

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO A LA EMPRESA MONTAJES
VERTICALES SPA**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero en MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL CON LICENCIATURA
EN INGENIERÍA.

Alumno:

William Eduardo Acevedo Vega

Profesor Guía:

Mg. Ing. Carlos Baldi González



**CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE
MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO**

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO A LA EMPRESA MONTAJES VERTICALES SPA

Nombre del candidato(a): WILLIAM EDUARDO ACEVEDO VEGA

Carrera / Grado: INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL CON LICENCIATURA EN INGENIERÍA

Campus: JOSÉ MIGUEL CARRERA **Departamento:** MECÁNICA

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, CARLOS BALDI GONZALEZ en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 04-08-2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 04-08-2026

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

INDICE

INDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.....3

1. ANTECEDENTES GENERALES. 4

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA 4

1.1.1 Misión 4

1.1.2 Visión 5

1.1.3 Taller de la empresa 5

1.1.4 Bodega Central 6

1.1.5 Oficinas de personal administrativo 7

1.2 DESCRIPCIÓN DEL TALLER DE MANTENIMIENTO Y EQUIPOS 7

1.2.1 Nave de maestranza 7

1.2.2 Nave de mantenimiento 8

1.2.3 Ordenes de trabajo..... 8

1.2.4 Descripción de los equipos 10

1.2.5 Camionetas 11

1.2.6 Manipulador telescópico (Manitou)..... 12

1.2.7 Excavadora 13

1.2.8 Viga de perforación 14

1.2.9 Compresor..... 16

1.3 POLITICA DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA 17

1.3.1 Control de mantenimiento actual en el taller..... 17

1.3.2 Diagrama de mantenimiento..... 18

1.4 EVIDENCIA DE PERDIDAS OPERACIONALES 18

1.5 SÍNTESIS DE HALLAZGOS 19

CAPÍTULO 2: REVISIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DE
MANTENIMIENTO DEL TALLER MECÁNICO. 20

2. REVISIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DE
MANTENIMIENTO DEL TALLER MECÁNICO 21

2.1 CONTEXTO OPERACIONAL 21

2.1.1 Contratos adjudicados periodo 2020-2025..... 21

2.1.2 Identificación principal actividad productiva 22

2.1.3 Identificación de equipos involucrados en la fortificación de taludes 24

2.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD 25

2.3 MATRIZ DE RIESGOS 28

2.4 APLICACIÓN RCM..... 29

2.4.1 Descripción de los equipos seleccionados 30

2.4.1.1 Equipo de levante..... 30

2.4.1.2 Equipo de excavación	37
2.4.2 Implementación RCM a Excavadora Cat-320	48
2.4.3 Implementación RCM a Manitou MT-X1033	49
2.4.4 Análisis de hoja de decisión	51
CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA A LA GESTIÓN DE	
MANTENIMIENTO DEL TALLER MECÁNICO	52
3. PROPUESTA DE MEJORA A LA GESTIÓN DE	
MANTENIMIENTO EN EL TALLER MECÁNICO.....	53
3.1. EVALUACIÓN TÉCNICA	53
3.1.1. Mantenimiento actual de la empresa	53
3.1.2. Modificación de filosofía organizacional.....	54
3.1.3. Recursos Humanos Requeridos.....	55
3.1.4 Insumos y repuestos críticos	56
3.1.5 Herramientas y equipos necesarios	58
3.1.7. Propuesta de herramienta tecnológica	60
3.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA	62
3.2 COSTO INICIAL DE IMPLEMENTACIÓN	62
3.2. COSTOS ANUALES DEL PLAN.....	64
3.3. COSTO DE MANTENCIÓN PLANIFICADA	65
3.4 COSTO DE MANTENCIÓN CORRECTIVA	66
3.5. COSTOS DE MANTENCIÓN AL INICIO DE TURNO	68
3.6. FACTIBILIDAD ECONÓMICA.....	69
3.6.1. Escenario Actual del mantenimiento en la empresa	70
3.6.2. Escenario propuesto	70
3.6.3. Análisis de resultados	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1-1 Logo de Empresa	4
Figura 1-2 Taller empresa MONTAJES VERTICALES.....	5
Figura 1-3 Talle empresa MONTAJES VERTICALES interior	6
Figura 1-4 Bodegas y taller de maquinaria	6
Figura 1-5 Container tipo oficina personal administrativo	7
Figura 1-6 Ordenes de trabajo.....	9
Figura 1-7 Camionetas Montajes Verticales.....	11
Figura 1-8 Equipo de levante Montajes Verticales.....	12
Figura 1-9 Excavadora CAT 320 Montajes Verticales.....	14

Figura 1-10 Viga de perforación Montajes Verticales.....	15
Figura 1-11 Compresor Montajes Verticales.....	17
Figura 1-12 Diagrama de mantenimiento de la empresa Montajes Verticales. .	18
Figura 2-1 Diagrama de elevación y carga Manitou MT-X 1033	30
Figura 2-2 Actividad de shotcrete sobre manitou	32
Figura 2-3 Actividad de perforación sobre Manitou.....	34
Figura 2-4 Excavadora CAT 320 en obra Montajes Verticales.....	38
Figura 2-5 Principales componentes excavadora.....	41
Figura 3-1 Pirámide de roles y gestión de mantenimiento.	55
Figura 3-2 Bodega de neumáticos.....	56
Figura 3-3 Bodega de fungibles 1	57
Figura 3-4 Bodega de fungibles 2	57
Figura 3-5 Mesón del taller mecánico.	59
Figura 3-6 Panel principal Fracttal	61

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Información ordenes de trabajo	10
Tabla 2-1 Servicios de los últimos 5 años	22
Tabla 2-2 Caracterización de los servicios	23
Tabla 2-3 Matriz de riesgo, frecuencia x consecuencia.....	26
Tabla 2-4 Matriz de riesgo, parámetros 1	26
Tabla 2-5 Matriz de riesgo, parámetros 2	26
Tabla 2-6 Matriz de riesgo equipos de fortificación.....	27
Tabla 3-1 Plan de mantenimiento preventivo para Manitou y Excavadora.....	59
Tabla 3-2 Costo de adquisición de herramientas e instrumentos.....	63
Tabla 3-3 Costo adquisición de implementación del plan preventivo.....	65
Tabla 3-4 Costo anual estimado mantención planificada CAT320.	65
Tabla 3-5 Costo anual estimado mantención planificada Manitou MLTX-1033.	66
Tabla 3-6 Costo anual estimado mantención correctiva CAT320.....	67
Tabla 3-7 Costo estimado mantención correctiva Manitou MLT X-1033.	67
Tabla 3-8 Costo de mantención diaria en base al checklist.	68
Tabla 3-9 Costos estimados escenario actual para mantención de Manitou y Excavadora.....	70

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1 Tiempo de servicio de los contratos ejecutados en días.....	24
---	----

RESUMEN

KEYWORDS: RCM – ANALISIS DE CRITICIDAD – CHECK LIST - MANTENIMIENTO

El presente trabajo de titulación se desarrolló con el objetivo de proponer una mejora a la gestión de mantenimiento del taller mecánico de la empresa Montajes Verticales, orientado a optimizar la planificación, ejecución y control de las actividades de mantenimiento de los equipos utilizados en faenas mineras.

El estudio comienza con un análisis del contexto operacional de la empresa, considerando los contratos adjudicados, principales actividades productivas y las condiciones operacionales en minería, las cuales se caracterizan por ambientes de alta polución y superficies irregulares. A raíz del análisis de las actividades económicas de la empresa se identificó que la fortificación de taludes corresponde a la actividad con mayor impacto en la organización, permitiendo focalizar el estudio de los equipos.

Posterior al análisis del contexto operacional se realizó un diagnóstico del estado actual de la gestión de mantenimiento, evidenciando un enfoque predominantemente reactivo, con escasa planificación preventiva, falta de control formal de inventarios, registros poco confiables de mantenimiento y una alta dependencia del conocimiento empírico e informal del personal. Estas condiciones generan inefficiencias operativas, menor disponibilidad de los equipos y el aumento de costos asociados al mantenimiento correctivo.

Para abordar estas problemáticas, se aplican herramientas de gestión del mantenimiento, tales como análisis de criticidad, la matriz de riesgo y la metodología RCM, las cuales permitieron identificar y jerarquizar los equipos con mayor impacto en la operación. A raíz de este análisis se determinó que la excavadora CAT 320 y la Manitou MT-X 1033 son los activos más críticos desde un punto de vista operacional y seguridad.

En base a los resultados obtenidos se desarrolló un plan de mantenimiento preventivo, ajustado a la realidad del taller mecánico, definiendo tareas, frecuencias, responsables y recursos necesarios para su correcta ejecución. Además, se incorporaron propuestas de mejora, como la implementación de la metodología 5S en bodega y taller, el fortalecimiento del control de herramientas y repuestos, además de la adquisición de un software de mantenimiento.

Por último, se realizó una evaluación técnica y económica de la propuesta, considerando el gasto inicial de implementación como los costos recurrentes de operación.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria minera enfrenta desafíos en cuanto a eficiencia operativa, seguridad y sostenibilidad, lo que exige a sus empresas contratistas mantener altos estándares de calidad en la ejecución de sus servicios. Montajes Verticales, empresa dedicada a la prestación de servicios especializados a la industria minera, cumple un rol fundamental en el soporte técnico y operativo en diversas faenas del país.

Sin embargo, como en muchas organizaciones en crecimientos, la gestión del mantenimiento representa un área crítica que requiere de una planificación adecuada, procesos estandarizados y un control riguroso para garantizar la continuidad operativa, reducir tiempos muertos y mejorar el rendimiento de los activos. En el caso particular del taller mecánico de Montajes Verticales, se evidencian problemas como la falta de control de inventario y repuestos, la ocurrencia de tiempos de inactividad prolongados debido a fallas no planificadas. Estas situaciones impactan directamente en la disponibilidad de los equipos y en la calidad del servicio entregado a las empresas mandantes.

A través del diagnóstico realizado, que incluyó entrevistas al personal mecánico del taller, se identificó que las fichas de mantenimiento no reflejan con precisión la realidad operacional. Esto se debe a la ausencia de un control directo por parte de la jefatura, lo que provoca que los mecánicos registren los tiempos de reparación de manera aproximada y sin respaldo verificable. Asimismo, el estudio evidenció que, debido a la falta de un stock de repuestos, los tiempos reales de intervención deberían ser significativamente mayores a los que aparecen en los registros, lo que demuestra inconsistencias en la información y una falta de estandarización en el proceso de mantenimiento.

Este trabajo de titulación tiene como objetivo proponer una mejora integral a la gestión de mantenimiento del taller mecánico de Montajes Verticales, con el propósito de disminuir los tiempos de intervención, optimizar los recursos disponibles, mejorar la eficiencia operativa y reducir los periodos de inactividad mediante la aplicación de la metodología RCM. Para lograrlo, se desarrollará un diagnóstico del funcionamiento actual del taller, basado en visitas a terreno, auditorías y análisis documental, con el fin de identificar falencias, brechas de gestión y oportunidades de mejora. A partir de esta información, se elaborará un plan de mantenimiento preventivo orientado a estandarizar procedimientos y garantizar la aplicación sistemática de las tareas de mantenimiento.

OBJETIVO GENERAL

Proponer un plan de Mantenimiento al equipo crítico del taller de la empresa Montajes Verticales, basado en indicadores claves de desempeño enfocado a la mejora continua en los procesos de gestión del departamento de maquinaria.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el funcionamiento actual del taller mecánico de Montajes Verticales mediante visitas, auditorías y análisis documental, identificando problemas asociados.
- Analizar el estado actual de la gestión de mantenimiento del taller mecánico mediante herramientas como el análisis de criticidad y la metodología RCM, identificando oportunidades de mejora en la planificación y ejecución del mantenimiento.
- Proponer estrategias de mejora continua que incluyan la incorporación de herramientas tecnológicas evaluando la factibilidad técnica y económica del plan de mantenimiento diseñado.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.

1. ANTECEDENTES GENERALES.

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.

Montajes Verticales, empresa fundada el 18 de agosto del año 2018, está ubicada en el valle del Aconcagua, entre Los Andes y Rinconada, a 60 km de Santiago. La empresa desempeña una amplia gama de actividades, como lo son:

- Movimiento de tierra
- Piping
- Trabajos verticales
- Fortificación
- Ingeniería
- Construcción



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 17/08/2024.

Figura 1-1-1 Logo de Empresa

1.1.1 Misión

Desarrollar un servicio eficiente y eficaz a nuestros clientes, considerando como pilar fundamental la seguridad calidad y cuidado al medio ambiente, utilizando las herramientas de gestión y sobre todo ocupar nuestro mayor valor la experiencia de nuestros profesionales y el trabajo en equipo.

1.1.2 Visión

Ser una empresa de servicios especializados de Montajes Verticales Líder en Latinoamérica, enfocados principalmente a proyectos mineros, viales, hidroeléctricos, inmobiliaria y construcción, ocupándonos permanentemente del bienestar de nuestros trabajadores, mejora constante de los procesos, además del compromiso y responsabilidad con nuestros clientes, de esta manera obtendremos el liderazgo.

1.1.3 Taller de la empresa

La instalación cuenta con un taller de mantenimiento, el cual realiza mantenciones menores a diferentes equipos y maquinarias que se encuentran prestando servicios en faena, tales como:

- Excavadora
- Camionetas
- Equipos de levante
- Perforadora manual en viga hidráulica
- Retroexcavadora



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 17/08/2024.

Figura 1-2 Taller empresa MONTAJES VERTICALES



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 17/08/2024.

Figura 1-3 Talle empresa MONTAJES VERTICALES interior

En la figura 1-2 se aprecia la estructura donde se realizan labores de mantenimiento menor de los equipos mencionados.

Los mantenimientos que se realizan son principalmente cambio de neumáticos, cambio de aceite y piezas. Para actividades de mayor complejidad, la empresa terceriza estos servicios.

1.1.4 Bodega Central

Montajes Verticales SpA, cuenta con 9 bodegas tipo container, las cuales dos de ellas están destinadas para el almacenamiento de repuestos y herramientas utilizados en el taller.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 17/08/2024.

Figura 1-4 Bodegas y taller de maquinaria

1.1.5 Oficinas de personal administrativo

Montajes Verticales SpA cuenta con personal administrativo en sus dependencias, los cuales ejecutan sus labores en container tipo oficina.

El personal administrativo activo que ofrece sus servicios son los siguientes:

- Gerente general
- Gerente de finanzas
- Gerente de operaciones
- Gerente de mantenimiento
- Encargado de finanzas
- Ingeniero de Oficina Técnica
- Recursos Humanos



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 17/08/2024.

Figura 1-5 Container tipo oficina personal administrativo

1.2 DESCRIPCIÓN DEL TALLER DE MANTENIMIENTO Y EQUIPOS

El taller de la empresa Montajes Verticales, cuenta con 5 naves de mantenimiento, en donde se realizan diversas actividades.

1.2.1 Nave de maestranza

La primera nave está destinada para labores de maestranza, en dónde se realiza soldaduras, reparación de componentes, elaboración de estructuras metálicas.

El taller cuenta con una persona encargada de esta labor, el cual alterna cada una de las tareas según la premura con que se necesite.

Dentro de las tareas típicas que se realizan en esta área son:

- Reemplazo de dientes del balde de excavadoras

- Reparación de baldes de excavadora por desgaste
- Elaboración de protecciones para cabina de diferentes equipos
- Elaboración de estructuras metálicas como estanterías para sustancias peligrosas
- Elaboración de estructuras menores para contratos mineros.

1.2.2 Nave de mantenimiento

Las otras naves, están destinadas para el mantenimiento de los equipos, los equipos que se mantienen con periodicidad son:

- Manipulador telescópico
- Camionetas 4x4
- Viga de perforación
- Compresores
- Excavadoras

En esta área de la empresa cuenta con dos mecánicos, uno con la especialidad de mecánica general y otro electromecánico. Estos realizan tareas de mantenimiento de baja complejidad, como son cambio de componentes y averías menores, para otro tipo de mantenimiento se tercerizan los servicios.

1.2.3 Ordenes de trabajo

El taller de la empresa posee un registro rudimentario de las tareas de mantenimiento, solo se registran ordenes de trabajo a mano en un talonario para ser utilizar como respaldo ante cualquier eventualidad, no existiendo un registro digital de esta información.

Tabla 1-1 Información ordenes de trabajo

Item	Equipo	Patente	Tipo de mantención	Fecha	Trabajo Realizado
1	Camioneta MAXUS	STGC-55	Mantención correctiva	10-03-2025	Reemplazo diferencial con fisura
2	Camioneta MAXUS	STGC-55	Mantención preventiva programa	14-03-2025	Cambio filtro aire, partículas, petróleo, aceite - Cambio de aceite
3	Camioneta TOYOTA	RTTR-20	Mantención preventiva programa	17-03-2025	Cambio filtro aire, partículas, petróleo, aceite - Cambio de aceite
4	Camioneta MITSUBISHI	TDBZ-49	Mantención preventiva programa	25-03-2025	Cambio filtro aire, partículas, petróleo, aceite - Cambio de aceite
5	Camioneta MAXUS	STCF-66	Mantención correctiva	02-04-2025	Cambio tensor correa accesorio
6	CAMIONETA		Mantención preventiva programa	05-04-2025	Cambio filtro aire, partículas, petróleo, aceite - Cambio de aceite-Cambio pastilla de frenos
7	Camioneta TOYOTA	LPRG-42	Mantención preventiva programa	08-04-2025	Cambio filtro aire, partículas, petróleo, aceite - Cambio de aceite
8	Camioneta MAXUS	STCF-66	Mantención preventiva programa	11-04-2025	Cambio filtro aire, partículas, petróleo, aceite - Cambio de aceite
9	Camioneta MAXUS	STCD-57	Mantención preventiva programa	12-04-2025	Cambio filtro aire, partículas, petróleo, aceite - Cambio de aceite
10	Manitou MTX 1033	RDPL-57	Mantención correctiva	23-04-2025	Reemplazo de focos de faena, Reparación cableado luz baja
11	Camioneta MAXUS	STCF-66	Mantención correctiva	29-04-2025	Cambio de bomba dirección hidráulica
12	Compresor Atlas		Mantención correctiva	21-05-2025	Reemplazo bomba de combustible
13	Camioneta MAXUS	STGC-55	Mantención preventiva programa	23-05-2025	Cambio filtro aire, partículas, petróleo, aceite - Cambio de aceite
14	Camioneta MAXUS	STCF-66	Mantención correctiva	23-05-2025	Reapriete de abrazaderas sueltas en tubo de escape salida de multiple
15	Camioneta TOYOTA	RRRX-39	Mantención preventiva programa	03-06-2025	Cambio filtro aire, partículas, petróleo, aceite - Cambio de aceite
16	Manitou MTX 1033	RDPL-57	Mantención preventiva programa	04-08-2025	Cambio Filtro Hidraulico - Cambio Filtro de aceite - Cambio de Aceite
17	Manitou MTX 1033	RDPL-38	Mantención preventiva programa	22-08-2025	Cambio Filtro Hidraulico - Cambio Filtro de aceite - Cambio de Aceite

Fuente: Elaboración propia en base a ordenes de trabajo existentes en Montajes Verticales

La información que se puede extraer de estas órdenes de trabajo son:

- Fecha de Inicio de mantenimiento
- Fecha de término de mantenimiento
- Identificación del equipo
- El tipo de mantención realizada
- Descripción del trabajo realizado
- Tiempo de mantención

1.2.4 Descripción de los equipos

A continuación, se presentan las tareas de mantenimiento ejecutadas en el taller mecánico para cada equipo, junto con una breve descripción de su contexto operacional. Esta información permitirá establecer las condiciones de funcionamientos y los requerimientos específicos de cada activo, a fin de aplicar de manera adecuada las actividades de mantenimiento preventivo correspondientes.

1.2.5 Camionetas

Las camionetas son utilizadas principalmente para el transporte de personal hacia las faenas y para la movilización dentro de estas. La flota está compuesta por diferentes marcas y modelos, lo cual responde a los requerimientos específicos establecidos por las empresas mandantes, ya que cada minera posee sus propios estándares operaciones y requisitos de seguridad que deben ser cumplidos por los vehículos en servicio.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 17/08/2024.

Figura 1-7 Camionetas Montajes Verticales

Las actividades de mantenimiento ejecutadas en el taller tienen como objetivo asegurar la operatividad, seguridad y prolongar la vida útil de las camionetas de servicio. Entre las principales tareas se incluyen:

Mantenimiento preventivo:

- Revisión y cambio de aceite de motor y filtros
- Control y reposición de niveles de refrigerante, líquido de frenos, dirección hidráulica, aceite de transmisión
- Inspección y ajuste de sistema de frenos
- Verificación de sistema eléctrico y batería
- Revisión de luces, señalizaciones y sistema de seguridad
- Revisión de neumáticos
- Inspección del sistema de suspensión y dirección
- Lubricación de componentes móviles

Mantenimiento Correctivo:

- Sustitución de componentes dañados o fuera de servicio
- Reparación de sistemas eléctricos, mecánicos o hidráulicos
- Cambio de piezas por desgaste

1.2.6 Manipulador telescópico (Manitou)

El manipulador telescópico se utiliza principalmente en los trabajos de perforación en taludes, a este equipo se le instala una jaula equipada con una viga de perforación, permitiendo el trabajo óptimo del perforista junto a su ayudante durante la ejecución de las labores. Este equipo opera de manera constante en ambientes con altos niveles de polución.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 15/03/2024.

Figura 1-8 Equipo de levante Montajes Verticales

El mantenimiento se ejecuta a partir de las recomendaciones del fabricante, según sus horas de uso. Las actividades que se realizan en el taller son las siguientes:

Mantenimiento preventivo:

- Inspección visual general del equipo, en dónde se verifica el estado de la estructura, soldaduras, pernos, pasadores y fijaciones.
- Revisión del motor diésel, donde se controlarán niveles de aceite, refrigerante y líquido hidráulico
- Cambio de aceite y filtros según las horas de trabajo establecidas por el fabricante

- Verificación del sistema hidráulico
- Inspección del sistema de transmisión y tracción, en dónde se verificará el estado de ejes, diferenciales y lubricantes.
- Revisión del sistema de frenos, dirección y neumáticos
- Control de sistema eléctrico
- Lubricación de puntos móviles

Mantenimiento correctivo:

- Reemplazo de componentes hidráulicos dañados, como mangueras, sellos, válvulas, bombas o cilindros.
- Sustitución de piezas mecánicas desgastadas
- Reparación o cambio de elementos eléctricos o electrónicos defectuosos, como los sensores, relés, tablero de control
- Ajuste o reparación de sistema de transmisión y frenos
- Reparación estructural menor en brazo telescópico

1.2.7 Excavadora

Las excavadoras son empleadas principalmente en las labores de perfilamiento de taludes y movimiento de tierra dentro de los distintos contratos ejecutados por la empresa. En determinadas ocasiones, estos equipos son adaptados con una viga de perforación, lo que les permite apoyar en las tareas de perforación cuando así lo requieren las condiciones del proyecto. Debido a la exigencia operacional y a la exposición a ambientes de alta carga de material particulado, estos equipos demandan una planificación de mantenimiento preventivo que asegure su rendimiento y disponibilidad continua en obra.

El mantenimiento que se realiza en el taller son intervenciones periódicas de baja complejidad, orientadas a prevenir fallas y mantener las condiciones óptimas de operación, estas tareas se realizan según las indicaciones del fabricante, las cuales son:

- Inspección visual del equipo, verificando el estado estructural, fijaciones, pasadores y pernos de sujeción.
- Revisión de niveles de aceite de motor, hidráulico, refrigerante, aceite de giro.
- Cambio de aceite de motor y reemplazo de filtro de aceite.
- Limpieza o reemplazo del filtro de aire
- Inspección del sistema hidráulico, en el cual se busca detectar fugas, revisar mangueras, acoples y cilindros.

- Verificación del sistema de enfriamiento, como es el estado del radiador, correas y nivel de refrigerante.
- Revisión y limpieza del sistema eléctrico
- Inspección de orugas y tren de rodado
- Lubricación de todos los puntos de engrase del brazo, balde, pluma y chasis
- Limpieza general del equipo, cabina y componentes externos



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 23/11/2024.

Figura 1-9 Excavadora CAT 320 Montajes Verticales

1.2.8 Viga de perforación

La viga de perforación es un equipo fundamental en las labores de perforación de taludes y sostenimiento de terrenos, permitiendo la instalación precisa de anclajes, pernos o barras de refuerzo, según los requerimientos del proyecto. Este sistema se acopla habitualmente a manipuladores telescópicos o excavadoras, dependiendo de las condiciones de trabajo y del tipo de frente de excavación. La viga cobra principal importancia cuando las perforaciones deben ser de longitudes mayores a 8 metros, ya que un equipo manual no logra tal avance.

Debido a la exposición constante a vibraciones, esfuerzos mecánicos repetitivos y ambientes con alta concentración de polvo y humedad, la viga requiere una inspección y mantenimiento preventivo periódico, enfocado principalmente en la revisión de sus componentes estructurales, conexiones hidráulicas y elementos de fijación.

El mantenimiento que se realiza en la viga de perforación tiene como objetivo garantizar la integridad estructural, continuidad operativa y seguridad en el sistema de perforación con el fin de evitar desviaciones, fallas mecánicas y accidentes durante la operación. Las actividades que se realizan en el taller son:

Mantenimiento preventivo:

- Inspección visual general de la estructura, detectando fisuras, deformaciones y corrosión.
- Limpieza integral de la viga, eliminando residuos de polvo, grasa, lodo o material particulado que pueda afectar al funcionamiento.
- Aplicación de pintura industrial
- Revisión del sistema de fijación y anclaje, controlando el estado de pernos, tuercas, pasadores.
- Lubricación de guías, rieles y puntos de apoyos móviles

Mantenimiento correctivo:

- Reparación de soldaduras de fisuras detectadas mediante inspección visual o ensayos no destructivos.
- Sustitución de pernos, pasadores o elementos de sujeción dañados



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 17/08/2024

Figura 1-10 Viga de perforación Montajes Verticales.

1.2.9 Compresor

Los compresores en la empresa son utilizados cuando se realizan labores de perforación, impulsando herramos de perforación de perforadoras neumáticas y a su vez se inyecta el aire comprimido para retirar el detritus producto de la actividad.

Las actividades de mantenimiento se centran en asegurar su correcto funcionamiento, eficiencia operativa y prolongar su vida útil, evitando fallas que afectan la continuidad de los servicios en faena. Las principales actividades de mantenimiento que se ejecutan son las siguientes:

Mantenimiento Preventivo:

- Inspección visual general del equipo, verificando estado estructural, posibles fugas y fijaciones.
- Control y cambio de aceite según fabricante
- Reemplazo de filtros de aceite, filtro separador y filtro de aire de admisión
- Verificación y limpieza del radiador de aceite y del intercambiador de calor.
- Revisión y ajuste de las correas de transmisión, controlando su tensión y alineación
- Verificación del sistema eléctrico y de arranque
- Comprobación de funcionamientos de válvulas de seguridad, presostatos, manómetros y termómetros
- Limpieza de equipo

Mantenimiento Correctivo:

- Reemplazo de componentes deteriorados o fuera de especificación, como lo son válvulas, mangueras, sensores, separadores, correas o rodamientos.
- Reparación de fugas en conexiones o líneas de aire comprimido
- Sustitución del motor diésel en caso de fallas mayores.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 17/08/2024

Figura 1-11 Compresor Montajes Verticales.

1.3 POLITICA DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA

1.3.1 Control de mantenimiento actual en el taller

En la actualidad, el taller no dispone de un software o sistema digital asociado a la gestión de mantenimiento de los equipos. Por esta razón, las actividades de mantenimiento preventivo se gestionan de forma manual, mediante el registro diario de horómetros. Para mantener la información actualizada, el encargado del taller debe contactar a los operadores y conductores a primera hora de cada jornada, recopilando los valores del horómetro de cada equipo.

Cuando el horómetro de una maquina o vehículo alcanza las horas establecidas por el fabricante para su próxima intervención, se coordina su ingreso al taller para la ejecución del mantenimiento preventivo correspondiente. En casos donde el equipo se encuentre en faena y no es posible trasladarlo, se envía un mecánico al terreno para realizar la mantención in situ.

El principal inconveniente que se tiene respecto a las mantenciones programadas según fabricante, es que estas están pensadas para el uso de la maquinaria en condiciones “normales” y genéricos, dejando de lado diferentes factores que puedan acelerar el desgaste de los componentes del equipo en condiciones específicas, incurriendo en gastos innecesarios, reemplazando componentes que aún sirven u omitiendo otros que por consecuencia de su uso y las condiciones de terreno y operatividad se desgastan de forma acelerada.

1.3.2 Diagrama de mantenimiento

La empresa cuenta actualmente con una secuencia definida para la ejecución de labores de mantenimiento, la cual se activa cuando los equipos presentan fallas, detenciones inesperadas o se debe someter al mantenimiento programado por fabricante. Sin embargo, es en esta misma secuencia donde se encuentran problemas asociados a la veracidad de los datos de los documentos entregados con el detalle de los trabajos, entre otros problemas que se indicaran en el siguiente capítulo.

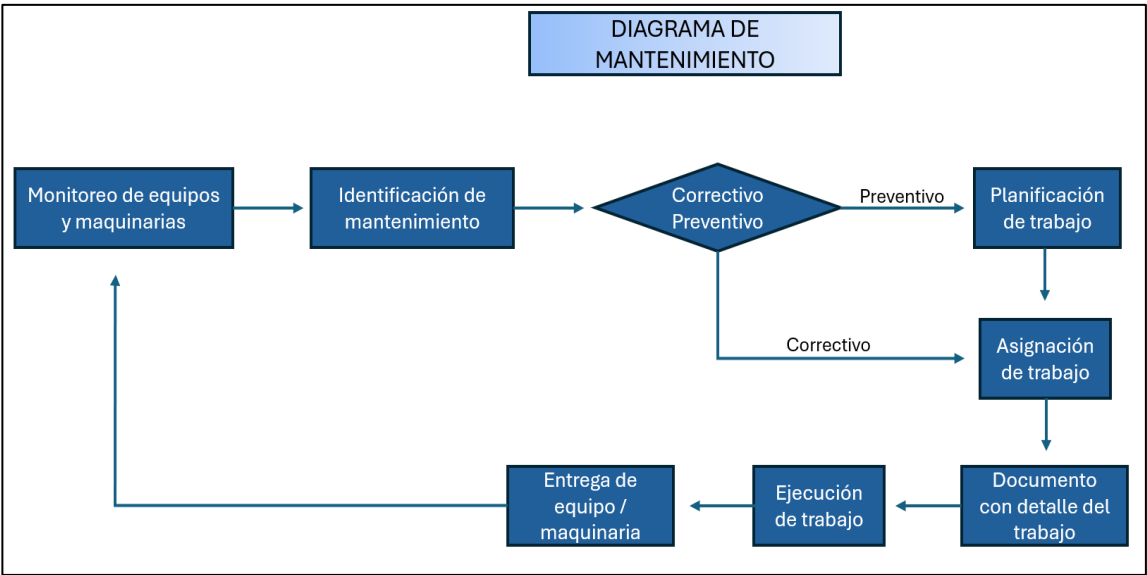


Figura 1-12 Diagrama de mantenimiento de la empresa Montajes Verticales.

Fuente: Elaboración propia

1.4 EVIDENCIA DE PERDIDAS OPERACIONALES

A partir del levantamiento de información realizada durante el diagnostico inicial, fue posible evidenciar la existencia de fallas recurrentes y tiempos de detención no planificados en los equipos de la empresa Montajes Verticales. Aunque la organización no cuenta con registros históricos completos ni tampoco con indicadores formales de mantenimiento, mediante la revisión de órdenes de trabajo disponibles, entrevistas al personal del talles y observación directa en terreno, se identificaron interrupciones frecuentes de la operación asociadas a fallas mecánicas, hidráulicos y a la espera de repuestos o servicios externos.

Además, se evidenció que los tiempos de intervención registrados no siempre reflejan la duración real de las detenciones, debido a la falta de control formal y a la ausencia de un sistema estructurado de gestión de mantenimiento. Esta forma de realizar

el trabajo genera una subestimación de los tiempos perdidos reales, afectando la visibilidad del impacto del mantenimiento en la continuidad operacional.

La evidencia levantada permite concluir que existen pérdidas operacionales asociadas a fallas y detenciones, las cuales justifican la necesidad de aplicar herramientas de análisis, tales como el análisis de criticidad y la metodología RCM, las que serán desarrolladas en los siguientes capítulos del presente trabajo de titulación.

1.5 SÍNTESIS DE HALLAZGOS

Durante las visitas a la empresa Montajes Verticales, fue posible identificar que la organización desarrolla sus actividades principalmente en faenas mineras, realizando contratos asociados a la fortificación de taludes y movimiento de tierra, lo que implica el uso constante de equipos en entornos de alta exigencia operacional y con altos requerimientos de disponibilidad. El taller cumple un rol fundamental en el soporte de estas operaciones, siendo responsable del mantenimiento de equipos que operan en ambientes de alta polución y en superficies irregulares.

El diagnóstico inicial evidenció que la gestión del mantenimiento se encuentra orientada principalmente a un enfoque reactivo, donde las intervenciones se realizan en respuesta a fallas ocurridas en faena. Se identificaron debilidades en la planificación preventiva, ausencia de registros históricos confiables falta de control formal de inventarios y herramientas, y una alta dependencia del conocimiento empírico del personal del taller. Estas condiciones dificultan la toma de decisiones operativas, incrementan los tiempos de detención de equipos y generan mayores costos asociados a reparaciones no planificadas y servicios externos.

Además, se evidenció que no existe una priorización formal de los equipos según su impacto en la operación, lo que impide focalizar los recursos de mantenimiento en aquellos activos que resultan críticos para la continuidad operacional y la seguridad en faena. Esta condición exige la necesidad de aplicar herramientas de gestión del mantenimiento que permitan analizar el estado actual de los equipos, jerarquizarlos en función de su criticidad y definir estrategias de mantenimiento acordes a su contexto operacional.

**CAPÍTULO 2: REVISIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DE
MANTENIMIENTO DEL TALLER MECÁNICO.**

2. REVISIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DE MANTENIMIENTO DEL TALLER MECÁNICO

2.1 CONTEXTO OPERACIONAL

Es necesario para dar comienzo al presente estudio entender el contexto operacional de Montajes Verticales SpA, ya que al ser una empresa contratista, ofrece múltiples servicios a diversas faenas del país, por lo que no existe un comportamiento lineal en el uso de las maquinarias y equipos.

Con el objetivo de poder comprender mejor los equipos que intervienen en cada uno de los trabajos adjudicados, es que se hará un análisis de los contratos adjudicados en los últimos 5 años. Se tomará este horizonte de tiempo, ya que algunas empresas mineras exigen equipos con una antigüedad máxima de 5 años o 600.000 km, de lo contrario, esta vida útil puede ser extendida hasta 10 años previa evaluación técnica, así lo indica el Estándar de Control de Fatalidades número 3 (ECF 3) de CODELCO.

De forma preliminar, todas las actividades productivas se desarrollan en faenas mineras, ambientes caracterizados por su alta exigencia operacional, ofreciendo condiciones de polución, superficies irregulares y extensas jornadas de trabajo

2.1.1 Contratos adjudicados periodo 2020-2025

A continuación, se realiza un resumen de los contratos adjudicados durante el periodo 2020-2025, en dónde se señalará el nombre del contrato, duración y una breve descripción de los trabajos realizados, con el fin de identificar la naturaleza de los trabajos y los equipos que intervinieron en la ejecución del servicio.

La información fue recopilada mediante una visita a las instalaciones, instancia en la cual se sostuvo una reunión con el Ingeniero de Proyectos de la empresa, quien facilitó el acceso a los contratos adjudicados dentro del periodo de tiempo señalado.

El Ingeniero de Proyectos, como responsable del estudio y análisis técnico de cada iniciativa, colaboró en la elaboración de la siguiente tabla, aportando información clave para describir las principales actividades ejecutadas en cada uno de los contratos.

Con el fin de identificar los equipos involucrados y determinar la actividad productiva predominante, se confeccionará una tabla que permita visualizar la relación entre los trabajos realizados y los equipos utilizados. La identificación de dicha actividad permitirá focalizar el análisis de los equipos más relevantes. Para ello, se considerará como parámetro la duración acumulada de los contratos según la duración de los servicios prestados.

Tabla 2-1 Servicios de los últimos 5 años

Nombre del contrato	Duración	Descripción
Servicio de Saneamiento de Infraestructura, acuífutura y fortificación.	4 meses	Eliminar y controlar el desprendimiento o escurrimiento de rocas y/o materiales de la cuesta, mediante labores de saneamiento, acuífutura y fortificación.
Camino definitivo Tranque el Mauro	11 meses	Acuífutura y fortificación de taludes, desbroce del área.
Mejoramiento Helipiscina – Obras Civiles Fortificación de taludes del proyecto	4 meses	Mejoramiento estructural Helipiscina con fortificación.
Servicio de instalación de sistema de control de taludes y caída de rocas	6 meses	Saneamiento mecanizado de taludes, fortificación perno – malla-planchuela.
Saneamiento de infraestructura, acuífutura y fortificación acceso mina cuesta nivel 840 MFL	2 meses	Saneamiento y fortificación de talud en el acceso a mina.
Servicio de saneamiento de taludes Mina Rajo-DAND	60 meses	Saneamiento mecanizado en los bancos y laderas. Fortificación mediante malla, perno, shotcrete.
Limpieza Canaleta Aguas Lluvias	3 meses	Limpieza canaleta de aguas lluvias y elaboración canaleta.
Refuerzo Muro de Relaves El Inglés	5 meses	Refuerzo talud de tranque de relaves.
Readecuación e impermeabilización de piscina	5 meses	Cambio de geometría e impermeabilización de piscina.
Readecuación Botadero Planta el Salado	4 meses	Movimiento de tierra para estabilidad de botadero de ripios.
Fortificación canal de contorno	6 meses	Fortificación canal de contorno y limpieza pata de talud.

Fuente: Elaboración propia en base a licitaciones adjudicadas

2.1.2 Identificación principal actividad productiva

Los trabajos realizados por la empresa se pueden clasificar en dos grupos principales, movimiento de tierra y fortificación, ambas actividades presentan equipos

claves para el desarrollo del trabajo, además de equipos y maquinarias comunes presentes en cada una de las faenas.

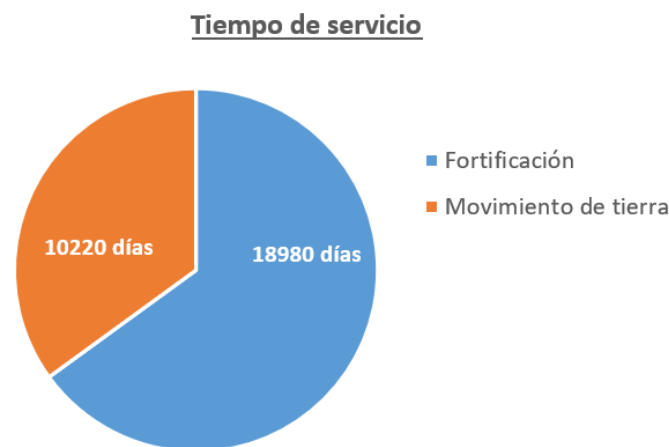
Las maquinarias que intervienen en cada una se detallarán a continuación para dar un entendimiento acabado en cuanto a su periodicidad en la operación.

Tabla 2-2 Caracterización de los servicios

Nombre del contrato	Equipos involucrados	Tiempo de servicio en día	Naturaleza del servicio
Servicio de Saneamiento de Infraestructura, acuífutura y fortificación.	Camionetas, Generador eléctrico, Excavadora, Manipulador telescópico, Viga de perforación, compresor	1460	Fortificación
Mejoramiento Helipiscina – Obras Civiles Fortificación de taludes del proyecto	Camionetas, Generador eléctrico, Excavadora, Viga de Perforación, compresor	1460	Fortificación
Servicio de instalación de sistema de control de taludes y caída de rocas	Camionetas, Generador eléctrico, Excavadora, Manipulador telescópico, Viga de perforación compresor.	2190	Fortificación
Saneamiento de infraestructura, axuífutura y fortificación acceso mina cuesta nivel 840 MFL	Camionetas, Generador eléctrico, Manipulador telescópico, Viga de perforación, Compresor	730	Fortificación
Servicio de saneamiento de taludes Mina Rajo- DAND	Camionetas, Generador eléctrico, Manipulador telescópico, Viga de perforación, Compresor	10950	Fortificación
Fortificación canal de contorno	Camionetas, Generador eléctrico, Manipulador telescópico, Viga de perforación, Compresor	2190	Fortificación
Camino definitivo Tranque el Mauro	Camionetas, Excavadora, Manipulador telescópico	4015	Movimiento de tierra
Limpieza Canaleta Aguas Lluvias	Camionetas, Excavadora	1095	Movimiento de tierra
Refuerzo Muro de Relaves El Inglés	Camionetas, Excavadora	1825	Movimiento de tierra
Readecuación e impermeabilización de piscina	Camionetas, Excavadora	1825	Movimiento de tierra
Readecuación Botadero Planta el Salado	Camionetas, Excavadora	1460	Movimiento de tierra

Fuente: Elaboración propia en base a contratos adjudicados

A partir de la Tabla 2-2, se observa que la mayor parte de los contratos corresponde a labores de fortificación de taludes, acumulando un total de 18.980 días de servicio, en comparación con las actividades de movimiento de tierra, que registran un total de 10.220 días. Esta diferencia evidencia que la fortificación constituye la principal actividad productiva desarrollada por la empresa en el periodo analizado.



Fuente: Elaboración propia en base a contratos adjudicados por empresa
Gráfico 2-1 Tiempo de servicio de los contratos ejecutados en días.

El tiempo de servicio también se puede representar en porcentajes, en dónde se indica que las labores de fortificación de taludes representan aproximadamente al 65% del total, mientras que las actividades de movimiento de tierra corresponden al 35%, lo que confirma el a la fortificación como principal actividad productiva de la empresa.

Otro aspecto relevante del análisis es que los trabajos asociados al movimiento de tierra presentan, en general, una menor duración contractual, lo que se traduce en un menor tiempo de utilización de la maquinaria en obra. Por el contrario, las labores de fortificación de taludes corresponden a contratos de mayor extensión, lo que se explica por la propia naturaleza del servicio, que requiere de actividades adicionales. Esta diferencia tiene un impacto directo en la planificación del mantenimiento y en la gestión de la disponibilidad de los equipos.

Una vez definida la actividad productiva predominante de la empresa, es posible comenzar a identificar los equipos que presentan mayor impacto en el desarrollo de dicha actividad, los cuales resultan fundamentales para la continuidad operacional, por lo tanto, deben ser considerados prioritarios dentro del análisis de mantenimiento.

2.1.3 Identificación de equipos involucrados en la fortificación de taludes

De acuerdo con el análisis de las actividades productivas desarrollados anteriormente, se determina que los equipos que principalmente intervienen en los contratos de fortificación son los siguientes:

- Camionetas
- Generador eléctrico

- Compresor
- Equipo de Levante
- Viga de perforación
- Excavadora

Teniendo identificado los equipos, se comenzará a realizar el análisis de criticidad de los equipos, el cual nos permitirá clasificar los equipos según su nivel de impacto en la operación, considerando variables como seguridad, producción, costos y consecuencias de detención.

2.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Para el desarrollo del análisis de criticidad se utilizará una metodología de evaluación basada en criterios técnicos y operaciones, la cual permite asignar un nivel de importancia a cada equipo según su influencia en la ejecución del servicio.

El análisis de criticidad tiene como finalidad clasificar los equipos utilizados, permitiendo priorizar recursos y definir los equipos que serán considerados críticos para la aplicación del plan de mantenimiento y RCM.

Para el desarrollo del análisis se utilizarán los siguientes criterios de evaluación:

- Frecuencia de falla (F)
- Impacto Operacional (IO)
- Impacto por flexibilidad operacional (FO)
- Impacto Costo de Mantenimiento (CM)
- Impacto Seguridad, Higiene, Ambiente (SHA)

La información referente a la frecuencia de fallas obtenida a partir de las ordenes de trabajo físicas fue limitada, debido a que los registros anteriores se encontraban extraviados. Sin embargo, mediante entrevistas al personal de mantenimiento, fue posible establecer rangos aproximados de ocurrencia de fallas para los distintos equipos, considerando un horizonte de tiempo más amplio. La experiencia del personal permitirá complementar la falta de registros históricos completos, y establecer una evaluación técnica coherente.

Tabla 2-3 Matriz de riesgo, frecuencia x consecuencia.

		Consecuencia				
		1	2	4	8	16
Frecuencia	4	4	8	16	32	64
	3	3	6	12	24	48
	2	2	4	8	16	32
	1	1	2	4	8	16

Nivel de Riesgo	Color
No critico	
Medianamente Critico	
Critico	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-4 Matriz de riesgo, parámetros 1

Frecuencia de fallos		
Puntaje	Condición	Características
1	Muy baja	1 Ocurrencia posterior a 12 meses
2	Baja	Al menos 1 ocurrencia entre 6 y 12 meses
3	Media	Al menos 1 ocurrencia entre 3 y 6 meses
4	Alta	Al menos 1 ocurrencia entre 1 y 3 meses

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-5 Matriz de riesgo, parámetros 2

Impacto en la producción		
Puntaje	Condición	Características
1	Nulo	La falla no afecta la producción. Es un equipo auxiliar
2	Bajo	La falla apenas impacta al proceso. Hay respaldo
4	Moderado	Normalmente afecta una parte del proceso, pero existen formas de mitigarlo
8	Muy Alto	Interumpe severamente la producción, reduciendo el rendimiento
16	Crítico	La falla detiene por completo el proceso productivo. No hay alternativa viable

Fuente: Elaboración propia

Una vez definido los parámetros a utilizar en el análisis, se realizará la matriz de riesgo, en la cual el nivel de criticidad de cada equipo se determina a partir del producto entre la frecuencia de ocurrencia de fallos y su consecuencia.

Tabla 2-6 Matriz de riesgo equipos de fortificación

N° Equipo	EQUIPO	F	IO	FO	CM	SHA	CONSECUEN CIA	CRITICIDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	IMPACTO OPERACIONAL	IMPACTO POR FO
1	CAMIONETAS	3	2	1	1	1	4	12	PROMEDIO	PERDIDA PRODCCION MENOR 10%	SE CUENTA CON UNIDADES DE RESERVA EN LINEA, TTR Y LOGISTICA PEQUEÑA
2	GENERADOR ELÉCTRICO	2	4	1	1	1	6	12	BUENO	PERDIDA PRODUCCION ENTRE 10 Y 24%	SE CUENTA CON UNIDADES DE RESERVA EN LINEA, TTR Y LOGISTICA PEQUEÑA
3	COMPRESOR	1	8	1	1	1	10	10	EXCELENTE	PERDIDA PRODUCCION 50 Y 74%	SE CUENTA CON UNIDADES DE RESERVA EN LINEA, TTR Y LOGISTICA PEQUEÑA
4	EQUIPO DE LEVANTE	3	16	3	2	6	56	168	PROMEDIO	PERDIDA PRODUCCION MAYOR A 75%	UNIDADES DE RESERVA QUE CUBREN PARCIALMENTE IMPACTO PRODUCCION, TTR Y LOGISTICA INTERMEDIO
5	VIGA DE PERFORACIÓN	2	16	3	2	3	53	106	BUENO	PERDIDA PRODUCCION MAYOR A 75%	UNIDADES DE RESERVA QUE CUBREN PARCIALMENTE IMPACTO PRODUCCION, TTR Y LOGISTICA INTERMEDIO
6	EXCAVADORA	3	4	3	2	1	15	45	PROMEDIO	PERDIDA PRODUCCION ENTRE 10 Y 24%	UNIDADES DE RESERVA QUE CUBREN PARCIALMENTE IMPACTO PRODUCCION, TTR Y LOGISTICA INTERMEDIO

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en la empresa

El desarrollo de la matriz de criticidad permitió clasificar y jerarquizar los equipos de la empresa Montajes Verticales según su impacto en la operación, considerando variables como frecuencias de fallas, impacto en la operación, consecuencias asociadas y capacidad de respuesta ante la ocurrencia de fallas no planificadas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el equipo de levante presenta el mayor nivel de criticidad, con un índice de 168, debido a su alto impacto operacional, ya que sus fallas generan una pérdida de producción superior al 75%, sumado a una capacidad de respaldo parcial incrementando su relevancia dentro de la operación.

En segundo lugar, la viga de perforación alcanza un nivel de criticidad de 106, lo que la posiciona también como un equipo altamente crítico. Su detención impacta directamente en la continuidad de las labores de fortificación, con pérdidas de producción significativas y una capacidad de respaldo limitada, lo que la convierte en un activo prioritario para la planificación del mantenimiento.

La excavadora presenta un nivel de criticidad de 45, correspondiente a una criticidad media, ya que, si bien su falla implica pérdidas de producción entre un 10 y un 24%, su actividad no tiene la misma importancia que los dos equipos anteriores en las labores de fortificación.

Los equipos como las camionetas, generador eléctrico y compresor presentan niveles de criticidad más bajos, con valores de 12,12 y 10 respectivamente. Esto se explica por ser equipos de apoyo y tener un menor impacto en la producción ante una falla, además

de la disponibilidad de unidades en reserva y una reposición relativamente eficiente permitiendo mitigar de forma oportuna las consecuencias de su detención.

2.3 MATRIZ DE RIESGOS

Se aplicará la matriz de riesgo a los equipos seleccionados, los riesgos que se indicarán se realizaron mediante la observación en terreno, revisión de antecedentes de mantenimiento disponibles y entrevistas al personal de operación y mantenimiento, permitiendo identificar situaciones de riesgo asociadas a fallas mecánicas, hidráulicas y operacionales.

Se definirán los siguientes criterios de evaluación:

- Probabilidad (P)
1 = baja : Ocurre rara vez
2 = Media: Ocurre ocasionalmente
3= Alta = Ocurre frecuentemente

- Consecuencia (C)
1 = Baja: Daños menores, sin detención relevante
2= Media: Detención parcial, daño reparable
3= Alta: Riesgo a la seguridad, detención total

- Nivel de riesgo (NR)
NR = P x C

Nivel de riesgo	Clasificación
1-3	Bajo
4-6	Medio
7-9	Alto

Tabla de matriz de riesgo para excavadora y equipo de levante:

Equipo	Riesgo identificado	P	C	NR	Nivel de riesgo	Medida de control
Excavadora CAT 320	Falla sistema hidráulico	2	3	6	Medio	Mantenimiento preventivo y análisis de aceite
Excavadora CAT 320	Inestabilidad por desgaste estructural	2	3	6	Medio	Inspección estructural y control de holguras
Excavadora CAT 320	Falla en traslación	2	2	4	Medio	Inspección tren de rodaje
Manitou MT-X 1033	Pérdida de estabilidad en altura	3	3	9	Alto	Inspección diaria de estabilizadores
Manitou MT-X 1033	Falla sistema hidráulico de levante	2	3	6	Medio	Revisión presión hidráulica
Manitou MT-X 1033	Fatiga estructural del brazo	2	3	6	Medio	Inspección estructural periódica

En síntesis, la matriz de riesgo permitió identificar que los riesgos de mayor nivel se centran en el equipo de levante ya que se opera en condiciones de mayor exposición a la seguridad del personal, el cual presenta riesgos altos asociados a la pérdida de estabilidad durante trabajos en altura. Así mismo, la excavadora presenta riesgos de nivel medio vinculados principalmente a fallas hidráulicas y estructurales, los cuales impactan directamente en la continuidad operacional. Estos resultados refuerzan la necesidad de priorizar dichos equipos en la aplicación de la metodología RCM.

2.4 APLICACIÓN RCM

El objetivo de la metodología “Reliability Centered Maintenance” o RCM por sus siglas, es definir las estrategias y tareas de mantenimiento más adecuadas para cada equipo, asegurando que estos continúen cumpliendo sus funciones de manera segura, confiable y eficiente, con el menor costo posible. Para lograr este propósito, el RCM analiza las funciones de los activos, las fallas funcionales, los modos de falla y las consecuencias asociadas, permitiendo priorizar las acciones de mantenimiento.

Gracias al análisis de criticidad, fue posible identificar y jerarquizar los equipos con mayor impacto en la operación, siendo el equipo de levante, la viga de perforación y la excavadora quienes presentan mayor incidencia en la continuidad operacional. Sin embargo, el plan de mantenimiento se aplicará al equipo de levante y a la excavadora, ya

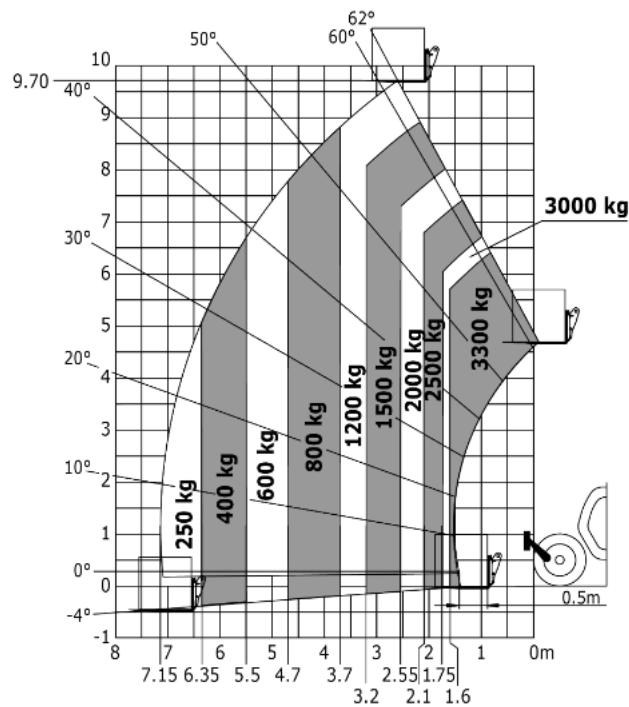
que, la viga de perforación al ser un equipo auxiliar que depende de la confiabilidad de otros queda fuera de este plan específico.

2.4.1 Descripción de los equipos seleccionados

A continuación, se hará una descripción detalla de los equipos seleccionados, especificando sus funciones, sistemas y condiciones operacionales.

2.4.1.1 Equipo de levante

Montajes verticales posee dos equipos de levante, o también llamados manipulador telescópico, de la marca Manitou modelo MT-X 1033. Está ideado para las tareas de elevación y manipulación de cargas de hasta 3,3 toneladas, con un alcance vertical de 10 metros aproximadamente y horizontal de 7,15 m. Su diseño hidráulico, motor eficiente, sistemas de seguridad y versatilidad de accesorios lo convierten en un equipo indispensable en diferentes labores en minería.



Fuente: ficha técnica Manitou MT-X 1033

Figura 2-1 Diagrama de elevación y carga Manitou MT-X 1033

El diseño de la Manitou consiste en un bastidor móvil con un brazo telescópico hidráulico, que permite regular la longitud de elevación, extensión y posicionamiento de cargas en

altura. El operador controla estas funciones desde la cabina mediante palancas hidráulicas lo que permite:

- Elevar y bajar cargas con precisión.
- Extender y retraer el brazo telescópico según la distancia requerida.
- Manipular distintos accesorios según su tarea específica.

Los principales sistemas que componen este equipo son 2, el sistema hidráulico y el sistema de transmisión, los cuales desempeñan un rol fundamental en su funcionalidad, a continuación, se presenta una descripción de cada uno de estos sistemas:

1. Sistema hidráulico: El sistema hidráulico constituye uno de los subsistemas más críticos del equipo, ya que es el encargado de accionar el brazo telescópico, los movimientos de elevación, la extensión, retracción y el funcionamiento de implementos auxiliares.

El equipo dispone de un sistema hidráulico de centro abierto, alimentado por una bomba de engranajes, acoplada directamente al motor diésel. Los componentes principales de este sistema son:

- Bomba hidráulica principal, esta es la encargada de generar el caudal necesario para los movimientos del brazo y accesorios.
- Válvulas de control direccional, accionadas desde la cabina, que permiten regular el flujo hacia los distintos actuadores.
- Cilindros hidráulicos, son los responsables la elevación y descenso del brazo, extensión y retracción telescópica, inclinación de implementos.
- Sistema de filtrado, este sistema está compuesto por filtros de aspiración y retorno, diseñados para retener partículas sólidas y proteger componentes internos.
- Depósito hidráulico, es el encargado de disipar el calor y mantener un volumen estable de fluido.

El funcionamiento del equipo está dado por el operador que acciona los controles, la bomba suministra aceite presurizado hacia las válvulas direccionales, las cuales distribuyen el caudal hacia los cilindros hidráulicos correspondientes. La velocidad y precisión de los movimientos dependen del caudal disponible y de la expertiz del operador.

2. Sistema de transmisión: El sistema de transmisión del equipo está diseñado para transferir de manera eficiente la potencia generada por el motor hacia las ruedas, permitiendo desplazamientos seguros tanto en terreno plano como irregular.

El equipo posee una transmisión hidrodinámica con convertidor de par, lo que permite arranques suaves, reducción de esfuerzos mecánicos en el tren motriz y un mejor control de tracción en pendientes y superficies irregulares. Además, la Manitou posee un inversor de marchas que facilita maniobras frecuentes de avance y retroceso en espacios reducidos.

Una de las principales ventajas es permitir un control progresivo de la velocidad, esto es fundamental cuando se opera con carga elevada.

✓ Ciclo de trabajo de Manitou MT-X 1033

El ciclo de trabajo corresponderá a la secuencia operativa repetitiva típica mediante el cual el equipo ejecuta las tareas. En el caso particular de la Empresa Montajes Verticales, este equipo es utilizado con un accesorio tipo jaula, en el cual se desarrollan actividades de shotcrete y perforación de taludes.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 20/06/2025

Figura 2-2 Actividad de shotcrete sobre manitou

Para el presente análisis el ciclo de trabajo se divide en las siguientes etapas: preparación y posicionamiento inicial, Extensión del brazo telescópico, traslado y posicionamiento final y por último retracción de brazo telescópico.

- Preparación y posicionamiento inicial: Esta etapa corresponde a la fase previa al inicio de las labores, en la cual el equipo es posicionado en el sector de trabajo definido, además de verificar la correcta instalación del accesorio, asegurando su fijación al brazo telescópico y el funcionamiento de los sistemas de sujeción.
- Extensión del brazo telescópico: Una vez posicionado el equipo, se inicia la elevación y extensión progresiva del brazo telescópico mediante el accionamiento del sistema hidráulico controlado por el operador hasta alcanzar la altura requerida. Esta fase es una de las más críticas del ciclo de trabajo ya que el equipo se encuentra sometido a altos esfuerzos hidráulicos y estructurales, además de una disminución progresiva de la estabilidad a medida que aumenta el alcance horizontal. Es crucial contar con un operador experimentado ya que, además, sobre el canastillo van montados uno o dos trabajadores según sea la actividad a desarrollar.
- Traslado y posicionamiento final: Con el brazo extendido y la jaula en altura, se realiza el posicionamiento fino del equipo, ajustando la altura, alcance y la orientación del brazo para ubicar al personal en el punto exacto del talud donde se desarrollarán los trabajos.
- Retracción del brazo telescópico: Una vez terminadas las labores, se procede a la retracción del brazo telescópico, descendiendo la jaula de forma gradual y controlada hasta una posición segura. El brazo se retrae completamente y se posiciona a una altura baja, reduciendo los esfuerzos estructurales y devolviendo al equipo su condición óptima de estabilidad, dando por terminado el ciclo de trabajo.



Fuente: Elaboración propia mediante fotografía tomada el 23/06/2025

Figura 2-3 Actividad de perforación sobre Manitou

✓ Malas prácticas de operación Manitou MT-X 1033

Con el apoyo del personal de mantenimiento y operador se han podido detectar malas prácticas durante la operación del manipulador telescópico Manitou MT-X 1033, este mal uso del equipo incide negativamente en la confiabilidad, seguridad y vida útil del equipo.

Estas prácticas, asociadas a una operación inadecuada, deficiente capacitación del operador o intervenciones no autorizadas, pueden generar fallas prematuras en los sistemas hidráulico, eléctrico, estructural y de transmisión, además de aumentar el riesgo de incidentes operacionales. A continuación, se describen las principales malas prácticas detectadas.

1. Sobrecarga del equipo (Overloading)

La operación del equipo con cargas superiores a las especificaciones entregadas por el fabricante ya sea por desconocimiento del diagrama de carga o por presión operacional, constituye una de las prácticas más críticas. Esta condición genera sobreesfuerzos en el brazo telescópico, cilindros hidráulicos y sistema de transmisión, provocando deformaciones estructurales, fallas hidráulicas y un aumento significativo del desgaste de componentes clave. A su vez, incrementa el riesgo de volcamiento del equipo, comprometiendo gravemente la seguridad del operador, del personal en terreno y la máquina.

Otra falla atribuible a condiciones de sobrecarga se presenta durante las actividades de perforación en taludes, en las cuales se generan cargas dinámicas y vibraciones constantes. Estas condiciones pueden provocar fallas específicas en el equipo, tales como

fatiga y aparición de fisuras estructurales en el brazo telescópico, así como la sobrecarga del sistema hidráulico, producto del empuje excesivo ejercido contra el talud mediante la actividad de perforación.

2. Extensión del brazo telescópico sin estabilidad adecuada

Una mala práctica recurrente corresponde a la extensión máxima del brazo telescópico sin considerar la correcta estabilización del equipo ni las condiciones del terreno. Esta acción puede generar altos momentos de carga, afectando directamente los pasadores, bujes, cilindros hidráulicos y el chasis del equipo. La reiteración de esta práctica deriva en fisuras estructurales y fallas significativas del sistema de levante.

3. Operación en terrenos no nivelados o inestables

El uso de la Manitou en superficies inadecuadas como: desniveladas, blandas o con material suelto, sin una evaluación previa del terreno, puede provocar esfuerzos desiguales en el sistema de suspensión, ejes y estructura inferior. Dado que el equipo no cuenta con un sistema de suspensión avanzado, estas condiciones generan cargas adicionales en el bastidor, ocasionando deformaciones estructurales, desgaste acelerado de neumáticos y pérdida de estabilidad operacional.

4. Maniobras bruscas con carga elevada

La ejecución de movimientos abruptos de avance, retroceso, giro o detención con carga suspendida constituye una mala práctica que impacta directamente en el sistema hidráulico y de transmisión. Estas maniobras mencionadas generan peaks de presión hidráulica, acelerando el desgaste de válvulas, mangueras y sellos que pueden provocar daños prematuros en el convertidor de par y la transmisión hidrodinámica.

5. Uso inadecuado de accesorios y tercera función hidráulica

La instalación y utilización de accesorios no certificados o mal acoplados, así como el uso incorrecto de la tercera función hidráulica, podrían generar sobrepresiones en el sistema hidráulico y fallas en mangueras, manifolds y conexiones. Este tipo de mala práctica se ha visto agravada por la intervención de personal no capacitado, lo que incrementa el riesgo de fugas de aceite hidráulico, contaminación del sistema y detenciones no planificadas del equipo.

6. Intervención eléctrica no autorizada

Otra de las malas prácticas más relevantes detectadas corresponde a la intervención del sistema eléctrico por personal no especializado, particularmente en sistemas auxiliares como el aire acondicionado y dispositivos de seguridad. Modificaciones improvisadas, conexiones directas y anulación de protecciones han provocado fallas en fusibles, sensores de hombre muerto y componentes electrónicos, afectando la confiabilidad del equipo y comprometiendo los sistemas de seguridad del equipo.

7. Operación prolongada sin respetar pausas operacionales

La utilización continua del equipo sin respetar pausas operacionales adecuadas aumenta el sobrecalentamiento del sistema hidráulico y del motor diésel. Este tipo de mala práctica reduce la eficiencia del sistema de enfriamiento, degrada prematuramente los fluidos y acelerando el desgaste de componentes internos, aumentando la probabilidad de fallas por fatiga térmica.

8. Falta de inspección al inicio de la jornada

La omisión o ejecución deficiente de la inspección diaria constituye una mala práctica crítica. La no detección temprana de fugas hidráulicas, desgaste de mangueras, pernos sueltos o anomalías eléctricas permite que pequeñas fallas evolucionen hacia fallas mayores, incrementando los tiempos de detención y los costos de mantenimiento correctivo.

✓ Contexto operacional Manitou MT-X 1033

El equipo de levante en la empresa cumple un rol fundamental en las labores de fortificación de taludes, operando como plataforma de trabajo en altura para actividades como perforación y aplicación de shotcrete. Su utilización se da principalmente mediante un elemento auxiliar tipo jaula, en la cual se posicionan uno o dos trabajadores, junto con herramientas y equipos asociados a cada tarea, tales como viga de perforación o el “manguerote” de shotcrete. De esta forma se pueden lograr trabajos eficientes al alcanzar altura y orientación necesarios para intervenir zonas del talud que no son accesibles desde el suelo.

Desde un punto de vista operacional, el equipo siempre se desempeña en un entorno exigente, caracterizado por altos niveles de polvo en suspensión, producto de la perforación de roca y el tránsito de maquinaria pesada. Esta condición ambiental impacta directamente en los sistemas mecánicos e hidráulicos del equipo.

Además, el equipo opera sobre superficies irregulares, con pendientes variables y suelos de distinta compactación. Estas condiciones obligan al uso constante de los sistemas de estabilización y nivelación, los cuales deben compensar las irregularidades del terreno para mantener la estabilidad del equipo durante la operación en altura.

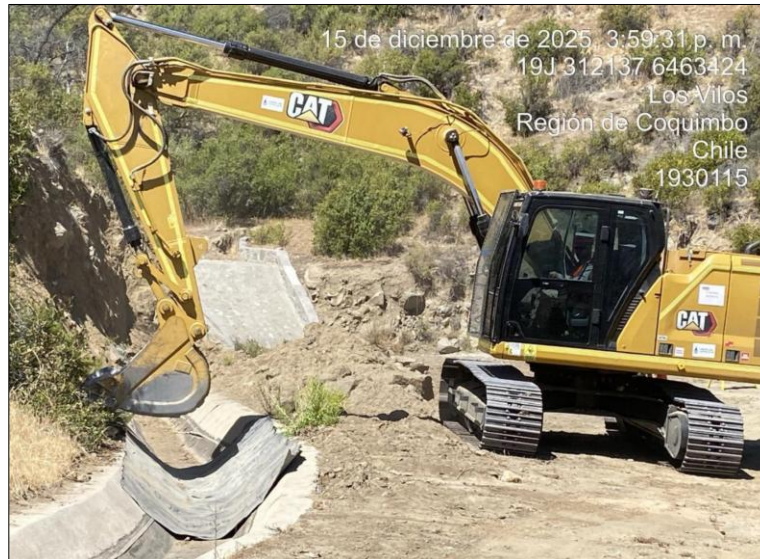
Durante las actividades de perforación, el equipo se encuentra sometido a cargas dinámicas y vibraciones constantes, originadas por el funcionamiento de la perforadora y el empuje ejercido contra el talud. Estos esfuerzos se transmiten al brazo telescópico, a los cilindros hidráulicos y a los puntos de unión estructural, incrementando el riesgo de fatiga estructural, fisuración de componentes y sobrecarga del sistema hidráulico.

Es importante señalar que este equipo expone directamente a riesgos al personal, dado que las labores se realizan en altura.

2.4.1.2 Equipo de excavación

Montajes Verticales dispone de 2 equipos de excavación, correspondientes al modelo Caterpillar 320, año 2022 los cuales son utilizados principalmente para labores de movimiento de tierra, perfilamiento y apoyo a trabajos de fortificación en faena. Estos equipos están diseñados para operar en condiciones exigentes propias de la industria minera, destacando por su robustez estructural, confiabilidad operacional y eficiencia en el consumo de combustible.

La excavadora Caterpillar 320 se caracteriza por contener sistemas de alto desempeño que le permitan operar con eficiencia, potencia y versatilidad en faenas de excavación y carguío pesado. La máquina está equipada con un motor diésel Cat C4.4, con una potencia neta aproximadamente de 172 hp (128,5 kW), hasta 176 hp (129,4 kW), proporcionando un equilibrio óptimo entre fuerza, economía de combustible, indispensable en diferentes labores en minería.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada el 12-06-2025

Figura 2-4 Excavadora CAT 320 en obra Montajes Verticales.

El diseño de la excavadora Caterpillar 320 consiste en un bastidor inferior sobre orugas y una superestructura giratoria, equipada con un conjunto de pluma, brazo y balde accionados hidráulicamente. Esta configuración permite realizar operaciones de diversos tipos como: excavación, carguío, izaje controlado y manipulación de material con altos niveles de precisión, estabilidad y control operacional, necesarios en la minería.

El operador controla los movimientos del equipo desde la cabina mediante joysticks electrohidráulicos, lo que permite:

- Elevar y descender la pluma de manera controlada.
- Extender y retraer el brazo para ajustar el alcance de excavación.
- Operar el balde para excavación, cargando y descargando el material.
- Un giro de la estructura en 360° que permite posicionar el material excavado sin necesidad de reposicionar el tren de rodaje.

Debido a su diseño robusto, eficiencia energética y compatibilidad con distintos implementos, la excavadora Caterpillar 320 se posiciona como un equipo esencial en las labores de excavación, carguío, apoyo en faenas mineras y de construcción pesada.

Los principales sistemas que componen este equipo son el sistema hidráulico, el sistema de giro y el sistema de traslación, los cuales desempeñan un rol fundamental en su funcionalidad. A continuación, se presenta una descripción de cada uno de estos sistemas.

Sistema hidráulico: El sistema hidráulico constituye uno de los subsistemas más críticos de la excavadora Caterpillar 320, ya que es el encargado de accionar todos los movimientos de trabajo del equipo, incluyendo la pluma, el brazo, el balde, el giro de la superestructura y el desplazamiento del equipo.

El equipo dispone de un sistema hidráulico de centro cerrado con control electrónico, alimentado por bombas hidráulicas de pistones axiales de caudal variable, acopladas al motor de tipo diésel. Este diseño permite optimizar de mejor forma el consumo de combustible para entregar una potencia hidráulica cuando es requerida.

Los principales componentes del sistema hidráulico son:

- Bombas hidráulicas principales, encargadas de suministrar el caudal y la presión necesarios para los movimientos de trabajo y traslación.
- Válvulas de control electrohidráulicas, gestionadas electrónicamente desde la cabina, que regulan con precisión el flujo hacia los distintos actuadores.
- Cilindros hidráulicos, responsables de los movimientos de elevación y descenso de la pluma, extensión y retracción del brazo, y accionamiento del balde.
- Motores hidráulicos, utilizados para el giro de la estructura y el accionamiento de las orugas.
- Sistema de filtrado, compuesto por filtros de aspiración, presión y retorno, diseñados para retener partículas contaminantes y proteger los componentes internos.
- Depósito hidráulico, cuya función es almacenar el fluido, disipar el calor y mantener un volumen estable de aceite hidráulico.

El funcionamiento del sistema se inicia cuando el operador acciona los controles desde la cabina; las bombas suministran aceite presurizado hacia las válvulas de control, las cuales distribuyen el caudal hacia los cilindros y motores hidráulicos correspondientes. La velocidad, suavidad y precisión de los movimientos dependen del caudal disponible, la presión del sistema y la experiencia del operador.

Sistema de giro: El sistema de giro de la excavadora Caterpillar 320 tiene como principal función permitir la rotación continua de la estructura sobre el bastidor inferior, posibilitando la posición del conjunto de trabajo (pluma, brazo y balde) durante las operaciones de excavación, carguío y descarga de material, sin necesidad de desplazar el tren de rodaje.

Este sistema es accionado hidráulicamente, por lo que está diseñado para operar de forma suave, controlada y precisa, incluso cuando se encuentra bajo condiciones de carga elevadas, lo que permite contribuir a la eficiencia del ciclo de trabajo y a la estabilidad del equipo.

Los principales componentes que conforman el sistema de giro son:

- Motor hidráulico de giro, encargado de transformar la energía hidráulica en movimiento rotacional. Este motor es controlado a través de válvulas electrohidráulicas que permiten regular tanto la velocidad y el sentido de giro de la superestructura.
- Reductor planetario de giro, el cual está acoplado al motor hidráulico, con el propósito de multiplicar el par transmitido y disminuir la velocidad, para así lograr un giro controlado, además de una alta capacidad de carga.
- Corona de giro, elemento estructural de gran diámetro que conecta la superestructura con el bastidor inferior, permitiendo una rotación y soporte de cargas axiales y radiales generadas durante la operación.
- Sistema de freno de giro, integrado al motor o al reductor, cuya función es detener y mantener la superestructura en posición cuando el operador libera los controles, evitando los movimientos no deseados.
- Sistema de lubricación de la corona de giro, destinado a reducir la fricción y el desgaste entre los elementos de contacto, prolongando la vida útil del conjunto.

El funcionamiento del sistema se inicia cuando el operador acciona el control de giro desde la cabina; donde el sistema hidráulico suministra aceite presurizado al motor de giro, para así transmitir el movimiento a través del reductor planetario hacia la corona de giro, logrando así la rotación de la superestructura. La velocidad y suavidad del giro dependen del caudal hidráulico entregado y del sistema de control electrónico, el cual regula de manera proporcional la respuesta del equipo.

Sistema de traslación: El sistema de traslación está diseñado para transferir de manera eficiente la potencia hidráulica generada por el motor hacia las orugas, permitiendo desplazamientos controlados tanto en terreno plano como irregular.

Este sistema está compuesto principalmente por motores hidráulicos de traslación, reductores finales y un tren de rodaje robusto, que proporciona estabilidad, tracción y capacidad de operación en pendientes y suelos de baja resistencia.

Una de las principales ventajas de este sistema es su capacidad de ofrecer un control progresivo de la velocidad y del par, lo que resulta fundamental durante maniobras de

posicionamiento, trabajos en espacios reducidos y desplazamientos con carga en el balde. Asimismo, el diseño del sistema reduce los esfuerzos mecánicos y contribuye a una mayor vida útil de los componentes del tren de rodaje.



Fuente: Elaboración propia en base maquinaria en terreno el día 12/06/2025

Figura 2-5 Principales componentes excavadora.

✓ Ciclo de trabajo de Caterpillar 320

El ciclo de trabajo de la excavadora Caterpillar 320 en la empresa corresponde a las tareas de excavación, carguío y perforación, integrando de manera coordinada los sistemas hidráulicos, de giro y de traslación. Este ciclo puede variar según el tipo de trabajo a realizar, pero generalmente se compone de las siguientes etapas:

El ciclo de trabajo puede dividirse en cinco fases principales: posicionamiento del equipo, penetración y excavación del material, carga del balde, giro de la superestructura, descarga del material y retorno a posición inicial.

1. Aproximación y posicionamiento del equipo

La primera fase del ciclo corresponde al desplazamiento del equipo hacia el frente de trabajo, utilizando el sistema de traslación sobre orugas. En esta etapa, el operador

posiciona la excavadora considerando la estabilidad del terreno, la pendiente, el radio de trabajo y la distancia óptima al punto de excavación, asegurando condiciones seguras de operación.

Durante esta fase, el conjunto pluma–brazo–balde se mantiene en una posición baja y cercana al equipo, con el fin de reducir el centro de gravedad, minimizar esfuerzos sobre la estructura y facilitar un posicionamiento preciso antes de iniciar la excavación.

2. Excavación y toma de material

Una vez posicionado el equipo, se inicia la fase de excavación, en la cual el operador acciona de manera coordinada los cilindros hidráulicos de la pluma, el brazo y el balde para penetrar el material y realizar la toma de carga.

En esta etapa interviene principalmente el sistema hidráulico, el cual opera bajo altas presiones para generar las fuerzas de corte necesarias. La maniobra debe ejecutarse de forma progresiva y controlada, evitando impactos bruscos que puedan provocar sobrepresiones hidráulicas, esfuerzos excesivos en pasadores y bujes, o daños prematuros en los componentes del conjunto de trabajo.

3. Perforación

En ocasiones, a la excavadora se le instala un accesorio tipo viga de perforación, la cual permite realizar perforaciones en el talud cuando la premura de las obras así lo requiera, para realizar esta actividad se aprovecha el empuje de la pluma de la excavadora, permitiendo alcanzar alturas que no son posibles por los perforistas a nivel de suelo, optimizando los tiempos de ejecución del servicio.

El principal sistema que se ve exigido en esta actividad, es el sistema hidráulico ya que acciona los movimientos de la pluma, proporcionando el empuje necesario para la perforación contra el talud, además de soportar cargas dinámicas y vibraciones transmitidas por la viga de perforación.

4. Elevación y giro de la superestructura

Con el balde cargado, se procede a la elevación del conjunto de trabajo mediante el accionamiento de la pluma y el brazo, seguido del giro de la superestructura hacia el punto de descarga. Esta fase combina el funcionamiento del sistema hidráulico con el sistema de giro, siendo una de las etapas más críticas del ciclo.

El operador debe realizar el giro de manera suave y continua, evitando aceleraciones o detenciones bruscas que puedan generar cargas dinámicas elevadas sobre la corona de giro y el reductor. Asimismo, es fundamental mantener la carga dentro de los límites operativos definidos por el fabricante, especialmente cuando se realizan maniobras de izaje moderado.

5. Posicionamiento y descarga del material

Una vez alcanzado el punto de descarga, se realiza el posicionamiento fino del balde y la posterior descarga del material, ya sea sobre un camión, tolva o zona de acopio. En esta fase se acciona principalmente el cilindro del balde, controlando la apertura para evitar impactos y dispersión del material.

La descarga debe ejecutarse de forma progresiva, manteniendo la estabilidad del equipo y evitando movimientos bruscos del conjunto pluma–brazo, los cuales podrían generar esfuerzos innecesarios sobre la estructura y el sistema hidráulico.

6. Retorno a la posición inicial

La fase final del ciclo corresponde al retorno del equipo a la posición de excavación, lo que implica el cierre del balde, la retracción del brazo, el descenso controlado de la pluma y el giro de la superestructura hacia el frente de trabajo.

Una vez completada esta fase, la excavadora queda en condiciones seguras de operación para iniciar un nuevo ciclo de trabajo.

El presente capítulo permitió desarrollar un análisis detallado del estado actual de la gestión del mantenimiento del taller mecánico de la empresa Montajes Verticales SpA, considerando su contexto operacional y las actividades de los equipos que intervienen en la principal actividad productiva de la organización. Mediante la revisión de antecedentes, visitas a terreno, análisis documental y entrevistas al personal de mantenimiento, fue posible establecer un diagnóstico respecto a las condiciones en las labores de mantenimiento, evidenciando brechas en la planificación, control y estandarización de procesos.

El análisis del contexto operacional de la empresa permitió la identificación de la actividad productiva predominante, pudiendo detectar el mayor tiempo de utilización de equipos, y por consecuencia, el mayor impacto ante eventuales fallas o detenciones no planificadas.

Mediante la aplicación del análisis de criticidad, se logró clasificar y jerarquizar los equipos de la empresa en función a su impacto operacional, consecuencias en termino de seguridad, higiene y medio ambiente, incorporando además una valorización cualitativa del impacto en los costos de mantenimiento. Los resultados obtenidos permitieron identificar al equipo de levante y la excavadora con mayor nivel de criticidad, sin embargo, la viga de perforación igual se detectó como elemento crítico, esta está condicionada a los equipos mencionados al ser del tipo auxiliar.

✓ Malas prácticas de operación CAT 320

En conjunto con el personal de mantenimiento y los operadores, se ha logrado identificar malas prácticas durante la operación de la excavadora Caterpillar 320, las cuales inciden desfavorablemente en la confiabilidad, la seguridad operacional y la vida útil del equipo.

Las prácticas que describiremos están asociadas principalmente a: una operación inadecuada, deficiencias en la capacitación del operador y/o desviaciones de los procedimientos establecidos por el fabricante, el cual pueden generar fallas prematuras en los sistemas hidráulico, de giro, de traslación y/o estructural. Asimismo, se incrementa el riesgo de incidentes y accidentes en la faena. A continuación, se hará explicación de las principales malas prácticas detectadas durante la operación del equipo.

1. Excavación con movimientos bruscos y aceleraciones excesivas

La operación del conjunto pluma–brazo–balde mediante aceleraciones abruptas y cambios repentinos de dirección provoca transitorios de presión elevados dentro del sistema hidráulico. Estos picos de presión superan de forma recurrente las condiciones normales de diseño, generando fatiga acelerada en mangueras hidráulicas, sellos, válvulas de control y cilindros de trabajo.

Adicionalmente, esta práctica incrementa la probabilidad de fugas internas y externas, pérdida de eficiencia volumétrica en los actuadores y fallas prematuras en componentes críticos del sistema hidráulico.

2. Sobrecargar el balde más allá de su capacidad nominal (Overloading)

La sobrecarga del balde, por encima de la capacidad definida por el fabricante, puede generar sobreesfuerzos mecánicos continuos en el conjunto estructural de la pluma y el brazo, así como en pasadores, bujes y puntos de articulación. Desde el punto de vista hidráulico, esta condición obliga al sistema a funcionar cerca de sus límites máximos de presión, aumentando la exigencia sobre bombas y válvulas.

En consecuencia, se acelera el proceso de fatiga estructural, creciendo el riesgo de deformaciones permanentes, fisuras y fallas mecánicas no planificadas.

3. Realizar giros bruscos de la superestructura con el balde cargado

La ejecución de giros rápidos o detenciones abruptas de la superestructura con cargamento puede generar sobrecargas dinámicas elevadas sobre el sistema de giro. Estas acciones afectan directamente a la corona de giro, el reductor planetario y el motor hidráulico, provocando un desgaste acelerado, al igual que un aumento de holguras y posibles fallas en engranajes y rodamientos.

Este tipo de mala práctica reduce significativamente la vida útil del sistema de giro y aumenta la probabilidad de vibraciones y ruidos anormales durante la operación.

4. Desplazarse con el balde elevado

El desplazamiento del equipo con el balde en posición elevada modifica el centro de gravedad de la maquinaria, disminuyendo el rango de estabilidad de la excavadora. Esta acción genera esfuerzos adicionales sobre los motores de traslación, reductores finales y componentes del tren de rodaje, especialmente en terrenos irregulares o con pendiente.

Además, aumenta el riesgo de pérdida de control, deslizamientos y vuelcos, comprometiendo la seguridad operacional y la integridad del equipo.

5. Operar el equipo en pendientes superiores a las recomendadas

La operación o desplazamiento en pendientes mayores a las especificadas por el fabricante expone al equipo a condiciones de inestabilidad estructural y operacional. Desde el punto de vista mecánico, se incrementan las cargas sobre el sistema de traslación, especialmente en los motores hidráulicos y reductores finales, acelerando su desgaste.

Este tipo de mala práctica aumenta el riesgo de fallas del tren de rodaje, deslizamientos incontrolados y potenciales eventos de vuelco.

6. Utilizar el balde como punto de izaje no certificado

El uso del balde como punto de izaje, sin un accesorio certificado ni el cumplimiento de las tablas de carga recomendadas por el fabricante, constituye a una condición de operación fuera de diseño. Este tipo de mala práctica genera esfuerzos no controlados sobre la estructura del balde, el conjunto pluma–brazo y el sistema hidráulico.

Asimismo, incrementa el riesgo de fallas estructurales, por lo que esta mala práctica puede provocar la pérdida de control de la carga suspendida, generando un alto potencial de accidentes graves.

7. Impactar el balde contra el terreno o estructuras

El impacto intencional del balde contra superficies rígidas para desprender material adherido produce cargas de choque que se transmiten directamente a los cilindros hidráulicos, pasadores, bujes y estructura del conjunto de trabajo. Estas cargas superan ampliamente las solicitaciones normales de operación.

Como resultado, se acelera el deterioro de componentes estructurales y se incrementa la probabilidad de fisuras, deformaciones y fallas por impacto.

8. Operar con niveles inadecuados de aceite hidráulico o sin inspecciones previas

La operación del equipo sin verificar los niveles de aceite hidráulico, el estado de los filtros o la presencia de fugas compromete la integridad del sistema hidráulico. Niveles bajos de aceite pueden generar cavitación en bombas y motores hidráulicos, mientras que la contaminación del fluido acelera el desgaste interno de los componentes.

Esta condición puede derivar en sobrecalentamiento, pérdida de eficiencia del sistema y fallas críticas de alto costo.

9. Forzar la excavación en materiales no aptos para la configuración del equipo

Intentar excavar materiales de alta dureza o con presencia significativa de roca sin utilizar el implemento adecuado obliga al sistema hidráulico y estructural a operar de forma continua en condiciones de sobrecarga. Esta práctica incrementa el desgaste de los dientes del balde, los cilindros hidráulicos y la estructura del conjunto de trabajo.

En el mediano y largo plazo, se reduce la confiabilidad del equipo y se incrementa la frecuencia de fallas no planificadas.

✓ Contexto operacional CAT 320

La excavadora hidráulica utilizada por la empresa Montajes Verticales cumple un rol fundamental en la ejecución de contratos asociados principalmente a la fortificación de taludes y movimiento de tierra.

La Caterpillar 320 es utilizada para actividades tales como perfilamiento de taludes, movimiento de tierra, apoyo a labores de perforación, y en determinadas ocasiones, para ser operada con una viga de perforación como accesorio, entregando una funcionalidad adicional al equipo, pero a su vez sobrecargando su sistema hidráulico y estructural.

El equipo opera de forma continua en ambientes con altos niveles de polvo y material particulado, producto de la perforación de roca y tránsito de maquinaria pesada. La alta polución favorece la contaminación de filtros, lubricantes y sistemas hidráulicos, aumentando el desgaste prematuro de componentes, si no se cuenta con controles y mantenimiento adecuado.

Además, la excavadora trabaja sobre superficies irregulares, pendientes pronunciadas y terrenos de baja compactación, condiciones típicas que se presentan en taludes. Estas características del terreno generan sobreesfuerzo en el sistema de traslación, en el rodado y en la estructura del equipo, afectando directamente su estabilidad y vida útil.

Durante las labores de perforación, cuando esta se utiliza junto a la viga de perforación, el equipo se ve sometido a cargas dinámicas y vibraciones constantes, originadas por el empuje contra el talud y la operación de la perforado. Estas actividades incrementan el riesgo de fatiga estructural en la pluma y puntos de unión, así como sobrecarga del sistema hidráulico.

La operación de la CAT 320, se da generalmente en jornadas prolongadas, en dónde existe una alta demanda de su disponibilidad, favoreciendo la aparición de fallas no planificadas cuando no existe una planificación preventiva adecuada.

Desde un punto de vista de seguridad, la excavadora opera en zonas riesgosas, próximas a taludes inestables, en los cuales puede ocurrir un desprendimiento de rocas, además de la interacción continua con personal en terreno, lo que exige un correcto funcionamiento de su sistema de control, frenado, giro y seguridad.

2.4.2 Implementación RCM a Excavadora Cat-320

Como parte de la aplicación de la metodología RCM, se desarrolló la hoja de información para cada uno de los equipos críticos seleccionados, esta herramienta permitirá estructurar el análisis de funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos y consecuencias.

A partir del análisis de modos de falla y sus consecuencias, se elaboró la hoja de decisión para los equipos críticos identificados. Esta herramienta permite seleccionar las estrategias de mantenimiento más adecuados considerando criterios de seguridad, impacto ambiental.

La hoja de decisión se presentará en dos tablas, ya que al ser extensa dificulta su lectura.

Tabla 2-7 Hoja de información Excavadora CAT-320

Análisis RCM			Activo: EXCAVADORA CAT 320		
Sistema	Función Principal	Fallas Funcionales	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de falla
Bomba	Mover el fluido dentro de un sistema hidráulico	Parte móvil mecánica de la bomba se traba	Bomba deja de funcionar por contaminación	Disminución de presión del fluido Aumento de temperatura en el sistema.	Funcionamiento deficiente del equipo, volviéndose lenta en las tareas de excavación y carga
Estructural	Soportar accesorios y cargas de trabajo.	El brazo presenta desgaste	Fatiga estructural	Indisponibilidad del equipo	Incrementa el riesgo de accidentes, ya que la estructura se encuentra dañada.
Traslación	Proporcionar movilidad y capacidad de desplazamiento a la excavadora	Excavadora no se desplaza	Rodamientos en mal estado Lubricación deficiente de rodamientos	Dificultad de desplazamiento limitando su utilidad en frente de trabajo	La Excavadora no se puede trasladar conforme el avance de faena.

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en la empresa

Tabla 2-8 Hoja de decisión Excavadora CAT-320

Sistema/ Subistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	FREC FALLAS
Bomba hidráulica	1	Mover fluido dentro de un sistema hidráulico.	1.1	Parte movil mecánica de la bomba se traba	1.1.1	Perdida de presión hidráulica por desgaste de bomba	Evidente/ No Evidente: SI Descripción del Evento: La pérdida de presión del sistema hidraulico genera una disminución en la capacidad de esfuerzo sobre el terreno. Efecto: Disminución de rendimiento en tareas de excavación. Detección: Equipo no permite profundizar en macizo.	1
					1.1.2	Bomba deja de funcionar por contaminación	Evidente/ No Evidente: SI Descripción del Evento: La bomba deja de funcionar por lo que todo el sistema queda sin presión. Efecto: Perdida de presión Detección: Partes moviles sin actividad.	2
Estructural	2	Soportar accesorios y cargas de trabajo.	1.2	El brazo presenta desgaste	1.2.1	El equipo se detiene a causa de fisuras en estructura.	Evidente/ No Evidente: SI Descripción del Evento: Se evidenció fisuras en estructura Efecto: Incremento de riesgo de accidentes ya que la estructura se encuentra dañada. Detección: Inspección visual	1
Traslación	3	Proporcional movilidad y capacidad de desplazamiento a la excavadora.	3.1	Excavadora no se desplaza.	3.1.1	Rodamiento en mal estado	Evidente/ No Evidente: SI Descripción del Evento: Excavadora no se puede trasladar conforme al avance de faena Efecto: Excavadora queda detenida Detección: Excavadora no se desplaza y genera ruido extraño.	4
					3.1.2	Lubricación deficiente en rodamientos	Evidente/ No Evidente: SI Descripción: Aumento de temperatura en rodamiento a causa de fricción excesiva. . Efecto: Detección: Inspección visual, ruidos anormales	5

Sistema/ Subistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	MTTR (LOG- EJEC-P EN MARCHA)	IMP. PROD. CLP/hr	COSTOS DIRECTOS POR FALLA CLP/falla	IMP. SEG	IMP. AMB	RIESGO CUANTITATIVO CLP/año	RIESGO CUALITATIVO	RIESGO ECONOMICO	SHA
Bomba hidráulica	1	Mover fluido dentro de un sistema hidráulico.	1.1	Parte movil mecánica de la bomba se traba	1.1.1	Perdida de presión hidráulica por desgaste de bomba	24	\$136.986	\$ 3.287.671	A	B	\$ 6.575.342	AB	2,00	3,00
					1.1.2	Bomba deja de funcionar por contaminación	24	\$136.986	\$ 6.575.342	B	B	\$ 19.726.027	BB	3,00	2,00
Estructural	2	Soportar accesorios y cargas de trabajo.	1.2	El brazo presenta desgaste	1.2.1	El equipo se detiene a causa de fisuras en estructura.	12	\$136.986	\$ 1.643.836	A	A	\$ 3.287.671	AA	1,00	3,00
Traslación	3	Proporcional movilidad y capacidad de desplazamiento a la excavadora.	3.1	Excavadora no se desplaza.	3.1.1	Rodamiento en mal estado	24	\$136.986	\$ 13.150.685	A	C	\$ 65.753.425	AC	3,00	2,00
					3.1.2	Lubricación deficiente en rodamientos	2	\$136.986	\$ 1.369.863	A	B	\$ 8.219.178	AB	2,00	3,00

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en la empresa

2.4.3 Implementación RCM a Manitou MT-X1033

Como parte de la aplicación de la metodología RCM, se desarrolló la hoja de información para Manitou MT-X1033, esta herramienta permitirá estructurar el análisis de funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos y consecuencias.

A partir del análisis de modos de falla y sus consecuencias, se elaboró la hoja de decisión para los equipos críticos identificados. Esta herramienta permite seleccionar las estrategias de mantenimiento más adecuados considerando criterios de seguridad, impacto ambiental.

La hoja de decisión se presentará en dos tablas, ya que al ser extensa dificulta su lectura.

Tabla 2-9 Hoja de información Manitou MT-X1033

Análisis RCM			Activo: Manitou MT-X 1033		
Sistema	Función Principal	Fallas Funcionales	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de falla
Hidráulico	Extensión del brazo con accesorios para llegar a frente de trabajo	No eleva carga nominal	Bomba hidraulica deja de funcionar	Disminución de la presión del fluido Aumento de temperatura del sistema.	Movimiento irregular aumentando riesgo de accidente al personal sobre jaula.
Estabilización	Permitir estabilidad de equipo, evitando que el equipo tenga movimientos bruscos cuando se están realizando actividades.	Inestabilidad del equipo	Falla en estabilizadores	Riesgo de volcamiento	Aumento de riesgos de accidente del personal, desviación de perforaciones según plano.
Estructural	El equipo se encuentra en condiciones estructurales adecuadas para ser utilizado.	Deformación o fisura estructural	Fatiga estructural por sobrecarga o vibraciones	Riesgo de rotura de estructura	Inoperatividad del brazo telescópico, la pluma no eleva.

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en la empresa

Tabla 2-10 Hoja de decisión Manitou MT-X1033

Sistema/ Subistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	FREC FALLAS
Hidráulico	1	Extensión del brazo con accesorios para llegar a frente de trabajo.	1.1	No eleva la carga nominal	1.1.1	Perdida de presión hidráulica por desgaste de bomba	Evidente/ No Evidente: SI Descripción del Evento: La pérdida de presión del sistema hidráulico genera una disminución en la capacidad de levante del equipo, impidiendo alcanzar la altura o carga requerida. Efecto: Pérdida de la estabilidad del equipo y detención de manera inmediata. Detección: El brazo telescópico no alcanza la altura y ángulo	2
					1.1.2	Desgaste de mangueras hidráulicas	Evidente/ No Evidente: SI Descripción del Evento: La fuga o deterioro de las mangueras hidráulicas provocan pérdida de fluido y presión en el equipo. Efecto: Pérdida de presión Detección: Movimientos bruscos o inestabilidad en el brazo	2
		Permitir estabilidad de equipo, evitando que el equipo tenga movimientos bruscos cuando se están realizando actividades.	1.2	No se controla con precisión el sistema de levante	1.2.1	Contaminación del sistema hidráulico	Evidente/ No Evidente: SI Descripción del Evento: A causa de la mantención deficiente se produce degradación interna y contaminación externa, generando impurezas acelerando desgaste de componentes. Efecto: Reducción de eficiencia Detección: Movimientos lentos.	3
			1.3	El equipo no es capaz de mantenerse estabilizado en terreno cuando se está operando.	1.3.1	Los estabilizadores no se extienden o retraen	Evidente/ No Evidente: SI Descripción Los estabilizadores no funcionan de forma adecuada. Efecto: Detención de equipo Detección: Las patas estabilizadoras no se retraen o lo hacen con dificultad, detectando ruido anormal.	2
Estructural	2	Dar soporte estructural a cada uno de los componentes del equipo	2.1	Se detectan fisuras o deformación en brazo.	2.1.1	Riesgo de rotura o deformación de estructura.	Evidente/ No Evidente: SI Descripción: Mediante una inspección visual se observó la presencia de grietas estructurales que deben ser atendidas. Efecto: Detención de equipo Detección: Inspección visual	2

Sistema/ Subistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	MTTR (LOG- EJEC-P EN MARCHA)	IMP. PROD. CLP/hr	COSTOS DIRECTOS POR FALLA CLP/falla	IMP SEG	IMP AMB	RIESGO CUANTITATIVO CLP/año	RIESGO CUALITATIVO	RIESGO ECONOMICO	SHA
Hidráulico	1	Extensión del brazo con accesorios para llegar a frente de trabajo.	1.1	No eleva la carga nominal	1.1.1	24	\$ 136.986,30	\$ 7.075.342	A	B	\$ 20.726.027	AB	2	3,00
					1.1.2	12	\$ 136.986,30	\$ 3.787.671	A	B	\$ 10.863.014	AB	2	3,00
		Permitir estabilidad de equipo, evitando que el equipo tenga movimientos bruscos cuando se están realizando actividades.	1.2	No se controla con precisión el sistema de levante	1.2.1	12	\$ 136.986,30	\$ 3.787.671	A	C	\$ 16.294.521	AC	1	2,00
			1.3	El equipo no es capaz de mantenerse estabilizado en terreno cuando se está operando.	1.3.1	16	\$ 136.986,30	\$ 4.883.562	A	B	\$ 14.150.685	AB	2	3,00
Estructural	2	Dar soporte estructural a cada uno de los componentes del equipo	2.1	Se detectan fisuras o deformación en brazo.	2.1.1	8	\$ 136.986,30	\$ 2.191.781	A	B	\$ 6.575.342	AB	2	3,00

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en la empresa

2.4.4 Análisis de hoja de decisión

La hoja de decisión desarrollada para el manipulador telescópico, permitió identificar que los modos de fallo asociados al sistema hidráulico presentan el mayor nivel de criticidad, concentrando los valores más altos de riesgo. Estas fallas se caracterizan por altos tiempos de reparación, elevado impacto en la producción y una fuerte incidencia en la seguridad operacional. Las fallas estructurales presentan un menor impacto inmediato, sin embargo, su degradación es progresiva, por lo que se requieren medidas de inspección periódicas.

El análisis para la excavadora permitió identificar que el sistema de traslación concentra el mayor impacto económico, destacando el desgaste de rodamientos como el principal costo por detenciones no planificadas. En el sistema hidráulico, las fallas vinculadas a la contaminación del fluido representan un riesgo significativo para la continuidad operacional del equipo, dado que es una falla súbita que detiene la operación. Por otra parte, las fallas estructurales representan una menor frecuencia de ocurrencia, poseen un alto nivel de criticidad desde el punto de vista de la seguridad, ya que tienen un alto potencial para generar eventos catastróficos. Este análisis nos da una orientación que permite enfocar las estrategias de mantenimiento hacia el monitoreo de condición, el control riguroso de la lubricación y la ejecución de inspecciones visuales periódicas.

**CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA A LA GESTIÓN DE
MANTENIMIENTO DEL TALLER MECÁNICO**

3. PROPUESTA DE MEJORA A LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN EL TALLER MECÁNICO

El presente capítulo tiene como objetivo desarrollar una propuesta de mejora a la gestión de mantenimiento del taller mecánico de la empresa Montajes Verticales, a partir del análisis del estado actual, las condiciones operacionales de los equipos y los resultados obtenidos mediante la aplicación de herramientas de gestión como el análisis de criticidad, la matriz de riesgo y la metodología RCM.

La propuesta de mejora presentada en este capítulo busca optimizar la gestión del mantenimiento, establecimiento lineamientos técnicos que permitan priorizar los equipos críticos, definir planes de mantenimiento preventivo y predictivo, estandarizar procedimientos operacionales y fortalecer el control, además del seguimiento de las actividades de mantenimiento.

El plan presentado estará diseñado para el equipo de levante Manitou y la excavadora Caterpillar.

3.1. EVALUACIÓN TÉCNICA

El objetivo de la presente evaluación técnica es proponer las herramientas, insumos, recursos humanos y tareas necesarias para la correcta ejecución de las actividades de mantenimiento establecidas en el capítulo 2 del presente trabajo.

Esta evaluación técnica permite establecer de manera objetiva los requerimientos para la implementación del plan de mantenimiento propuesto, considerando las condiciones operacionales en faena, el contexto de trabajo del taller mecánico y las exigencias de seguridad asociadas a los equipos.

3.1.1. Mantenimiento actual de la empresa

El mantenimiento que se realiza actualmente en la empresa no se encuentra constituido como plan, ni tampoco existen procedimientos de trabajo oficiales, solo se trabaja con los horómetros de los equipos, realizando el chequeo propuesto en el manual de mantenimiento planificado del fabricante a ciertas horas de uso, no existiendo un

profesional que se enfoque solamente en el taller, quedando como una tarea secundaria dentro de la empresa.

El registro que se lleva es rudimentario, no existiendo un software especializado el cual se registren las actividades, y tampoco una data de fallos de los equipos, solo queda registro mediante una orden de trabajo completada a mano para tenerla como respaldo si se presentara alguna auditoria, y no para poder sacar conclusiones o análisis de los diferentes modos fallos.

La bodega solo tiene stock de repuestos fungibles, y no cuenta con piezas específicas para los equipos de terreno, teniendo que esperar en ocasiones semanas o meses hasta dar con el repuesto que exige la mantención, aumentando los tiempos de improductividad.

3.1.2. Modificación de filosofía organizacional

La implementación de un plan de mantenimiento no solo implica la incorporación de nuevas tareas y herramientas, sino que también requiere la integración de toda la organización, orientados a la prevención de fallas y a la mejora continua. Este cambio de pensamiento considera al mantenimiento como una función estratégica, que impacta de forma positiva en los flujos de la empresa y no precisamente se traduce en costos, pero para comenzar a realizar esta comparativa en donde se muestren claramente beneficios de la implementación, es necesario tener en cuenta que se necesitan un determinado horizonte de tiempo para su implementación.

La necesidad de involucrar a toda la empresa se debe a que el principal gestor de este cambio debe ser la alta dirección (Gerencia), demostrando interés, respaldo y compromiso con este nuevo enfoque, es decir, autorizar recursos necesarios para la implementación, y lo más importante respaldar esta nueva filosofía con cambios reales.

El segundo encargado de tener un rol trascendental de liderazgo en la implementación de esta nueva cultura es el jefe de mantenimiento, o el jefe de taller de maquinarias, él asumirá protagonismo, ya que deberá traducir la filosofía en procesos definiendo planes preventivos, exigir registros reales de mantenimiento, utilizar y divulgar indicadores.

El tercer involucrado en esta actividad son los supervisores de las diferentes faenas en que se realicen actividades, ya que ellos deberán estar aplicando día a día esta nueva forma de hacer mantenimiento, es decir, deberá exigir inspecciones antes del uso de los equipos, deberá recibir los informes y validar los registros, corregir malas prácticas de uso y entregar confianza plena a los operadores que parte de una buena utilización del equipo es levantar desviaciones que se presenten.

Los mecánicos son los responsables de la ejecución técnica, ellos participan activamente en el cambio de enfoque, al ejecutar las tareas conformes a procedimientos estandarizados y aportar información real y confiable para la gestión.

Los operadores también deben estar alineados con la mantención preventiva, ya que al tener contacto diario con el equipo son quienes participan en la detección temprana de fallas y en la correcta operación de los equipos. Para lograr este cometido, es que se debe realizar la implementación, sin distinción de faena, del uso del check list diario.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-1 Pirámide de roles y gestión de mantenimiento.

3.1.3. Recursos Humanos Requeridos

Para la correcta ejecución del plan de mantenimiento es necesario contar con personal técnico calificado, con competencias acordes a los equipos críticos analizados, por lo que se sugiere incorporar de forma adicional a un mecánico de mantenimiento con experiencia en equipos móviles y sistemas hidráulicos.

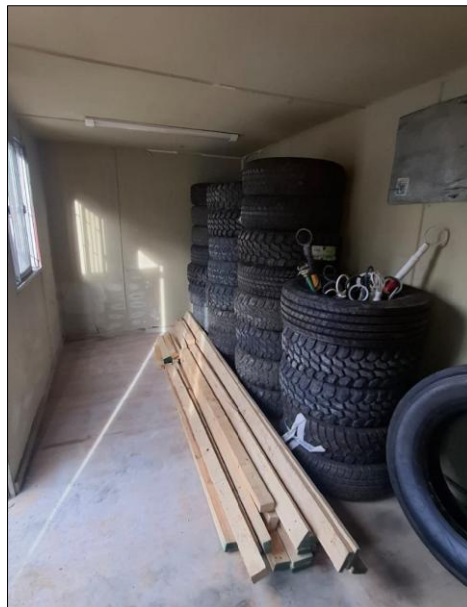
Además, se sugiere capacitar a los operadores para que colaboren con las inspecciones operacionales y reporte temprano de fallas en terreno, de esta actividad estará encargado el jefe de terreno o el jefe de mantenimiento.

El jefe de mantenimiento deberá, además, tomar un rol activo en la supervisión del personal del taller, velando por el cumplimiento correcto de los registros, en donde se muestren datos verídicos en cuanto al tiempo de reparación, modo de fallo y otros KPI's asociados.

En el Anexo del presente trabajo de titulación, se propondrá un check list de la excavadora y equipo de levante, en dónde el supervisor y/o el jefe de taller serán los encargados de divulgar y capacitar para la correcta utilización del documento, en donde una vez completado por el operador, este deberá hacerlo llegar a su supervisor en obra.

3.1.4 Insumos y repuestos críticos

Actualmente, la empresa no dispone de un stock estructurado de repuestos para la totalidad de sus equipos, debido principalmente a la ausencia de registros históricos de fallas que permitan identificar componentes críticos y definir niveles óptimos de inventario. En consecuencia, el stock existente se limita a repuestos fungibles, tales como lubricantes, filtros, neumáticos y elementos de desgaste como las pastillas de freno. Esta situación ha provocado la acumulación de insumos sin rotación en las bodegas, lo que refleja una gestión de repuestos poco eficiente y un uso inadecuado de los recursos disponibles.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada el 08/07/2025

Figura 3-2 Bodega de neumáticos.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada el 08/07/2025

Figura 3-3 Bodega de fungibles 1



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada el 08/07/2025

Figura 3-4 Bodega de fungibles 2

La bodega de la empresa carece de orden y control de los suministros, lo que dificulta la rápida localización de algún repuesto cuando se necesite con urgencia, además al no contar con un registro de inventario, no se sabe con exactitud la ubicación y existencia real de los insumos disponibles. Actualmente, el control de entradas y salidas se realiza de manera informal, basado en la memoria del electromecánico que “ordena” los repuestos en la bodega, lo que incrementa el riesgo de errores, pérdidas de materiales y retraso en las tareas de mantenimiento.

Se propone implementar la metodología 5S, la cual es un sistema japonés de organización del trabajo, que busca crear un ambiente laboral más eficiente, seguro y productivo, teniendo 5 pilares: Seiri (Clasificar), Seiton (Ordenar), Seiso (limpiar), Seiketsu (Estandarizar) y Shitsuke (Disciplina).

A continuación, se detallan cada una de las “S”:

- Seiri: Separar lo necesario de lo innecesario en el área de trabajo, desechando lo que no se utiliza para liberar espacio.
- Seiton: Organizar los elementos de forma lógica para que sean fáciles de encontrar y usar, aplicando el principio de “Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar”.
- Seiso: Mantener el espacio de trabajo limpio.
- Seiketsu: Crear rutinas y procedimientos para mantener las tres primeras “S”, asegurando su implementación a través de auditorias.
- Shitsuke: Convertir esta metodología en hábito y que forme parte de la cultura organizacional a través de la autodisciplina y compromiso continuo, para que los beneficios sean sostenibles a largo plazo.

3.1.5 Herramientas y equipos necesarios

Para asegurar un desempeño óptimo al personal de mantenimiento, es necesario que la empresa disponga y entregue las herramientas y equipos necesarios para la correcta ejecución de sus actividades planificadas, es por ello que se propone llevar un registro mensual de herramientas, el cual permita controlar su disponibilidad y estado además de ser auditable por el encargado de taller de maquinarias. Esta medida contribuirá a mejorar el control de los recursos, prevenir pérdidas o deterioros y asegurar que las tareas de mantenimiento se ejecuten de manera correcta.

Esta medida impacta de forma directa a la implementación del plan de mantenimiento, ya que influye en la planificación de las tareas programadas, ejecución y actividades de mantenimiento, reduciendo tiempos muertos, mejorando la calidad del mantenimiento, proporcionar una mayor seguridad a los mecánicos en sus intervenciones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-5 Mesón del taller mecánico.

3.1.6. Plan de mantenimiento preventivo propuesto

Al no contar con data de fallos, se elaboró un plan de mantenimiento preventivo con el apoyo del jefe de taller de la empresa. Con esto se busca tener un registro de actividades, responsables y observaciones al momento de realizar las mantenciones, para comenzar a juntar data y en un futuro poder realizar análisis de datos.

Tabla 3-1 Plan de mantenimiento preventivo para Manitou y Excavadora

Equipo	Sistema	Tarea de mantenimiento	Frecuencia	Tipo	Responsable	Observación
Excavadora	Sistema hidraulico	Inspección visual de fugas y conexiones	Diario	Preventivo	Operador	Checklist pre operacional
Excavadora	Sistema hidraulico	Control de presión hidraulica	Semanal	Preventivo	Mecánico	verificar parámetros de
Excavadora	Sistema hidraulico	Análisis de aceite hidráulico	Mensual	Predictivo	Mecánico	Detectar Contaminación y
Excavadora	Sistema hidraulico	Cambio de filtros hidráulicos	250 h	Preventivo	Mecánico	Según horas de operación
Excavadora	Sistema estructural	Inspección visual de pluma y brazo	Diario	Preventivo	Operador	Detectar grietas y deformaciones
Excavadora	Sistema mecánico	Medición de holguras (pasadores / bujes)	Mensual	Preventivo	Mecánico	Control de desgaste
Excavadora	Tren de rodaje	Inspección de orugas y rodillos	Semanal	Preventivo	Mecánico	Revisar desgaste y tensión
Manitou	Sistema hidraulico	Inspección de fugas y mangueras	Diario	Preventivo	Operador	CheckList pre-operacional
Manitou	Sistema hidraulico	Control de presión hidráulica	Semanal	Preventivo	Mecánico	Verificar Estabilidad del
Manitou	Sistema hidraulico	Analisis de Aceite hidráulico	Mensual	Predictivo	Mecánico	Control de contaminación
Manitou	Sistema hidraulico	Cambio de filtros de hidráulicos	250h	Preventivo	Mecánico	Según horas de uso
Manitou	Sistema estructural	Inspección visual de brazo telescópico	Diario	Preventivo	Operador	Detectar fisuras
Manitou	Sistema de estabilización	Inspección de estabilizadores	Diario	Preventivo	Operador	Inspección visual
Manitou	Sistema de estabilización	Prueba de nivelación y funcionamiento	Semanal	Preventivo	Mecánico	Verificar correcto despliegue

Fuente: Elaboración propia en base a análisis RCM

3.1.7. Propuesta de herramienta tecnológica

De acuerdo con el diagnóstico realizado, la gestión de mantenimiento del taller mecánico presenta brechas importantes en cuanto al control, planificación y trazabilidad de las actividades de mantenimiento, evidenciadas principalmente por la ausencia de registros históricos confiables, la falta de control de inventarios, la dependencia del conocimiento informal del personal y un enfoque reactivo frente a las fallas de los equipos.

Estas deficiencias impactan directamente en la disponibilidad de los equipos estudiados, así como en la capacidad de la empresa para planificar mantenimientos preventivos.

Para poder llevar un mejor control, se propone la implementación de un software de mantenimiento, específicamente Fractal, como una herramienta que permita digitalizar, estandarizar y controlar la gestión del mantenimiento.

Fractal permite:

- Gestión de ordenes de trabajo
- Planificación del mantenimiento preventivo
- Gestión de inventario y repuestos
- Control de indicadores de gestión
- Posibilidad de controlar diferentes faenas

Fractal entrega una interfaz de usuario amigable, y fácil de entender, en el tablero de inicio se podrá visualizar de manera actualizada y resumida la información de la gestión en la plataforma, obteniendo así, indicadores y graficos con lo siguiente:

OTs en proceso: Corresponde al total de ordenes de trabajo que aún están en etapa de ejecución

OTs en Revisión: Corresponde al total de ordenes de trabajo que ya fueron ejecutadas y se encuentran en la etapa de verificación.

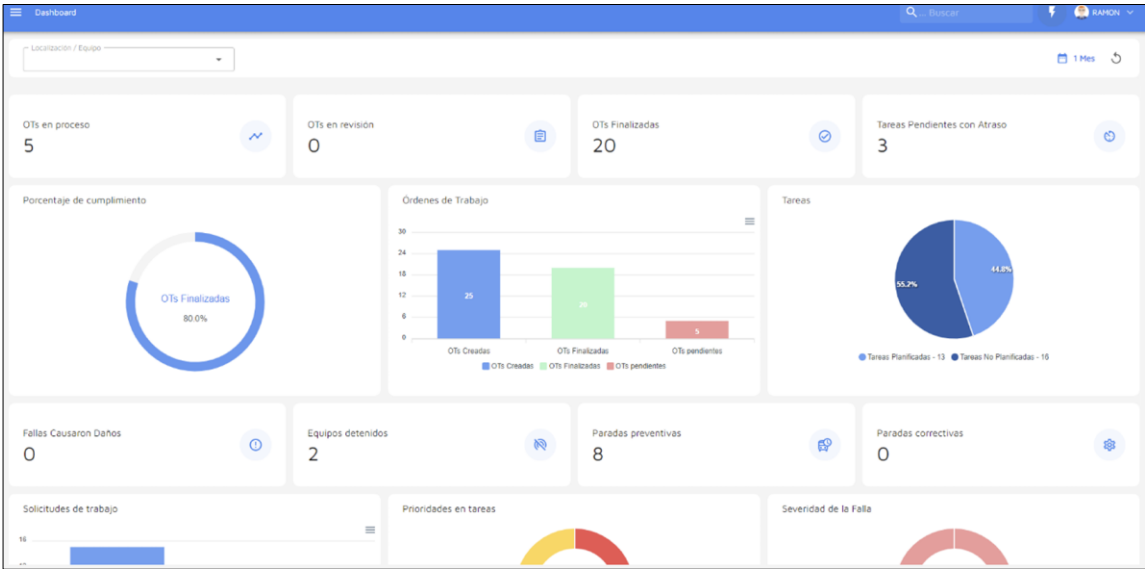
OTs Finalizadas: Corresponde al total de ordenes de trabajos que se encuentran verificadas y concluidas.

Porcentaje de cumplimiento: Grafico representativo de la proporcionalidad de las OTs creadas versus las OTs finalizadas.

Fallas que causaron daños: Corresponden al número de fallas asociadas a activos que han causado algún tipo de daño.

Equipos detenidos: Corresponden al número de equipos que se encuentran detenidos.}

Entre otros indicadores que apoyan con la gestión de mantenimiento.



Fuente: Manual usuario Fracttal

Figura 3-6 Panel principal Fracttal

3.1.7.1. Implementación de Fracttal

Para digitalizar el plan de mantenimiento propuesto, se debe seguir la siguiente estructura:

1. Registro del activo: Se deberá codificar el activo ingresado al programa, para poder distinguir ubicación, tipo de equipo, y número de equipo como identificador.
2. Se crearan ordenes de trabajo periódicas asociadas a tareas detalladas en el plan de mantenimiento, estas tareas deben ser asignadas con su respectiva frecuencia.
3. Se designan responsabilidades para la tarea a ejecutar
4. Según el mantenimiento se pueden asignar los repuestos y materiales para cada tarea.
5. El software genera automáticamente ordenes de trabajo según cronograma, en donde los responsables las reciben mediante correo electrónico.
6. Fracttal permite realizar un seguimiento y registro del historial de mantenimiento, por lo que cada intervención queda registrada con su fecha, responsable, tareas que se realizaron, materiales utilizados y observaciones.

3.1.7.2. Beneficios esperados

Con la implementación del software se busca tener un mayor control de las actividades de mantenimiento, simplificando la gestión del encargo del taller. Los beneficios concretos son:

- Reducción de tiempos muertos por fallas no planificadas
- Aumento de la vida útil de los equipos
- Ordenar y planificar de forma digital el mantenimiento, dejando de lado la dependencia de los registros en papel.
- Estadísticas para análisis de rendimiento y fallas

Si bien en un comienzo se propone implementar la Excavadora y la Manitou en el software, es deseable que exista el registro para todos los equipos y maquinaria de la empresa.

3.1 **EVALUACIÓN ECONÓMICA**

La presente evaluación económica tiene como objetivo estimar y analizar los costos asociados a la implementación del plan de mantenimiento preventivo propuesto para el taller de la empresa Montajes Verticales, considerando los resultados de la evaluación técnica desarrollada previamente en este capítulo.

Este análisis busca determinar la factibilidad económica del plan, comparando la situación actual caracterizada por una gestión manual, limitada trazabilidad y dependencia de registros en papel con el escenario propuesto, que incorpora planificación preventiva, estructurada y soporte digital mediante un CMMS.

3.2 **COSTO INICIAL DE IMPLEMENTACIÓN**

El costo inicial corresponde a los elementos necesarios para dar marcha al plan de mantenimiento y asegurar una correcta ejecución, considerando la necesidad de fortalecer el control y trazabilidad del mantenimiento.

El gasto inicial contempla principalmente a la implementación de mejoras estructurales y organizacionales, orientados a fortalecer la gestión del mantenimiento y

asegurar la correcta ejecución de las tareas definidas en el plan preventivo, a continuación, se describen los principales componentes considerados.

1) Implementación de la metodología 5s en bodega y taller.

Se considera una inversión inicial asociada a la implementación de la metodología 5s en la bodega y el taller mecánico, la cual incluye señalética, demarcación de áreas, estanterías, etiquetas de identificación y elementos visuales de control. Esta implementación tiene como objetivo reducir los tiempos improductivos asociados a la búsqueda de materiales, además de fortalecer el control de inventario. El costo estimado de la implementación es de \$1.000.000

2) Adquisición de herramientas e instrumentos de medición

Se incluye la adquisición de herramientas especializadas e instrumentos de medición tales como llave de torque, manómetros hidráulicos y equipos de medición eléctrica, todos son elementos necesarios para ejecutar las tareas de mantenimiento.

Tabla 3-2 Costo de adquisición de herramientas e instrumentos.

Categoría	Herramienta	Cantidad	Costo unitario (CLP)	Subtotal (CLP)
Torque y ajuste	Llave de torque 1/2" (40–200 Nm)	1	\$ 180.000	\$ 180.000
Torque y ajuste	Llave de torque 3/4" (100–600 Nm)	1	\$ 250.000	\$ 250.000
Torque y ajuste	Juego dados impacto	1	\$ 120.000	\$ 120.000
Medición y control	Manómetro hidráulico 0–400 bar	2	\$ 95.000	\$ 190.000
Medición y control	Multímetro digital industrial	1	\$ 120.000	\$ 120.000
Medición y control	Termómetro infrarrojo	1	\$ 85.000	\$ 85.000
Medición y control	Calibrador pie de metro	1	\$ 40.000	\$ 40.000
Hidráulica	Llaves mangueras hidráulicas	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Hidráulica	Acoples rápidos hidráulicos (juego)	1	\$ 120.000	\$ 120.000
Hidráulica	Bomba manual prueba presión hidráulica	1	\$ 350.000	\$ 350.000
Herramientas generales	Carro porta herramientas	1	\$ 320.000	\$ 320.000
Herramientas generales	Juego llaves combinadas	1	\$ 90.000	\$ 90.000
Herramientas generales	Pistola de engrase industrial	2	\$ 45.000	\$ 90.000
			Total	\$ 2.105.000

Fuente: Elaboración propia

3) Capacitación del personal de mantenimiento y operadores

Otro factor para considerar en la implementación es que se debe designar a un líder en la implementación de las 5s, quien estará orientado a reforzar inspecciones preventivas, uso de checklists, buenas prácticas operacionales y la ejecución del plan de mantenimiento. El profesional idóneo para tomar esta posición de liderazgo es el jefe de taller.

4) Implementación de software

Dentro de la inversión inicial se considera la adquisición y capacitación del software de gestión de mantenimiento “Fracttal”.

Fracttal tiene un costo estimado de \$250.000 mensuales.

3.2. **COSTOS ANUALES DEL PLAN**

Los costos recurrentes del plan de mantenimiento corresponden a los gastos asociados a la operación continua del plan de mantenimiento propuesto. Estos costos se repiten año a año y están directamente relacionados con la ejecución de las actividades de mantenimiento, el consumo de recursos, y el soporte necesario para asegurar la continuidad del plan.

- Uno de los principales componentes del costo anual es la mano de obra asociados al tiempo que el personal destina a la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo, inspecciones operacionales y actividades de control.
- Los costos asociados a insumos y repuestos consideran el consumo periódico de materiales necesarios para la ejecución del mantenimiento, como, por ejemplo:
 - 1) Aceites y lubricantes
 - 2) Filtros de aceite, aire y combustible
 - 3) Elementos de desgaste
 - 4) Componentes hidráulicos de reemplazo frecuente
- Otro costo asociado es la consideración de los servicios externos especializados, los cuales se utilizan cuando las capacidades del taller no permiten realizar determinar reparaciones.
- Costos asociados al software, específicamente a la renovación de la licencia y soporte de la plataforma Fracttal.

- Contratación de un mecánico adicional, esta contratación es asumida como inversión, ya que será el principal encargado de instaurar un sistema que aumente la eficiencia del taller, aumentando la productividad del equipo.

Tabla 3-3 Costo adquisición de implementación del plan preventivo.

Actividad/recurso	Frecuencia	Costo anual	observaciones
Implementación 5s	Anual	\$ 1.000.000	
Adquisición herramientas/instrumentos	Anual	\$ 2.105.000	
Mecánico	Anual	\$ 1.512.849	Costo empresa
Implementación software	Anual	\$ 3.000.000	
	Inversión	\$ 7.617.849	

Fuente: Elaboración propia

3.3. COSTO DE MANTENCIÓN PLANIFICADA

A continuación, se presenta la tabla 3-4. de costos estimados de la mantención planificada de la excavadora CAT 320 y la tabla 3-5. de costos estimados para la Manitou X1033, donde se detallan los principales materiales e insumos requeridos, junto con su costo anual estimado, permitiendo comparar posteriormente estos valores con los costos asociados a una mantención correctiva y evaluar el impacto económico de cada estrategia de mantenimiento.

Es importante destacar que contar con stock de elementos fungibles para realizar estas mantenciones, los tiempos de reparación se ven reducidos ya que se evita la cotización, compra y traslado de insumos.

Tabla 3-4 Costo anual estimado mantención planificada CAT320.

Sistema / Actividad	Descripción	Frecuencia	Costo estimado
Motor	Cambio aceite motor + filtro	250 h	\$800.000 – \$1.200.000
Sistema de combustible	Cambio filtros combustible	500 h	\$400.000 – \$650.000
Sistema hidráulico	Cambio filtros hidráulicos	500 h	\$700.000 – \$1.000.000
Sistema hidráulico	Cambio aceite hidráulico	2000 h	\$1.800.000 – \$2.500.000
Sistema de giro	Inspección y lubricación corona de giro	500 h	\$300.000 – \$500.000
Traslación	Cambio aceite reductores finales	2000 h	\$700.000 – \$1.000.000

Tren de rodaje	Inspección, ajuste y lubricación	250 h	\$400.000 – \$700.000
Sistema eléctrico	Revisión general y diagnóstico	250 h	\$250.000 – \$400.000
Lubricación general	Engrases pasadores pluma, brazo y balde	1000 h	\$300.000 – \$500.000
Mano de obra planificada	Mantenimiento programada	250 h	\$1.000.000 – \$1.500.000
Costo anual estimado			\$6.700.000 – \$10.000.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-5 Costo anual estimado mantención planificada Manitou MLTX-1033.

Sistema / Actividad	Descripción	Frecuencia	Costo estimado CLP
Motor	Cambio de aceite motor y filtro (intervalo programado)	250 h	\$600.000 – \$900.000
Sistema de combustible	Cambio de filtros de combustible	500 h	\$350.000 – \$550.000
Sistema hidráulico	Cambio filtros hidráulicos	500 h	\$500.000 – \$800.000
Sistema hidráulico	Cambio aceite hidráulico (intervalo mayor)	2000 h	\$1.200.000 – \$1.800.000
Transmisión / Ejes	Cambio aceite diferenciales y transmisión	500 h	\$600.000 – \$900.000
Sistema eléctrico	Revisión general y chequeo de sensores	250 h	\$200.000 – \$350.000
Lubricación general	Engrase de pasadores, cardanes y articulaciones	250 h	\$200.000 – \$300.000
Mano de obra planificada	Mantenimiento programada	250 h	\$700.000 – \$1.000.000
Costo anual estimado			\$4.300.000 – \$6.800.000

Fuente: Elaboración propia

3.4 COSTO DE MANTENCIÓN CORRECTIVA

En el caso de Montajes Verticales, el procedimiento actualmente utilizado para enfrentar este tipo de fallas contempla un plazo estimado entre 5 y 10 días hábiles, periodo que incluye las siguientes etapas: Solicitud y evaluación de cotizaciones a proveedores, gestión interna de aprobación de la reparación, traslado del equipo al taller mecánico asignado, ejecución de los trabajos correctivos y posterior retorno del equipo a faena.

Este proceso prolongado incrementa significativamente los costos operacionales, tanto por la reparación propiamente tal como por la indisponibilidad del equipo. A continuación, se presenta un presupuesto promedio asociado a una mantención correctiva de la excavadora Caterpillar 320 ante la ocurrencia de una falla.

Tabla 3-6 Costo anual estimado mantención correctiva CAT320.

Sistema / Falla	Descripción	Costo estimado CLP
Sistema hidráulico	Reemplazo bomba hidráulica principal	\$1 MM
Sistema hidráulico	Reparación motores hidráulicos	\$1,5 MM – 2 MM
Sistema de giro	Cambio motor de giro y reductor	\$3 MM – 4 MM
Tren de rodaje	Reparación mayor (rodillos, ruedas guía, zapatas)	\$9MM – \$12MM
Estructura	Reparación pluma/brazo (soldadura y refuerzo)	\$2MM – \$2,5MM
Sistema eléctrico	Reparación sistema eléctrico / ECM	\$0,7MM – \$1MM
Transporte a taller	Traslado ida y vuelta en cama baja	\$3MM – \$6MM
Mano de obra externa	Servicio especializado	\$3MM – \$5MM
Detención operacional	Pérdida por 5–10 días fuera de servicio	\$8MM – \$20MM
Costo por evento correctivo		\$31,2 MM – \$43,5MM

Fuente: Elaboración propia en base a cotización

Tabla 3-7 Costo estimado mantención correctiva Manitou MLT X-1033.

Sistema / Falla	Descripción	Costo estimado
Sistema hidráulico	Reparación o reemplazo bomba hidráulica	\$1MM – \$1,8MM
Sistema hidráulico	Reemplazo cilindros hidráulicos	\$4MM – \$8MM
Transmisión	Reparación transmisión powershift	\$8MM – \$10MM
Sistema eléctrico	Reparación sistema eléctrico / ECU	\$2MM – \$5MM
Transporte a taller	Traslado ida y vuelta (remolque)	\$3MM – \$6MM
Mano de obra externa	Servicio especializado	\$3MM – \$5MM
Detención operacional	Pérdida por 5–10 días fuera de servicio	\$6MM – \$15MM
Costo por evento correctivo		\$27MM – \$50,8MM

Fuente: Elaboración propia

La comparación evidencia que la mantención planificada presenta ventajas significativas frente a la mantención correctiva, tanto en términos económicos como operacionales. Mientras la mantención planificada permite controlar y prever los costos, reducir las detenciones no programadas y mantener una alta disponibilidad del equipo, la mantención correctiva se asocia a mayores costos operacionales, tiempos prolongados de indisponibilidad y un impacto negativo directo en la producción.

En este contexto, la mantención correctiva incrementa la criticidad económica del equipo, debido a la combinación de costos de reparación, transporte a talleres externos y pérdidas por detención operacional, lo que refuerza la necesidad de fortalecer una estrategia de mantención planificada.

3.5. COSTOS DE MANTENCIÓN AL INICIO DE TURNO

La mantención diaria o de inicio de turno corresponde a una actividad preventiva de corta duración, orientada a verificar el estado general del equipo antes de su operación. Si bien su costo individual es bajo, su impacto en la reducción de fallas correctivas, detenciones no programadas y riesgos operacionales es significativo.

Este tipo de mantención considera principalmente inspecciones visuales, controles de niveles, verificación funcional de sistemas críticos y detección temprana de anomalías, sin intervención mayor ni reemplazo de componentes. A continuación, se describe en la tabla 3-8 los costos para la inspección al inicio de turno de ambas maquinarias analizadas.

Tabla 3-8 Costo de mantención diaria en base al checklist.

Insumo	Uso específico en checklist diario	Costo diario	Costo 180 días
Paños industriales	Limpieza de varillas, conexiones hidráulicas, motor y cabina	\$2.000 – \$3.000	\$360.000 - \$540.000
Grasa multipropósito	Lubricación de pasadores, puntos visibles y articulaciones	\$1.500 – \$2.500	\$270.000 - \$450.000
Aceite hidráulico (reposiciones menores)	Corrección de nivel bajo por microfugas	\$4.000 – \$6.000	\$720.000 - \$1.080.000
Aceite de motor	Ajuste de nivel detectado en inspección	\$3.500 – \$5.000	\$630.000 - \$900.000

(reposiciones menores)			
Refrigerante	Reposición por evaporación o pérdidas menores	\$2.000 – \$3.500	\$360.000 - \$630.000
Limpiador de contactos / multiuso	Limpieza de bornes, interruptores y conexiones	\$2.500 – \$4.000	\$450.000 - \$720.000
Bridas plásticas	Asegurar mangueras, cables o protecciones sueltas	\$500 – \$1.000	\$90.000 - \$180.000
Marcador / tiza industrial	Señalización de fisuras, fugas o elementos a intervenir	\$500 – \$800	\$90.000 - \$144.000
Guantes desechables	Protección del operario durante inspección	\$800 – \$1.200	\$144.000 - \$216.000
Costo total		\$17.300 - \$27.000	\$3.114.000 - \$4.860.000

Fuente: Elaboración propia

Aunque los insumos utilizados en la mantención diaria corresponden a elementos de bajo costo unitario, su aplicación sistemática permite detectar fallas incipientes, mantener niveles operativos adecuados y reducir la probabilidad de fallas catastróficas. En términos económicos, el gasto asociado a estos insumos representa una fracción mínima en comparación con los costos derivados de una mantención correctiva, tales como reparaciones mayores, detenciones no programadas y pérdida de producción. A su vez, los implementos no son requeridos con tal frecuencia por temas de unidades que vienen en el producto o la durabilidad de ellos en el proceso.

3.6. FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Para cerrar el capítulo, se analizarán los costos asociados a un mantenimiento preventivo propuesto, versus a la situación actual de la empresa caracterizada por un enfoque predominantemente correctivo y con bajo nivel de planificación.

3.6.1. Escenario Actual del mantenimiento en la empresa

En la situación actual, la empresa Montajes Verticales presenta una gestión de mantenimiento reactiva, evidenciada por:

- Ausencia de planificación estructurada
- Falta de control de repuestos
- Registro de mantenimiento poco confiables
- Alta dependencia de servicios externos de mantención.
- Intervenciones correctivas no programadas.

Este enfoque genera costos elevados asociados a:

- Tiempo de inactividad de los equipos
- Sobrecostos por urgencia en cuanto a la adquisición de repuestos.
- Mayor desgaste de componentes por falta de mantenimiento oportuno.
- Costos adicionales por la tercerización de reparaciones.

Esta forma de hacer mantenimiento se traduce en altos costos y tiempos muertos, factores trascendentales a considerar si la empresa busca posicionarse en el mercado, la tabla adjunta nos indica los costos estimados de mantención en la situación actual.

Tabla 3-9 Costos estimados escenario actual para mantención de Manitou y Excavadora

Categoría	Costo Anual estimado	Observación
Reparaciones correctivas equipos	\$ 6.000.000	Fallas no planificadas
Servicios externos	\$ 8.000.000	Alta dependencia
Perdidas por detención	\$ 1.000.000 / día \$ 10.000.000 / falla	Impacto operacional
Compras urgentes	+15% por repuestos por falta de cotización	Sin planificación
	\$24.000.000	

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Escenario propuesto

El escenario propuesto considera la implementación de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, con actividades programas, control de recursos y uso de herramientas de gestión.

En la Tabla 3-10 Costo adquisición de implementación del plan preventivo. Se señala que el costo operativo de implementación del plan asciende a \$7.617.849, si se le añaden los costos de mantención preventiva para la excavadora que asciende a \$6.700.000 y la mantención del equipo de levante \$4.300.000, nos da un total de: \$18.617.849, tal como lo indica la tabla siguiente:

Tabla 3-10 Costos estimados escenario actual para mantención de Manitou y
Excavadora

Escenario	Costo Anual CLP
Situación Actual	\$24.000.000
Plan Propuesto	\$7.617.849
Mantención preventiva Excavadora	\$6.700.000
Mantención preventiva Equipo Levante	\$4.300.000
Ahorro estimado	\$5.328.151

Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Análisis de resultados

Los resultados indican que la implementación del plan de mantenimiento preventivo permitiría generar un ahorro anual estimado de \$5.328.151, lo que representa una reducción significativa en los costos operacionales asociados al mantenimiento.

Este ahorro se explica principalmente por la disminución de fallas no planificadas, reducción de tiempos de inactividad, menor gastos de servicios externos y optimización en la gestión de repuestos.

Es importante señalar que el beneficio del plan no es solo económico, sino también operativo, ya que mejora la disponibilidad de los equipos, la seguridad de quienes lo operan por consecuencia aumenta la calidad del servicio entregado a la empresa mandante.

La implementación del plan es altamente factible debido a que las tareas son ejecutadas con los recursos actuales del taller, no se requiero infraestructura adicional, los trabajadores crean sentido de pertenencia entregando tareas claras y herramientas acorde a sus labores.

Desde el punto de vista económico el plan demuestra ser viable ya que el costo de implementación de bajo versus sus beneficios, se genera un ahorro anual importante, se disminuirá las fallas de los equipos en el frente de trabajo, traduciéndose en mayor productividad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del diagnóstico técnico realizado fue posible evidenciar que la gestión de mantenimiento del taller mecánico de Montajes Verticales presenta un enfoque reactivo a causa de la escasa planificación preventiva, ausencia de registros históricos confiables e inexistente estandarización de procedimientos. Esta situación impacta directamente en la disponibilidad de los equipos, los costos operacionales y la seguridad en faena.

Al no existir data de fallos, o registros de mantenimiento confiables, fue imposible aplicar RCM a los componentes de los equipos analizados, por lo que se propuso un mantenimiento general, estructurado concordante con las sugerencias del fabricante y alineado con el análisis de criticidad de equipos.

Las visitas a terreno evidenciaron que es necesario normar y estandarizar las actividades del taller, desde la ejecución de las labores de mantenimiento, hasta la forma en que se almacena, organiza y registra la bodega de insumos y repuestos, esta mejora permitirá controlar de mejor forma el stock para realizar las actividades de mantenimiento, además de reducir tiempos en la búsqueda de los componentes necesarios.

Es necesario mantener un stock de elementos fungibles para la realización del mantenimiento, es por lo que se insta a la implementación de las 5s en la bodega para poder tener claridad de las existencias, y así poder desarrollar una solicitud al área de requisiciones para la incorporación de repuestos. El control de inventario debe ser llevado a cabo de forma rigurosa, y designar a un encargado de bodega que asegure orden y estructura en esta área. Dejando de lado al registro informal que se tenía.

La evaluación económica evidenció que la implementación del plan propuesto es económicamente viable, ya que permite la reducción de costos derivados del mantenimiento correctivo, que tienden a hacer más costosos y de mayor duración, además de reducir los tiempos muertos al no considerar traslado a un taller especializado el cual repercute aún más en la disponibilidad del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

Autor Personal

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (Reliability-centred Maintenance) Edición en español, 2004. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados.

Autor Personal

PISTARELLI, Alejandro J. Manual de mantenimiento, Ingeniería, gestión y organización, 1ª ed. Buenos Aires, 2010.

Autor Personal

REYES Álvarez, Julio. Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para equipo crítico de la empresa Bottai y HNOS S.A. Tesis (Ingeniero en Mantenimiento Industrial con Licenciatura en Ingeniería de Mantenimiento) Viña del mar, Chile UTFSM. Sede Viña del mar 2023.

Autor Institucional

CHILE. CODELCO. Estándares de Control de Fatalidades ECF 3 Maquinarias Industriales. Chile: CODELCO, [202_].

FRACTTAL. Guía técnica Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) [En línea] <<https://www.fracttal.com/es/guias-mantenimiento/mantenimiento-centrado-en-confiabilidad>> [Consulta: 07 septiembre 2025]

ALADON. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) [En línea] <[rcm-articulo-mantenimiento-centrado-confiabilidad-03-dic-2021.pdf](#)> [Consulta: 12 Agosto 2025]

Ingeniería en Confiabilidad I. 2022. Apuntes de asignatura entregados por profesor Carlos Baldi.

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM II)*. Aladon Ltd.

ANEXOS

Anexo N°1 Check List Excavadora

	CHECK LIST DE MAQUINARIAS Y EQUIPOS			
	EXCAVADORA			
N° Interno		Horómetro Inicial:		Fecha:
N° Interno		Horómetro Final:		Operador
Patente:		Kilometraje:		Turno (Día/Noche):
ITEMS A REVISAR				
I. DESCRIPCION		BUENO	MALO	NO APLICA
DETENCIÓN INMEDIATA DEL EQUIPO	LUCES (ALTAS, BAJAS, ESTACIONAMIENTO, INTERMITENTES, FRENO, ETC.)			
	FUNCIONAMIENTO DE ACCESORIOS (LIMPIA PARABRISAS, RADIO, ETC.)			
	FUGAS DE ACEITE (MOTOR, HIDRAULICO, MANDOS FINALES, ETC.)			
	FUGAS DE AGUA (RADIADOR, MANGUERAS, ETC.)			
	ESCALERILLA DE ACCESO, PASAMANOS CABINA			
	VIDRIOS (VENTANAS, PUERTAS, ETC.)			
	ESPEJOS RETROVISORES			
	CINTURON DE SEGURIDAD			
	NIVEL DE ACEITE DE MOTOR			
	NIVEL DE ACEITE HIDRAULICO			
	NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISION			
	NIVEL DE REFRIGERANTE			
	SISTEMA DE DIRECCION			
	EXTINTOR PORTATIL			
	PUERTAS			
	BOCINA			
	FRENOS SERVICIO			
	FRENOS ESTACIONAMIENTO			
NUMERO INTERNO Y PERTIGA				
ARRANQUE MOTOR				
BOTIQUIN				
ASEO GENERAL				
AIRE ACONDICIONADO				
HOROMETRO				
LLAVE DE CONTACTO				
ESTADO DE FUSIBLES				
CABINA				
ASIENTO				
PANEL DE INSTRUMENTOS				
RUEDA MOTRIZ				
RUEDA TENSORA				
RODADO				
ZAPATAS				
CADENAS				
GUIA DE CADENA				
ESTADO DE ENGRASE				
ESTADO DE ORUGAS				
ESTADO DE RODILLOS SUPERIOR E INFERIOR				
ESTADO DE PLUMA (REVISAR POSIBLES TRIZADURAS)				
ESTADO DE TALONERAS				
PLANCHAS DE DESGASTE				
BALDE (OBSERVAR FISURAS)				
SOPORTE DE SEGURO BALDE				
CALZAS				
ENTREDIENTES				
PORTACALZAS				
MANGUERAS HIDRAULICAS				
CILINDRO DE BALDE				
CILINDROS STICK				
CILINDROS DE LEVANTE				
LIMPIEZA DE BASTIDOR				
PUNTO DE BLOQUEO				
II. ESTADO DEL OPERADOR				
DESCRIPCION		SI	NO	
FISICAMENTE Y PSICOLOGICAMENTE BIEN PARA REALIZAR SU TRABAJO				
CUENTA CON TODOS SUS ELEMENTOS DE PROTECCION PERSONAL				
OBSERVACIONES GENERALES				

OPERADOR DEL EQUIPO
NOMBRE Y FIRMA

JEFE DE TERRENO
NOMBRE Y FIRMA

LIDER DE MANTENCION
NOMBRE Y FIRMA

Anexo N°2 Check List Manitou

		CHECK LIST DE MAQUINARIAS Y EQUIPOS			
		EXCAVADORA			
N° Interno		Horómetro Inicial		Fecha	
N° Interno		Horómetro Final		Operador	
Patente		Kilometraje		Turno (Día/Noche)	
ITEMS A REVISAR					
I. DESCRIPCION					
DETENCION INMEDIATA DEL EQUIPO	LUCES (ALTAS, BAJAS, ESTACIONAMIENTO, INTERMITENTES, FRENO, ETC.)		BUENO	MALO	NO APLICA
	FUNCIONAMIENTO DE ACCESORIOS (LIMPIA PARABRISAS, RADIO, ETC.)				
	FUGAS DE ACEITE (MOTOR, HIDRAULICO, MANDOS FINALES, ETC.)				
	FUGAS DE AGUA (RADIADOR, MANGUERAS, ETC.)				
	ESCALERILLA DE ACCESO, PASAMANOS CABINA				
	VIDRIOS (VENTANAS, PUERTAS, ETC.)				
	ESPEJOS RETROVISORES				
	CINTURON DE SEGURIDAD				
	NIVEL DE ACEITE DE MOTOR				
	NIVEL DE ACEITE HIDRAULICO				
	NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISION				
	NIVEL DE REFRIGERANTE				
	SISTEMA DE DIRECCION				
	EXTINTOR PORTATIL				
	PUERTAS				
	BOCINA				
	FRENOS SERVICIO				
	FRENOS ESTACIONAMIENTO				
	NUMERO INTERNO Y PERTIGA				
	ARRANQUE MOTOR				
BOTIQUIN					
ASEO GENERAL					
AIRE ACONDICIONADO					
HOROMETRO					
LLAVE DE CONTACTO					
ESTADO DE FUSIBLES					
CABINA					
ASIENTO					
PANEL DE INSTRUMENTOS					
RUEDA MOTRIZ					
RUEDA TENSORA					
RODADO					
ZAPATAS					
CADENAS					
GUIA DE CADENA					
ESTADO DE ENGRASE					
ESTADO DE ORUGAS					
ESTADO DE RODILLOS SUPERIOR E INFERIOR					
ESTADO DE PLUMA (REVISAR POSIBLES TRIZADURAS)					
ESTADO DE TALONERAS					
PLANCHAS DE DESGASTE					
BALDE (OBSERVAR FISURAS)					
SOPORTE DE SEGURO BALDE					
CALZAS					
ENTREDIENTES					
PORTACALZAS					
MANGUERAS HIDRAULICAS					
CILINDRO DE BALDE					
CILINDROS STICK					
CILINDROS DE LEVANTE					
LIMPIEZA DE BASTIDOR					
PUNTO DE BLOQUEO					
II. ESTADO DEL OPERADOR					
DESCRIPCION			SI	NO	
FISICAMENTE Y PSICOLOGICAMENTE BIEN PARA REALIZAR SU TRABAJO					
CUENTA CON TODOS SUS ELEMENTOS DE PROTECCION PERSONAL					
OBSERVACIONES GENERALES					

OPERADOR DEL EQUIPO
NOMBRE Y FIRMA

JEFE DE TERRENO
NOMBRE Y FIRMA

LIDER DE MANTENCION
NOMBRE Y FIRMA