

Metodología para la implementación de un mantenimiento mayor para excavadora
EX1200-6 en la mina Drummond

Alexander de Jesús Gutiérrez Mercado y Machell Corona Gómez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

William Pinto Hernández

Doctor en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicomecánica

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

Dedico esta monografía principalmente a Dios, que ha sido mi guía siempre en todo el transcurso de mi vida. También dedico esta obra a mi familia, a mi amada Eleiana Murgas que siempre ha estado a mi lado en los momentos que más la he necesitado, apoyándome y siempre creyendo en mí cuando incluso yo no creía. A mis padres y mis hermanos, que desde que nací siempre han sido mi base y ejemplo para siempre seguir adelante: Alexander, Inés, Adrián y Julián. Los amo.

Quiero dedicar esta monografía a todos mis compañeros de trabajo, tanto de la empresa Drummond como de CHM Minería, que siempre estuvieron prestos a apoyarme para la construcción de esta obra y que han aportado mucho en mi desarrollo personal y profesional, en especial a mi gran equipo técnico de soporte palas Hitachi.

Por último, agradecer a mi compañero de fórmula de esta obra y amigo, ya que compartir experiencias y conocimientos con él han hecho de este reto una experiencia muy productiva, que deja muchas enseñanzas.

Alexander de Jesús Gutiérrez Mercado

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Jehová Dios, por ser mi fortaleza, por iluminar mi camino y darme la sabiduría y la perseverancia necesarias para seguir adelante.

A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación. A mis hermanos, por estar siempre conmigo, brindándome ánimo y compañía en cada paso de este proceso.

A mi hijo, Gabriel Corona Cantillo, por ser mi mayor motivación, mi fuente de inspiración y la razón por la que cada día me esfuerzo por ser una mejor persona y un mejor ejemplo.

Y de manera muy especial, dedico este trabajo a mi compañero y amigo Alexander Gutiérrez, con quien compartí no solo este proyecto, sino también momentos de esfuerzo, aprendizaje y crecimiento. Gracias por tu compromiso, tu amistad y por ser parte fundamental de este logro.

Machell Andrés Corona Gómez

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	16
Planteamiento del problema.....	18
Justificación	20
Hipótesis	21
1. Objetivos	22
1.1 Objetivo General	22
1.2 Objetivos Específicos.....	22
2. Marco teórico	23
2.1 Drummond Ltd.....	23
2.2 Mina El Descanso	23
2.3 Proceso de extracción del carbón en la mina El Descanso de Drummond Ltd.	24
2.3.1 Exploración y Planeación	24
2.3.2 Perforación y explotación	24
2.3.3 Carga y transporte de material estéril	24
2.3.4 Carga y transporte del carbón	27
2.3.5 Departamento de mantenimiento de palas	29
2.3.6 HITACHI EX1200-6	32
2.3.7 El mantenimiento	37
2.3.8 Overhaul - mantenimiento mayor	39
2.3.9Análisis de criticidad.....	42

2.3.10 Gestión de proyectos.....	47
3. Metodología	51
3.1 Diagnóstico y alcance	51
3.2 Planificación del proyecto.....	51
3.3 Ejecución y monitoreo	51
3.4 Cierre y gestión del conocimiento	52
4. Resultados	52
4.1 Análisis de criticidad.....	52
4.2 Planeación del mantenimiento mayor.....	61
4.2.1 Definición del alcance.....	61
4.2.2 Políticas y normas generales	61
4.2.3 Definiciones	62
4.2.4 Roles y funciones.....	65
4.2.4.1 Coordinador de mantenimiento (Supervisor Senior Mantenimiento Palas)	65
4.2.4.1.1 Funciones pre-mantenimiento mayor	65
4.2.4.1.2 Funciones durante y post mantenimiento mayor	66
4.2.4.2 Supervisor de mantenimiento mayor	66
4.2.4.2.1 Funciones pre-mantenimiento mayor	66
4.2.4.2.2 Funciones durante y post mantenimiento mayor	67
4.2.4.3 Planeador de Mantenimiento	68
4.2.4.3.1 Pre-mantenimiento mayor.....	68
4.2.4.3.2 Durante y post mantenimiento mayor.....	69

4.2.4.4 Supervisor de Mantenimiento	70
4.2.4.4.1 Pre-mantenimiento	70
4.2.4.4.2 Durante y post mantenimiento mayor	70
4.2.4.5 Ingeniero de repuestos	71
4.2.4.5.1 Pre-mantenimiento mayor.....	71
4.2.4.5.2 Durante y post mantenimiento mayor.....	71
4.2.4.6 Equipo de soporte técnico (Especialistas).....	72
4.2.4.6.1 Pre-mantenimiento mayor.....	72
4.2.4.6.2 Durante y post mantenimiento mayor.....	72
4.2.4.7 Técnico de mantenimiento.....	73
4.2.4.7.1 Durante y post mantenimiento mayor.....	73
4.2.4.8 Supervisor SSTA	74
4.2.4.8.1 Pre-mantenimiento mayor.....	74
4.2.4.8.2 Durante y post mantenimiento mayor.....	74
4.2.5 Actividades de preparación antes del mantenimiento mayor	75
4.2.5.1 Semana 1: análisis de fallas e inspección inicial	75
4.2.5.1.1 Planeador.....	75
4.2.5.1.2 Coordinador de mantenimiento.....	76
4.2.5.2 Semana 2: inspección de rendimiento y subsistemas	76
4.2.5.2.1 Coordinador de mantenimiento.....	77
4.2.5.2.2 Equipo de soporte técnico	77
4.2.5.3 Semana 3: inspección estructural profunda	77

4.2.5.4	Semana 4: estimación preliminar de recursos y repuestos.....	78
4.2.5.5	Semana 5: reunión de arranque y proyección inicial	78
4.2.5.6	Semana 6 a 9: plan de acción y formalización de tareas.....	79
4.2.5.7	Semana 10: consolidación de costos y monitoreo de hallazgos	80
4.2.5.8	Semana 11: verificación de inventario y solicitudes finales.....	80
4.2.5.9	Semana 12: definición del plan de trabajo y ruta crítica.....	81
4.2.5.10	Semana 13: revisión del borrador del plan de trabajo.....	81
4.2.5.11	Semana 14: aprobación del plan final y logística	82
4.2.5.12	Semana 15: confirmación definitiva con producción	83
4.2.5.13	Semana 16: alistamiento final y reunión de arranque técnico	84
4.2.6	Alistamiento del área de trabajo	85
4.2.7	Indicadores de rendimiento – KPI'S.....	88
4.2.7.1	Cumplimiento del cronograma (Cc)	88
4.2.7.3	Cumplimiento de presupuesto.....	89
4.2.7.4	Índice de reproceso (Ir).....	89
4.2.7.5	Índice de accidentalidad (Ia).....	89
4.2.7.6	Índice de fallas post mantenimiento (Ipm)	89
4.2.7.7	Disponibilidad (Dpm).....	90
4.3	Ejecución de mantenimiento mayor.....	90
4.4	Monitoreo al desarrollo del mantenimiento mayor.....	91
4.5	Reunión post-mantenimiento mayor.....	91
5.	Análisis de resultados	93

6. Conclusiones.....	96
7. Recomendaciones	98
Referencias.....	100
Apéndices.....	102

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Matriz de criticidad.....	52
Tabla 2. Componentes mayores del modelo EX1200-6	53
Tabla 3. Evaluación de componentes.....	57
Tabla 4. Matriz de consecuencias	60

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Los tres dragones de Drummond.....	26
Figura 2 Capacidad de los equipos mineros de Drummond Ltd.....	27
Figura 3 Descarga de carbón.....	28
Figura 4 Estructura orgánica del departamento de palas	31
Figura 5 Hitachi EX1200-6 (arriba: retroexcavadora / abajo: pala frontal).....	32
Figura 6 Especificaciones técnicas de una retroexcavadora y una pala frontal.....	33
Figura 7 División entre superestructura y tren de rodaje.....	35
Figura 8 Bosquejo circuito principal EX1200-6.....	36
Figura 9 Bosquejo circuito hidráulico de pilotaje.....	37
Figura 10 Gestión de paradas de planta	40
Figura 11 Mantenimiento organizado y sus subdivisiones	42
Figura 12 Tabla de representación de criticidad.....	44
Figura 13 Análisis de criticidad.....	45
Figura 14 Transición del estado de una organización a través de un proyecto.....	48
Figura 15 Villa Raffie.....	86
Figura 16 Mapa de Áreas.....	87

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Formato de registro de indicadores durante la reunión diaria	102
Apéndice B. Formato de registro de indicadores durante la reunión semanal.....	103
Apéndice C. Formato de registro de indicadores lecciones aprendidas, pendientes y propuestas de mejora	104

Glosario

Componentes críticos: partes fundamentales de una máquina cuya falla puede causar paradas no programadas o comprometer la seguridad de la operación. (ISO 14224, 2016).

Corona de Giro: es un componente mecánico esencial en la maquinaria industrial que permite la rotación suave y controlada de estructuras pesadas. (TGB, s.f).

Excavadora: son máquinas pesadas equipadas con brazos extensibles y potentes cucharones. Son utilizadas principalmente para excavar y remover la tierra, así como grandes cantidades de materiales. (TRITON, s.f.).

Hidráulico: relativo a sistemas que emplean fluidos a presión para transmitir potencia y realizar trabajo mecánico. (Hernández & Rojas, 2015).

Holgura: espacio libre entre componentes mecánicos que permite el movimiento relativo entre ellos; su exceso puede ser señal de desgaste. (González, 2016).

Inspección: actividad sistemática realizada para evaluar el estado de un equipo o sistema, con el objetivo de identificar desviaciones, desgastes, fallas incipientes o condiciones inseguras antes de que ocurran fallos mayores. (Palacios, 2019).

Mantenimiento: conjunto de actividades técnicas destinadas a conservar un sistema en condiciones óptimas de operación. (ISO 14224, 2016).

Mantenimiento Correctivo: reparación realizada tras la detección de una falla, con el fin de devolver el sistema a su estado operativo. (Palacios, 2019).

Overhaul: es un proceso exhaustivo que restaura la maquinaria a su estado operativo óptimo, alargando su vida útil y mejorando su rendimiento. (MANSIL, s.f.).

Planeación: proceso mediante el cual se definen metas, se trazan estrategias y se determinan acciones necesarias para alcanzar un objetivo deseado, teniendo en cuenta los recursos y el entorno disponible. (Chiavenato, 2009).

Proceso: conjunto de actividades interrelacionadas que convierten entradas en resultados, frecuentemente optimizado en entornos industriales. (Harrington, 1991).

Proyecto: esfuerzo temporal dirigido a crear un producto o servicio único, con objetivos definidos en alcance, tiempo y recursos. (Project Management Institute, 2017).

Resumen

Título: Metodología para la implementación de un mantenimiento mayor para excavadora EX1200-6 en la mina Drummond*

Autor: Alexander de Jesús Gutiérrez Mercado y Machell Corona Gómez**

Palabras Clave: Hitachi EX1200-6, mantenimiento mayor, análisis de criticidad, Drummond Ltd.

Descripción: esta monografía constituye una propuesta de una metodología estructurada para la planeación, ejecución y seguimiento de un mantenimiento mayor (overhaul) aplicado a las excavadoras Hitachi 1200-6, utilizadas en la Mina El Descanso de la compañía Drummond Ltd. El desarrollo del trabajo inicia con una revisión bibliográfica exhaustiva, sustentada en la recolección de información técnica proveniente de manuales del fabricante, hojas de datos (datasheets), registros históricos de mantenimiento y otras fuentes documentales, todo ello complementado con el conocimiento práctico y las experiencias aportadas por el personal técnico de campo. Con esta base, se estructura una metodología que comienza con un análisis de criticidad, en el cual se identifican y clasifican los componentes del equipo en función de su impacto operativo y costo, lo que permite establecer con claridad el alcance de la intervención. A partir de este diagnóstico, se definen las generalidades del mantenimiento, considerando los procedimientos técnicos y las normas de seguridad aplicables. Además, se realiza una planificación semanal detallada, se asignan roles y responsabilidades, y se especifican las actividades clave antes, durante y después de la parada mayor. Finalmente, el documento presenta conclusiones y recomendaciones que buscan optimizar futuras intervenciones, garantizando eficiencia operativa, reducción de riesgos y continuidad en el funcionamiento del equipo.

* Trabajo de Grado

** Facultad de ingeniería Físicomecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: William Pinto Hernández. Doctor en Ingeniería Mecánica.

Abstract

Title: Methodology for implementing major maintenance for the EX1200-6 excavator at Drummond mine *

Author(s): Alexander de Jesús Gutiérrez Mercado y Machell Corona Gómez **

Key Words: Hitachi EX1200-6, major maintenance, criticality analysis, Drummond Ltd.

Description: This monograph proposes a structured methodology for the planning, execution, and monitoring of a major maintenance overhaul applied to Hitachi 1200-6 excavators used at Drummond Ltd.'s El Descanso Mine. The work begins with an exhaustive bibliographic review, supported by the collection of technical information from manufacturer manuals, datasheets, historical maintenance records, and other documentary sources, all complemented by the practical knowledge and experience contributed by field technical personnel. Based on this, a methodology is structured that begins with a criticality analysis, in which the equipment components are identified and classified based on their operational impact and cost, which allows a clear establishment of the scope of the intervention. Based on this diagnosis, the general aspects of the maintenance are defined, considering the applicable technical procedures and safety standards. In addition, a detailed weekly planning is carried out, roles and responsibilities are assigned, and key activities before, during, and after the major shutdown are specified. Finally, the document presents conclusions and recommendations that seek to optimize future interventions, ensuring operational efficiency, risk reduction, and continued operation of the equipment.

* Degree Work

** Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: William Pinto Hernández. PhD in Mechanical Engineering.

Introducción

En el sector de la minería, el mantenimiento de la maquinaria pesada es fundamental para garantizar la continuidad y seguridad de las operaciones. En la compañía Drummond Ltd., las excavadoras de extracción son equipos clave para el desarrollo de la actividad productiva. Sin embargo, actualmente muchas de estas excavadoras registran elevadas horas de trabajo sin que se les haya realizado la intervención específica y apropiada de algunos de sus componentes más importantes, como es el caso de las excavadoras Hitachi EX1200-6.

Si bien las excavadoras Hitachi EX1200-6 son máquinas con un avanzado sistema hidráulico y diseñadas para realizar tareas exigentes, con una alta resistencia y durabilidad (CHM minería, s.f), esto no quiere decir que no se requiera realizar el mantenimiento adecuado para lograr obtener su mayor rendimiento posible, al tiempo en que se mantiene la productividad dentro de la empresa. No es un secreto para ninguna organización que, si no se cuenta con las herramientas en óptimas condiciones para poder operar, el flujo de trabajo se verá afectado, lo que se traduce en retrasos, pérdida de la reputación, insatisfacción de los clientes, y en últimas, pérdidas financieras.

Por todo lo anterior, se realiza esta monografía cuyo objetivo es presentar una metodología para la ejecución de un mantenimiento mayor (*overhaul*) en las excavadoras Hitachi EX1200-6, enfocado específicamente en el reemplazo de componentes que nunca han sido intervenidos y que presentan un alto desgaste, lo cual permitirá asegurar el rendimiento operativo del activo. Para esto, se definirán los pasos, herramientas y recursos necesarios para abordar el reemplazo de un componente tan crítico, así como la implementación de proyectos de mejora y la ejecución de

tareas de menor complejidad orientadas a mitigar riesgos, reducir tiempos de inactividad y minimizar los costos asociados a desempeños ineficientes.

Planteamiento del problema

En el área minera en la cual se realiza la extracción de carbón para la compañía Drummond Ltd., se encuentran asignadas las excavadoras hidráulicas HITACHI modelo EX1200-6 que cumplen con una función importante al momento de ejecutar la operación. La flota de estos equipos se ha destacado por su alta eficiencia y confiabilidad para el proceso; sin embargo, algunos de estos equipos han superado las 80.000 horas de operación sin haber sido sometidos a una parada mayor. Esto implica que ciertos componentes, nunca hayan sido reemplazados.

La corona de giro en una excavadora es un componente crucial que permite su rotación suave y controlada (TGB, s.f). Por tanto, su cuidado es fundamental para el desempeño seguro y eficiente del equipo, puesto que, su desgaste progresivo ocasiona un riesgo latente significativo.

A pesar de que se han aplicado programas de mantenimiento preventivo y correctivo en estas excavadoras, se han identificado indicadores de rendimiento que muestran un comportamiento irregular. En particular, los valores de holgura de la corona de giro presentan un desgaste que no corresponde con su estado óptimo, lo cual sugiere que la integridad del equipo se encuentra comprometida. Esta situación podría derivar en fallas catastróficas, poniendo en riesgo tanto los activos de la compañía como la seguridad de los operadores y el personal involucrado en la operación. En consecuencia, se hace necesario ejecutar mantenimientos mayores orientados a extender la vida útil de los componentes críticos. Sin embargo, la ausencia de experiencia previa en la ejecución de este tipo de intervenciones en

excavadoras con estas especificaciones introduce un alto grado de complejidad y riesgo en las fases de planeación y ejecución. Esta situación dificulta la estimación precisa de los recursos técnicos y logísticos requeridos, los tiempos de indisponibilidad operativa, así como la identificación y mitigación oportuna de los riesgos asociados en cada etapa del proceso.

Por tanto, se plantea la siguiente pregunta problema:

¿Cómo desarrollar una metodología para ejecutar un mantenimiento mayor (overhaul) en las excavadoras Hitachi EX1200-6 de la compañía Drummond Ltd., considerando el desgaste acumulado de componentes críticos como la corona de giro y la ausencia de intervenciones mayores previas?

Justificación

Desarrollar una metodología adecuada para la ejecución del mantenimiento mayor (overhaul) de las excavadoras Hitachi EX1200-6 en la compañía Drummond Ltda. es fundamental para garantizar la continuidad operativa de estos equipos y prolongar su vida útil. Actualmente, algunos equipos de esta flota superan las 80.000 horas de operación sin haber sido sometidos a una intervención mayor, lo que incrementa el riesgo de fallos críticos.

Este proyecto tiene un impacto positivo en el área productiva de la compañía, ya que la implementación de una metodología estructurada permite optimizar recursos, mejorar la planificación de mantenimientos y minimizar la probabilidad de fallos inesperados. Además, contribuye a garantizar la seguridad del equipo y del personal operativo, así como a mantener altos niveles de eficiencia en la operación.

El beneficio para el personal encargado del mantenimiento también es significativo, ya que contar con procedimientos definidos para un overhaul permite realizar futuras intervenciones en un entorno más controlado y seguro. A nivel social, esta investigación aporta a la estabilidad operativa de la mina, lo que a su vez fortalece la generación de empleo y el desarrollo de la comunidad vinculada a la actividad minera.

Esta investigación responde a la necesidad de prevenir fallos catastróficos en una maquinaria crítica para la operación, mediante el diseño de una metodología técnica y práctica que permita enfrentar los desafíos que implica intervenir equipos con alto nivel de desgaste acumulado.

Hipótesis

Si se desarrolla una metodología de mantenimiento mayor (overhaul) basada en el análisis de componentes críticos, como la corona de giro, entonces será posible planificar y ejecutar de manera eficiente las intervenciones en las excavadoras Hitachi EX1200-6 de la compañía Drummond Ltd.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Desarrollar una metodología para la ejecución de un mantenimiento mayor (overhaul) en las excavadoras Hitachi EX1200-6 de la compañía Drummond Ltd., que contemple el reemplazo de componentes críticos.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar los componentes críticos a través de un análisis de criticidad de todos los componentes mayores que conforman la excavadora EX1200-6 basado en el histórico de fallas, el comportamiento operativo y el conocimiento del personal técnico.
- Elaborar un plan de preparación global aplicable a todas las excavadoras EX1200-6 que contemple las fases de inicio, ejecución y finalización del mantenimiento mayor de los 4 equipos que operan en la mina Drummond Ltd.
- Definir los roles y responsabilidades de los actores que intervendrán en el mantenimiento mayor con el fin de garantizar la coordinación y trazabilidad del proyecto.
- Definir los indicadores de rendimiento (KPI's) con el fin de medir, controlar y optimizar la ejecución del mantenimiento mayor
- Elaborar un cronograma de actividades de preparación del mantenimiento mayor, con una anticipación de cuatro meses al inicio de la intervención, que incluya las tareas específicas, tiempos estimados y responsables asignados.

2. Marco teórico

2.1 Drummond Ltd.

Drummond Company, Inc. es una compañía estadounidense cuya unidad de negocio es principalmente la línea completa del tratamiento del carbón. Esto incluye exploración, extracción, compra y procesamiento del carbón y todos sus productos derivados.

Drummond Ltd. es su empresa filial ubicada en Colombia, desde mediados de la década de los ochenta cuando se iniciaron los trámites legales para la obtención de los permisos necesarios para el desarrollo de su proyecto (Drummond Ltd., nuestra historia, s.f). Está ubicada en el departamento del Cesar en el área que comprende los municipios de El Paso, La Jagua de Ibirico y Chiriguaná. La empresa hoy día se divide en tres zonas o áreas en las cuales se lleva a cabo el proceso de la extracción del carbón, estas son denominadas: “Mina Pribbenow”, que fue la primera que inició labores mineras; “El Descanso”, cuyas operaciones iniciaron en el año 2009, y recientemente el proyecto minero “El Corozo” que inició en el año 2021 (Drummond Ltd., nuestra operación, s.f).

2.2 Mina El Descanso

Es una mina a cielo abierto y se encuentra en Valledupar. Este complejo minero inició labores de procesamiento del carbón en el año 2009 y en el último reporte de producción que data del año 2020 tiene una cantidad de 21.4 millones de toneladas de carbón extraído (Drummond Ltd., proyectos mineros, s.f).

2.3 Proceso de extracción del carbón en la mina El Descanso de Drummond Ltd.

2.3.1 Exploración y Planeación

Esta es la etapa inicial del proceso de extracción de carbón. En esta se realizan los estudios de suelos pertinentes en el área designada para poder obtener datos acerca del material que se encuentra debajo. La ubicación del manto de carbón, área cubierta, espesor y calidad del carbón son evaluados e identificados en esta etapa y con estos datos se definen las áreas que se van a intervenir, cómo se planificará la explosión de los suelos el tipo de maquinaria que se requiere, donde se ubicarán las áreas de botadero, cómo estarán distribuidas las vías y demás características que garanticen el buen desarrollo de la actividad (Drummond Ltd., proyectos mineros, s.f).

2.3.2 Perforación y explotación

A través de este proceso se obtiene la capacidad de remover grandes volúmenes de roca, exponiendo el mineral que va a ser extraído, por lo cual, requiere de varias etapas. Inicialmente, se realiza el diseño para asegurar la fragmentación eficiente del material que va a ser explotado, y se diseña la malla de perforación anteriormente planificada. Luego, los taladros llegan a realizar la perforación en los puntos designados para, posteriormente, ser cargados con los explosivos con los que se realiza la detonación de manera secuencial con el fin de minimizar vibraciones. Todo esto se ejecuta bajo estrictos estándares de seguridad y con una precisión tal que garantice minimizar el impacto con el entorno (Drummond Ltd., proyectos mineros, s.f).

2.3.3 Carga y transporte de material estéril

Después de realizadas las voladuras la siguiente tarea es remover el material que ha sido explotado, para dar espacio al mineral que es el que realmente interesa. Este material explotado es

llamado material estéril pues no tiene ningún tipo de virtud desde el punto de vista de la actividad económica que se está realizando (Drummond Ltd., proyectos mineros, s.f).

Este proceso de remoción de material estéril se hace por medio de excavadoras que pueden ser hidráulicas o eléctricas y cargan camiones mineros que trasladan el material estéril a zonas denominadas botaderos, estas son zonas en las cuales es acumulado el material estéril de la explotación (Drummond Ltd., proyectos mineros, s.f).

En dado caso que, este material se necesite, se transporta que requieren adecuación de vías, reparación de bermas de seguridad o demarcaciones de áreas como vías exclusivas para equipo liviano y vías exclusivas para equipo de pesado.

Otra manera de remoción de material estéril es el uso de maquinarias llamadas Apron Feeder, las cuales están conformadas por una tolva en la cual el material estéril es depositado por tractores o cargadores, una vez el material es depositado en la tolva, este se va a una banda transportadora que es impulsada por un sistema de tracción hidráulico. Esta banda eleva el material ya que esta máquina se encuentra con una inclinación tal que el material cae en las tolvas de los camiones cargándolos (Drummond Ltd., proyectos mineros, s.f).

Otra variante del modo de carga por Apron Feeder es el uso de las dragalinas como máquinas de carga a las tolvas de estos equipos, las cuales se muestran en la Figura 1. La Dragalinas es uno de los equipos más imponentes del mundo, es norteamericano completamente eléctrico y recibe de su fuente de alimentación unos 72000 voltios para hacerlas funcionar. Estos equipos llevan más de 10 años en operación y su armado tuvo un tiempo de 18 meses. Estas máquinas se encuentran en la parte superior de la mina y se encargan de tomar el material aluvión o material blando y ponerlos en las tolvas de Feeders que a su vez realizan el cargue de camiones

de transporte minero. Drummond Ltd. cuenta con tres dragalinas las cuales fueron bautizadas como Erza, Marion y Tobie II (Drummond Ltd., proyectos mineros, s.f). La Figura 2 muestra la información de la capacidad de estos equipos.

Figura 1

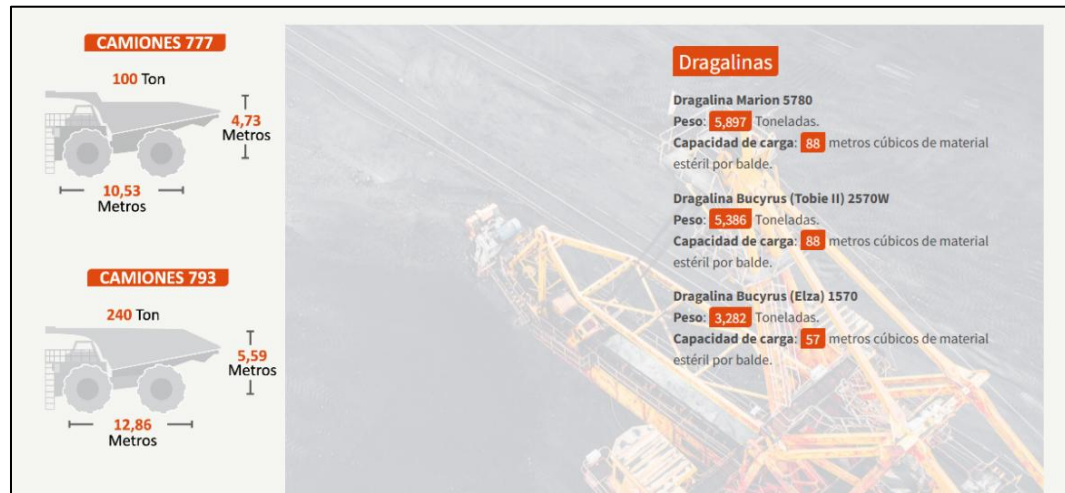
Los tres dragones de Drummond



Nota. La imagen muestra el momento en que se encuentran en operación los tres dragones de Drummond Ltd. durante la extracción del carbón. Adaptado de *Los Tres Dragones de Drummond* [Fotografía], por *País Minero*, 2015, (<https://paisminero.com/tecnologia-minera/15169-los-tres-dragones-de-drummond>).

Figura 2

Capacidad de los equipos mineros de Drummond Ltd.



Nota. La imagen muestra los datos de la capacidad de los equipos mineros que tiene Drummond Ltd. para la extracción del carbón. Adaptado de *Nuestra operación Drummond Ltd.* [Fotografía], por Drummond Ltd., s.f., Drummond Company (<https://drummondLtd.com/nuestras-operaciones/proyectos-mineros/gestion-de-calidad/>).

2.3.4 Carga y transporte del carbón

Al retirar la capa de material estéril queda a la vista el carbón volado queda listo para ser extraído. El carbón es extraído mediante el uso de excavadoras de menos capacidad, aprovechando que comparadas con las que cargan el material estéril poseen mayor velocidad en sus movimientos. Estas excavadoras a su vez cargan camiones de menos capacidad, llamados camiones carboneros, estos equipos son Caterpillar modelo 777. El carbón extraído de las vetas es transportado hacia un área designada para la recepción de este mineral, esta área es llamada Load Out y es el área en la cual el carbón es cargado a los trenes (Drummond Ltd., proyectos mineros, s.f).

El carbón descargado en Load Out es recibido por equipo de apoyo (Tractores, cargadores) que mueven el mineral hacia trituradoras con el fin de pulverizar y homogeneizar el material. Luego es llevado por bandas transportadoras donde es depositado en una tolva la cual es la que llena los vagones del tren que está esperando la recepción del material. El tren consta de alrededor de 50 vagones que cargan aproximadamente 50 toneladas por vagón (Drummond Ltd., proyectos mineros, s.f). La Figura 3 muestra el momento de descarga.

Figura 3

Descarga de carbón



Nota. La imagen muestra el momento en que se el carbón en Drummond Ltd. durante el proceso de extracción del carbón. Adaptado de Drummond: líder exportador de carbón en Colombia [Fotografía], por Hablemos-Minería, 2022, Hablemos de minería (<https://hablemosdemineria.com/2022/01/drummond-lider-exportador-carbon-colombia/>).

Finalmente, el tren transporta el carbón desde la mina hacia el puerto de Drummond que está ubicada en la ciudad de Santa Marta, allá el tren descarga y retorna a la mina con el fin de esperar para iniciar nuevamente su ciclo de transporte (Drummond Ltd., proyectos mineros, s.f).

La compañía Drummond Ltd. realmente cuenta con un sofisticado proceso de extracción de carbón, el cual optimiza los tiempos en los cuales el carbón demora desde ser explotado a ser llevado al puerto para su distribución (Drummond Ltd., proyectos mineros, s.f).

2.3.5 Departamento de mantenimiento de palas

Este departamento tiene una estructura diseñada para que en todos los equipos y grupos desarrollen todas las actividades de una manera segura y óptima. Este es el encargado de mantener en condiciones operativas las excavadoras que extraen el carbón durante la operación minera. El departamento se encuentra liderado por un superintendente, que es quien responde ante gerencia acerca de toda la gestión y movimientos que se hagan dentro del departamento.

Luego de esta figura, los demás roles se dividen en tres grupos o turnos, los cuales trabajan independientemente en cada turno y sólo se encuentran con los demás en los cambios de turno durante las horas de la mañana y en las horas de la tarde.

Cada turno está liderado por un coordinador de mantenimiento, este a su vez se tiene dos personas que se encargan de distintas aplicaciones del mantenimiento, un supervisor para todos los reportes o Down que se encuentren en los equipos de la operación y un supervisor que se encarga de la realización de los mantenimientos preventivos de los equipos. También se encuentra la figura de un supervisor que se encarga de los sistemas de lubricación de todos estos equipos y de los proyectos especiales que se realicen para el departamento.

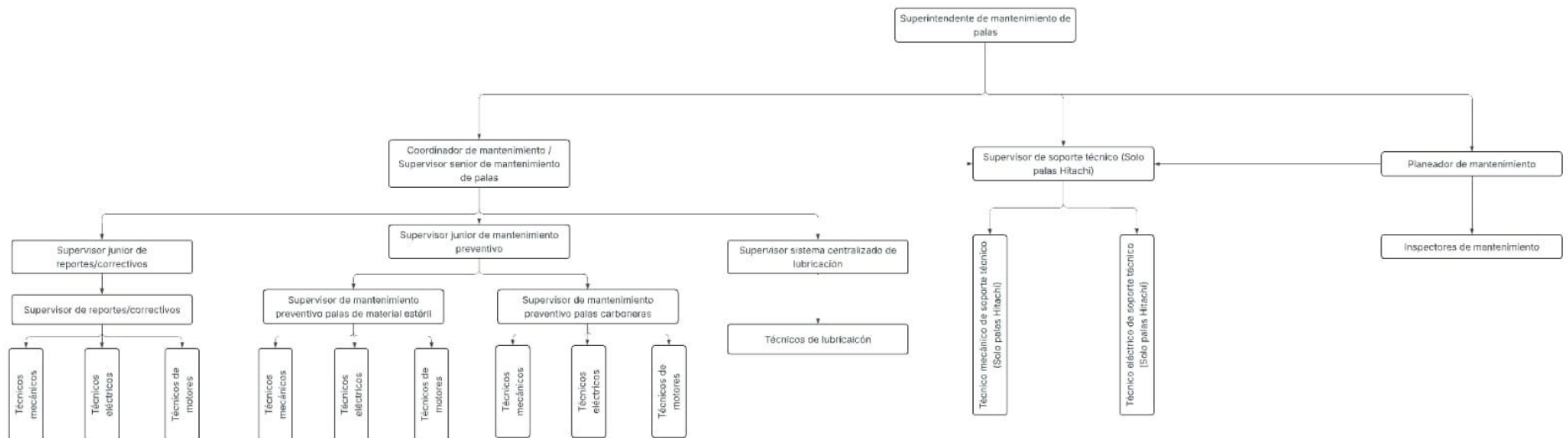
Apoyando a estos equipos operativos de mantenimiento se encuentra la figura del planeador, por turno, quien responde ante el superintendente de mantenimiento. Estos tienen a cargo unos inspectores que cumplen la función de asistentes de planeación.

En cuanto a mano de obra o recurso técnico de Drummond esta se encuentra tercerizada, y es coordinada por un supervisor quien maneja al personal técnico tanto en la parte de reportes o correctivos, como en la realización de los mantenimientos preventivos.

Adicionalmente, se encuentra el grupo de soporte técnico para palas Hitachi, quienes se encargan de prestar todo el soporte necesario relacionado con las actividades de mantenimiento a los equipos Hitachi que se encuentran en Drummond. A su vez, cuentan con un supervisor de soporte técnico y dos técnicos por turno especializados únicamente para atender estos equipos. Todo esto, puede observarse en la Figura 4 .

Figura 4

Estructura orgánica del departamento de palas



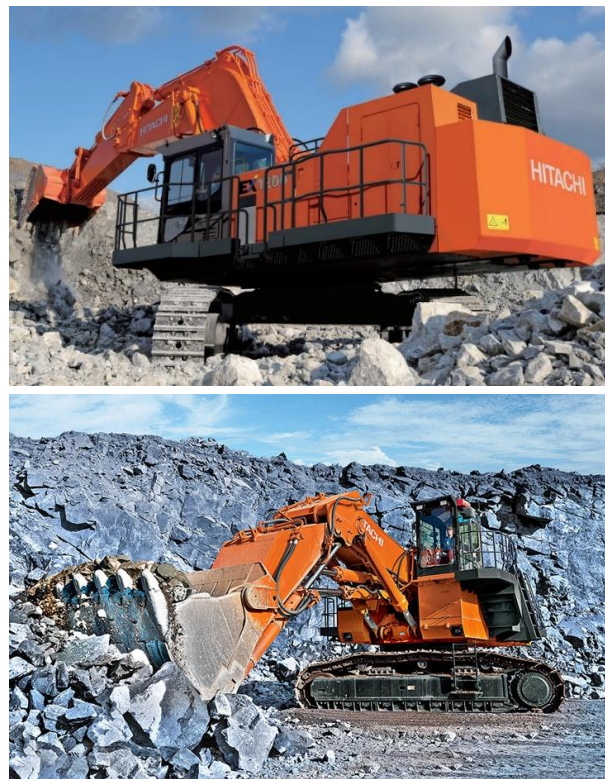
Nota. Se presenta la estructura organizacional, indicando los diferentes niveles jerárquicos, áreas funcionales y relaciones de autoridad entre los distintos cargos del departamento de palas en Drummond Ltd.

2.3.6 HITACHI EX1200-6

Es una excavadora hidráulica de gran tamaño utilizada en aplicaciones de minería, es conocida por su durabilidad potencia y eficiencia. Esta excavadora en la mina El Descanso cumple con labores de extracción sólo de carbón, cargando camiones Caterpillar modelo 777d. La Figura 5 muestra la imagen de esta excavadora.

Figura 5

Hitachi EX1200-6 (arriba: retroexcavadora / abajo: pala frontal)



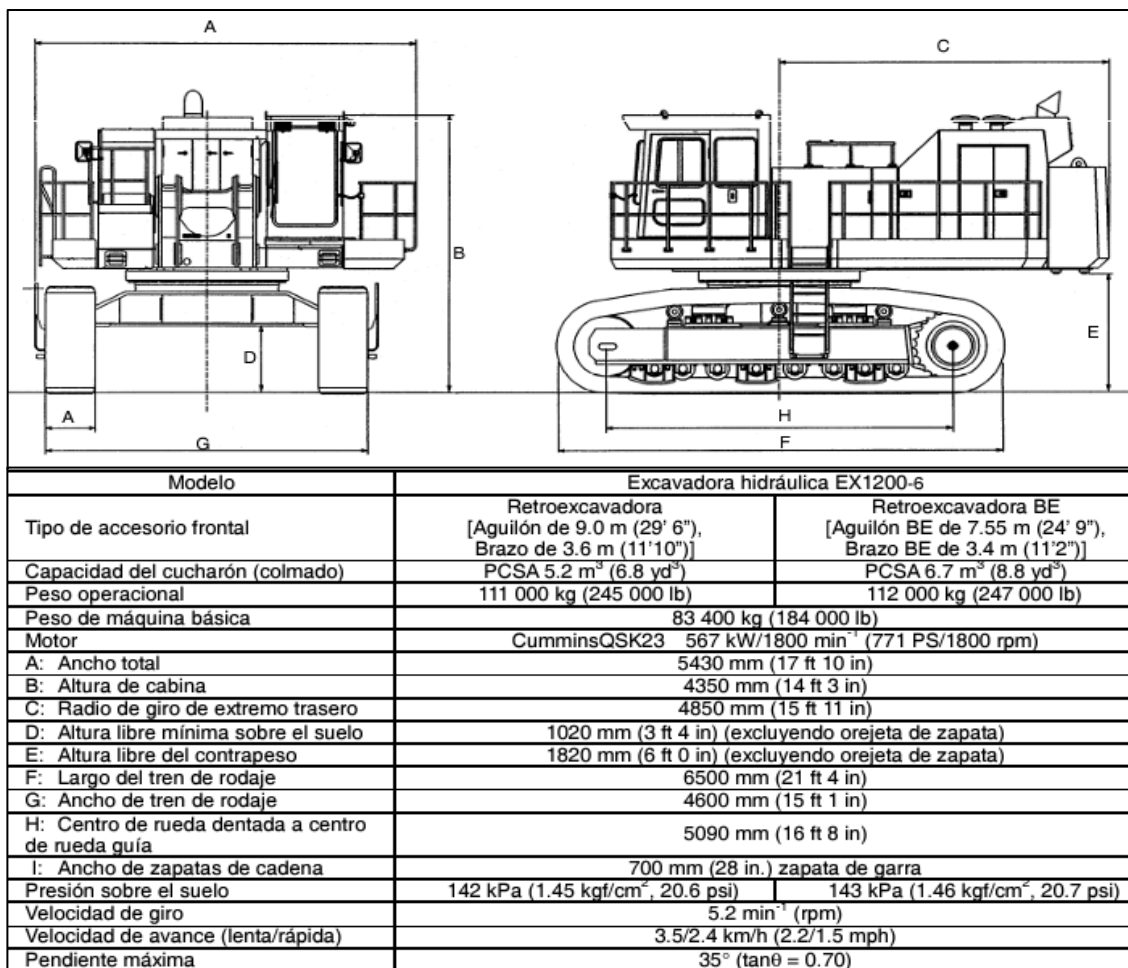
Nota. La imagen muestra una retroexcavadora y una pala frontal utilizados en operaciones de movimiento de tierra y minería, destacadas por su potencia, capacidad de carga y eficiencia en trabajos de gran envergadura.

Adaptado de Hitachi EX1200-6 Excavator Review & Full Specs [Fotografía], por iseekplant, s.f., *Constructionsht* (<https://blog.iseekplant.com.au/blog/hitachi-ex1200-6-excavator-review-full-specs>).

Este equipo puede funcionar con dos tipos de configuraciones de trabajo, como retroexcavadora, que es la configuración que manejan los equipos en Drummond y como pala frontal; **Error! No se encuentra el origen de la referencia..** La Figura 6 muestra una tabla de

Figura 6

Especificaciones técnicas de una retroexcavadora y una pala frontal



especificaciones físicas y del rendimiento operativo de este equipo como potencia, peso, dimensiones entre otras.

Nota. Se detallan las características principales de ambos equipos, incluyendo capacidad de carga, profundidad de excavación, potencia del motor, peso operativo y dimensiones, fundamentales para su selección y uso en proyectos de construcción y movimiento de tierra. Adaptado de *Manual técnico: Principios de funcionamiento*, (p. T1-1-1), por Hitachi Construction Machinery, 2008, Autoedición.

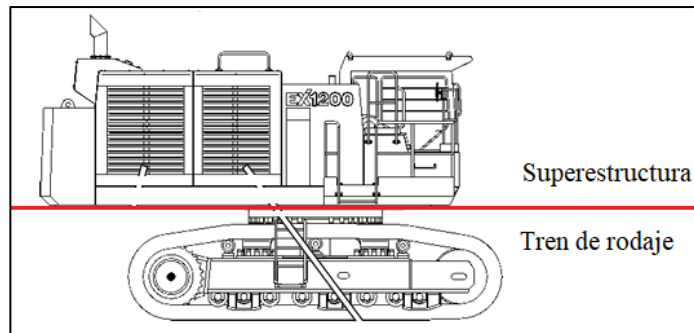
Este equipo físicamente se divide en 3 grandes partes:

- **Aditamento Frontal:** Conformado por el boom, brazo y balde con sus cilindros hidráulicos. Tiene la función de realizar el movimiento para la recolección del material que se va a excavar, utilizando los cilindros hidráulicos como accionadores del movimiento.
- **Superestructura:** Es la parte superior de la maquinaria, en esta se encuentran la mayoría de los componentes importantes del equipo, como bombas hidráulicas, motor de combustión, válvulas de control, enfriadores, entre otras.
- **Tren de rodaje:** En esta estructura van los componentes encargados de realizar el movimiento de traslación del equipo. Entre los componentes tenemos, cadenas, motores de traslación, mandos finales y rodillos.

Un esquema de lo anterior se muestra en la Figura 7.

Figura 7

División entre superestructura y tren de rodaje



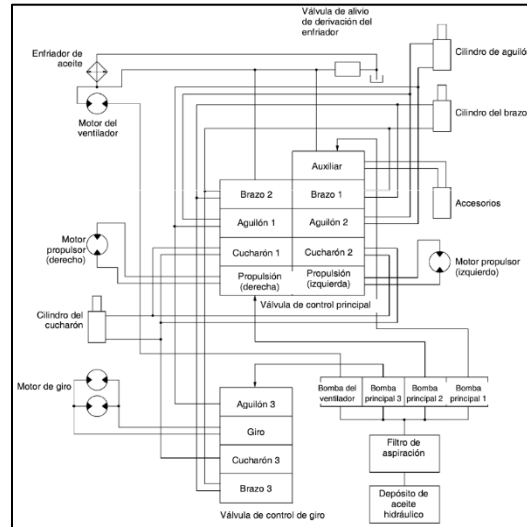
Nota. Se ilustra la separación funcional y estructural entre la parte superior de la máquina, que incluye cabina, motor y sistema de trabajo, y el tren de rodaje, encargado del desplazamiento y soporte del equipo. Adaptado de *Manual técnico: Principios de funcionamiento*, (p. T1-2-16), por Hitachi Construction Machinery, 2008, Autoedición.

Así mismo, hidráulicamente este equipo se divide en varios circuitos de operación que permiten realizar los movimientos de manera precisa, que son característicos de este equipo, a saber:

- **Circuito principal:** Este circuito se encarga de proporcionar el aceite presurizado hacia los cilindros y motores hidráulicos para iniciar el movimiento, según los comandos que dé el operador: los componentes principales de este circuito son: Bombas principales, Válvulas de control principal, motores de giro, motores de traslación y cilindros hidráulicos, además de los circuitos de enfriamiento. Según Hitachi Construction Machinery (2008), la presión máxima de operación depende del modo de operación del equipo, varía entre los 319 y 353 bares. La Figura 8 muestra esto con mayor detalle. G

Figura 8

Bosquejo circuito principal EX1200-6



Nota. Se ilustra el bosquejo del circuito principal de una excavadora Hitachi 1200-6. Adaptado de *Manual técnico: Principios de funcionamiento*, (p. T2-3-15), por Hitachi Construction Machinery, 2008, Autoedición.

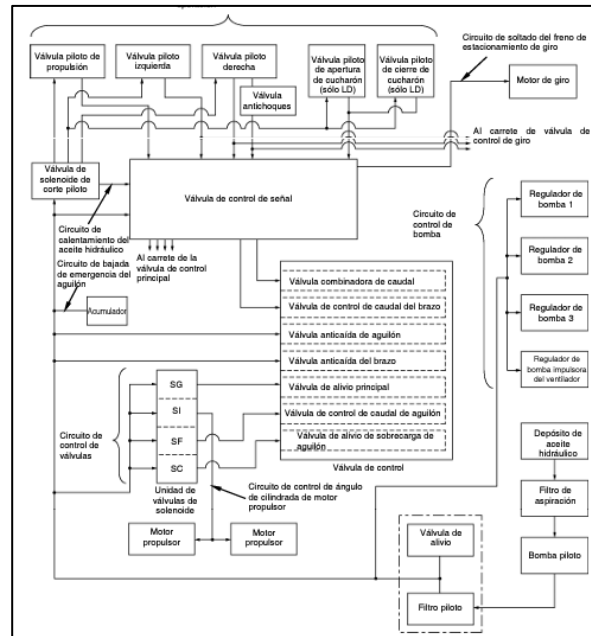
Como se puede observar en la Figura 8, el equipo consta de 3 bombas principales las cuales alimentan las válvulas de control principal (v/v de 4 y 5 carretes y v/v de giro) cuando el aceite llega aquí es distribuido hacia los distintos accionadores para general el movimiento que se quieren por los comandos generados por el operador.

- **Circuito de pilotaje:** Este es el circuito hidráulico de control del equipo, por medio de este se transmiten las señales hidráulicas a baja presión con el que para direccionar el flujo de aceite a alta presión a las cavidades que van a los accionadores que se quieren activar, de acuerdo con los comandos dados por el operador del equipo. De acuerdo con Hitachi Construction Machinery (2008), la presión que maneja este circuito durante

la operación es de máximo 50 bares. La Figura 9 muestra el bosquejo de este tipo de circuito.

Figura 9

Bosquejo circuito hidráulico de pilotaje



Nota. La imagen detalla el sistema de control hidráulico de baja presión que transmite las señales desde los mandos del operador hacia las válvulas principales. Adaptado de *Manual técnico: Principios de funcionamiento*, (p. T2-3-3), por Hitachi Construction Machinery, 2008, Autoedición.

2.3.7 El mantenimiento

Las actividades de mantenimiento son actividades que se realizan con el fin de asegurar la continuidad operativa de los equipos direccionados, como su nombre lo indica, a mantener el estado de los equipos y sistemas de una industria de tal manera que sean capaces de desempeñar sus funciones con el rendimiento que se demanda. García (2010) define el mantenimiento como el

conjunto de técnicas destinadas a conservar para buscar la mayor disponibilidad posible de estos. Desde las épocas de la revolución industrial. El análisis que realiza Moubray (2004), indica que los enfoques iniciales de mantenimiento en la industria se centran únicamente en las actividades para la reparación de fallas y con el tiempo estos objetivos han venido evolucionando con el fin de atacar las fallas antes de que sucedan.

García (2010) expone los 5 tipos tradicionales del mantenimiento:

- **Mantenimiento correctivo:** son las tareas que se realizan con el fin de corregir las fallas que ya se presentaron en los equipos
- **Mantenimiento preventivo:** su objetivo es mantener el rendimiento determinado de cada uno de los equipos, programando correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno
- **Mantenimiento predictivo:** conjunto de tareas que se realizan con el fin de saber el estado y la operatividad permanente de las instalaciones mediante la medición de determinadas variables representativas de su condición. Es necesario identificar qué variables físicas son las necesarias para determinar esta condición como temperatura, vibraciones, ruido, desgaste etc. cuyo comportamiento esté directamente relacionado con la condición del equipo.
- **Mantenimiento cero horas:** conjunto de tareas están centradas a la programación de actividades sobre cada cierta cantidad de tiempo con el fin de evaluar su condición, en el momento en que el equipo ya pierde considerablemente su confiabilidad operativa. Este tipo de mantenimiento tiene como objetivo dejar el equipo a cero horas de funcionamiento ya que en él se realizan cambios o reparaciones con el fin de asegurar

con gran probabilidad el buen funcionamiento del equipo con un amplio rango de tiempo.

- **Mantenimiento en uso:** Es el mantenimiento realizado por los mismos operadores del equipo, se basa en realizar tareas básicas como limpieza, lubricación y toma de datos, en las cuales el esfuerzo de capacitación no es significativo. Este tipo de mantenimiento sienta las bases de lo que se conoce como mantenimiento productivo total TPM.

2.3.8 Overhaul - mantenimiento mayor

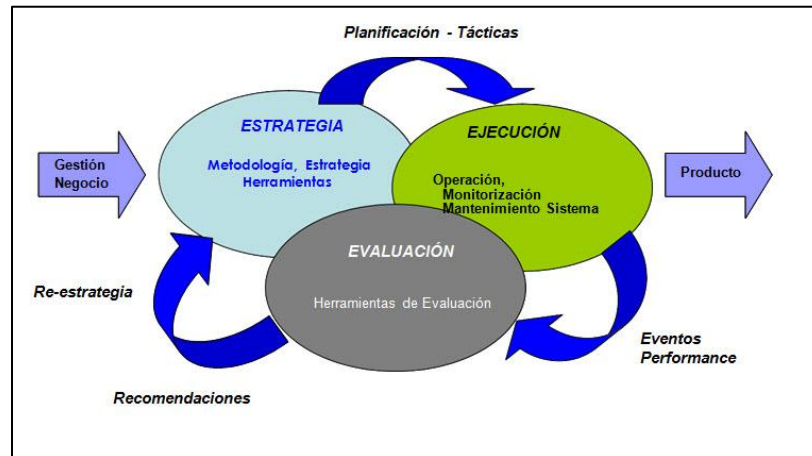
El término overhaul, conocido también como mantenimiento mayor o paradas de plantas cuando se refiere a plantas industriales, está definido como un conjunto de actividades realizadas para la intervención detallada y exhaustiva de un equipo o sistema con el fin de restaurar a un estado de operación óptimo consiguiendo con esto el incremento de su vida útil. Esta práctica requiere el análisis de las condiciones de los componentes principales y críticos para determinar cuáles de estos van a ser cambiados.

Según Amendola (2005) en su obra *Dirección y gestión de paradas de planta*, argumenta que estas actividades brindan una oportunidad muy buena para intervenir activos o componentes los cuales no pueden ser intervenidos en las actividades de mantenimiento regulares o que estén en un corto periodo de parada. Para que esta oportunidad sea aprovechada de la mejor manera, es necesario que todas las etapas que involucran un mantenimiento mayor sean estructuradas de manera minuciosa, de ahí depende el éxito de esta actividad.

La gestión de esta actividad consiste en tres grandes etapas que deben ser ejecutadas y existir con una sinergia tal que su desarrollo no se vea comprometido. Estas grandes etapas son: Estrategia, Ejecución, Evaluación, las cuales se muestran en La Figura 10 .

Figura 10

Gestión de paradas de planta



Nota. La figura representa un ciclo de gestión integral que conecta Estrategia, Ejecución y Evaluación, destacando la retroalimentación continua y la alineación con la gestión del negocio y la entrega de productos. Clara y funcional. Adaptado de *Dirección y gestión de paradas de planta* (p. 19), por J. Amendola, 2005, Ediciones Espuela de Plata.

Como menciona Amendola (2005), las paradas de planta son realizadas con el fin de realizar actividades de mantenimiento que no pueden ejecutarse con el equipo operativo, o en paradas de corto plazo y van enfocadas al reemplazo de componentes importantes debido a su criticidad en el equipo o la complejidad de la labor de mantenimiento. Moubray (2004) menciona la importancia de realizar el reemplazo de componentes críticos antes de su falla, ya que estos, debido a su criticidad generan un impacto negativo muy grande a la operabilidad de este y así mismo extender la vida del equipo mismo.

Los Overhauls se caracterizan principalmente porque demandan un tiempo extenso y trabajos profundos ya que requiere de la verificación detallada de cada componente. Así mismo debido a su complejidad, la planeación y programación de esta actividad es una característica

importante que requiere para su buen desarrollo como lo mencionan Latorre y Vega (2016) en su monografía acerca de parada de plantas que asocian la variación de los costos de este tipo de procesos a que tan buena es la planeación y preparación de este.

Otra de las características, que representa la parte no tan atractiva de realizar un mantenimiento mayor es que demandan una inversión bastante significativa en tiempo del equipo sin operar y costos que pueden ser de distintas fuentes principalmente:

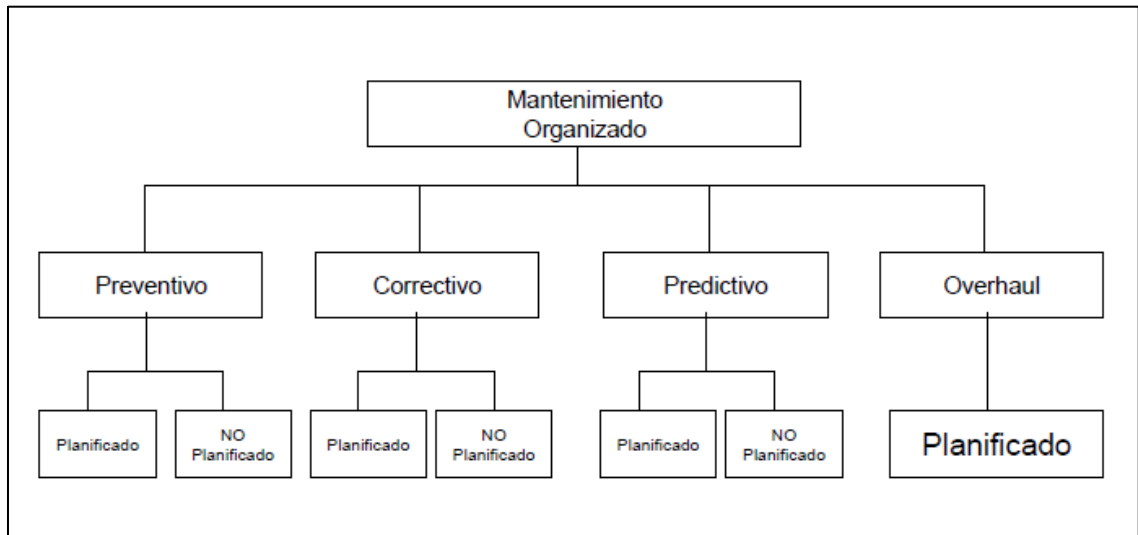
- Lucro cesante
- Repuestos
- Herramientas comunes y especializadas
- Recurso humano capacitado

Palmer (2006) menciona que a pesar de toda la inversión que un mantenimiento mayor genera, esto viene justificado por la mayor confiabilidad y reducción de intervenciones imprevistas que brinda un mantenimiento mayor bien realizado.

Amendola (2016) en su libro *Estrategias y tácticas de overhaul* introduce el concepto de mantenimiento organizado, refiriéndose al sistema de mantenimiento que una empresa tiene, dividiéndose principalmente en los mantenimientos correctivo, preventivo, predictivo y overhaul, los cuales se observan en la Figura 11.

Figura 11

Mantenimiento organizado y sus subdivisiones



Nota. Tipos de mantenimiento organizado, clasificados por enfoque (preventivo, correctivo, predictivo y overhaul) y planificación (planificado y no planificado). Adaptado de *Estrategias y tácticas de overhaul* (p. 7), por L. Amendola, 2016, PMM Institute for Learning.

El esquema mostrado en la Figura 11 muestra las subdivisiones que tiene el mantenimiento en una empresa y como el overhaul es una vía importante y necesaria.

Durante la ejecución de un mantenimiento mayor las actividades que se desarrollan en él se dividen en dos tipos, actividades de inspección y diagnóstico de componentes para evaluar el estado de componentes del equipo y reemplazo de componentes críticos, ya sea por mostrar signos de desgaste o ya el cumplimiento de su vida útil Moubray (2004).

2.3.9 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología que permite la jerarquización de equipos, procesos o componentes de equipo dentro de una organización, teniendo en cuenta el impacto que

genera en la operación de este y las consecuencias que causaría en caso de que ese equipo o componente falle en el proceso. Moubray (2004) menciona que esta metodología es útil en el área de mantenimiento para tener una visión más clara de cuáles son los fallos y el riesgo que genera estos en los equipos, facilitando la toma de decisiones y haciéndola más acertada.

El análisis de criticidad permite la identificación y priorización de los elementos críticos, y esto genera que los recursos que se tengan para la mantención de estos equipos sean optimizados ya que permite concentrar los esfuerzos en los componentes que se consideran más críticos. García (2010) menciona que esta metodología permite categorizar los equipos/componentes en tres grupos:

- **Críticos:** son aquellos que en caso de que se genere una falla generan un gran impacto negativo en el funcionamiento del proceso o equipo
- **Importantes:** son aquellos los cuales su falla representa genera un impacto en el funcionamiento del proceso o equipo, pero es asumible por la empresa.
- **Prescindibles:** son aquellos cuyo impacto en el funcionamiento del equipo no representa un gran riesgo y el manejo que se le puede dar a estos fallos es más amplio.

Los criterios que se pueden utilizar para esta clasificación deben escogidos teniendo en cuenta la influencia que tiene en cuatro aspectos básicos:

- **Producción:** en este aspecto se evalúa de qué manera la falla del componente/equipo afecta la capacidad productiva del mismo, aquí consideramos si la falla inhabilita el funcionamiento completo del equipo o que su rendimiento productivo no sea completo
- **Calidad:** Una falla en el equipo generado por el componente analizado puede afectar la calidad final del producto elaborado o servicio.

- **Mantenimiento:** que tanto afecta los costos la reparación o reemplazo del componente en caso de fallar en operación, así como cuan frecuente son los fuera de servicio del equipo causados por la falla del componente. Este aspecto se divide en dos subaspectos que son el costo de mantenimiento y la frecuencia de ocurrencia de la falla.
- **Seguridad y medio ambiente:** en este se analiza cuál es la magnitud de la afectación que puede causar la falla a las personas que interactúan con el equipo, así como los daños que la falla puede generar al medio ambiente. Muchas veces este aspecto es dividido para que su interpretación sea más precisa.

La Figura 12 resume toda la información anterior.

Figura 12

Tabla de representación de criticidad

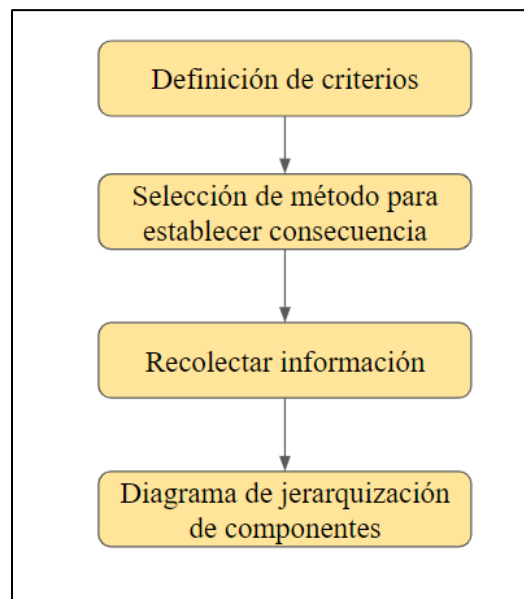
Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A CRÍTICO	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al Plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto coste de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.			Consume una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales).
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al Plan de Producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Coste Medio en Mantenimiento.
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo coste de Mantenimiento.

Nota. Clasificación de equipos según su criticidad (A, B, C) en relación con seguridad, producción, calidad y mantenimiento. Adaptado de *Organización y gestión integral del mantenimiento*. (p. 26), por S. García, 2010, Editorial Díaz de Santos.

Por otro lado, el objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable (Huerta Mendoza 2000). La Figura 13 muestra los pasos para realizarlo.

Figura 13

Análisis de criticidad



Nota. Diagrama de flujo de los pasos para la toma de decisiones para la realización del análisis de criticidad.

La criticidad está definida por:

$$\text{Críticidad} = F \times C \quad (1)$$

Donde la variable F hace referencia a la frecuencia de falla del componente evaluado y la componente C hace referencia a la consecuencia que puede generar el componente en caso de que falle en operación. A su vez, la consecuencia es un valor calculado de una serie de aspectos ponderados los cuales para la aplicación a este equipo se van a definir teniendo en cuenta los factores que impactan más el proceso de restauración o cambio de estos componentes, los factores de criticidad son los siguientes:

- **Seguridad (Cs):** Este aspecto tiene que ver con los peligros a los que puede estar expuesto personal operativo y de mantenimiento en caso de que cada uno de estos componentes falle.
- **Ambiente (Ca):** Relacionado con el riesgo que puede ocasionar el fallo y el cambio o reparación de alguno de estos componentes con el medio ambiente. Ya sea por derramamiento de fluidos o cualquier otro tipo de contaminación al medio ambiente.
- **Costos (productivos y de mantenimiento) (Cc):** Relacionado con los costos operacionales que incluyen el lucro cesante que el equipo deja de producir mientras se encuentra fuera de servicio por el componente evaluado y los costos relacionados directamente a la reparación de este.
- **Tiempo medio para reparar (Ct):** Este aspecto viene relacionado a cuánto tiempo demora el equipo fuera de servicio por el fallo de uno de los componentes evaluados.

- **Frecuencia (F):** Factor que no hace parte de las consecuencias, y está relacionado a cuántas veces el equipo queda fuera de servicio por el componente evaluado en cierto intervalo de tiempo.

2.3.10 Gestión de proyectos

Las actividades de overhaul, debido a su magnitud y complejidad a menudo requiere que su manejo sea gestionado como un proyecto, ya que, sus fases se pueden acoplar o moldear a las fases propuestas por la gestión de proyectos, ya que por definición un proyecto es un esfuerzo o actividad que se desarrolla por un tiempo determinado para poder lograr un producto, servicio o resultado único.

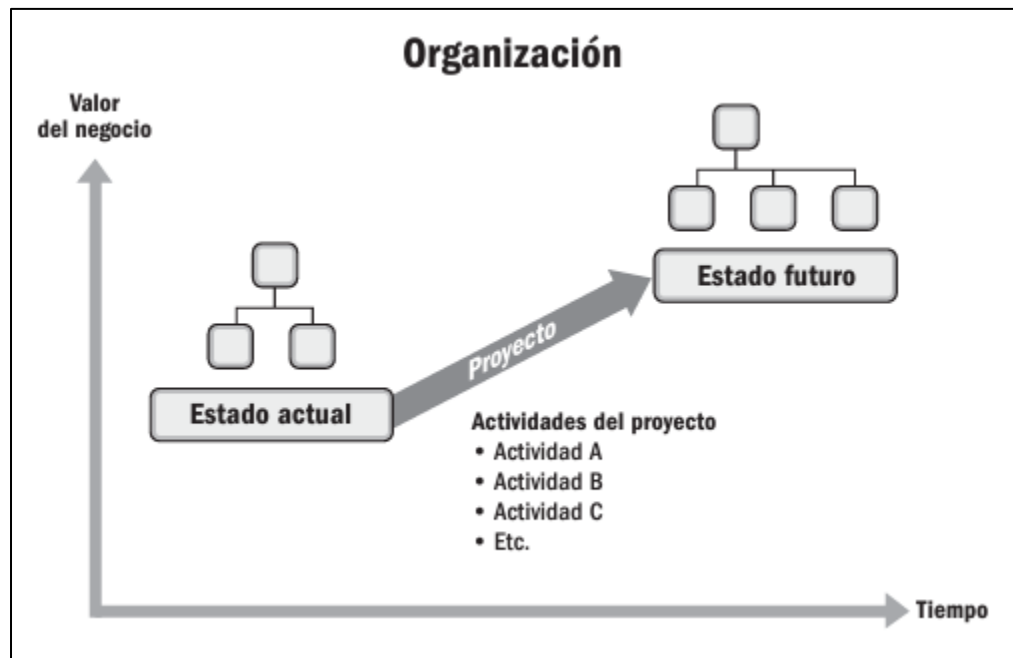
La gestión de proyectos se define como un conjunto de procesos y técnicas utilizadas para desarrollar las diferentes etapas de un proyecto, con la finalidad de cumplir con el alcance establecido del mismo en los tiempos y presupuestos programados. El Project Management Institute (PMI) (2017) define los fundamentos de la gestión de proyectos como un término que logra describir la profesión de dirección de proyectos que incluyen prácticas tradicionales ampliamente utilizadas, así como las prácticas de vanguardia que llegan a innovar la gestión de proyectos.

Los proyectos están compuestos de elementos que deben ser gestionados de manera precisa y concreta para aumentar las posibilidades de éxito, los objetivos deben ser metas claras que el proyecto debe alcanzar y deben estar alineados con la estrategia o proyecciones que tiene la organización que va a desarrollar el proyecto. El alcance es el componente en el cual se define hasta dónde va a llegar el proyecto, es decir, hasta qué punto va a ser la extensión del proyecto y

que es lo que se espera al final que sea entregado. La Figura 14 muestra la transición de una empresa a través de un proyecto.

Figura 14

Transición del estado de una organización a través de un proyecto



Nota. Representación gráfica de la gestión de un proyecto de organización, mostrando la transición del estado actual al estado futuro y el incremento del valor del negocio a través del tiempo y las actividades del proyecto. Adaptado de *Guía para fundamentos sobre la gestión de proyectos (PMBOK)*, (p. 6), por Project Management Institute, 2017.

Otros de los componentes es la definición de qué cantidad y tipo de recursos van a ser necesarios para la consecución satisfactoria del proyecto, ya sean recursos de tipo humano o de materiales de trabajo, también un proyecto debe tener correctamente definido un cronograma que establece las actividades y tiempo de ejecución.

Finalmente, el manejo de costos es un componente muy importante y que debe tratarse de manera precisa ya que involucra de gran manera los intereses de la compañía, esto implica una planificación y control de gastos correctos.

De acuerdo con el PMI (2017), las actividades que se llevan a cabo desde el inicio hasta el final de un proyecto se agrupan en cinco grupos de procesos principales, estos son:

- **Inicio:** Es el punto de partida de un proyecto, en este se establece la justificación de este, así como su viabilidad para ser ejecutado. El principal objetivo de este grupo es definir el proyecto desde una perspectiva general. Dentro de este grupo de proceso se encuentran algunas actividades importantes como lo son la identificación de interesados y el acta de constitución del proyecto.
- **Planificación:** Es el grupo de procesos que es el más detallado y extenso, ya que aquí se proyectan todas las necesidades, recursos y tareas que van a ser realizadas durante el proyecto para conseguir los objetivos planteados de la manera más efectiva y eficiente. En este grupo de procesos resaltan varias actividades como son la definición del alcance, el desarrollo del cronograma de actividades, la estimación y el control de costos y la planificación de riesgos. Un proyecto debidamente planeado ayuda a reducir el nivel de incertidumbre de este y favorece al control de la ejecución, así como la toma de decisiones que se deban tomar durante el proyecto.
- **Ejecución:** En este grupo de proceso es donde todo lo planeado anteriormente se materializa, aquí es importante la coordinación de personas y recursos para completar las tareas y cumplir con los entregables. Dentro de este grupo de procesos se llevan a cabo actividades como la gestión de recursos humanos, gestión de calidad, ejecución

de tareas y gestión de la comunicación entre otras. Hay que resaltar que la ejecución efectiva del proyecto depende en gran parte de la calidad que hay con los líderes de cada proceso, así como del gerente del proyecto

- **Monitoreo y control:** Este grupo de proceso se lleva a cabo de manera simultánea con la ejecución ya que este grupo cumple la función de auditar y velar por la calidad de todas las tareas que se están haciendo durante la ejecución del proyecto para asegurar que siga en la línea principal de los objetivos de la organización. En este grupo de proceso se ven actividades como el control del alcance, control de costos y cronograma, gestión de la calidad y el manejo de los cambios.
- **Cierre:** Este señala la finalización del proyecto y garantiza que todos los objetivos que se han proyectado al inicio hayan sido cumplidos. En esta etapa se dan actividades como el cierre administrativo, evaluación de resultados y lecciones aprendidas. Las lecciones aprendidas contribuyen a la creación de una base de conocimientos que puede usarse para mejorar futuros proyectos.

El PMI (2017), plantea que los grupos de procesos no pueden ser considerados como fases de este, puesto que hay momentos a lo largo del proyecto donde grupos de procesos trabajan de manera simultánea, es decir, hay procesos que en determinado momento del proyecto tiene varias de sus actividades siendo ejecutadas. La figura 5 brinda una visión más gráfica de cómo se comportan los grupos de procesos durante un proyecto.

3. Metodología

3.1 Diagnóstico y alcance

A partir de la información técnica proveniente de los manuales del fabricante, hojas de datos, registros históricos de mantenimiento conocimiento práctico y experiencias aportadas por el personal experto en las diferentes áreas donde el equipo tiene impacto (mantenimiento, producción, seguridad, etc.), se identificaron los componentes, recursos y alcance de la intervención. Posteriormente, se estudió con mayor detalle cada uno de los componentes del equipo, teniendo en cuenta su vida útil, frecuencia de fallas y costos asociados, los cuales fueron evaluados a partir de factores de criticidad como seguridad, ambiente, costos, tiempo medio para reparar y frecuencia, identificando aquellos en criticidad baja, media y alta.

3.2 Planificación del proyecto

A partir del análisis de criticidad, se realizó la elaboración del procedimiento del mantenimiento mayor, en el cual se estableció el alcance, definiciones, políticas, roles y responsabilidades. Asimismo, la planeación de las 16 semanas, antes de la hora cero, en las cuales se realizan tareas logísticas que permitirán la ejecución del mantenimiento, al tiempo en que se estableció el área en el cual se realizará el trabajo y se definieron los indicadores a tener en cuenta durante el mismo.

3.3 Ejecución y monitoreo

En esta fase se presentaron los aspectos a tener en cuenta durante la ejecución del mantenimiento mayor, tales como selección del personal, disponibilidad de procedimientos que garanticen seguridad y calidad, gestión oportuna de repuestos y licitaciones, la coordinación entre

áreas, el control y seguimiento a partir de los indicadores establecidos, mediante el recorrido por las áreas y la reunión diaria de la revisión de los avances durante cada jornada.

3.4 Cierre y gestión del conocimiento

En esta fase se presentó la reunión de post-mantenimiento en la cual toda esta información se sintetizará para que sirva de material para el próximo mantenimiento mayor, mitigando la probabilidad de ocurrencia de los mismos impases y mejorando de gran manera la eficiencia de ejecución del procedimiento.

4. Resultados

4.1 Análisis de criticidad

A continuación, se presentan cada uno de los criterios con los cuales se evalúan los factores para el análisis de criticidad de los componentes:

Tabla 1.

Matriz de criticidad

Factor	Criterio	Ponderación
Seguridad	Alto riesgo de vida del personal, daños graves a la salud del personal	5
	Riesgo de vida del personal o daños menores	3
	No existe riesgo de salud del personal	1
Ambiente	Derrames y fugas que exceden los límites permitidos	5
	Derrames fáciles de contener y fugas repetitivas	3
	No existe riesgo de daños ambientales	1

Factor	Criterio	Ponderación
Frecuencia de falla	Menos de 1 año	5
	Entre 1 y 2 años	4
	Entre 2 y 5 años	2
	Mayor de 5 años	1
Costo	Mayor de \$150000 USD	8
	Entre \$150000 USD y \$ 10000 USD	4
	Menos a \$10000 USD	1
Tiempo promedio para reparar	Mas de 3 días	10
	De 2 a 3 días	4
	De 1 a 2 días	2
	Menos de 1 día	1

Nota. Tabla de ponderación de factores y criterios para la evaluación de riesgos en seguridad, ambiente, frecuencia de falla, costo y tiempo de reparación.

Estos criterios fueron estipulados luego de indagar con personal experto en las diferentes áreas donde el equipo tiene impacto (mantenimiento, producción, seguridad, entre otros).

Todo esto es realizado con el fin de tener unos resultados aterrizados, muy fieles a la realidad de marco de trabajo del equipo, y esto es sumamente importante ya que con una jerarquización efectiva se pueden elegir con más certeza cuales son los puntos que se deben atacar en este proyecto para lograr la mayor confiabilidad posible en la operación de este.

Tabla 2.

Componentes mayores del modelo EX1200-6

Modelo		EX1200-6				
Componentes Mayores	Promedio de vidas (años)	Frecuencia de falla (años)	Costo mantenimiento del componente (USD)	Tiempo medio para reparar (horas)	Costo productivo (USD)	Costo total (USD)
Motores de giro delantero	1.9	0.5	\$13,214.78	6	\$6,492.00	\$19,706.78
Motores de giro trasero	1.3	0.8	\$13,214.78	6	\$6,492.00	\$19,706.78
Reductores de giro delantero	5.2	0.2	\$72,067.83	12	\$12,984.00	\$85,051.83
Reductores de giro trasero	5.2	0.2	\$72,067.83	12	\$12,984.00	\$85,051.83
Motores de traslación izquierdo	1.7	0.6	\$19,809.36	3	\$3,246.00	\$23,055.36
Motor de traslación derecho	2.1	0.5	\$19,809.36	3	\$3,246.00	\$23,055.36
Mandos finales izquierdo	1.5	0.7	\$168,511.78	12	\$12,984.00	\$181,495.78
Mandos finales derecho	2.0	0.5	\$168,511.78	12	\$12,984.00	\$181,495.78
PTO	5.3	0.2	\$231,472.18	50	\$54,100.00	\$285,572.18
Bomba principal #1	1.7	0.6	\$24,131.27	12	\$12,984.00	\$37,115.27
Bomba principal #2	1.7	0.6	\$24,131.27	12	\$12,984.00	\$37,115.27
Bomba principal #3	1.7	0.6	\$24,131.27	12	\$12,984.00	\$37,115.27
Bomba de ventilador	1.4	0.7	\$8,139.00	6	\$6,492.00	\$14,631.00
Corona de giro	5.2	0.2	\$48,760.30	96	\$103,872.00	\$152,632.30
Válvula de control principal	4.1	0.2	\$61,781.14	32	\$34,624.00	\$96,405.14

Modelo		EX1200-6				
Componentes Mayores	Promedio de vidas (años)	Frecuencia de falla (años)	Costo mantenimiento del componente (USD)	Tiempo medio para reparar (horas)	Costo productivo (USD)	Costo total (USD)
Válvula de control de giro	4.6	0.2	\$33,370.25	18	\$19,476.00	\$52,846.25
Center Joint	1.0	1.0	\$7,915.38	6	\$6,492.00	\$14,407.38
Cadena de traslación izquierda	2.8	0.4	\$51,036.25	12	\$12,984.00	\$64,020.25
Cadena de traslación derecha	2.8	0.4	\$51,036.25	12	\$12,984.00	\$64,020.25
Enfriador de aceite hidráulico	2.5	0.4	\$27,720.19	6	\$6,492.00	\$34,212.19
Radiador	3.7	0.3	\$50,063.54	6	\$6,492.00	\$56,555.54
Motor Diesel	3.5	0.3	\$205,137.20	72	\$77,904.00	\$283,041.20
Cilindro de ajuste izquierdo	2.2	0.5	\$20,537.84	6	\$6,492.00	\$27,029.84
Cilindro de ajuste derecho	2.2	0.5	\$20,537.84	6	\$6,492.00	\$27,029.84
Cilindros de boom izquierdo	2.3	0.4	\$68,159.12	12	\$12,984.00	\$81,143.12
Cilindros de boom derecho	2.3	0.4	\$68,159.12	12	\$12,984.00	\$81,143.12
Cilindro de brazo	0.7	1.4	\$97,518.95	6	\$6,492.00	\$104,010.95
Cilindro de balde	1.4	0.7	\$64,139.12	6	\$6,492.00	\$70,631.12
Balde	2.0	0.5	\$3,548.00	18	\$19,476.00	\$23,024.00
Válvula de control de señales	6.9	0.1	\$1,904.83	6	\$6,492.00	\$8,396.83
Arnés principal centra	5.0	0.2	\$2,387.21	72	\$77,904.00	\$80,291.21

Modelo		EX1200-6				
Componentes Mayores	Promedio de vidas (años)	Frecuencia de falla (años)	Costo mantenimiento del componente (USD)	Tiempo medio para reparar (horas)	Costo productivo (USD)	Costo total (USD)
Arnés principal lateral	5.0	0.2	\$759.66	48	\$51,936.00	\$52,695.66
Arnés de bombas	2.0	0.5	\$386.48	6	\$6,492.00	\$6,878.48

Nota. Datos de componentes mayores del modelo EX1200-6, incluyendo promedio de vida, frecuencia de falla, costo de mantenimiento, tiempo medio de reparación, costo productivo y costo total.

Se observa que la ponderación de la mayoría de los factores va del número 1 al número 5, a excepción del factor de costos y tiempo de reparación, que sus valores máximos son de 8 y 10 respectivamente. Esto se hace debido a que debido a la naturaleza del mantenimiento mayor se le va a dar un poco más de peso a los trabajos de los componentes que generan más costos y tengan más tiempo el equipo fuera de servicio.

Luego de tener definidos los criterios de evaluación, se define la manera en la cual se va a ponderar la consecuencia de estos. El método que se va a escoger será otorgar pesos a cada uno de los factores de consecuencia que se detallaron anteriormente. De este modo, la ecuación que va a definir la ponderación de las consecuencias será la siguiente:

$$\text{Consecuencia} = 0.25C_s + 0.25 C_a + 0.25C_c + 0.25C_t \tag{2}$$

Se escoge esta ponderación debido a que es un método que puede describir de manera correcta las importancias de cada uno de los componentes evaluados en el equipo.

A continuación, se muestran los datos necesarios para poder definir todos los factores de consecuencia de cada uno de los componentes. Esta información ha sido recopilada mediante los datos históricos de cambios y novedades que se han aplicado en el equipo con respecto a los componentes evaluados. El sistema de información que se utiliza para el departamento de palas en la mina Drummond es ORACLE Peoplesoft. También se ha utilizado el conocimiento de los expertos en el tema, para definir ciertos valores que se podrán apreciar más adelante en este documento.

Con estos datos y la tabla de criticidad, se puede realizar la evaluación de cada uno de los componentes en los factores de criticidad anteriormente mostrados.

Tabla 3.

Evaluación de componentes

ITEM	COMPONENTE	F	Cs	Ca	Cc	Ct	C
1	Motores de giro delantero	4	3	3	4	1	3
2	Motores de giro trasero	4	3	3	4	1	3
3	Reductores de giro delantero	1	5	5	4	2	4
4	Reductores de giro trasero	1	5	5	4	2	4

ITEM	COMPONENTE	F	Cs	Ca	Cc	Ct	C
5	Motores de traslación izquierdo	4	3	3	4	1	3
6	Motor de traslación derecho	2	3	3	4	1	3
7	Mandos finales izquierdo	4	3	3	8	1	4
8	Mandos finales derecho	4	3	3	8	1	4
9	PTO	1	5	5	8	2	5
10	Bomba principal #1	4	3	3	4	1	3
11	Bomba principal #2	4	3	3	4	1	3
12	Bomba principal #3	4	3	3	4	1	3
13	Bomba de ventilador	4	1	3	4	1	2
14	Corona de giro	1	5	5	8	10	7
15	Válvula de control principal	2	3	3	4	2	3
16	Válvula de control de giro	2	3	3	4	2	3
17	Center Joint	4	3	3	4	1	3
18	Cadena de traslación izquierda	2	5	3	4	2	4
19	Cadena de traslación derecha	2	5	3	4	2	4
20	Enfriador de aceite hidráulico	2	1	5	4	1	3
21	Radiador	2	1	5	4	1	3
22	Motor Diesel	2	5	5	8	4	6

ITEM	COMPONENTE	F	Cs	Ca	Cc	Ct	C
23	Cilindro de ajuste izquierdo	2	3	3	4	1	3
24	Cilindro de ajuste derecho	2	3	3	4	1	3
25	Cilindros de boom izquierdo	2	5	5	4	2	4
26	Cilindros de boom derecho	2	5	5	4	2	4
27	Cilindro de brazo	5	5	5	4	1	4
28	Cilindro de balde	4	5	5	4	1	4
29	Balde	2	3	5	4	2	4
30	Válvula de control de señales	1	3	3	1	1	2
31	Arnés principal centra	1	3	1	4	4	3
32	Arnés principal lateral	1	3	1	4	4	3
33	Arnés de bombas	2	3	1	1	4	2

Nota. Tabla de evaluación de componentes, mostrando factores (F), criterios de seguridad (Cs), criterios ambientales (Ca), criterios de costo (Cc), criterios de tiempo (Ct) y una calificación general (C).

Estos valores obtenidos se van a organizar en una gráfica, en la cual se enfrentarán las consecuencias contra la frecuencia de fallo de cada uno de estos componentes y se van asignando

los lugares de criticidad de esto, para tener un mayor entendimiento de cuál es la criticidad que cada uno de estos componentes tiene en el equipo en cuestión.

Tabla 4.

Matriz de consecuencias

		Consecuencia								
		1	2	3			4	5	6	7
Frecuencia de falla	5	30	27				22			
	4		13	1	2	5	7	22		
			10	11	12	8				
			17	28						
	2		33	6	15	16	18	19	22	
20	21	23	25	26						
1	30	24	29	3			9	14		
			31	32	4					
					3	9				
					4					

Donde:

	Baja criticidad
	Mediana criticidad
	Alta criticidad

Nota. Matriz de consecuencias basada en la frecuencia de falla que muestra la distribución de elementos evaluados en una escala del 1 al 7 y el código de colores de acuerdo con el nivel de criticidad.

La Tabla 4 presenta un panorama más claro y es el resultado de lo que se quiere exponer en esta sección del documento, se muestra cada uno de los niveles de criticidad asignado a los componentes con respecto a los aspectos evaluados en la matriz de criticidad, que como se menciona anteriormente en este documento, son aspectos que inciden directamente en la operación.

4.2 Planeación del mantenimiento mayor

A continuación, se presentan las pautas para la realización de un mantenimiento mayor para las excavadoras EX1200-6 que se encuentran operando en las diferentes minas de Drummond LTD. Se definirá el alcance, normas generales aplicables, los roles y responsabilidades de cada uno de los actores de este proyecto, planificación de las semanas antes de la hora cero y alistamiento del área en que se va a ejecutar.

4.2.1 Definición del alcance

Este procedimiento se realiza con la finalidad de definir una guía para la realización de mantenimientos mayores a las excavadoras EX1200-6 que se encuentran en Drummond que garantice que todas las tareas de mantenimiento sean planificadas y ejecutadas de una manera óptima.

4.2.2 Políticas y normas generales

Para la ejecución de esta actividad en estos equipos se deben aplicar todas las normas e instructivos de trabajo como:

- Trabajo seguro en alturas
- Manejo de sustancias químicas
- Trabajo en espacios confinados

- Trabajos eléctricos
- Trabajos en caliente (soldadura, oxicorte etc.)

Drummond cuenta con la certificación ISO 45001 (Norma internacional para la gestión de la seguridad y salud en el trabajo) mientras que para el territorio colombiano todos los trabajos que se llevan a cabo dentro de estas instalaciones siguen los siguientes estándares:

- Ley 1562 de 2012: Sistema general de riesgos laborales.
- Decreto 1072 de 2015: Reglamentación de la SST.
- Resolución 0312 de 2019: Estándares mínimos para el sistema de gestión y salud en el trabajo SG-SST.

4.2.3 Definiciones

- Procedimientos estándar de operación (POE o SOP): Es el conjunto de documentos que describe, de manera clara y concisa, cómo realizar una tarea o proceso específico de manera consistente y repetible. Su objetivo es lograr la estandarización de procesos para mejorar la eficiencia, mitigar errores y garantizar calidad en el producto final.
- Diagrama de GANTT: Es una herramienta visual aplicada para la gestión de proyectos en la cual se despliegan las tareas de un proyecto y su cronograma a lo largo del tiempo de ejecución de este. Es una herramienta bastante útil para la planificación, organización y control del proyecto ya que ayuda a saber cuál es el estado actual en el cual se encuentra el mismo.
- Hora cero: Es el momento en el cual se da inicio a todo el proceso de mantenimiento mayor. Ya en este instante se debe tener listo absolutamente todos los recursos para la realización efectiva del mantenimiento, esto incluye: repuestos, servicios externos,

mano de obra entre otras. Todo esto con la finalidad de que el inicio y cierre del proyecto se dentro de los tiempos establecidos para este.

- **Planeador de mantenimiento:** Esta figura dentro de una compañía corresponde a el encargado de la organización y coordinación de las actividades de mantenimiento. Tiene como objetivo principal, maximizar la confiabilidad y disponibilidad de los activos, con un control adecuado de costos y tiempo de inactividad
- **Procedimiento de bloqueo de energías peligrosas:** Se define como un método de seguridad industrial que asegura que en un equipo cuando se encuentra en tareas de mantenimiento no pueda ser puesto en marcha por accidente. El objetivo de este procedimiento es mitigar los riesgos a los trabajadores que se encuentran interviniendo el equipo.
- **Roles:** Es la posición que tiene una persona dentro de la estructura jerárquica de la compañía
- **Funciones:** Son acciones o tareas que una persona tiene asignada dentro del proceso de una compañía con el fin de que dicho proceso avance.
- **Ruta crítica:** La ruta crítica en la gestión de un proyecto es el conjunto de tareas que, en caso de retrasarse, se retrasarían los tiempos de desarrollo del proyecto. Es la secuencia más larga de tareas durante un proyecto que definen el tiempo total empleado.
- **Excavadora:** Es una maquina autopropulsada de gran tamaño, generalmente con orugas, tiene su aplicación en las áreas de construcción y minería para la extracción de materiales como roca, tierra y arena.

- **Sistemas electrohidráulicos:** Es un sistema que utiliza las energías hidráulicas y eléctricas para el control de movimientos y la fuerza de estos en una máquina.
- **Componentes mayores:** Componentes dentro de un equipo que requieren de un mantenimiento que se caracteriza por su alto costo con respecto a los demás. Estos componentes suelen ser claves para el funcionamiento del equipo que los posee.
- **Análisis de criticidad:** Es una herramienta que en el mantenimiento que permite categorizar por orden de criticidad que componentes en un equipo tienen más impactos que otros utilizando diversos conceptos que ponderados brindan una visión más clara para las decisiones que se toman sobre el equipo
- **Inspecciones estructurales:** Es una actividad de mantenimiento importante para garantizar la seguridad y durabilidad de una estructura. Implica revisión visual y la realización de las pruebas no destructivas para tener una imagen real de la condición de la estructura en análisis.
- **La planificación del mantenimiento mayor** es el conjunto de actividades preparadas realizadas con el fin de asegurar que las actividades del mantenimiento mayor sean planeadas de manera efectiva para la ejecución de este en los tiempos estipulados. En este se destacan las actividades más importantes que se requieren en lapso definido de esta preparación antes de la hora cero para el inicio de todos los trabajos de mantenimiento. Aquí se incluyen todas las consideraciones y actividades específicas para el inicio de parada, así como la gestión de personal externo para todas las actividades durante la parada donde se requiera.

4.2.4 Roles y funciones

En este apartado se describen cuáles son los roles y las funciones que tienen asignadas cada una de las personas que harán parte del mantenimiento mayor. Se realizará una descripción general de las responsabilidades que poseen cada uno de los roles involucrados en las etapas de pre, durante y post parada.

4.2.4.1 Coordinador de mantenimiento (Supervisor Senior Mantenimiento Palas)

4.2.4.1.1 Funciones pre-mantenimiento mayor

- Coordinar de la mano de producción los tiempos en los cuales el equipo será tomado por el área de mantenimiento. Teniendo en cuenta que, dentro de la línea de producción del carbón, las excavadoras pueden ser un cuello de botella, es importante que este tiempo se encuentre debidamente planificado e informado por todas las partes involucradas (mantenimiento y producción).
- Liderar la programación y coordinación de las inspecciones necesarias al equipo que se va a intervenir con el fin de identificar las actividades que serán desarrolladas dentro del mantenimiento mayor
- Participar en el análisis de presupuesto de repuestos, contratos, mano de obra y recursos externos requeridos para la reparación.
- Identificar todas las actividades necesarias para una entrega del equipo a la operación que cumpla con todos los estándares necesarios.
- Participar en todas las reuniones que se lleven a cabo antes de la hora cero de la actividad.

4.2.4.1.2 Funciones durante y post mantenimiento mayor

- Realizar recorridos regulares en el área donde se está interviniendo el equipó, identificando oportunidades de mejora para la optimización del proceso de mantenimiento
- Velar por el cumplimiento del plan de mantenimiento establecido y administrar los posibles retrasos o cambios que se puedan presentar durante el transcurso de la actividad.
- Revisar y dar el visto bueno a la puesta en marcha de los equipos.
- Realizar reuniones con departamentos interesados (Gerentes, producción, líderes de mantenimiento) de cómo va el estado de realización del mantenimiento mayor.
- Realizar la comunicación de todas las actividades realizadas durante su turno al grupo de trabajo entrante.
- Participar en reunión post mantenimiento mayor.

4.2.4.2 Supervisor de mantenimiento mayor

4.2.4.2.1 Funciones pre-mantenimiento mayor

- Revisar análisis de lesiones aprendidas, reportes de mantenimientos mayores realizados anteriormente, así como el análisis de recomendaciones hechas por distribuidores del equipo y de personal especializado en estos para la selección y aplicación de acciones de mejora.
- Acordar con el planeador las actividades que se van a realizar ya sean usando personal de propio o contratando servicios externos.

- Verificar el cumplimiento de todas las normas que deben aplicarse en el área de trabajo donde se está interviniendo el equipo.
- Participar en el análisis de causa raíz de los casos donde se puedan identificar actividades que sean tenidas en cuenta que no hagan parte de las actividades estándar.
- Participar en todas las reuniones que se lleven a cabo antes de la hora cero de la actividad.
- Participar en la programación y coordinación de las inspecciones necesarias al equipo que se va a intervenir con el fin de identificar las actividades que serán desarrolladas dentro del mantenimiento mayor.
- Participar en todas las reuniones de seguridad donde se estructuren y se tengan en cuenta todas las pautas necesarias para que la actividad sea realizada bajo los estándares permitidos de seguridad.

4.2.4.2.2 Funciones durante y post mantenimiento mayor

- Realizar el seguimiento del cumplimiento de todas las actividades que se llevan a cabo durante la realización del mantenimiento mayor.
- Gestionar todo el equipo de apoyo necesario para la realización efectiva de todas las tareas que se llevarán a cabo durante el mantenimiento mayor.
- Participar en la resolución de imprevistos que se presenten durante el transcurso de la parada.
- Realizar recorridos de inspección a los trabajos que hagan parte de la ruta crítica de la parada.
- Liderar y gestionar el comportamiento del tiempo de las actividades realizadas durante la parada versus el tiempo planeado de estas.

- Asegurar el cumplimiento de los procedimientos y normas que apliquen en durante el proceso de la parada.
- Liderar y participar las reuniones diarias con todo el equipo de trabajo.
- Realizar la comunicación de todas las actividades realizadas durante su turno al grupo de trabajo entrante.
- Gestionar las solicitudes de pedido de todos los consumibles que los equipos de trabajo soliciten durante la parada
- Gestionar la logística de transporte del personal de la parada desde el punto de llegada a la mina hasta el área de la parada y viceversa.
- Gestionar la entrega de los equipos a operación
- Participar en reunión post mantenimiento mayor

4.2.4.3 Planeador de Mantenimiento

4.2.4.3.1 Pre-mantenimiento mayor

- Planear la ruta crítica y estimar los tiempos de todas las actividades de las paradas, acudiendo a toda la información del histórico que se tiene del equipo, apoyado de la experiencia del grupo de soporte técnico
- Realizar análisis de Pareto para las fallas en el histórico del equipo entre el último mantenimiento y la hora cero de la parada
- Generar las solicitudes de repuestos y servicios de terceros que se necesiten para el desarrollo de las tareas en la parada, definiendo las cláusulas requeridas para la contratación de estos servicios.

- Generar el diagrama de Gantt por el cual se guiará el mantenimiento mayor de la excavadora y realizar la socialización de este a todos los grupos de interés.
- Realizar el seguimiento de la consecución de los repuestos y herramientas necesarios para la consecución de este proyecto
- Participar en las reuniones previas a la hora cero de la parada.
- Garantizar la correcta asignación de los repuestos a las órdenes de trabajo que se van a realizar durante la parada.
- Realizar seguimiento a la llegada de los repuestos que serán empleados durante el mantenimiento mayor.

4.2.4.3.2 Durante y post mantenimiento mayor

- Realizar seguimiento a las actividades y el tiempo que estas están empleando para ser ejecutadas de acuerdo con el plan de la parada.
- Actualizar el diagrama de Gantt en caso de que se requiera
- Realizar recorridos de inspección a los trabajos que hagan parte de la ruta crítica de la parada.
- Divulgar los cambios que se hayan realizado en el diagrama de Gantt a los involucrados en las actividades de mantenimiento de la parada.
- Realizar el informe diario de cumplimiento de las actividades real vs programado
- Apoyar en la gestión de las actividades de mantenimiento que surjan durante el desarrollo de la parada
- Participar en la reunión diaria de la parada
- Participar en la reunión post parada

4.2.4.4 Supervisor de Mantenimiento

4.2.4.4.1 Pre-mantenimiento

- Asegurar el correcto entendimiento de todos los procedimientos y normas necesarias de todo el personal técnico de la parada.
- Participar en la reunión de hora cero para el inicio del mantenimiento mayor

4.2.4.4.2 Durante y post mantenimiento mayor

- Coordinar la asignación de recursos como mano de obra, herramientas y consumibles a las diferentes tareas que se encuentran en el plan de la parada
- Comunicar el plan de mantenimiento diario a todos los grupos técnicos involucrados en la parada.
- Asegurar el correcto diligenciamiento de todos los permisos necesarios para realizar las tareas de mantenimiento dentro de la parada incluido todo el proceso de bloqueo de energías en el equipo.
- Junto con el supervisor de mantenimiento mayor liderar las reuniones iniciales diarias.
- Asegurar la correcta ejecución de todas las tareas de mantenimiento
- Reportar a superiores las condiciones subestándares que sean identificadas por parte del personal técnico
- Participar en la resolución de imprevistos que se presenten durante el transcurso de la parada.
- Apoyarse en el planeador y supervisor de mantenimiento mayor para la toma de decisiones que impliquen la ejecución de las actividades.
- Liderar y coordinar las pruebas de puesta en marcha del equipo

- Participar en reunión post mantenimiento mayor
- Realizar la comunicación de todas las actividades realizadas durante su turno al grupo de trabajo entrante

4.2.4.5 Ingeniero de repuestos

4.2.4.5.1 Pre-mantenimiento mayor

- Apoyar en el cálculo estimado de todos los repuestos necesarios para el mantenimiento mayor
- Garantizar que las solicitudes de pedido de todos los repuestos se generen con el tiempo necesario para que estos estén disponible a la hora cero del mantenimiento mayor
- Realizar el debido seguimiento a las solicitudes de pedido realizadas
- Actualizar y divulgar el plan de entrega de suministros y repuestos para la parada.
- Realizar seguimiento a la llegada de los repuestos que serán empleados durante el mantenimiento mayor

4.2.4.5.2 Durante y post mantenimiento mayor

- Gestionar con almacén la logística de entrega de los repuestos al grupo de trabajo
- Evaluar y gestionar los pedidos de repuestos que puedan surgir durante el mantenimiento mayor
- Atender las no conformidades que tengan que ver con la condición de los repuestos e informar a los proveedores acerca de las condiciones subestándar que se hayan generado por estos repuestos
- Monitoreo de la utilización de todos los repuestos que fueron gestionados para el mantenimiento mayor

- Gestionar los repuestos que no fueron utilizados mediante el proceso de retorno a bodega RMA.

4.2.4.6 Equipo de soporte técnico (Especialistas)

4.2.4.6.1 Pre-mantenimiento mayor

- Proporcionar detalles al planeador de los repuestos que son necesarios para su consecución
- Proporcionar los procedimientos necesarios para los trabajos que se realizarán en especial los catalogados como trabajos críticos.
- Realizar inspecciones especializadas a los distintos sistemas del equipo para evaluar la condición de este
- Recibir y analizar todos los testimonios de parte de los operadores del equipo y del departamento de producción en general.
- Evaluar todas las condiciones encontradas durante las inspecciones y proponer soluciones efectivas para estas.
- Preparar y divulgar reportes técnicos para todas las partes interesadas del equipo que va a tener el mantenimiento mayor.
- Participar en las reuniones previas hasta la hora cero.

4.2.4.6.2 Durante y post mantenimiento mayor

- Supervisar la recepción, pruebas pre-mantenimiento y parada del equipo.
- Velar por la ejecución correcta de todas las ordenes que se llevarán a cabo durante la parada.
- Brindar soporte, acompañamiento y retroalimentación a todos los equipos de trabajo durante la parada.

- Liderar y participar en las tareas críticas durante la parada del equipo
 - Elaborar reportes técnicos especializados de la condición del equipo post mantenimiento mayor y realizar la comparación con los reportes realizados antes de la parada.
 - Participar en la gestión y resolución de imprevistos que se presenten durante el desarrollo de la parada.
 - Evaluar y participar en las pruebas de rendimiento realizadas al equipo después de la parada.
 - Realizar los cambios necesarios de las variables de funcionamiento en el equipo con el fin de que los parámetros operativos se ajusten a la satisfacción del área de producción.
 - Participar cuando se requiera en la reunión diaria de la parada.
 - Participar en la reunión post mantenimiento mayor.

4.2.4.7 Técnico de mantenimiento

4.2.4.7.1 Durante y post mantenimiento mayor

- Identificar y reportar ante el supervisor de mantenimiento la presencia de condiciones subestándar que no se encuentren contempladas durante la planeación del mantenimiento mayor.
- Participar en los procesos de parada del equipo.
- Diligencias de manera consciente los permisos necesarios para realizar las actividades designadas.
- Participar en la adecuación y limpieza del área de trabajo durante y al finalizar el turno laboral.

- Ejecutar las tareas asignadas.
- Participar en la gestión y resolución de imprevistos que se presenten durante el desarrollo de la parada.
- Participar en las pruebas de rendimiento realizadas al equipo después de la parada
- Participar en las reuniones diarias de la parada.

4.2.4.8 Supervisor SSTA

4.2.4.8.1 Pre-mantenimiento mayor

- Analizar las actividades planeadas para el mantenimiento mayor para poder evaluar posibles riesgos que se presenten durante la ejecución de estos.
- Diseñar el plan de SSTA bajo los estándares reglamentarios o los diseñados dentro de la compañía, teniendo en cuenta señalización, control de acceso, Planes de emergencia y permisos de trabajo.
- Participar en las reuniones previas hasta la hora cero de la parada.

4.2.4.8.2 Durante y post mantenimiento mayor

- Recorrer el área de la parada con el fin de verificar el cumplimiento de las normas, el correcto uso de los elementos de protección y disposición de desechos.
- Validar el correcto diligenciamiento de los permisos de trabajo para tareas especiales
- Registrar y gestionar cualquier evento de seguridad que se presente durante el transcurso de la parada.
- Retroalimentar a los equipos de trabajo a tiempo real acerca de condiciones de trabajo inseguras para su corrección.
- Participar en las reuniones diarias de la parada.

- Realizar reporte de los incidentes de seguridad que se presentaron durante la parada.
- Participar en reuniones post mantenimiento mayor.

4.2.5 Actividades de preparación antes del mantenimiento mayor

El proceso de planificación del mantenimiento mayor comienza 4 meses antes del inicio de esta actividad. Este tiempo se ha establecido ya que por experiencia del personal involucrado en actividades planeación y programación de mantenimiento en Drummond se considera que es uno de este margen de tiempo asegura de manera óptima que a la llegada de la hora cero del mantenimiento mayor se encuentren disponibles todos los recursos y repuestos para la realización de este, en especial para la consecución de repuestos ya que para muchos de estos es necesario emplear procesos de importación para tenerlos disponibles lo que convierte a la gestión de todos estos en un eslabón importante para el correcto desarrollo de la ruta crítica. A continuación, se describirán las actividades que se llevarán 4 meses antes de la hora cero para el inicio de la parada del equipo.

4.2.5.1 Semana 1: análisis de fallas e inspección inicial

4.2.5.1.1 Planeador

- Realizar el análisis de falla correspondiente al equipo que se va a intervenir. El rango de datos obtenidos para el equipo a analizar debería ser desde la última intervención de mantenimiento mayor al equipo hasta la hora cero del próximo mantenimiento. Pero, como a la fecha de realización de este documento las técnicas de mantenimiento mayor no han sido implementadas en las excavadoras EX1200-6 en la mina Drummond, se recomienda que se tomen todos los datos de fallas desde el arranque del equipo

- Revisar las actas de entrega de mantenimiento mayor anteriores realizados al equipo y tomar en consideración las lesiones aprendidas y actividades pendientes identificadas.
- Generar un archivo informativo para cada una de las partes implicadas en el mantenimiento mayor de este equipo, en el cual debe mostrarse información detallada del equipo desde el rango seleccionado de análisis

4.2.5.1.2 Coordinador de mantenimiento

- Coordinar junto con el superintendente de mantenimiento cual será la ventana de salida del equipo de la línea de producción para el mantenimiento, luego de tenerla definida se deberá solicitar esta fecha al departamento de producción.
- Programar y poner en marcha las auditorias acerca del equipo por parte de los operadores y diseñar un programa de inspecciones para ser realizadas con ayuda del equipo de soporte técnico.
- Definir junto con el planeador y equipo de soporte técnico cuándo y dónde serán realizadas las inspecciones estructurales del equipo con el fin de obtener un mapa de grietas del equipo. Estas inspecciones serán principalmente de carácter visual y se podrán realizar en ventanas de oportunidad que se presenten durante la operación.
- Definir junto con el planeador cual será el proveedor que brindará el soporte con los servicios de inspección de grietas más profundos en los puntos críticos de toda la estructura.

4.2.5.2 Semana 2: inspección de rendimiento y subsistemas

El objetivo principal de esta semana será desplegar el programa de inspecciones regulares a los equipos, actividad que será realizada por el equipo de soporte técnico.

Estas inspecciones están centradas en el análisis de rendimiento y parámetros de funcionamiento y los subsistemas del equipo y tendrán una profundidad de análisis elevada, lo que lo diferenciará de las actividades regulares de inspección por lo cual requerirá de más tiempo para ser realizadas.

4.2.5.2.1 Coordinador de mantenimiento

- Establecerá junto con el departamento de producción los tiempos y momentos en los cuales se llevarán a cabo las revisiones de parte del equipo de soporte técnico

4.2.5.2.2 Equipo de soporte técnico

- Realizar las inspecciones a todos los subsistemas de la excavadora, así como al registro de los datos de parámetros de funcionamiento
- Para final de la semana se debe tener el primer informe en el cual describen cuales son los parámetros de funcionamiento del equipo y cuáles fueron los hallazgos encontrados

4.2.5.3 Semana 3: inspección estructural profunda

Para esta semana se programa un PM para el equipo en el cual se realicen tareas menores, de mantenimiento preventivo y las inspecciones estructurales con más profundidad a cargo de personal especializado en estas actividades. Esta inspección estará centrada principalmente en el análisis en las zonas de los puntos de inspección recomendadas por el fabricante, así como también zonas donde se hayan presentado grietas en el récord histórico de las fallas.

Para el final de esta semana el planeador debe tener un informe completo del estado estructural del equipo.

4.2.5.4 Semana 4: estimación preliminar de recursos y repuestos

Una vez realizadas todas estas actividades el planeador debe tener una imagen correcta del estado del equipo que va a ingresar a mantenimiento mayor por tal razón es el mejor momento para realizar una estimación de todas las actividades que van a ser realizadas durante la parada.

Esta labor liderada por el planeador con la ayuda del personal de soporte técnico y todas las entrevistas realizadas al personal que tiene contacto directo con el equipo dará como resultado la obtención de un estimado de personal necesario, equipos de apoyo y repuestos necesarios para el equipo.

Así mismo, con toda esta información el planeador deberá tener ya un estimado de la duración total de la parada del equipo y haber realizado la solicitud de los repuestos necesarios para el equipo.

4.2.5.5 Semana 5: reunión de arranque y proyección inicial

Una vez obtenido una proyección de lo que será el mantenimiento mayor del equipo en la semana 5 se realizará la primera reunión en la cual estarán los grupos de trabajos implicados en la parada, así como todos los grupos de interés del equipo. Harán parte de la reunión los siguientes:

- Superintendente de Mantenimiento
- Coordinador de mantenimiento
- Supervisor de mantenimiento mayor
- Equipo de soporte técnico
- Departamento de operación
- Ingeniero de repuestos

El planeador del mantenimiento divulgará todos los hallazgos encontrados durante las actividades realizadas semanas antes y se aprovechará el espacio para recibir retroalimentación acerca de trabajos críticos o hallazgos encontrados durante las inspecciones realizadas, así como la proyección de la duración de la parada.

Por parte del supervisor de mantenimiento mayor, liderará la discusión acerca de la disponibilidad de mano de obra para el equipo, los equipos de apoyo necesarios para los trabajos más relevantes y de la mano del equipo de soporte técnico se presentarán oportunidades de mejora para aumentar la confiabilidad.

El ingeniero de repuesto dará un avance de cómo se encuentra el estado de los pedidos realizados en la semana anterior.

4.2.5.6 Semana 6 a 9: plan de acción y formalización de tareas

El supervisor de mantenimiento mayor realizará sesiones de retroalimentación y preparación en base a toda la información que se tiene acerca del estado de la maquina y las tareas que están proyectadas a llevarse a cabo durante la parada. En esta reunión participarán los supervisores de mantenimiento, personal técnico y equipo de soporte técnico, y se discutirán los siguientes temas:

- Plan de acción para todas las tareas que pueden ser realizada durante los PM antes de mantenimiento mayor para así optimizar el tiempo de la parada.
- Repuestos necesarios por cada tarea que se llevará a cabo en la intervención.
- Distribución de responsabilidades a los supervisores de mantenimiento de acuerdo con los subsistemas de la excavadora.
- Necesidad de equipo de apoyo o mano de obra calificada para trabajos específicos.

Toda esta información será trasladada por el supervisor de mantenimiento hacia superintendencia para la aprobación de todas las necesidades.

El planeador durante este periodo de tiempo será el encargado de abrir las ordenes de trabajo en el sistema ORACLE People Soft. También definirá los tiempos máximos de entrega de todas las actividades que se lleven a cabo por mano de obra externa especializada (soldadura, etc.).

El ingeniero de repuestos estará encargado del seguimiento de todas las solicitudes de pedidos generadas para el mantenimiento mayor.

4.2.5.7 Semana 10: consolidación de costos y monitoreo de hallazgos

El planeador realizará un resumen de costos totales del proyecto, pero ya con referencia a cotizaciones que se han comenzado a solicitar de los proveedores que se requieran y se revisará junto con el supervisor de mantenimiento mayor.

De ser necesario se realizará otra jornada de inspecciones al equipo, para evaluar que tareas fueron realizadas en PM, correctivos y demás. Así mismo en caso de presentar detalles estructurales, el seguimiento para evaluar su estado actual y tener una imagen más cercana a la hora cero. Estas inspecciones no requerirán tanto tiempo como la primera pues se trata principalmente de monitorear las condiciones ya detectadas.

Al finalizar esta semana se deberá tener el primer borrador de los costos totales que va a tener la parada para presentarla al coordinador de mantenimiento.

4.2.5.8 Semana 11: verificación de inventario y solicitudes finales

Para esta semana el trabajo será la identificación de cuáles son los repuestos con los cuales se cuenta en almacén y así mismo realizar solicitudes de pedido, en caso de que haga falta, de repuestos o consumibles que en el momento no se encuentren en almacén.

4.2.5.9 Semana 12: definición del plan de trabajo y ruta crítica

En esta semana el planeador divulgará la lista de tareas que se llevarán a cabo en el mantenimiento mayor con carga total en horas hombres por cada tarea definida y con esto presentará un borrador del plan de trabajo mucho más detallado en el cual incluya todas las actividades y se definirá la ruta crítica para la intervención.

Se debe asegurar que este plan cuente con los siguientes aspectos para asegurar la transferencia correcta de la información:

- El tiempo requerido en el plan debe concordar con el tiempo definido en las OT montadas en el sistema PeopleSoft.
- El tiempo necesario para la realización de todos los acabados estructurales en el equipo
- Tiempos requeridos en pruebas de arranque post mantenimiento según los estándares definidos por fábrica.
- La definición de la ruta crítica. El monitoreo constante y a tiempo real de este conjunto de actividades es importante ya que una variación en los tiempos de desarrollo de la ruta crítica acarreará retrasos e incumplimiento, así como el ahorro del tiempo en general de la actividad.
- Se detallarán los trabajos especiales los cuales deben estar correctamente explicados en el plan

Adicionalmente, dependiendo de los repuestos que se requieren para la parada, los que requieren importación ya deben tener pedido de compra.

4.2.5.10 Semana 13: revisión del borrador del plan de trabajo

Para esta semana se programa la primera reunión para la discusión del primer borrador del plan de trabajo de la parada mayor del equipo. Los participantes de esta reunión serán todos los

grupos interesados relacionados con la gestión y el control de todas las variables para llevar a cabo una parada con eficiencia. Los participantes serán

- Planeador
- Coordinador
- Supervisor de mantenimiento mayor
- Ingeniero de repuestos
- Equipo de soporte técnico

En la reunión el planeador expondrá todo lo planeado en el primer borrador y que las demás partes le hagan retroalimentación para tomar todos esos datos y ajustar el plan a un segundo borrador.

Todos los repuestos que vayan llegando a almacén y correspondan a esta actividad deberán ser retirados y marcados con las ordenes de trabajo a las cuales corresponden, esta labor se le encargará al equipo de soporte técnico.

Para esta semana ningún trabajo adicional se puede incluir en el plan de trabajo sin la previa autorización del coordinado o en su defecto de la superintendencia de mantenimiento.

4.2.5.11 Semana 14: aprobación del plan final y logística

Para esta semana el planeador deberá convocar una reunión en la cual presentará un segundo borrador del plan de trabajo de la parada, en la cual implementará todas las retroalimentaciones que fueron dadas para los grupos de trabajo en la reunión de la semana 13. En esta reunión participarán:

- Planeador
- Coordinador

- Supervisor de mantenimiento mayor
- Ingeniero de repuestos
- Equipo de soporte técnico

En esta reunión se conseguirá la aprobación completa del plan de trabajo para la parada y se finalizará con la asignación de recursos.

En esta reunión se analizará los aspectos relevantes con respecto a seguridad que se deben tener en cuenta durante la reunión, aspectos logísticos como rutas de entrada y salida, alimentación, ubicación de lugares importantes para la parada entre otros.

En esta semana para el trabajo en conjunto entre el planeador, supervisor de parada mayor y equipo de soporte técnico se encargarán de terminar la recopilación de todos los procedimientos de trabajos seguros para cada una de las actividades que se van a desarrollar y en caso de que hagan falta procedimientos que no estén estandarizados empezar a desarrollarlos antes del inicio de la parada.

4.2.5.12 Semana 15: confirmación definitiva con producción

A inicios de esta semana el coordinador de mantenimiento debe realizar la confirmación definitiva al departamento de producción y a la gerencia acerca de las condiciones de tiempo y lugar en la cuales se llevará a cabo la parada. Esta confirmación es importante para el departamento de producción, puesto que ejecutarán las acciones necesarias para suplir la necesidad de este equipo en el complejo minero.

4.2.5.13 Semana 16: alistamiento final y reunión de arranque técnico

Esta es la última semana antes del mantenimiento mayor, por tanto, para inicios de esta semana todos los repuestos necesarios deben estar listos y correctamente rotulados. En esta semana se presentará el informe final en el cual se compartirá:

- Duración total
- Acuerdos con producción
- Ruta crítica
- Costo proyectado del mantenimiento mayor
- Plan de puesta en marcha
- Plan de retiro de operación

Así mismo se imprimirán y se publicaran todas las ordenes de trabajo y se realizará la primera una reunión en la cual ya se encontrará la parte técnica de la parada en la cual se mostrarán todas las actividades que se tienen proyectadas a realizar y todos los aspectos importantes que técnicos deban saber, así como aspectos de seguridad que se tendrán en cuenta y la logística que se llevará a cabo día a día. También se incluyen los contratistas que se encargarán de la realización de los trabajos especiales, que durante esta semana también deberá realizarse la inducción y todos los procedimientos logísticos para el ingreso a las instalaciones de todas las herramientas necesarias para su labor.

El ingeniero de repuestos debe asegurar la entrega de todos los repuestos y junto al planeador verificar que se encuentren en sitio todos los repuestos solicitados.

Por último, el plan definitivo debe imprimirse y publicarse en un sitio visible del área en la cual se realizará la parada.

4.2.6 Alistamiento del área de trabajo

Para el desarrollo de esta actividad es muy importante la selección del área de trabajo en el cual se desarrollará la parada ya que una buena planificación y preparación del área de trabajo optimiza en gran medida el tiempo total que dure la parada. Para la definición de esta área se deben tener en cuenta varios puntos:

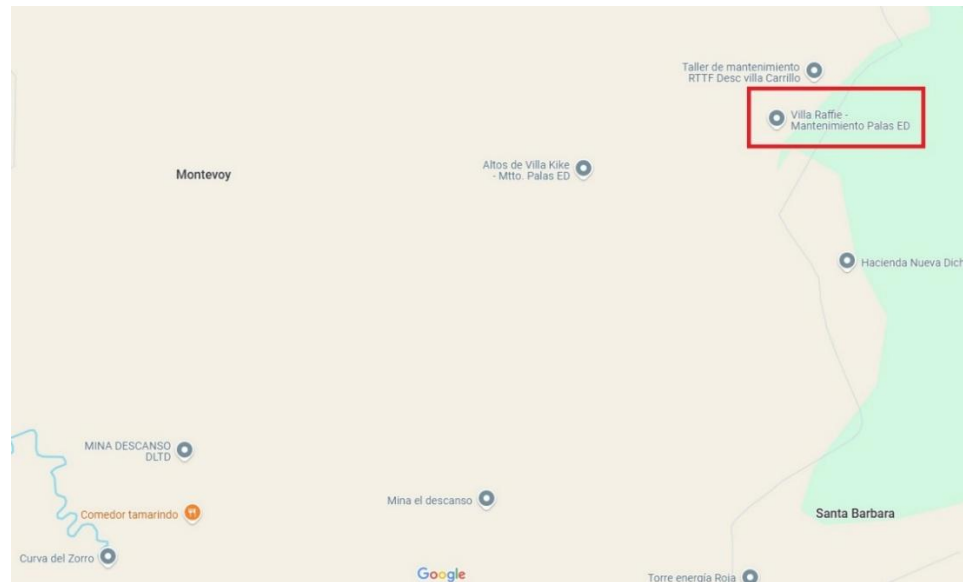
El área seleccionada debe contar con las dimensiones correctas en las que se contemplen las dimensiones del equipo, las dimensiones de todos los equipos de apoyo que van a estar en el área incluidos trabajos simultáneos que requieran de más de un equipo de apoyo y cualquier otra estructura necesaria para el mantenimiento mayor como el toolroom.

Se debe asegurar una buena planitud del terreno. La planitud del terreno es muy importante ya que en muchos trabajos críticos en estas excavadoras es importante la alineación para el montaje y desmontaje de componentes mayores. Además, trabajar en superficies planas disminuye el riesgo de caídas al mismo nivel del personal que se encuentre en el área.

La ubicación de puntos importantes a los cuales el personal va a estar visitando como comedor y baños deben estar ubicados lo más cercano posible a el área de trabajo.

Debido a la constante presencia de material particulado en el aire, de ser posible es recomendable que el área designada para el mantenimiento mayor del equipo se desarrolle en un entorno alejado de la actividad de excavación.

Teniendo en cuenta todas estas recomendaciones, uno de los lugares óptimos para la realización de esta actividad es el área de mantenimiento preventivo del departamento de Mantenimiento Palas, llamado *Villa Raffie*, el cual se muestra en la Figura 15.

Figura 15*Villa Raffie.*

Nota. Mapa de Google mostrando la ubicación de Villa Raffie - Mantenimiento Palas ED y sus alrededores, incluyendo Monteroy, Altos de Villa Kite - Mtl. Palas ED, Misa de Descanso GLTD, Comedor Tamarindo, Curva del Zorro, Misa el Descanso, Hacienda Nueva Secha, Santa Bárbara, Taller de Mantenimiento RTTF Desc. Villa Carrillo y Tome energía Rioja.

Este lugar cuenta con muy buenas condiciones para desarrollar la parada, ya que posee las dimensiones necesarias, su ubicación se encuentra alejada de la actividad minera lo cual reduce mucho los niveles de material particulado.

Debido a que esta es un área que se usa para desarrollar los mantenimientos preventivos de estos equipos, ya es un área que cuenta con una buena planitud y cuenta con la cercanía de todos los puntos logísticos de interés para el personal que participará en la parada. Esta área está organizada de tal manera que se pueda asegurar el orden y que se pueda aprovechar la eficiencia

logística que este lugar brinda. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la zona con sus demarcaciones.

Figura 16

Mapa de Áreas



Nota. Vista aérea de las instalaciones, mostrando la delimitación de áreas numeradas. La imagen muestra: 1: Punto de embarque/desembarque de transporte del personal, 2: Punto de reuniones, 3: Comedor, 4: Área de trabajo, 5: Cuarto de herramientas, 6: Área de repuestos, 7: Área de parqueo de vehículos livianos del mantenimiento mayor.

Debido a que el programa de mantenimiento preventivo de las demás excavadoras de este tamaño debe seguir, en caso de que este lugar se seleccione para realizar el mantenimiento mayor, estos mantenimientos deberán hacerse en lugares que se adecúen para ser realizados, así como los mantenimientos preventivos realizados para las excavadoras de mayor tamaño.

4.2.7 Indicadores de rendimiento – KPI'S

Para este tipo de actividades es importante definir y hacer seguimiento a indicadores de rendimiento que muestren de una manera fiel como se está llevando el mantenimiento mayor, estos indicadores deben ser aterrizados a la realidad y alineados a los objetivos del mantenimiento. Hay que tener en cuenta que estos indicadores no solo validan la ejecución del mantenimiento, sino también deben ser de ayuda para optimizar los próximos mantenimientos. A continuación, se presentan cada uno de estos indicadores:

4.2.7.1 Cumplimiento del cronograma (Cc)

Se define como el porcentaje de las tareas ejecutadas de acuerdo con el tiempo de trabajo establecido en el plan:

$$Cc = \frac{\text{Tareas ejecutadas en el instante de tiempo}}{\text{Total de tareas programadas para ese instante de tiempo}} \times 100\% \quad (3)$$

Este indicador tiene como objetivo saber que tanto se han desviado los trabajos de acuerdo con lo que se planeó para la parada. Debe estar en un valor mayor o igual al 90%

4.2.7.2 Producción mano de obra efectiva (Pmo)

Este indicador define que porcentaje del tiempo total del personal técnico es empleado en la realización de las tareas de mantenimiento, mide el “tiempo de llave en mano”.

$$Pmo = \frac{\text{Horas de llave en mano}}{\text{Horas totales disponibles}} \times 100\% \quad (4)$$

Este indicador permite identificar focos de tiempos muertos debido a esperas, faltas de repuestos, recursos y deficiencias en la organización logística de la parada.

4.2.7.3 Cumplimiento de presupuesto

Este indicador mide que tanto del presupuesto asignado para la parada fue usado en el mantenimiento mayor. La meta de este indicador es que este tenga un valor menor o igual al 100% y en caso de superar este valor debe estar justificado las razones (imprevistos) por las cuales este valor se superó.

$$\text{Cumplimiento del presupuesto} = \frac{\text{Costo real}}{\text{Costo presupuestado}} \times 100\% \quad (5)$$

4.2.7.4 Índice de reproceso (Ir)

Este indicador mide la cantidad de las actividades que tuvieron que ser repetidas por deficiencias en la calidad del trabajo durante la parada. La meta de este indicador es 0 reprocesos.

4.2.7.5 Índice de accidentalidad (Ia)

Este indicador mide el número de incidentes o accidentes ocurridos durante la ejecución del mantenimiento mayor. El objetivo de este indicador es de 0 accidentes.

Estos son los indicadores que se miden durante la ejecución del mantenimiento mayor y brindan una buena imagen de lo que ha sido el transcurso de la actividad, sin embargo, también existen indicadores que miden la garantía de los trabajos realizados en el mantenimiento mayor, estos son indicadores que se empiezan a tomar una vez ya terminado el mantenimiento.

4.2.7.6 Índice de fallas post mantenimiento (Ipm)

Este indicador mide el número de fallas que ha tenido el equipo en un periodo definido post mantenimiento mayor, mide la calidad de los trabajos realizados. La meta de este indicador es que sea 0 fallas durante el tiempo asignado.

4.2.7.7 Disponibilidad (Dpm)

Este indicador se mide desde el mantenimiento mayor realizado hasta el próximo mantenimiento mayor realizado o un tiempo bastante prolongado, y mide que tanto impacto ha tenido la realización del mantenimiento mayor en la disponibilidad del equipo.

- $$Dpm = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo total disponible programado}} \quad (6)$$

4.3 Ejecución de mantenimiento mayor

La realización de un mantenimiento mayor depende en gran medida del trabajo previo hecho durante la etapa de planificación. Esta incluye tanto aspectos internos como la selección del personal adecuado, la disponibilidad de procedimientos que garanticen seguridad y calidad en las tareas, la gestión oportuna de repuestos y licitaciones, y la coordinación entre áreas para evitar impactos en los procesos, como factores externos, como contar con proveedores confiables que ofrezcan mano de obra y repuestos de buena calidad.

No obstante, durante la ejecución es fundamental reforzar el control y seguimiento de las actividades, asegurando que se cumplan con los estándares de seguridad, calidad y dentro de los tiempos establecidos en el cronograma general. Además, se requiere una coordinación efectiva entre todos los involucrados en el mantenimiento mayor.

Esto es crucial porque cualquier demora en las tareas críticas puede retrasar la puesta en marcha de los equipos, lo cual impacta negativamente toda la línea de operación que cuente con este equipo. Por ello, es clave implementar una rutina estandarizada de seguimiento, aplicable tanto al personal interno como a los contratistas.

4.4 Monitoreo al desarrollo del mantenimiento mayor

El monitoreo de la parada será ejecutado por el coordinador y el supervisor de parada mayor, ya que diariamente realizarán un recorrido para evaluar los avances en las ejecuciones de las tareas de acuerdo con el cronograma planeado.

Al finalizar cada turno diurno, el planeador liderará la reunión diaria de revisión de los avances realizados durante la jornada. Los supervisores de mantenimiento se encargarán de revisar el correcto cierre de las ordenes de trabajo por parte de los técnicos de la parada y se entregará la información a los líderes del mantenimiento de las tareas pendientes o incompletas que quedarán para el turno entrante. Así mismo coordinador de mantenimiento y supervisor de parada le entregarán toda la información acerca de la ejecución de las tareas al turno nocturno para continuar con los trabajos. Para esto, se dispondrá de un formato en el que se registrarán los datos de los principales indicadores durante la realización del mantenimiento (ver Apéndice A).

La tarea del planeador es diariamente ir actualizando el plan del mantenimiento según el avance del proyecto, teniendo en cuenta correctivos adicionales o cambios en la logística que puedan afectar el transcurso del proyecto. Todos estos cambios serán comunicados y discutidos por la parte administrativa del equipo del mantenimiento mayor.

4.5 Reunión post-mantenimiento mayor

Esta reunión debe realizarse con la finalidad de verificar el cumplimiento del plan general de la parada, las desviaciones que hubo, pendientes que quedaron en el equipo, lecciones aprendidas y oportunidades de mejora para el próximo mantenimiento mayor. A esta reunión asistirán:

- Planeador

- Supervisor de mantenimiento mayor
- Coordinador de mantenimiento
- Superintendencia de mantenimiento
- Gerencia de mantenimiento

Para esta reunión se debe presentar la siguiente información:

- Órdenes de trabajo realizadas y correctamente cerradas
- Pruebas de parada, rendimiento y entrega a operación
- Lecciones aprendidas
- Oportunidades de mejora
- Ordenes de trabajo pendientes

Se propone para esta reunión tratar los siguientes temas:

- Funcionamiento del equipo después del mantenimiento mayor.
- Evaluación al cumplimiento de la puesta en marcha.
- Revisión de inconvenientes presentados durante el mantenimiento.
- Revisión de los problemas experimentados durante la puesta en marcha.
- Revisión de los trabajos programados y no ejecutados durante la parada.
- Revisión de las observaciones de los trabajos planeados.
- Revisión de entrega de equipos de producción a mantenimiento y viceversa.
- Revisión de los aprendizajes y las necesidades de capacitación.
- Revisión del cumplimiento del presupuesto.

5. Análisis de resultados

A partir de los resultados obtenidos en el diseño de la metodología, se valida la hipótesis debido a que, al iniciar con la identificación de los componentes críticos, realizada a través del análisis de criticidad, se pudo evidenciar que para este equipo la mayoría de los componentes poseen mediana criticidad, es decir, requieren de un nivel de mantenimiento cuidadoso, pero no con la urgencia o importancia que tienen los equipos de alta criticidad, ya que su falla puede ser manejada sin comprometer de gran manera, la operación del sistema.

Para el caso de la excavadora EX1200-6 la falla de cualquier componente mayor significa la detención inmediata del mismo, pero cuando son componentes de mediana criticidad, no comprometen de gran manera la operatividad del equipo.

Por otro lado, se observa que en los componentes mayores que son de baja criticidad van asociados a componentes eléctricos en su mayoría, como los arneses. Estos, se pueden considerar de mínimo impacto a la hora de afectar la operatividad del equipo y no comprometen la seguridad de los usuarios. Para este caso los ítems 30, 31 y 32 corresponden a los arneses principales que componen el circuito de control, por lo general estos necesitan mínima carga de mantenimiento ya que con una limpieza e inspección programada su frecuencia de fallo puede ser bastante extensa.

Asimismo, los componentes catalogados de alta criticidad para este equipo son los ítems 22 y 14 que corresponden al motor Diesel y corona de giro. De todos los componentes mayores, estos son los que más tiempo debe demorar el equipo fuera de servicio para la reparación. Estos equipos, aunque se muestran con una frecuencia muy baja de ocurrencia de falla, el impacto a la

hora de afectar la operatividad del equipo es muy grande, por lo cual siguen estando en la zona de equipos altamente críticos.

La corona de giro es un componente que nunca se ha cambiado en el equipo, y debido a su criticidad, es importante decidir con tiempo cuándo y cómo realizar el reemplazo del componente, garantizando las condiciones más adecuadas para desempeñar esa labor. El cambio de este componente es la principal razón por la cual se decide ingresar el equipo a mantenimiento mayor.

De esta manera, desarrollar una metodología de mantenimiento mayor (overhaul) basada en el análisis de componentes críticos, como la corona de giro, permite planificar y ejecutar de manera eficiente las intervenciones en las excavadoras Hitachi EX1200-6 de la compañía Drummond Ltd. Es así que, el análisis de criticidad termina siendo una herramienta muy útil para enfocar los esfuerzos y recursos con inteligencia de riesgo, más allá de centrarse en simplemente estadísticas de falla.

La necesidad de un tiempo de planeación del mantenimiento mayor es una prueba de la complejidad que conlleva realizarlo. El éxito del este proyecto depende en gran parte de la fase de planificación, que como es sabido es un proceso de meses con el fin de garantizar el correcto suministro de todos los recursos necesarios, así como la planificación de las tareas para optimizar al máximo el tiempo de parada del activo.

En cuanto a la composición estructural del equipo que realizará la actividad, la definición de los roles junto con las responsabilidades que cada uno tiene ataca directamente a uno de los factores que afecta de manera negativa y en gran medida el desarrollo del mantenimiento mayor, la disfunción de responsabilidad. De igual forma, la creación de las figuras de planeador de mantenimiento y supervisor de mantenimiento mayor ayuda a centralizar todas las actividades de

gestión, coordinación y logística, lo que agiliza la comunicación y la reacción para la toma de decisiones.

Los KPI's por su parte, son métricas que se utilizan para crear una visión que aumenta las probabilidades de éxito. Más allá de cumplir con tiempo y presupuesto, estas demuestran el compromiso y la garantía del trabajo realizado, función que cumplen indicadores como Índice de retroceso o Fallas post-mantenimiento que garantizan la confiabilidad del equipo.

Por último, todo este proceso es fortalecido a través del seguimiento a la ejecución y las reuniones, las cuales permiten la identificación de oportunidades de mejora y un procedimiento efectivo.

6. Conclusiones

El éxito en la ejecución de un mantenimiento mayor en las excavadoras Hitachi EX1200-6 depende en gran medida de una adecuada planificación previa. Esta propuesta metodológica destaca que la fase de planeación es crítica, ya que de ella dependen directamente las fases de ejecución, monitoreo y cierre.

Con relación a la identificación de componentes críticos, se resalta que una metodología basada en el análisis de fallas históricas, el comportamiento operativo y el conocimiento del personal técnico permite establecer prioridades de intervención con mayor precisión, asegurando que los recursos se asignen a los elementos de mayor impacto en la operación.

La elaboración anticipada de cronogramas detallados, con tiempos estimados y responsables definidos, permite una mejor organización y control del proyecto, cumpliendo con los objetivos de anticipación y coordinación planteados.

En cuanto a la definición de roles y responsabilidades, se concluye que el éxito del proceso metodológico depende en gran parte de la correcta asignación de funciones clave, como las del planeador y el supervisor de mantenimiento mayor.

La estandarización mediante el formato propuesto como herramienta de control facilita la trazabilidad de las tareas durante todas las fases del mantenimiento. Esta práctica no solo contribuye al cumplimiento de los cronogramas establecidos, sino que también mejora la calidad del seguimiento y la toma de decisiones en tiempo real.

Al definir los indicadores clave de rendimiento (KPI's), se sientan las bases para un sistema de control que permitirá, en una futura implementación, monitorear el progreso de las actividades, identificar desviaciones a tiempo y optimizar los recursos involucrados.

Finalmente, se evidencia que uno de los principales retos en mantenimientos mayores es garantizar un flujo de información efectivo entre todos los actores involucrados, por tanto, se hace necesaria, la socialización de la información, la realización de reuniones periódicas y la integración de todos los participantes como mecanismos para fortalecer la cohesión del equipo y asegurar una ejecución eficiente del mantenimiento.

7. Recomendaciones

Con base en los objetivos propuestos y los hallazgos obtenidos en el desarrollo de esta monografía, se plantean las siguientes recomendaciones para optimizar la ejecución del mantenimiento mayor (overhaul) de las excavadoras Hitachi EX1200-6 en la compañía Drummond Ltd.:

En primer lugar, se recomienda fortalecer la fase de planeación como eje estructural del proceso de mantenimiento mayor. Esta etapa debe anticiparse con al menos cuatro meses de preparación, durante los cuales se planifiquen detalladamente los recursos, tiempos, herramientas, repuestos y personal necesario, contemplando también posibles contingencias. La correcta ejecución de las fases posteriores —ejecución, monitoreo y cierre— depende directamente del grado de detalle y organización con que se realice esta etapa inicial.

Asimismo, se considera fundamental la asignación estratégica de los roles clave dentro del proyecto. Los cargos de planeador y supervisor deben ser asignados a personal con experiencia comprobada en la operación de la excavadora EX1200-6 y con habilidades organizativas, dado que son los responsables de coordinar todo el proceso desde su inicio hasta su cierre. Su participación es crítica para asegurar la trazabilidad y eficacia de la metodología planteada.

Adicionalmente, se propone establecer un sistema de estandarización de procesos mediante formatos técnicos y la toma de tiempos reales durante las tareas que conforman la ruta crítica del mantenimiento. Aunque cada excavadora presenta condiciones únicas, muchas de las actividades serán comunes entre equipos. Por ello, contar con registros precisos de tiempos ejecutados

permitirá proyectar estimaciones más realistas para futuras intervenciones, mejorando la eficiencia del proceso.

En este mismo sentido, se recomienda promover una transformación cultural dentro de la organización que otorgue mayor relevancia a la planificación anticipada. Para ello, es conveniente implementar programas de formación y sensibilización dirigidos al personal técnico y administrativo, que refuercen la importancia estratégica de esta fase y fomenten una cultura organizacional basada en la estandarización, la previsión y la mejora continua.

También se sugiere dar mayor énfasis a las tareas de reacondicionamiento estructural durante las ventanas de mantenimiento mayor. Estas actividades, que usualmente no se pueden abordar con profundidad en los programas de mantenimiento preventivo, pueden planificarse con anticipación en este tipo de intervención, permitiendo así reparaciones más profundas que restauren el estado funcional de los equipos a condiciones óptimas.

Finalmente, es crucial promover la integración efectiva y la comunicación fluida entre todos los actores involucrados en la intervención. La implementación de reuniones de socialización diarias, la difusión previa de formatos y cronogramas, y el establecimiento de canales de comunicación específicos para el mantenimiento mayor, contribuirán a mejorar la coordinación entre los distintos roles, reforzarán la cohesión del equipo y facilitarán la toma de decisiones oportunas durante todo el proceso.

Referencias

- Amendola, J. (2005). *Dirección y gestión de paradas de planta*. Ediciones Espuela de Plata.
- Amendola, L. (2016). *Estrategias y tácticas de overhaul*. PMM Institute for Learning.
- Chiavenato, I. (2009). *Administración: teoría, proceso y práctica*. McGraw-Hill.
- CHM minería. (s.f.). *Hitachi - Mining Products*. Recuperado el 23 de mayo de 2025, de <https://www.chmineria.com.co/productos/hitachi>
- Drummond Ltd. (s.f.). *Nuestra historia*. Recuperado el 23 de mayo de 2025, de <https://drummondLtd.com/nuestra-compania/acerca-de-nosotros/nuestra-historia/>
- Drummond Ltd. (s.f.). *Nuestra operación*. Recuperado el 23 de mayo de 2025, de <https://drummondLtd.com/nuestra-compania/acerca-de-nosotros/operaciones-en-colombia/>
- Drummond Ltd. (s.f.). *Proyectos mineros*. Recuperado el 23 de mayo de 2025, de <https://drummondLtd.com/nuestras-operaciones/proyectos-mineros/>
- González, R. (2016). *Mantenimiento industrial*. Editorial Mantenimiento Industrial.
- Harrington, H. J. (1991). *Business process improvement: The breakthrough strategy for total quality, productivity, and competitiveness*. McGraw-Hill.
- Hitachi Construction Machinery. (2008). *Manual técnico: Principios de funcionamiento EX 1200-6 Excavadora hidráulica*. Autoedición. <http://www.hitachi-c-m.com>
- Kerzner, H. (2013). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. Wiley.

Latorre, A. y Villegas, R. (2016). *Metodología para la planeación, ejecución y cierre de mantenimientos mayores en equipos del área de ingeniería y servicios de la cervecería Bavaria Bucaramanga* [Tesis de posgrado]. Universidad Industrial de Santander.

MANSIL. (s.f.). *¿Qué es el mantenimiento overhaul de equipos para maquinaria pesada?* Recuperado el 23 de mayo de 2025, de <https://mansil.cl/que-es-el-mantenimiento-overhaul-de-equipos-maquinaria-pesada/>

Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance*. Industrial Press Inc.

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

Palacios, M. (2019). *Gestión del mantenimiento en la industria moderna*. Ecoe Ediciones.

Palmer, D. (2006). *Maintenance Planning and Scheduling Handbook*. McGrawHill.

Project Management Institute (PMI). (2017). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (PMBOK® Guide)*. Autoedición.

Project Management Institute. (2017). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)*. Autoedición. <https://www.pmi.org/standards/pmbok>

TGB. (s.f.). *Coronas de giro*. Recuperado el 23 de mayo de 2025, de <https://www.tgb-group.com/es/coronas-giratorias/>

The International Organization for Standardization. (2016). *ISO 14224:2016 - Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. Autoedición.

TRITON. (s.f.). *Principales usos de las excavadoras en la minería*. Recuperado el 23 de mayo de 2025, de <https://triton.com.pe/principales-usos-excavadoras-en-mineria/>

Apéndices

Apéndice A.

Formato de registro de indicadores durante la reunión diaria

REUNIÓN DIARIA MANTENIMIENTO MAYOR				
FECHA		HORA INICIO		HORA FIN
MODELO		SERIAL		NRO INTERNO
PARTICIPANTES				
Nombre		Cargo		
REVISIÓN DE AVANCE DE ACTIVIDADES				
Actividad	Responsable	% Avance	Comentarios	
HALLAZGOS				
Componente	Condición	Causa	Acción correctiva	
REPUESTOS UTILIZADOS				
Referencia	Cantidad	Ubicación	Comentarios	
TIEMPOS MUERTOS Y RETRASOS				
Retraso	Duración	Área responsable	Acción correctiva	
OBSERVACIONES DE SEGURIDAD				
FIRMA DE CONFORMIDAD				
Nombre		Firma	Cargo	

Apéndice B.

Formato de registro de indicadores durante la reunión semanal

REUNIÓN SEMANAL MANTENIMIENTO MAYOR				
FECHA		HORA INICIO		HORA FIN
MODELO		SERIAL		NRO INTERNO
PARTICIPANTES				
Nombre		Cargo		
REVISIÓN DE AVANCE DE ACTIVIDADES				
Actividad	Responsable	Estado	Comentarios	
HALLAZGOS				
Componente	Condición	Causa	Acción correctiva	
PLAN DE TRABAJO PRÓXIMA SEMANA				
Actividad		Responsable	Fecha entrega estim.	
CONCLUSIONES Y COMPROMISOS				
FIRMA DE CONFORMIDAD				
Nombre		Firma	Cargo	

