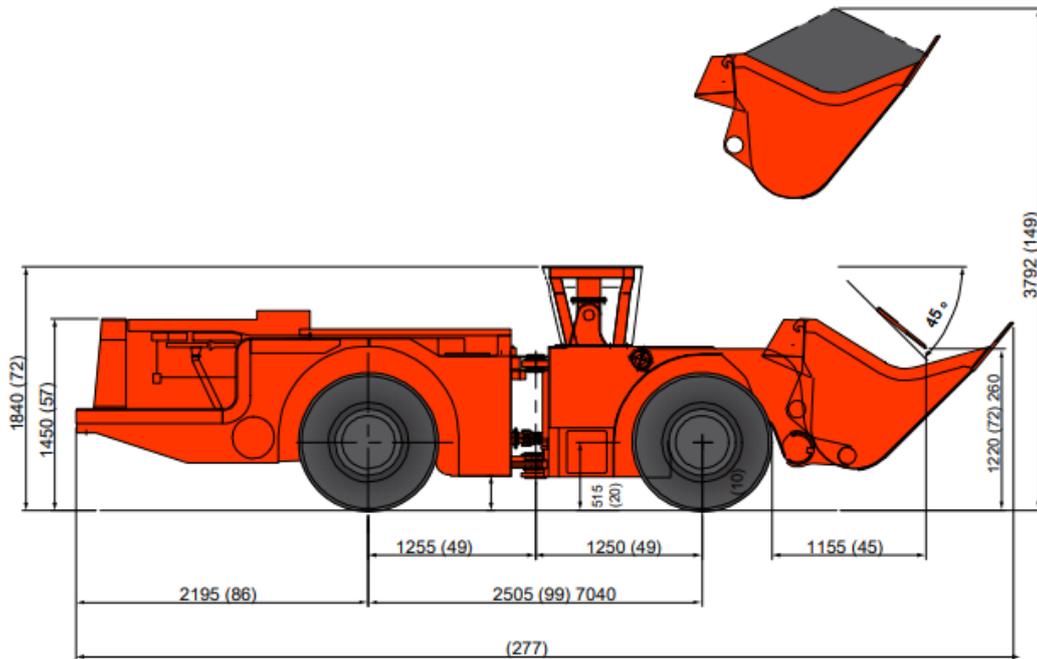
Tarrillo, L. (2020). Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa de construcción y administración S.A., provincia de Bagua-Amazonas. Universidad Politécnica Amazónica, Bagua Grande.

Torres, R. (2019). Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria de la empresa constructora Santo Domingo, siguiendo los lineamientos de las normas COVENIN 2500-93 y 3049-93. Universidad Valle del Momboy, San Rafael de Carbajal, Venezuela.

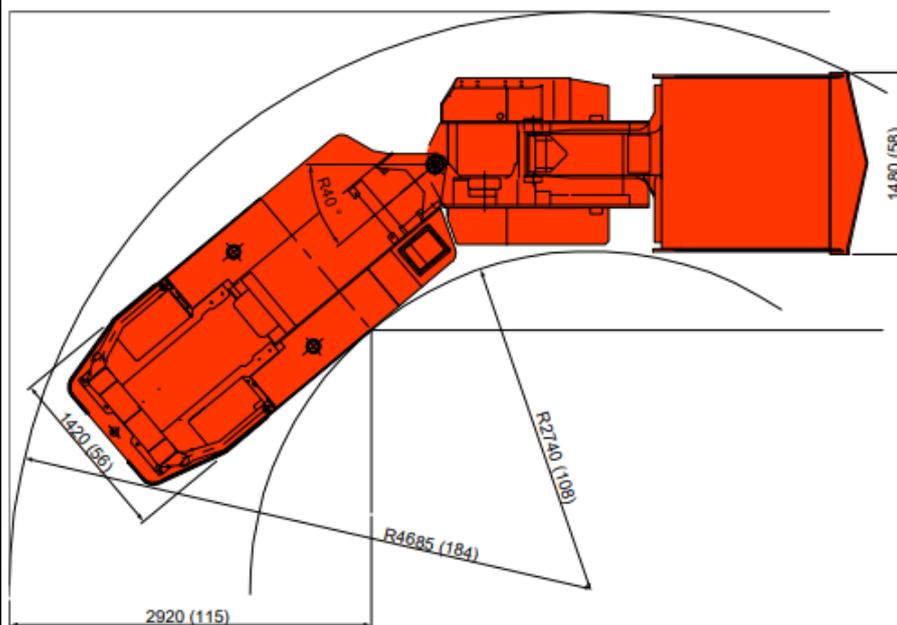
Uribe, S. (2020). Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora de una empresa textil. Ingeniería Industrial, 15-31.

ANEXOS

DIMENSIONES (vista lateral)



DIMENSIONES (vista superior)



RENDIMIENTO DE GRADO

Deutz BF6L914, 71,5 kW Calculado
con 2% de resistencia a la rodadura

Sin lock-up

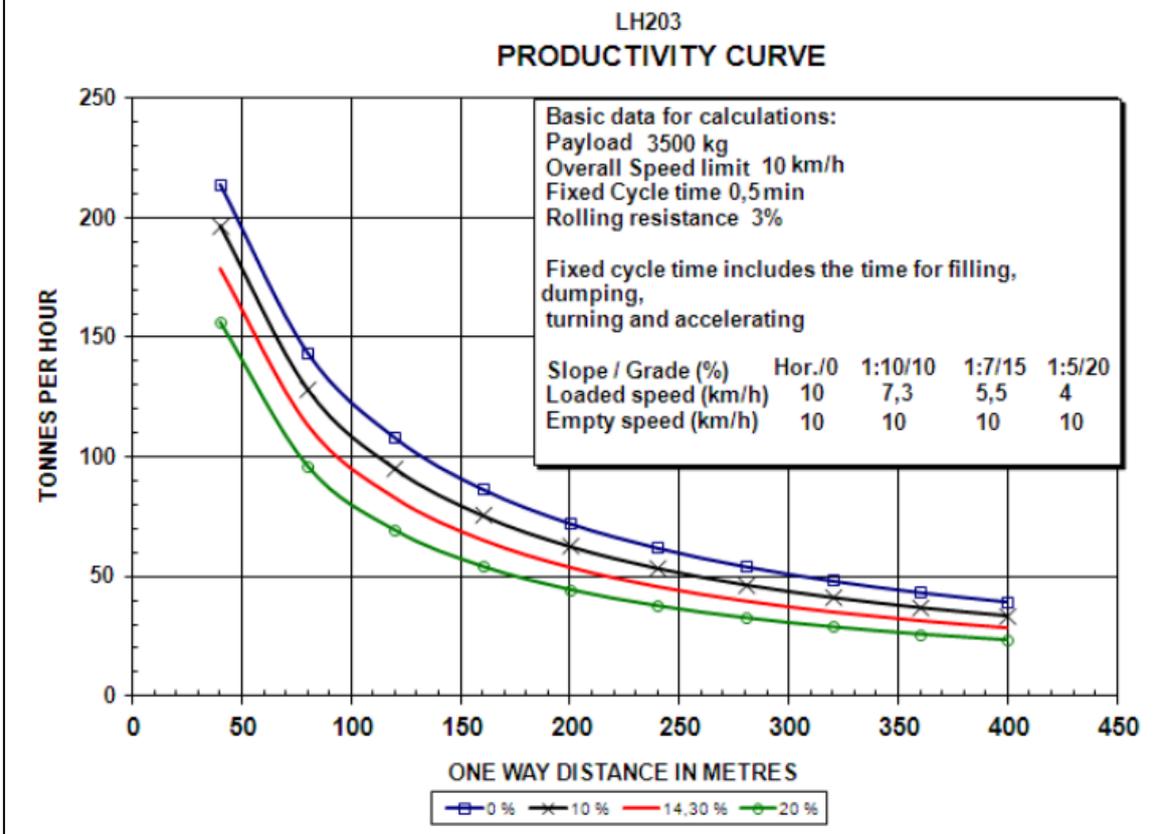
Vacío

por ciento de pendiente	0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.5	14.3	17
Proporción					01:12	1:10	1: 8	1: 7	
1 ^{er} engranaje (km / h)	5,6	5,4	5,3	5,2	5,1	5,0	4,9	4,8	4,7
2 ^{da} Delata del Norte engranaje (km / h)	10,6	10,2	9,8	9,4	9,1	8,7	8,1	7,6	6,9
3 ^{er} engranaje (km / h)	27,0	23,9	19,4	14,4	10,0				

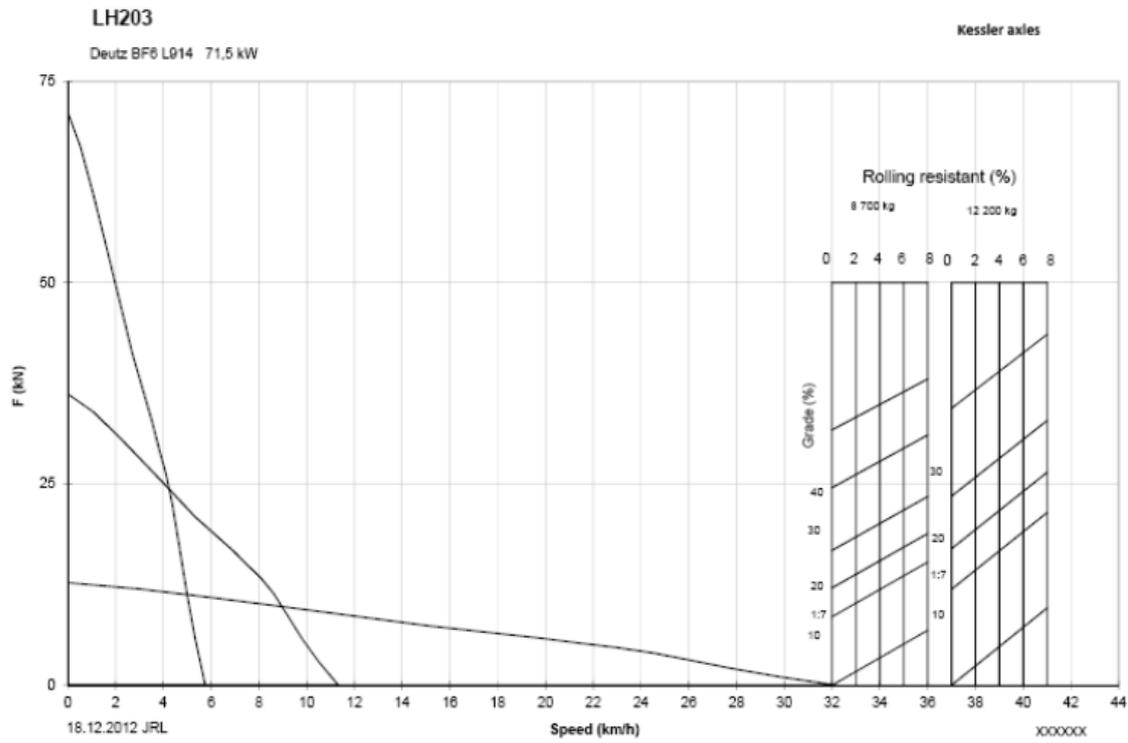
Cargado

por ciento de pendiente	0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.5	14.3	17
Proporción					01:12	1:10	1: 8	1: 7	
1 ^{er} engranaje (km / h)	5,5	5,3	5,2	5,0	4,9	4,8	4,6	4,5	4,3
2 ^{da} Delata del Norte engranaje (km / h)	10,3	9,8	9,3	8,8	8,1	7,3	6,3	5,5	4,5
3 ^{er} engranaje (km / h)	25,2	19,4	12,6						

curva de productividad



CURVA esfuerzo de tracción



ORDEN DE TRABAJO

AREA: Mantenimiento Técnico PERSONA: Cecilia NIVEL: Superficie
 LABOR: Falta FECHA: 20-11-23 HORA: 7:07 am
 JEFE DE GUARDIA / SUPERVISOR: Huayhua Paria Carlos TURNO: Di

1.- PERSONAS QUE EJECUTARA LA ORDEN	OCCUPACION	FIRMA	COPIAS
<u>Cecilia San R</u>	<u>Mer</u>	<u>[Firma]</u>	[]
<u>Juan Carlos L.</u>	<u>Mec.</u>	<u>[Firma]</u>	
<u>José Luis Rosales</u>	<u>Mec.</u>	<u>[Firma]</u>	

2.- ORDEN DE TRABAJO (Descripción de tareas a ejecutarse)

SC-01 Realizar Mant. Programado de 2.50 hr.

3.- RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD POR EL SUPERVISOR DIRECTO

- Hacer correcto uso de EPPS.
- Bloquear la zona de trabajo

[Firma]
 FIRMA DEL SUPERVISOR

Si Ud. No ha comprendido la orden de trabajo: ¡PREGUNTE! (SELECCIONE MAYOR RESPUESTA)
 Si Ud. No ha entendido la orden de trabajo: ¡NO INICIE EL TRABAJO!
 Si Ud. No ha entendido la orden de trabajo: ¡NO SE ARRIESGUE!

"NUESTRO TRABAJO ES TAN IMPORTANTE QUE DEBE HACERSE CON SEGURIDAD"

OPERADOR :				
HR. INICIO :	06.30 am	MECANICO :	Silder Mallapame H.	
HR FINAL :	07.15 am	SUPERVISOR MINA :	—	
PROCEDIMIENTO				
	BUENO	REGULAR	MALO	COMENTARIOS
PASO : 1 (MOTOR)				
1.- Verificar nivel de combustible	✓			—
2.- Verificar nivel de aceite		✓		Reponer el nivel de aceite
3.- Verificar estado y tension de correa de transmision	✓			—
4.- Verificar nivel de refrigerante	✓			—
5.- Verificar estado de filtros de admision			✓	Realizar cambio
6.- Verificar presiones, temperaturas y RPM(Alta / baja)	✓			—
7.- Verificar tapas de aceite, combustible y radiador	✓			—
8.- Verificar estado de enfriador y radiador	✓			—
PASO : 2 (TRANSMISION)				
1.- Verificar estado eje cardan (motor - transmision)	✓			—
2.- Verificar estado eje cardan (transmision - ejes)	✓			—
3.- Verificar accionamiento de marcha y velocidad	✓			—
4.- Verificar el estado del pedal de aceleracion (valvula)	✓			—
5.- Verificar presiones de embrague FNR (1", 2", 3", 4")	✓			—
PASO : 3 (FRENOS)				
1.- Realizar procedimiento de prueba de frenos	✓			7
2.- Verificar estado (valvula)	✓			—
3.- Verificar presiones de servicio y parqueo	✓			—
PASO : 4 (NEUMATICOS)				
1.- Posicion 1 (verificar presion. Tapa valvula y seguros)	✓	✓		Revisa neumaticos
2.- Posicion 2 (verificar presion. Tapa valvula y seguros)	✓			—
3.- Posicion 3 (verificar presion. Tapa valvula y seguros)	✓			—
4.- Posicion 4 (verificar presion. Tapa valvula y seguros)	✓			—
PASO : 5 (HIDRAULICOS)				
1.- Verificar fugas en cilindros hidraulicos	✓			7
2.- Verificar valvulas de control y pilotaje	✓			—
3.- Verificar topes de cilindros hidraulicos	✓			—
4.- Verificar presiones y caudales del sistema	✓			—
PASO 6 (ELECTRICO)				
1.- Verificar funcionamiento de sensores	✓			—
2.- Verificar funcionamiento de switch y botoneras	✓			—
3.- Verificar funcionamiento de luces, faros, etc.		✓		Revisar los faros delanteros
4.- Verificar estado de bateria y precalentadores	✓			—
CONSTANCIA DE PRUEBA DE FRENO				
	BUENO	REGULAR	MALO	COMENTARIOS
FRENO DE SERVICIO	✓			—
FRENO DE PARQUEO	✓			—
PROCEDIMIENTO :				
1	FRENO DE SERVICIO : Estacionar el equipo en posicion horizontal con el motor encendido, quitar el freno de parqueo y enganchar en segunda marcha, para luego aplicar el freno de servicio con motor acelerado por un periodo de 08 @ 10 seg El equipo no deba desplazarse			
2	FRENO DE PARQUEO : Comprobar con el testeador de parqueo			
OBSERVACIONES :				
Reponer los niveles de aceites, cambiar de filtro de admision, revisar el neumatico (nivel de aceite) y revisar los faros delanteros de stop, hacer falso contacto				