

**MODELO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, PREDICTIVO APLICADO A
BULDÓCER DE LA EMPRESA REX INGENIERÍA S.A.**

Ing. JUAN CAMILO ESPITIA GONZÁLEZ

Ing. LINO ANDRÉS MOLINA BARRERA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - UIS
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA.**

2018

**MODELO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, PREDICTIVO APLICADO
BULDÓCER DE LA EMPRESA REX INGENIERÍA S.A.**

**Ing. JUAN CAMILO ESPITIA GONZÁLEZ
Ing. LINO ANDRÉS MOLINA BARRERA**

Monografía para optar al título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Directo

**Ing. HOOVER HERNÁN ESTUPIÑÁN ESTUPIÑÁN
Especialista en Gerencia de Proyectos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - UIS
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA.**

2018

DEDICATORIA

A nuestras amadas familias quienes, con su abnegado compromiso, nos han acompañado para culminar con éxito todas las metas que nos hemos propuesto en la vida.

Muchísimas gracias por su amor y apoyo incondicional.

**JUAN CAMILO
LINO ANDRÉS**

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen especialmente al Ingeniero Hoover Hernán Estupiñán Estupiñán, Especialista en Gerencia de Proyectos y Director de Proyectos de la empresa REX Ingeniería S.A. por su colaboración al permitir que los investigadores tuviera acceso a la información y al trabajo de campo realizado a través del Director de Equipos de dicha empresa, quien es uno de los investigadores.

Igualmente se agradece la especial colaboración recibida por el personal técnico de la cantera Loma Pelada ubicada en la vía Mesa - Mosquera (Cundinamarca).

Al cuerpo docente de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento por sus valiosos aportes y conocimientos compartidos durante el proceso de formación de los investigadores.

A la Universidad Industrial de Santander por ofertar la especialización en la ciudad de Bogotá D.C. y de esta forma, darle la oportunidad a los investigadores de adquirir conocimientos para fortalecer los procesos inherentes a la ingeniería mecánica en el país.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	21
1.CONTEXTO Y GENERALIDADES DE LA MONOGRAFÍA	23
1.1 MISIÓN	23
1.2 VISIÓN	24
1.3 POLÍTICAS EMPRESARIALES	24
1.4 MAPA DE PROCESOS	25
1.5 ORGANIGRAMA	26
1.6 MAQUINARIA Y EQUIPOS	27
1.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	28
1.8 JUSTIFICACIÓN	30
1.9 OBJETIVOS	31
2.FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y MARCO CONCEPTUAL	33
2.1 MANTENIMIENTO	33
2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO	34
2.2.1 Mantenimiento correctivo	34
2.2.2 Mantenimiento preventivo	36
2.2.3 Mantenimiento predictivo	39
2.3 INDICADORES DE MANTENIMIENTO	49
2.3.1 Disponibilidad	49
2.3.2 Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF o MTBF)	50
2.3.3 Tiempo Promedio de Reparación (TPPR o MTTR)	50
2.3.4 Disponibilidad por avería	51
2.3.5 Confiabilidad	51
2.3.6 Mantenibilidad	51

2.4 FALLAS	52
2.4.1 Patrones de falla	52
2.4.2 Modo de falla	54
2.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE FALLA	55
2.5.1 Análisis Modo de Falla (FMEA)	55
2.5.2 Análisis de Pareto	55
2.5.3 Análisis Causa Raíz (RCA)	56
2.6 INVENTARIOS	58
2.6.1 Justificación de los inventarios	58
2.6.2 Método de reposición de repuestos	58
2.6.3 Punto de reorden	59
2.6.4 Punto de reabastecimiento	59
3. DIAGNÓSTICO Y RECOLECCIÓN DE DATOS	61
3.1 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	61
3.2 BULDÓCER SOBRE ORUGAS	61
3.2.1 Tren de mando hidrostático	64
3.2.2 Seguridad en operación y confort del operador	65
3.3 SISTEMAS QUE COMPONEN UN BULDÓCER	66
3.3.1 Tren potencia	66
3.3.2 Transmisión hidrodinámica	67
3.3.3 Sistema hidráulico	69
3.3.4 Sistema eléctrico	70
3.3.5 Chasis bastidor	72
3.3.6 Implementos o herramientas	74
3.3.7 Motor diésel	76
3.4 AUDITORÍA AL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA REX INGENIERÍA S.A.	78
3.5 RESULTADOS DE LA AUDITORÍA	79

3.6 PROCEDIMIENTO ACTUAL DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA REX INGENIERÍA S.A.	81
3.6.1 Mantenimiento correctivo	81
3.6.2 Mantenimiento preventivo	81
3.6.3 Inspecciones generales	83
3.7 HISTÓRICO DE FALLAS	85
3.8 INVENTARIOS AL MOMENTO DEL ESTUDIO	87
4. PROCESAMIENTO DE DATOS	89
4.1 ANÁLISIS DE FALLAS	89
4.2 COMENTARIOS AL PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO	94
4.3 INVENTARIOS	95
5. PROPUESTA DE SOLUCIÓN	97
5.1 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA BULDÓCER DE LA CANTERA LOMA PELADA	97
5.1.1 Inventario de equipo	97
5.1.2 Codificación de equipos	97
5.1.3 Tarjetas maestra de datos (TMD)	99
5.1.4 Hojas de vida	99
5.1.5 Relación de requerimientos de mantenimiento	101
5.1.6 Instructivos de mantenimiento	104
5.1.7 Programación	105
5.1.8 Rutinas básicas de mantenimiento	105
5.1.9 Formatos y documentación básica para la administración del mantenimiento	107
5.1.10 Software de mantenimiento	107
5.2 PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	114
5.2.1 Punto de toma muestreo de aceite	115
5.2.2 Procedimiento	116

5.2.3 Recibo de análisis laboratorio	117
5.3 INDICADORES	120
5.4 INVENTARIOS	122
6. CONCLUSIONES	124
BIBLIOGRAFIA	125

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de procesos	26
Figura 2. Organigrama General	26
Figura 3. Organigrama Departamento de Mantenimiento	27
Figura 4. Buldócer	29
Figura 5. Flujo de trabajo en mantenimiento correctivo	35
Figura 6. Flujo de trabajo en mantenimiento preventivo	38
Figura 7. Imagen con cámara termográfica	41
Figura 8. Monitoreo con ultrasonido	42
Figura 9. Monitoreo mediante análisis de vibraciones	43
Figura 10. Patrones de falla en función del tiempo	54
Figura 11. Diagrama de Pareto: reclamaciones	56
Figura 12. Análisis causa raíz (RCA)	57
Figura 13. Buldócer	63
Figura 14. Sistema de transmisión hidrostática de un buldócer	67
Figura 15. Vista superior y lateral de la unidad de tren de potencia hidrodinámica	68
Figura 16. Sistema hidráulico de transmisión	70
Figura 17. Sistema electrónico de maquinaria pesada	71
Figura 18. Chasis bastidor	72
Figura 19. Chasis bastidor tren de rodaje	73
Figura 20. Hoja o pala	74
Figura 21. Tipos de palas	75
Figura 22. Riper	76
Figura 23. Motor diésel	77
Figura 24. Resultados de la auditoría al Departamento de Mantenimiento de REX Ingeniería S.A.	80

Figura 25. Espina de pescado: saturación filtros de combustible antesmantenimiento	90
Figura 26. Espina de pescado: daño sensores de translación	91
Figura 27. Espina de pescado: daños en farolas	92
Figura 28. Espina de pescado: daño de mangueras y acoples	93
Figura 29. Codificación de los equipos	98
Figura 30. Toma de Muestra de aceite	115
Figura 31. Etiquetado de la muestra de aceite	116
Figura 32. Análisis de laboratorio en rojo	117
Figura 33. Análisis de laboratorio en anaranjado	118
Figura 34. Análisis de laboratorio en verde	119
Figura 35. Calificación del estado de la muestra	119
Figura 36. Análisis de la muestra	120

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Maquinaria y equipos REX Ingeniería S.A.	28
Cuadro 2. Listado de equipos de la cantera Loma Pelada	62
Cuadro 3. Resultados auditoría al Departamento de Mantenimiento REX ingeniería S.A.	79
Cuadro 4. Parámetros de los mantenimientos correctivos	82
Cuadro 5. Parámetros de los mantenimientos preventivos	83
Cuadro 6. Cronograma de inspecciones generales	84
Cuadro 7. Cronograma anual de las inspecciones de seguridad	85
Cuadro 8. Inspección técnica de equipos y maquinaria	85
Cuadro 9. Modos de fallas más comunes en los buldócer de la cantera Loma Pelada	86
Cuadro 10. Stock Actual de repuestos en Almacén cantera Loma Pelada	88
Cuadro 11. Taxonomía: para Equipos Rex Ingeniería S.A.	98
Cuadro 12. Check list para hoja de vida equipos	100
Cuadro 13. Historial de mantenimiento	100
Cuadro 14. Secuencia de las rutinas básicas de mantenimiento: MP1 - MP4	106
Cuadro 15. Modelo del formulario de mantenimiento preventivo	108
Cuadro 16. Pantallazo tipos de aceite por equipo	110
Cuadro 17. Pantallazo de la base de datos filtro	111
Cuadro 18. Pantallazo estimación de aceite por equipo	112
Cuadro 19. Pantallazo del historial de los mantenimiento realizados	113
Cuadro 20. Stock de repuestos propuestos para los buldócer la cantera Loma Pelada	123

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Análisis de Pareto Modos de Falla Buldócer Loma Pelada	89
Gráfica 2. Cronograma horario para el mantenimiento preventivo del sistema hidráulico	103
Gráfica 3. Cronograma horario para el mantenimiento preventivo del sistema hidráulico	103

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la base de datos de la Biblioteca UIS)

Anexo A. Encuesta y resultados auditoria departamento de mantenimiento

Anexo B. Paquete de formatos para control de mantenimiento preventivo

GLOSARIO

BULDÓCER: Maquinaria móvil provista de una pala frontal que avanza sobre cadenas (oruga) utilizada para derribar y derrumbar terrenos¹.

CANTERA: Lugar donde se obtienen agregados pétreos y otros materiales a cielo abierto por lo que son explotaciones de minería².

INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO: Manual que describe el conjunto de actividades que deben realizarse buscando prevenir fallas para que los equipos y herramientas continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados³.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO: Conjunto de actividades que deben realizarse buscando corregir fallas para que los equipos y herramientas continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados⁴.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO: Conjunto de actividades que deben realizarse buscando predecir fallas para que los equipos y herramientas continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados⁵.

¹ BRIDGES, Sarah. I drive a bulldozer. Estados Unidos: Capstone, 2010. p. 6.

² CERRINI, Roberto y PAGE, Roberto. La minería en el contexto de la ordenación del territorio. España: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 2001. p. 256.

³ SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. Manual de mantenimiento. Bogotá: División Sector Industria y de la Construcción, 1991. p. 10.

⁴ Ibid., p. 10.

⁵ Ibid., p. 10.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: Conjunto de actividades que deben realizarse buscando prevenir fallas para que los equipos y herramientas continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados⁶.

ORUGA (de buldócer): El tractor oruga es un dispositivo de tracción que se utiliza principalmente en vehículos pesados que consiste en un conjunto de eslabones modulares que facilitan un desplazamiento estable en terrenos irregulares⁷.

⁶ Ibid, p. 10.

⁷ BRIDGES, Op. cit., p. 6.

RESUMEN

TÍTULO: MODELO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, PREDICTIVO APLICADO A BULDÓCER DE LA EMPRESA REX INGENIERÍA S.A-*

AUTORES: JUAN CAMILO ESPITIA GONZALEZ, LINO ANDRES MOLINA BARRERA-**

PALABRAS CLAVE: MODELO DE MANTENIMIENTO, BULDOCER, MANTENIMIENTO PREVENTIVO, MANTENIMIENTO PREDICTIVO, MANTENIMIENTO CORRECTIVO, INDICADOR DE MANTENIMIENTO, INVENTARIOS, MODO DE FALLA, AUDITORIA.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

La empresa se orienta a la construcción de obras civiles en proyectos de gran magnitud en diferentes regiones del país. De esta forma cuenta con equipos propios y con recursos humanos altamente capacitados de nivel profesional y a nivel técnico operativo, para el desarrollo de proyectos así como para la producción de materiales en tres canteras. Para la compañía es muy importante cumplir con los tiempos de entrega por lo que cualquier parada inesperada afecta directamente este aspecto.

Por lo cual se diseña un modelo de mantenimiento preventivo y predictivo aplicado a los buldócer de la empresa REX Ingeniería S.A. ubicados en la cantera principal Loma Pelada buscando la mayor disponibilidad de los mismos apoyándose en diferentes métodos como Análisis modo de falla (FMEA), análisis de Pareto, análisis causa – raíz (RCA).

A la empresa se le hace entrega de las siguientes herramientas y planillas de trabajo para que las tenga en cuenta como plan de mantenimiento preventivo y predictivo: inventario de equipo, codificación de equipos, tarjetas maestra de datos (TMD), hojas de vida, relación de requerimientos de mantenimiento, instructivos de mantenimiento, programación, rutinas básicas de mantenimiento, formatos y documentación básica para la administración del mantenimiento, y software de mantenimiento. De igual manera, se entrega un listado de máximos y mínimos para su inventario de repuestos, Además de indicadores de mantenimiento para medir el avance o progreso del modelo de mantenimiento preventivo.

* Monografía

** Facultad de ingenierías Físico – mecánicas .Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Ing. Hoover Hernan Estupiñan.

ABSTRACT

TITLE: PREVENTIVE AND PREDICTIVE MAINTENANCE MODEL APPLIED TO A BULLDOZER OF THE COMPANY REX INGENIERIA S.A-*

AUTHORS: JUAN CAMILO ESPITIA GONZALEZ, LINO ANDRES MOLINA BARRERA-**

KEYWORDS: MAINTENANCE MODEL, BULLDOZER, PREVENTIVE MAINTENANCE, PREDICTIVE MAINTENANCE, CORRECTIVE MAINTENANCE, MAINTENANCE INDICATOR, INVENTORIES, FAILURE MODE, AUDIT.

DESCRIPTION:

The Company Rex Ingenieria S.A. is dedicated to the construction of civil works in large-scale projects in different regions of the country. In this way, it has its own teams and highly trained human resources at both professional level and operational technical level for developing projects and producing materials in three quarries as well. For the company it is very important to comply with the delivery times so any unexpected stop directly affects this aspect.

Therefore, a model of preventive and predictive maintenance applied to the bulldozers of the company REX Ingenieria S.A. located in the main quarry Loma Pelada looking for the greatest availability of them based on different methods such as Failure Mode Analysis (FMEA), Pareto analysis, root cause analysis (RCA).

The Company is given the following tools and worksheets so that they can be taken into account as a preventive and predictive maintenance plan: equipment inventory, equipment coding, master data cards (TMD), resumes, list of maintenance requirements, maintenance instructions, programming, basic maintenance routines, formats and basic documentation for maintenance administration, and maintenance software. Likewise, a list of maximums and minimums is given for your spare parts inventory, In addition to maintenance breeders to measure the progress or progress of the preventive maintenance model.

* Monograph

** Physical –Mechanical Engineering Department Maintenance Management Degree Director: Ing. Hoover Hernan Estupiñan.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, Colombia se encuentra en un proceso de reforma en sus vías a las cuales, durante muchos años, se les ha realizado un mantenimiento básico y por ello, un gran número de dichas vías son transitables y otras no. La política de la Presidencia de la República es otorgar contratos de infraestructura vial, tanto para construir nuevas vías o en su defecto, mejorarlas; dentro de esta política se encuentran las vías que se integran la cuarta generación.

REX ingeniería S.A. ha logrado a través del tiempo su consolidación y por ende ha alcanzado la adjudicación de algunos tramos de dichas vías, además de realizar obras de estabilización, edificación, urbanismo, rehabilitaciones ambientales, obras hidráulicas, movimiento de tierras, excavaciones profundas, entre otras.

Para lo anterior la empresa ha invertido en maquinaria pesada y los buldócer sobre orugas son fundamentales para cada uno de los trabajos mencionados y por esta razón se hace necesario que su disponibilidad y confiabilidad sean de un alto nivel, requiriéndose un modelo de mantenimiento acertado.

Por ello, en este estudio se propone un modelo de mantenimiento preventivo y predictivo para ser aplicado a este equipo buldócer por su criticidad en cada proyecto de la compañía teniendo en cuenta que la empresa ha comenzado a implementar macros denominados *Proceso de Realizar* de acuerdo a la información recibida de los preoperacionales que realizan a diario los operadores, también de las órdenes de trabajo que realizan los técnicos y la inspección que se realiza mensualmente a los equipos por parte del planeador de mantenimiento.

De igual forma se integra el mantenimiento predictivo a través de la toma de muestras de aceite, dando capacitación al personal, tanto para la adquisición de las mismas lo más limpias posibles, como del ingreso de la información al sistema, información que se envía a laboratorios para revisar qué equipo se encuentra con desgaste.

Igualmente, se implementa dentro de las macros la forma para revisar los máximos y mínimos que debe estar en almacén con el fin de bajar stock en los inventarios y dar prioridad a los insumos más necesarios que necesitan los equipos para su funcionamiento.

1. CONTEXTO Y GENERALIDADES DE LA MONOGRAFÍA

REX Ingeniería S.A. es una firma que cuenta con más de 15 años de experiencia en a la estructuración y gerencia de proyectos a nivel del campo ambiental, obras civiles y servicios públicos, donde se elaboran diseños, presupuestos, programas de ejecución, seguimiento, puesta en marcha y ejecución de los mismos. En el campo de las obras civiles en general, la empresa a lo largo de su trayectoria, se ha especializado en desarrollar proyectos en diferentes campos de la ingeniería incluyendo acueductos, alcantarillados, vías, pavimentos rígidos y flexibles, obras de urbanismo, hidráulicas, de protección geotécnica, estructuras de concreto, recuperación ambiental y geomorfológica de canteras y montajes electromecánicos. La empresa durante los últimos años se ha orientado en la construcción de obras civiles para el control de inundaciones en las riberas de los ríos y contención de taludes, en proyectos de gran magnitud en diferentes regiones del país. Por ello, la empresa cuenta con equipos propios y con recursos humanos altamente capacitados de nivel profesional y a nivel técnico operativo, para el desarrollo de proyectos así como para la producción de materiales, con lo cual se brinda a los clientes materiales y servicios de ingeniería de óptima calidad⁸.

1.1 MISIÓN

REX Ingeniería S.A. busca constituirse en una compañía líder en las áreas de ingeniería, construcción, diseño, interventoría de proyectos y explotación y comercialización de agregados pétreos; fundamentada en su experiencia, en la

⁸ REX INGENIERÍA S.A. Quiénes somos. Bogotá: REX Ingeniería, 2017. p. 1.

aplicación de tecnologías de avanzada, en la implementación y mantenimiento de un sistema de gestión integral, con el fin de satisfacer plenamente los requerimientos de los clientes, con la más alta calidad técnica, garantizando que para esto se protegerá la integridad de todos los que intervienen en el proceso, con el firme compromiso de preservar los recursos naturales y extender una cultura ambiental personal responsable y ejemplar⁹.

1.2 VISIÓN

La empresa desea ser reconocida tanto nacional como internacionalmente, como una empresa moderna y competitiva con conciencia, calidad y solidez; líder en las actividades de ingeniería, explotación y comercialización de agregados pétreos, con un equipo de trabajo humano sano, eficiente, responsable, proactivo, innovador, con iniciativa, comprometido con el cuidado por el medio ambiente y en permanente disposición para cumplir a satisfacción con las necesidades de sus clientes y del entorno¹⁰.

1.3 POLÍTICAS EMPRESARIALES

Más que políticas, son compromisos arraigados en los diferentes niveles jerárquicos de la compañía los cuales refuerzan la participación de todo el personal en el cumplimiento de los requisitos legales, de seguridad y salud ocupacional y en el fomento de actividades de responsabilidad social empresarial

⁹ Ibid., p. 2.

¹⁰ Ibid., p. 2.

del entorno¹¹. Sus políticas empresariales giran alrededor de cuatro principios:

Calidad: Cumplir los requisitos legales y contractuales suscritos con el cliente, promoviendo la certificación de nuestros procesos para el mejoramiento continuo de la prestación de nuestros servicios y la comercialización de nuestros productos.

Ambiental: Velar por el buen cuidado del medio ambiente, previniendo la contaminación ambiental y la minimización de los impactos ambientales como garantía del desarrollo sostenible en cada uno de los proyectos que ejecutamos.

Seguridad y salud en el trabajo: Identificar los peligros que se puedan generar en el desarrollo de nuestras actividades, asegurando que estas se realicen dando cumplimiento estricto del sistema de Gestión de la seguridad y salud en el trabajo y velar así por integridad de todos nuestros colaboradores.

Seguridad vial: Mantener actividades de promoción para prevenir la ocurrencia de accidentes en vía pública, que afecten la integridad física, mental y social de los colaboradores, la comunidad en general y el medio ambiente.

No Alcohol, Tabaco y sustancias Psicoactivas: Mantener un compromiso activo en el mejoramiento y la conservación del bienestar de nuestros grupos influyentes (trabajadores, contratistas, clientes), realizando actividades de estilos de vida saludables promoviendo permanentemente ambientes seguros y saludables¹².

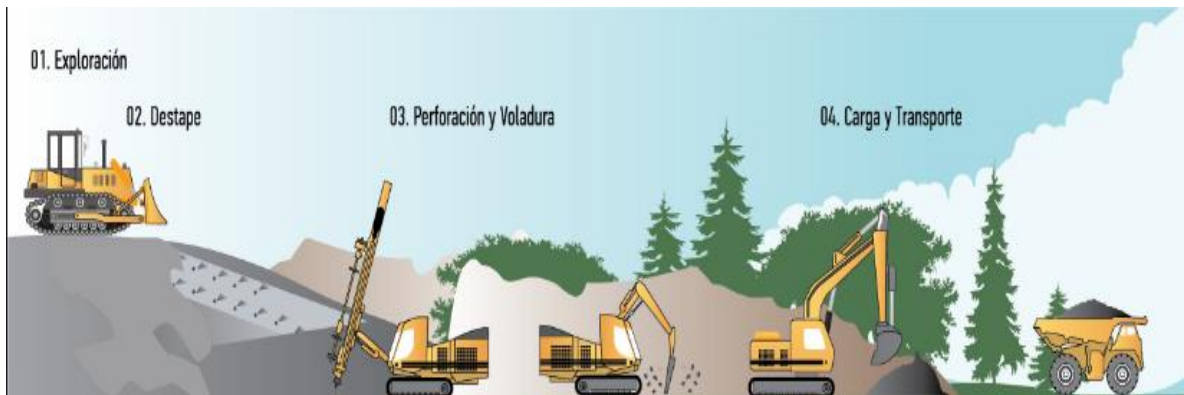
1.4 MAPA DE PROCESOS

En la Figura 1 se aprecia el mapa de procesos de REX Ingeniería S.A.

¹¹ Ibid., p. 2.

¹² Ibid., p. 4.

Figura 1. Mapa de procesos

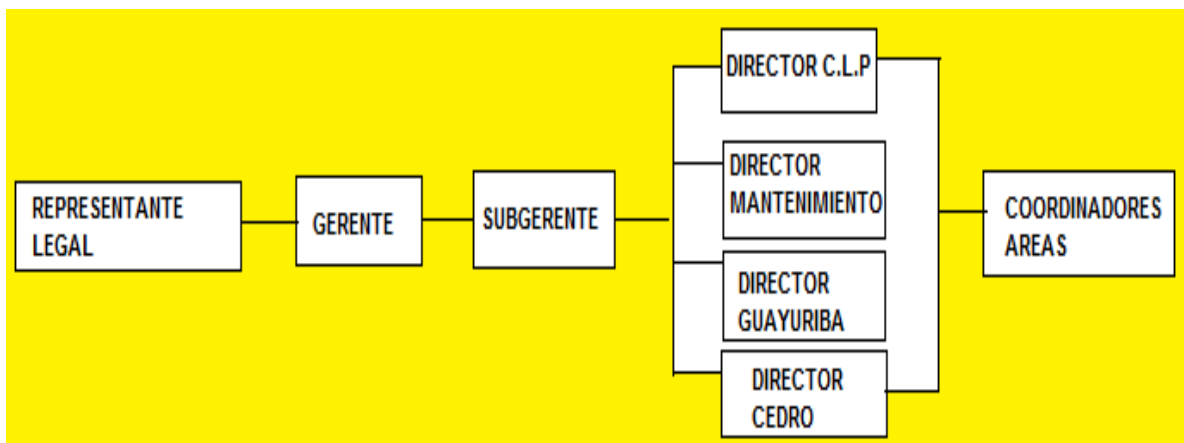


Fuente: CANTERA PIATTI S.A. La innovación es esencial para el progreso¹³.

1.5 ORGANIGRAMA

En la Figura 2 se aprecia la estructura organizacional de la empresa REX Ingeniería S.A.

Figura 2. Organigrama General

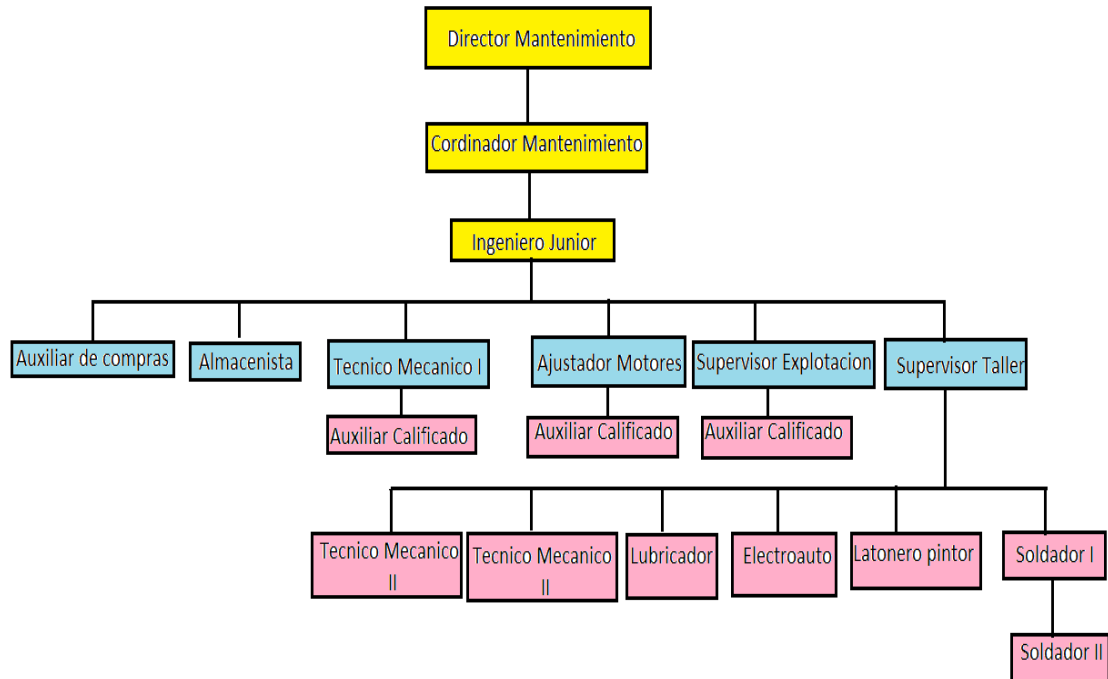


Fuente: Elaboración propia, 2017.

¹³ CANTERA PIATTI S.A. La innovación es esencial para el progreso [en línea]. 2017 [consultado 18 noviembre 2017]. Disponible en: <http://www.canterapiatti.com.ar/>. p. 1.

En la Figura 3 se aprecia el estructura organizacional del Departamento de Mantenimiento de la empresa REX Ingeniería S.A.

Figura 3. Organigrama Departamento de Mantenimiento



Fuente: Elaboración propia, 2017.

1.6 MAQUINARIA Y EQUIPOS

Actualmente REX Ingeniería S.A. posee las máquinas y equipos que se describen en el Cuadro 1, los cuales están distribuidos en las tres canteras.

Cuadro 1. Maquinaria y equipos REX Ingeniería S.A.

ÍTEM	TIPO	CANTIDAD
1	Buldócer	19
2	Cargador	12
3	Compresor	8
4	Equipo lavado y clasificación	1
5	Excavadoras	43
6	Martillos hidráulicos	16
7	Motoniveladora	2
8	Motosoldador diésel	8
9	Planta eléctricas	6
10	Planta mezcladora concreto	5
11	Planta trituradora	5
12	Volqueta doble troque	42
13	Carrotanque	2
14	Camionetas	6
15	Volquetas articuladas	4
TOTAL		179

Fuente: Elaboración propia, 2017.

1.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa REX Ingeniería S.A. es una constructora cuyo enfoque principal está direccionado a la explotación y comercialización de materiales pétreos, por lo que posee tres canteras que cuentan con equipo propio para el desarrollo de tales actividades. Su principal recurso mecánico son los equipos para movimientos de tierra como cargadores, excavadoras y buldócer (ver la Figura 4) los cuales requieren tener una máxima disponibilidad, ya que cuando alguno de estos equipos queda fuera de servicio de manera inesperada, se generan inconvenientes en la cadena de producción (extracción, traslado y entrega) de los diferentes materiales.

Figura 4. Buldócer



Fuente: Empresa REX INGENIERÍA S.A.¹⁴.

Lo anterior conlleva a que la empresa deba disponer de recursos extras y no presupuestados, tanto a nivel técnico, económico y logístico buscando resolver los inconvenientes que se ello genera: reubicación de técnicos, posponer otros trabajos en ejecución, repuestos no presupuestados, repuestos no disponibles en el inventario, demoras logísticas por la compra de los mismo entre otros, lo cual se traduce en disminución de la producción y paro en el desarrollo cotidiano de los procesos, dentro de los que se cuenta el abrir nuevos puntos de explotación, hacer vías carretables y desplazamiento de material explotado así como adecuación de zonas descargue (conformaciones).

Por estas razones, se busca mantener los equipos con la mayor disponibilidad posible optimizando recursos y procedimientos dado que el Especialista en Gerencia de Mantenimiento tiene la capacidad de establecer directrices y políticas de administración a fin de hacer más eficiente una empresa del sector productivo,

¹⁴ REX INGENIERÍA S.A. Reseña fotográfica. Cundinamarca, 2017.

partiendo del análisis diagnóstico y crítico de las fallas de los equipos buscando cuantificar el riesgo los costos de una potencial falla¹⁵.

1.8 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad existen cláusulas en cada uno de los proyectos o contratos que suscriben REX Ingeniería S.A., lo cual obliga a la empresa a cumplir con las especificaciones y fechas de entrega de materiales. Sin embargo, los retrasos en las entregas se ven directamente afectado cuando los equipos de movimientos de tierras salen de servicio inesperadamente, generando afectaciones económicas, y disminuyendo la credibilidad frente a los clientes, lo cual implica perder terreno frente a la competencia lo cual se refleja en la disminución de los ingresos.

Por ello se hace pertinente analizar, a partir de un estudio de campo in situ (teniendo en cuenta que uno de los investigadores labora en dicha empresa y por ende conoce la problemática), las causas, efectos y las soluciones más viables de aplicación de los inconvenientes encontrados en los procesos productivos respecto al perfecto estado de funcionamiento en el que deben permanecer los buldócer de la empresa.

Actualmente, la compañía sufre innumerables mantenimientos correctivos en cada una de las canteras, generando que cada intervención que se tiene que realizar para los mantenimientos correctivos, conlleven tiempos prolongados, lo que afecta directamente la producción en la empresa. Además, esta circunstancia también se

¹⁵ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Especialización en mantenimiento: perfil profesional [en línea]. 2015 [consultado 12 noviembre 2017]. Disponible en: <http://medellin.unal.edu.co/egresados/images/pdf/especializacion.pdf>.

genera porque algunas veces la gestión de repuestos se hace más compleja en algunos lugares si se tiene en cuenta que las canteras están ubicadas fuera de los perímetros urbanos.

Por ello resulta necesario estudiar la situación problema a fin de fortalecer el departamento de mantenimiento de la empresa, generando un modelo de mantenimiento preventivo y predictivo a los buldócer a fin de sostener los niveles de productividad, haciéndolo lo más eficiente y rentable posible. Esto en razón a que en estos momentos REX Ingeniería S.A. dicho departamento es un pilar del desarrollo de la empresa, lo cual a su vez la convierte en un apoyo socioeconómico del país y de su infraestructura.

Es de aclarar que, como la empresa REX Ingeniería S.A. cuenta con tres canteras (Loma Pelada y El Cedro en Cundinamarca y Guayuriba en el Meta), se diseña un modelo teniendo en cuenta el Departamento de Mantenimiento de la cantera en la vía Madrid - Mosquera llamada Loma Pelada tomando como piloto los buldócer allí ubicados, buscando replicarlo en las otras dos canteras.

1.9 OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar un modelo de mantenimiento preventivo y predictivo aplicado a los buldócer de la empresa REX Ingeniería S.A. ubicados en la cantera principal Loma Pelada buscando la mayor disponibilidad de los mismos.

Objetivos específicos

- Realizar una auditoría a la gestión del mantenimiento para establecer el estado actual del Departamento de Mantenimiento en la empresa REX Ingeniería S.A. en la cantera Loma Pelada.

- Establecer los modos de falla más recurrentes en los buldócer de dicha cantera.

- Proponer un modelo de gerenciamiento predictivo y preventivo con el fin de prever y detectar a tiempo las fallas de los equipos y ejecutar las actividades necesarias para mantenerlos en óptimas condiciones de operatividad y disponibilidad.

- Establecer un de stock de inventario de repuestos para los buldócer que se encuentran en la cantera Loma Pelada determinado criterios de máximos y mínimos.

- Elaborar un sistema de información en Excel que permita visualizar conceptos indispensables para el óptimo estado de los equipos identificadas desde el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, como lo son: tareas pendientes por equipo, avance actual en ejecución, prioridad de la tarea, personal asignado a cada tarea, tiempos de ejecución estimados, estado pedido e insumos requeridos para la tarea, fecha de entrega de insumos.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y MARCO CONCEPTUAL

2.1 MANTENIMIENTO

Se trata del conjunto de acciones encaminadas a que un activo (equipo, herramienta, instalación) continúe desempeñando las funciones para las que fue diseñado, bien sea por acciones correctivas, preventivas o predictivas¹⁶. El mantenimiento es de gran importancia ya que va ligado a la vida útil de los activos, ya que para lograr tener una vida útil esperada, o incrementarla, necesariamente se requiere que se realice mantenimiento¹⁷.

La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las maquinas a través del tiempo. Bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento al atravesar las distintas épocas, acorde con las necesidades de sus clientes, que son aquellas dependencias o empresas de procesos o servicios, que generan bienes reales o intangibles mediante la utilización de estos activos para producirlos¹⁸.

En el mantenimiento se pueden destacar tres etapas: la primera inicia cuando el mantenimiento actúa por avería en los equipo y maquinarias de guerra en la que no se requieren grandes habilidades; una segunda fase donde imperan el mantenimiento preventivo y la reducción de costos, al prolongar la vida útil; y el tercer periodo en el que predomina la confiabilidad y la disponibilidad, con

¹⁶ SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. Op. cit., p. 10.

¹⁷ MAGALLÓN, Aaron. Implementación de mantenimiento preventivo/predictivo en equipo biomedico en el Instituto Mexicano del Seguro Social. Trabajo de grado Ingeniero en Mantenimiento Industrial. México: Universidad Tecnológica de Tula, 2011. p. 7.

¹⁸ MORA, Luis. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. México: Alfaomega, 2009. p. 3.

mayores niveles de seguridad para alcanzar altos estándares de eficiencia¹⁹. Además, el mantenimiento no sólo es responsabilidad del departamento de mantenimiento, la primera línea que hace frente a la disminución de la vida útil de un equipo es el propio usuario, ya que este la conoce a la perfección y puede determinar si presenta fallas potenciales, fallas evidentes entre otros²⁰.

2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

2.2.1 Mantenimiento correctivo. Es aquel que se realiza cuando el equipo se avería hasta el punto donde no puede desempeñar normalmente su función. Se somete a reparación hasta corregir el defecto y se desatiende hasta que vuelva a tener una falla y así sucesivamente. Este tipo de mantenimiento es el más común, por lo que se obliga a tener un conocimiento del equipo y de las partes susceptibles a falla y a un diagnóstico acertado y rápido de las causas²¹.

Este tipo de mantenimiento se realiza por varias razones, entre las que se encuentran: el equipo no es un equipo crítico; se posee otro equipo disponible que puede realizar las funciones del averiado; y el equipo se encuentra en estado de obsolescencia o ya sea realizado un cambio de tecnología²². Este mantenimiento se puede clasificar como planeado y no planeado, el planeado es aquel que se logra visualizar por inspecciones, también denominado proactivo, y el no

¹⁹ MOLINA, José. Mantenimiento y seguridad industrial [en línea]. 2015 [consultado 19 noviembre 2017]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>.

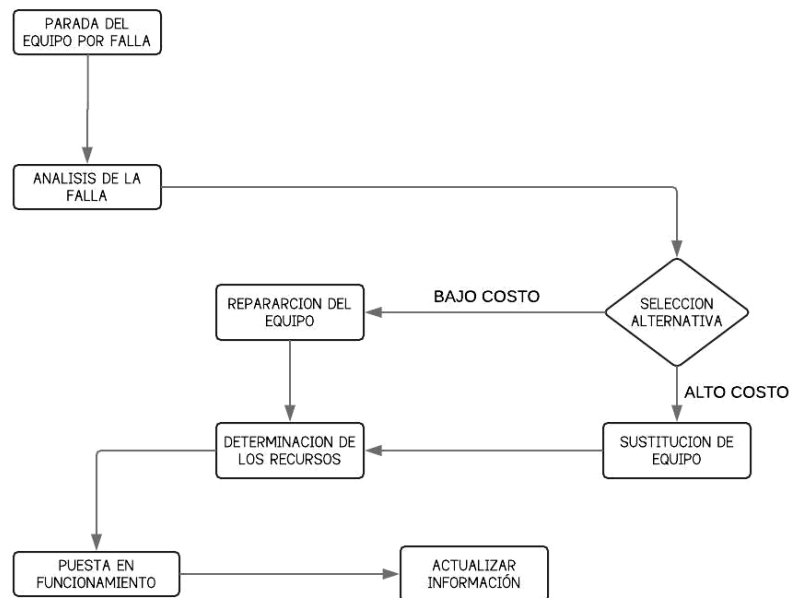
²⁰ GARCÍA, Santiago. Ingeniería de Mantenimiento. Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento. Madrid: Renovetec, 2013. p. 9.

²¹ BORRÁS, Carlos. Principios de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2016. p. 58.

²² ALPIZAR, Emilio. Mantenimiento. En *Operación, mantenimiento y control de calidad*. Washington: BVSDE, 2014. p. 194.

planeado que soluciona las emergencias²³. El no planeado es el mantenimiento más costoso y más inconvenientes puede llegar ocasionar, debido a: requiere más personal para las actividades de mantenimiento; las paradas continuas generan impacto negativos en la producción; el lucro cesante es mayor, debido a los mayores tiempos fuera de servicio; los equipos pueden sufrir daños irreparables; puede ocasionar conflictos interpersonales; y es difícil hablar de calidad en la gestión del mantenimiento²⁴. En la Figura 5 se aprecia el flujograma de trabajo en el mantenimiento correctivo.

Figura 5. Flujo de trabajo en mantenimiento correctivo



Fuente: NEITA, Lida y PEÑA Elkin. Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo²⁵.

²³ CÁRCEL, Javier. La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial. Investigación sobre la incidencia en sus actividades estratégicas. España: Universidad Politécnica de Valencia, 2014. p. 119.

²⁴ ESCOBAR, Edgar y MONTERO, Vladimir. Diseño y puesta en marcha de un programa de mantenimiento preventivo/predictivo como requisito en la implementación de un sistema de calidad según la norma ISO 9002 en la empresa "Hustman ISI Colombia Ltda." a través del mejoramiento y aplicación de un software. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Cartagena de Indias: Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, 2000. p. 32.

²⁵ NEITA y PEÑA, Op. cit., p. 29.

2.2.2 Mantenimiento preventivo. Se trata del conjunto de acciones de mantenimiento necesarias planeadas y programadas anticipadamente para evitar que se produzcan fallas inesperadas, buscando asegurar la disponibilidad permanente de los activos, evitando paradas inesperadas²⁶. Para lograrlo se debe coordinar la inspección periódica y/o programada de los elementos propensos a fallas, y la corrección antes de que esto ocurra. Los elementos básicos del mantenimiento preventivo incluyen la parte a inspeccionar, el instante o frecuencia de inspección y el control de cumplimiento de la inspección²⁷.

El mantenimiento preventivo se fundamenta en la inspección, la cual es una exploración física la cual se puede realizar mediante la observación directa o indirecta y cuyo objetivo es identificar características normales o anormales de un sistema. La cantidad de inspecciones determinan el costo del programa de mantenimiento, por lo que se debe encontrar el punto de equilibrio²⁸. Con las inspecciones periódicas se detectan posibles defectos, evitando que las averías pequeñas se conviertan en un daño mayor o irreparable, ya que afectan la vida útil de las máquinas²⁹.

Algunos de los beneficios que se obtienen mediante la implementación de un mantenimiento preventivo son: disminución de paradas inesperadas; disminución de costos de mantenimiento por mano de obra y repuestos disponibles para atender emergencias; menor número de reparaciones a mayor escala; disminución

²⁶ NEITA, Lida y PEÑA Elkin. Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo. Trabajo de grado Especialista en Control e Instrumentación Industrial. Floridablanca: Pontificia Universidad Bolivariana, 2011. p. 29.

²⁷ RODRÍGUEZ, Wendy. Plan de mantenimiento para el Centro Diagnóstico Automotor El Coche Aguachica S.A.S. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander, 2012. p. 23.

²⁸ BOLAÑO, Arlenso y CHÁVEZ, Jorge. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para las bombas hidráulicas que trasiegan combustible diésel marino del Bote Urabá de la empresa Petrocomercial S.A. Barranquilla: Universidad Autónoma del Caribe, 2012. p. 24.

²⁹ SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. Op. cit., p. 17.

de costos de mantenimiento; disminución de costos de reparaciones debido a menor fuerza de trabajo y menor cantidad de repuestos empleados; reducción y control de inventario de repuestos; aumento de la vida útil de equipos, y mayor seguridad para los trabajadores ya que cuentan con un equipo en óptimas condiciones³⁰.

Por otro lado, algunas desventajas son: indiferencia de los directivos frente a la planificación; resistencia al cambio; exigencia de resultados inmediatos; falta de una correcta justificación económica; y encontrar el punto de equilibrio entre costos de inspección y costos de daños³¹.

El mantenimiento preventivo puede basarse en dos factores, el tiempo; (recomendaciones del fabricante y/o recopilación de información) o en la condición. Sin embargo, independientemente del factor en que se base, el éxito de un plan de mantenimiento preventivo está en tener una planeación y programación acertada. La primera se refiere a identificar los recursos que se requieren para ejecutar una actividad, como órdenes de trabajo, listas de materiales, procedimientos, planos, mano de obra, equipos y herramientas, entre otros. La segunda se enfoca en el determinar el momento exacto en que se debe ejecutar la tarea, teniendo en cuenta las etapas previas a esta³².

Un plan de mantenimiento preventivo debe ser dinámico para verificar su efectividad y si las actividades deben ser modificadas en su frecuencia o en el

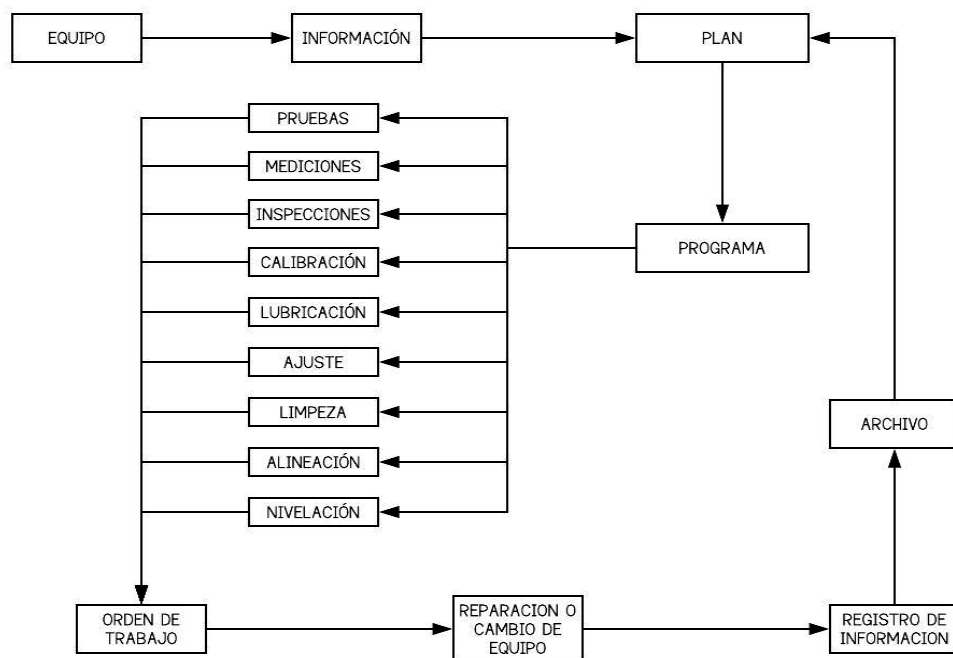
³⁰ BORRÁS. Op. cit., p. 65.

³¹ CERVANTES, Gustavo. Realizar el plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria del departamento de marcos y molduras en la empresa Antiguo Arte Europeo S.A. de C.V. Trabajo de grado Ingeniero en Mantenimiento Industrial. Tula de Allende Hidalgo: Universidad Tecnológica de Tula, 2011. p. 29.

³² RIVERA, Enrique. Sistema de gestión del mantenimiento industrial. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2011. p. 122.

modo se realizarse, como inclusión de nuevas tecnologías o equipos de medición, esto se puede realizar mediante el seguimiento y control tanto al tiempo planeación y programación como al de ejecución de la actividad³³. En la Figura 6 se aprecia el flujograma de trabajo en el mantenimiento correctivo.

Figura 6. Flujo de trabajo en mantenimiento preventivo



Fuente: NEITA, Lida y PEÑA Elkin. Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo³⁴.

La estructura de un plan de mantenimiento parte de las siguientes premisas: "qué máquinas o equipos se busca intervenir; qué tareas se van a realizar; con qué recursos humanos y equipos, apoyo, herramientas, insumos, materiales se cuenta; cuándo se va a realizar; cuál es el procedimiento de ejecución; cuánto duran las

³³ MARTÍNEZ, León. Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional. Trabajo de grado Magister en Ingeniería Eléctrica. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2014. p. 42.

³⁴ NEITA y PEÑA, Op. cit., p. 31.

tareas; que formatos van a apoyar la recolección de la información de manera ordenada; cómo se va a medir la efectividad de resultados"³⁵.

Dicho plan de mantenimiento incluye: inventario de máquinas, equipos, inmuebles y vehículos que serán cobijados por el plan de mantenimiento; codificación de las máquinas, equipos, inmuebles y vehículos; creación de la Tarjeta Maestra de Datos (TMD); creación de las hojas de vida de los equipos; relación de requerimientos e instructivos; programación de actividades (tablero de control) y balanceo; elaboración de las Rutinas Básicas de Mantenimiento (RBM); definición y creación de formatos de apoyo a la gestión del mantenimiento (TMD, hojas de vida, órdenes de trabajo, indicadores entre otros); y sistematización de la información³⁶. Teniendo en cuenta los requerimientos de la empresa, en el Anexo A se observan algunos de estos formatos.

2.2.3 Mantenimiento predictivo. El mantenimiento predictivo estudia la evolución temporal de ciertos parámetros para asociarlos a la ocurrencia de fallas, con el fin de determinar en qué período de tiempo esa situación va a generar escenarios fuera de los estándares, para poder planificar todas las tareas proactivas con tiempo suficiente, para que esa avería no cause consecuencias graves ni genere paradas imprevistas de equipos³⁷. Una de las características más importantes es que no debe alterar el funcionamiento normal del equipo mientras se está aplicando³⁸.

³⁵ MONTILLA, Carlos. Fundamentos de mantenimiento industrial. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2016. p. 62.

³⁶ Ibid., p. 62-63.

³⁷ MORA, Op. cit., p 433.

³⁸ OLARTE, William; BOTERO, Marcela y CAÑÓN, Benhur. Technologies of maintenance predictive used in the industry. *Scientia et Technica* [en línea]. 2010, vol. 16, nro. 45 [consultado 22 noviembre 2017]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4546591.pdf>. p. 224.

Dentro de las ventajas del mantenimiento predictivo se incluyen: reduce el tiempo de parada al conocer exactamente qué componente es el que falla; permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo; optimiza la gestión del personal de mantenimiento; realiza la verificación de la condición de estado y monitoreo en tiempo real de la maquinaria, tanto la que se realiza en forma periódica como la que se hace de carácter eventual; maneja y analiza un registro de información histórica vital, a la hora de la toma de decisiones técnicas en los equipos; define los límites de tendencia relativos a los tiempos de falla o de aparición de condiciones no estándares; posibilita la toma de decisiones sobre la parada de un equipo en momentos críticos; facilita la confección de formas internas de funcionamiento, o compra de nuevos equipos; provee el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el mantenimiento correctivo; facilita el análisis de las averías; y aplica el análisis estadístico del sistema³⁹.

El principal inconveniente del mantenimiento predictivo es de tipo económico. Cada equipo a monitorear requiere la instalación de los respectivos equipos de medición de parámetros que puedan ser: presión, pérdidas de carga, caudales, caídas de temperatura, ruidos, vibraciones, entre otros⁴⁰.

Existen varias técnicas para realizar mantenimiento predictivo, se pueden clasificar en técnicas básicas y en técnicas complejas, las primeras se caracterizan por ser sencillas y de fácil realización como por ejemplo inspección visual, inspección y registro de datos a través de instrumentos instalados en los equipos como temperatura, presión entre otros, las segundas requieren de equipos

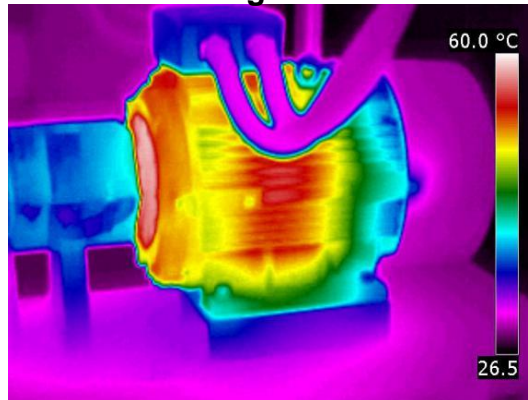
³⁹ AGUIAR, Leonardo y RODRÍGUEZ, Hender. Análisis de modos y efectos de falla para mejorar la disponibilidad operacional en la línea de producción de Gaseosas No. 3. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bogotá: Universidad Libre de Colombia, 2014. p. 22.

⁴⁰ NAVIDAD, Daniel. Mejora del programa y la gestión del mantenimiento en un centro comercial. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. España: Universitat Jaume I, 2016. p. 20.

especializados y personal calificado para su realización, entre las cuales tenemos, termografía, análisis de vibraciones, ultrasonido, análisis de aceites ⁴¹ . A continuación se describen algunas de estas técnicas.

2.2.3.1 Termografía. Es una técnica no destructiva y sin contacto, se basa en el análisis de las imágenes de distribución de calor que generan los cuerpos, la energía que las maquinas emiten viajan en forma de ondas electromagnéticas, esta energía es proporcional a su temperatura. Estas ondas son ondas infrarrojas que el ojo humano no puede detectar, por lo cual se emplean equipos especializados, como cámaras infrarrojas⁴². En la Figura 7 se observa una imagen de motor con cámara termográfica.

Figura 7. Imagen con cámara termográfica



Fuente: QS INDUSTRIAL. Termografía infrarroja⁴³.

2.2.3.2 Ultrasonido. Es una técnica que aprovecha las propiedades de las ondas sonoras para detectar los problemas de los equipos. Estas son producidas por la

⁴¹ RENOVE TECNOLOGÍA S.L. Técnicas de mantenimiento predictivo en plantas industriales [en línea]. 2015 [consultado 23 noviembre 2017]. Disponible en: <http://www.renovetec.com/irim/131-tecnicas-de-mantenimiento-predictivo>. p. 15.

⁴² NEITA y PEÑA, Op. cit., p. 42.

⁴³ QS INDUSTRIAL. Termografía infrarroja [en línea]. 2017 [consultado 23 noviembre 2017]. Disponible en: <http://qsindustrial.com.mx/termografia-infrarroja/>. p. 1.

fuerza de rozamiento, descargas eléctricas, pérdidas de presión, entre otras, generando ondas de alta frecuencia, corta longitud y rápida pérdida de energía lo cual permite localizar con exactitud los problemas de los equipos. Estas ondas son captadas a través de un palpador el cual lo transmite a un indicador o equipo receptor⁴⁴. En la Figura 8 se observa el monitoreo utilizando la técnica de ultrasonido.

Figura 8. Monitoreo con ultrasonido



Fuente: TBN SERVICIOS INTEGRALES DE LUBRICACIÓN. Ultrasonido: aire y estructuras⁴⁵.

2.2.3.3 Análisis de vibraciones. Esta técnica usa la vibración mecánica que producen las máquinas para determinar su condición, por lo cual es empleada en mayor medida en máquinas rotativas. Para aplicar esta técnica y poder obtener

⁴⁴ OLARTE, William y BOTERO, Marcela. La detección del ultra sonido: una técnica empleada en el mantenimiento predictivo. *Scientia Et Technica* [en línea] 2011, vol. 7, nro. 47 [consultado 15 marzo 2018]. Disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/525/249>. p. 231.

⁴⁵ TBN SERVICIOS INTEGRALES DE LUBRICACIÓN. Ultrasonido: aire y estructuras [en línea]. 2014 [consultado 15 marzo 2018]. Disponible en: http://www.tbn.es/experiencia/cgi/v2.2/viewhtml.pl?DescriptionFile=tbn-menu.def&calling=ultrasonidos_es&menudepth=4&language=es&User=&navigate_path=@1;activi.mantemiento.ultrasonidos&menu=navigate&opened_navigate=0&OsCsid=& p. 1.

conclusiones representativas y dar un diagnóstico es necesario conocer variables operativas de las máquinas, tales como velocidad de giro, tipos de rodamientos, tipos de cojinetes, y hacer una selección correcta del punto donde se realizará la toma de datos⁴⁶. En la Figura 9 se aprecia el análisis por vibraciones.

Figura 9. Monitoreo mediante análisis de vibraciones



Fuente: SCHENCK ROTEC GMBH. SmartBalancer: balanceo en campo⁴⁷.

2.2.3.4 Análisis de aceite. Este consiste en realizar un análisis de las propiedades tanto físicas como químicas a los aceites o lubricantes que emplean las máquinas, dicho análisis busca determinar la condición del aceite luego de un tiempo determinado de uso, algunas de las propiedades que se pueden verificar en un análisis de aceite incluyen: viscosidad, contaminantes y oxidación⁴⁸. Las principales funciones de los lubricantes son: controlar del desgaste, controlar de la corrosión, controlar la temperatura, disminuir la fricción así como también transmite potencia⁴⁹.

⁴⁶ NEITA y PEÑA, Op. cit., p. 41.

⁴⁷ SCHENCK ROTEC GMBH. SmartBalancer: balanceo en campo [en línea]. 2018 [consultado 17 marzo 2017]. Disponible en: <http://www.schenck-rotec.com.mx/products/products/SmartBalancer3.php>. p. 1.

⁴⁸ ALTMANN, Carolina. El análisis de aceite como herramienta del Mantenimiento proactivo en flotas de maquinaria pesada [en línea]. 2005 [consultado 18 marzo 2017]. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/0607lubricacion.pdf>. p. 2.

⁴⁹ SALDIVIA, Francisco. Aplicación de mantenimiento predictivo. caso estudio: análisis de aceite usado en un motor de combustión interna [en línea]. 2013 [consultado 18 marzo 2017]. Disponible

A través del análisis de aceites se puede obtener toda la información acerca del estado de una maquina ya que mediante este se puede determinar el nivel de desgaste teniendo en cuenta los contaminantes y las partículas en suspensión⁵⁰. Adicionalmente, al emplear este como herramienta de monitoreo se puede llegar a plantear un programa de lubricación basado en condición, ya que todos los ambientes y esfuerzos a los que se ven sometidos las maquinas son diferentes lo cual hace que las recomendaciones que dan los fabricantes varíen entre máquinas⁵¹.

Normalmente, los fabricantes siguen menores tiempos para realizar los cambios de lubricantes, generando en ocasiones costos elevados por esta razón; así se logra llegar a establecer un tiempo óptimo de reemplazo de lubricantes, previniendo fallas, disminución de paros no programados y aumentando la vida útil de las máquinas⁵².

2.2.3.4.1 Pruebas para aceites de motor. Son las que a continuación se describen.

- **Espectrometría de metales.** Permite determinar la composición química de los metales mediante la vaporización de la muestra y el análisis de las chispas

en: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP264.pdf>. p. 2.

⁵⁰ VALDERRAMA, Andrés y LÓPEZ, William. Diagnóstico técnico de motores diésel mediante el análisis estadístico del aceite lubricante [en línea]. 2001, vol. 2, nro. 2 [consultado 22 abril 2017]. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/hidraulica_mecanica/2001_n2/diagnostico.htm. p. 26.

⁵¹ MESA, Alejandro. Seis claves para implementar un programa de lubricación centrado en confiabilidad [en línea]. 2017 [consultado 22 abril 2017]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/seis-claves-para-implementar-un-programa-de-lubricacion-centrado-en-confiabilidad/>. p. 2.

⁵² RODRÍGUEZ, Rafael y RONCALLO, César. Diseño de un plan maestro para la implantación del Total Productive Maintenance (TPM) en los procesos productivos de la empresa XAR Ltda. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2013. p. 17.

formadas⁵³. Se incluyen hierro, cobre, plomo, aluminio, cromo, estaño, calcio, sodio y silicón⁵⁴.

- **Medida de contenido de hollín.** Permite analizar la dispersancia del hollín identificando la habilidad del aceite para mantener las partículas de hollín finamente dispersas, evitando su aglomeración y crecimiento en partículas más grandes. Puede ser medida con el método conocido como el de la gota de aceite, el cual permite una evaluación visual de la capacidad del aceite para dispersar el hollín⁵⁵.

- **Viscosidad cinemática (ASTM D-445).** Esta prueba permite determinar la viscosidad cinemática mediante la medición del volumen de un líquido que fluye por gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio calibrado de los productos derivados del petróleo líquidos, tanto transparentes como opacos⁵⁶.

- **Contenido de agua (ASTM D-95).** Esta prueba abarca la determinación del agua en el rango de 0% a 25 % de volumen en productos derivados del petróleo, alquitrán y otros materiales bituminosos mediante el método de destilación⁵⁷.

⁵³ PICAS, Josep. Espectrómetro para análisis de metales [en línea]. 2017 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <https://www.upc.edu/sct/es/equip/509/espectrometro-analisis-metales.html>. p. 1.

⁵⁴ ALTMANN, Op. cit., p. 5.

⁵⁵ PÁEZ, Alfonso. Cómo determinar la presencia de hollín en aceites para motores diésel [en línea]. 2016 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/como-determinar-la-presencia-de-hollin-en-aceites-para-motores-diesel/>. p. 1.

⁵⁶ ASTM INTERNATIONAL. Método de prueba estándar para determinación de la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (y cálculo de la viscosidad dinámica) [en línea]. 2018 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D445-SP.htm>. p. 1.

⁵⁷ ASTM INTERNATIONAL. Método de prueba estándar para agua en productos derivados del petróleo y materiales bituminosos por destilación [en línea]. 2018 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D445-SP.htm>. p. 1.

- **Medición de TBN (ASTM D-2896).** Esta prueba suministra valiosa información sobre la degradación del petróleo (envejecimiento), las propiedades de corrosión y la capacidad de tampón alcalino del material. Las normas ASTM D664 y ASTM D2896 describen dos métodos simples para la determinación de TAN y TBN basados en la valoración potenciométrica de constituyentes ácidos y básicos, respectivamente⁵⁸.

- **Dilución por combustible.** Esta prueba es importante dado que, la dilución con combustible puede llevar a un desgaste mayor, a una falla de componentes, a incrementar la oxidación y el riesgo de incendio. Una contaminación con el 10% de combustible puede remover 27% del metal de los anillos del pistón en 100 horas de operación⁵⁹.

- **Dilución por glicol.** El anticongelante es un químico compuesto principalmente por glicol etílico pero cuando es mezclado con agua, disminuye el punto de congelamiento y de ebullición de la mezcla. Al contrario de los motores enfriados por aire, los que están equipados con un sistema de enfriamiento por agua, cuentan con un radiador y otros elementos que le ayudan a nivelar la temperatura⁶⁰.

⁵⁸ RISSE, H. Determinación de TAN/TBN totalmente automática en muestras industriales según las normas ASTM D664 y D2896. Documento principal [en línea]. 2017 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <https://www.metrohm.com/es/applications/80006049>. p. 1.

⁵⁹ NORIA LATÍN AMÉRICA. Cómo la dilución con combustible daña los motores [en línea]. 2017 [consultado 26 de abril 2018]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/como-la-dilucion-con-combustible-dana-los-motores/>. p. 1.

⁶⁰ BARDAHL INSTITUCIONAL. ¿Por qué diluir el anticongelante? [en línea]. 2018 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <http://www.bardahl.com.mx/proporciones-anticongelante/>. p. 1.

2.2.3.4.2 Pruebas para aceites hidráulicos. Son la que a continuación se citan.

- **Espectrometría de metales.** Permite determinar la composición química de los metales mediante la vaporización de la muestra y el análisis de las chispas formadas⁶¹. Se incluyen hierro, cobre, plomo, aluminio, cromo y níquel⁶².

- **Espectrometría de silicio.** La prueba cubre la determinación de aluminio y silicio en fueóleos en concentraciones de entre 5 mg/kg y 150 mg/kg para aluminio y de entre 10 mg/kg y 250 mg/kg para silicio⁶³.

- **Viscosidad cinemática.** Permite determinar la viscosidad cinemática mediante la medición del volumen de un líquido que fluye por gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio calibrado de los productos derivados del petróleo líquidos, tanto transparentes como opacos⁶⁴.

- **Contenido de agua.** Abarca la determinación del agua en el rango de 0% a 25 % de volumen en productos derivados del petróleo, alquitrán y otros materiales bituminosos mediante el método de destilación⁶⁵.

⁶¹ PICAS, Op. cit., p. 1.

⁶² ALTMANN, Op. cit., p. 5.

⁶³ ASTM INTERNATIONAL. Método de prueba estándar para determinación de aluminio y silicio en fueóleos por reducción a cenizas, fusión, espectrometría por emisión atómica de plasma acoplado inductivamente, y espectrometría por absorción atómica [en línea]. 2017 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D5184-SP.htm>. p. 1.

⁶⁴ ASTM INTERNATIONAL. Método de prueba estándar para determinación de la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (y cálculo de la viscosidad dinámica), Op. cit., p. 1.

⁶⁵ ASTM INTERNATIONAL. Método de prueba estándar para agua en productos derivados del petróleo y materiales bituminosos por destilación, Op. cit., p. 1.

- **Medición del TAN.** La medición del factor potencia/disipación o TAN DELTA permite evaluar el aislamiento dado que se trata de la parte más sensible de las máquinas rotatorias. La vida útil del devanado de un estator depende de la eficacia con que el aislamiento eléctrico pueda evitar fallas del devanado. Los puntos débiles pueden producirse en el aislamiento ya sea durante la fabricación o la impregnación con resina fundida, durante el esfuerzo de su funcionamiento diario (debido, por ejemplo, a la suciedad) o por el envejecimiento general⁶⁶.

- **Oxidación.** La oxidación es la reacción más predominante en un lubricante en servicio. Es la responsable de una gran cantidad de problemas en el lubricante – incluyendo incremento de la viscosidad, formación de barniz, lodos y sedimentos, agotamiento de aditivos, degradación de la base lubricante, taponamiento de filtros, pérdida para el control de la espuma, incremento en el número ácido, formación de herrumbre y corrosión⁶⁷.

- **Conteo de partículas.** Se realiza utilizando un contador óptico, a las muestras de lubricantes tomadas de los equipos más críticos (compresores, sistemas hidráulicos, turbinas)⁶⁸.

⁶⁶ GUO, Wenyu. Pruebas de diagnóstico y monitoreo de máquinas rotativas. Austria: OMICRON, 2018. p. 2.

⁶⁷ NORIA LATÍN AMÉRICA. La oxidación – Enemiga del lubricante [en línea]. 2016 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/la-oxidacion-enemiga-del-lubricante/>. p. 2.

⁶⁸ NORIA LATÍN AMÉRICA. El valor del conteo de partículas en el análisis del lubricante [en línea]. 2016 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/el-valor-del-conteo-de-particulas-en-el-analisis-del-lubricante/>. p. 1.

2.3 INDICADORES DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento como todo trabajo debe caracterizarse por ser eficaz y de máxima calidad, por lo cual debe medirse para determinar esto, sin embargo no es fácil determinar la eficiencia del mantenimiento y se prefiere caracterizarlo mediante indicadores que se pueden denominar de gestión porque su valor, en un instante tal, determina la calidad, eficiencia y operatividad de una organización⁶⁹.

2.3.1 Disponibilidad. Es la probabilidad de que un equipo funcione satisfactoriamente bajo condiciones estables en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación⁷⁰.

$$D = \frac{T_{TO} - T_{TP}}{T_{TO}}$$

Donde:

T_{TO} = Tiempo total de operación.

T_{TP} = Tiempo total de paradas no planificadas.

D = Disponibilidad.

Otra manera de encontrar la disponibilidad es a partir de los tiempos medios de fallas:

$$D = \frac{TPEF}{TPEF + TPPR}$$

⁶⁹ BORRAS, Op. cit., p. 121.

⁷⁰ MORA, Op. cit., p. 67.

Donde:

TPEF = Tiempo promedio entre fallas.

TPPR = Tiempo promedio de reparación.

D = Disponibilidad.

2.3.2 Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF o MTBF). Permite conocer la frecuencia con que ocurren las fallas. Este se puede analizar por tipo de falla o fallas en general⁷¹.

$$TPEF = \frac{T_{TO}}{\# Fallas}$$

Donde:

T_{TO} = Tiempo total de operación.

2.3.3 Tiempo Promedio de Reparación (TPPR o MTTR). Permite conocer el tiempo promedio de reparación de una falla, este debe contar desde el momento en que se identifica la falla hasta el momento en que se soluciona la misma. Este indicador se puede medir teniendo en cuenta o no el tipo de falla⁷².

$$TPEF = \frac{TFS}{\# Fallas}$$

Donde:

TFS = Tiempo total de fallas imprevistas.

⁷¹ Ibid., p. 77.

⁷² Ibid., p. 82.

2.3.4 Disponibilidad por avería. Tener una alta disponibilidad se resume en reducir al máximo las paradas⁷³.

$$\text{Disponibilidad por avería} = \frac{TPEF - TPPR}{TPEF}$$

2.3.5 Confiabilidad. Se define como la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, durante un periodo de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno. La confiabilidad encierra cuatro características, probabilidad, desempeño satisfactorio, periodo y condiciones específicas⁷⁴. El tiempo promedio entre fallas (TPEF), es un indicativo de la confiabilidad; entre más alto sea el TPEF, mayor es la confiabilidad⁷⁵.

2.3.6 Mantenibilidad. Es la probabilidad que tiene un elemento, máquina o dispositivo, de poder ser regresado nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva. Se debe tener en cuenta que este indicador solo puede ser aplicado a equipos que sean susceptibles de ser reparados o que su reparación tenga un costo demasiado alto que no permita su reparación⁷⁶. Es por esto que la mantenibilidad está asociada directamente al tiempo promedio de reparación (TPPR).

⁷³ Ibid., p. 90.

⁷⁴ Ibid. p. 96.

⁷⁵ BORRÁS, Op. cit., p. 132.

⁷⁶ MORA, Op. cit., p. 104.

2.4 FALLAS

Una falla está definida como la incapacidad de un equipo a realizar la función que el usuario definió que hiciera. Un equipo puede tener más de una función y se debe determinar si una falla puede afectar más de una función⁷⁷. Por ejemplo: No es capaz de contener el aceite, no mantiene la presión de 4000 psi. Como se puede observar no dice nada acerca de las causas por las cuales el equipo llega a ese estado⁷⁸. Existe un tipo de falla denominada falla oculta, y consiste en una falla que solo se puede detectar cuando otra falla ocurre. Por ejemplo, los detectores de humo del sistema de contra incendios de un edificio, no se puede identificar si es capaz de detectar el humo hasta el momento en que se presente un incendio⁷⁹.

2.4.1 Patrones de falla. Inicialmente se pensaba que las fallas en un equipo estaba directamente relacionada con el tiempo de funcionamiento, es decir a mayor tiempo de funcionamiento existe mayor probabilidad de falla; sin embargo estudios en distintas industrias han demostrado que existen seis patrones de probabilidad de falla en función del tiempo⁸⁰. En la Figura 10 se aprecian estos seis patrones de falla en función del tiempo donde el porcentaje descrito para cada patrón corresponde a UAL (unidad aritmético lógica).

⁷⁷ BORRÁS, Carlos. Mantenimiento preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017. p. 8.

⁷⁸ MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México: Pearson Educación, 2006. p. 186. ISBN 9702608120, 9789702608127.

⁷⁹ CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO. Mantenimiento de maquinaria: cuidados y prevención. *Revista Construcción Minera y Energía* [en línea]. 2018, vol. 14, nro. 5 [consultado 21 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.construccionminera.cl/mantenimiento-de-maquinaria-cuidados-y-prevencion/#.Wull0sgvxPZ>. p. 1.

⁸⁰ VERGARA, Raquel. La estadística en el mantenimiento y reemplazo óptimo en el control de calidad. Trabajo de grado Maestría en Ciencias Matemáticas Aplicadas e Industriales. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, 2014, p. 7.

El patrón A o curva de la bañera, indica alta probabilidad de falla ocurre en un lapso corto luego arranque de un equipo nuevo o después de una reparación (mortalidad infantil), seguido de una probabilidad de falla constante, para luego incrementarse al llegar a cumplir la vida útil esperada⁸¹.

El Patrón B se da por desgaste, luego de un tiempo de funcionamiento normal se incrementa la probabilidad de falla al acercarse al completar su vida útil⁸².

El Patrón C se produce por fatiga y denota un incremento proporcional de la falla a medida que transcurre el tiempo⁸³.

El Patrón D es el periodo inicial de acostumbramiento donde, superada una etapa inicial de aumento de la probabilidad de falla el elemento entra en una zona de probabilidad condicional de falla constante⁸⁴.

El Patrón E es aleatorio⁸⁵ o estocástico (comportamiento intrínsecamente no determinado)⁸⁶.

⁸¹ HOYOS, Luis. El verdadero significado de las 6 curvas RCM [en línea]. 2011 [consultado 28 enero 2018]. Disponible en: <http://www.livingreliability.com/wordpress/posts/el-verdadero-significado-de-las-6-curvas-rcm/>. p. 2.

⁸² Ibid., p. 2.

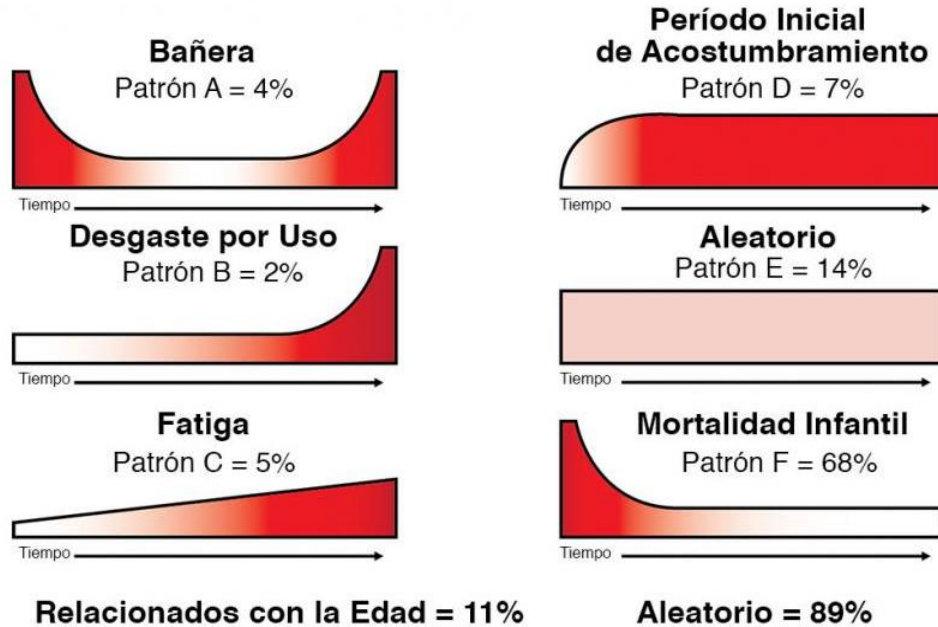
⁸³ HOYOS, Op. cit, p. 3.

⁸⁴ Ibid., p. 3.

⁸⁵ Ibid., p. 4.

⁸⁶ LAROCCA, Félix. Sistemas estocásticos y entropía: remedios a fuerzas que controlan nuestras vidas [en línea]. 2009 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos102/sistemas-estocasticos-y-entropia-remedios-fuerzas-que-cona-trolan-nuestras-vidas/sistemas-estocasticos-y-entropia-remedios-fuerzas-que-cona-trolan-nuestras-vidas.shtml#ixzz5DnnMC0Oy>. p. 5.

Figura 10. Patrones de falla en función del tiempo



Fuente: MAHONEY, George. Elimine los defectos con los elementos Uptime⁸⁷.

En el Patrón F o mortalidad infantil existe una alta probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo o ha sido reparado, seguido de una probabilidad de falla constante⁸⁸.

2.4.2 Modo de falla. Hace referencia a un evento que puede causar la falla de un equipo. Al identificar los modos de falla de un equipo o sistema, es importante listar la *causa raíz* de la falla. Por ejemplo: ruptura del depósito, mangueras o acoples sueltos, estas podrían ser las causas raíz de la falla no es capaz de contener el aceite⁸⁹.

⁸⁷ MAHONEY, George. Elimine los defectos con los elementos Uptime [en línea]. 2016 [consultado 28 enero 2018]. Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/elimine-los-defectos-con-los-elementos-uptime>. p. 4.

⁸⁸ HOYOS, Op. cit., p. 4.

⁸⁹ MEDINA, Jorge. RCM Paso 3: modos de falla y causa raíz ¿qué ocasiona cada falla funcional? modos de falla [en línea]. 2016 [consultado 30 enero 2018]. Disponible en: <https://confiabilidadrcm.wordpress.com/2016/09/02/paso-3-modos-de-falla-y-causa-raiz-que-ocasiona-cada-falla-funcional-modos-de-falla/>. p. 1.

2.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE FALLA

2.5.1 Análisis Modo de Falla (FMEA). Un análisis de falla es un proceso que permite identificar las fallas potenciales o reales de diseño, de funcionamiento y de proceso antes de que ocurran, con la intención de eliminarlas o controlarlas para erradicar o minimizar el riesgo asociado con ellas. Su aplicación permite documentar las tareas proactivas y correctivas que controlan o eliminan las fallas⁹⁰. Con esto se busca aumentar la productividad y la disponibilidad de los equipos. Como base del análisis de falla se debe conocer los sistemas, componentes que lo conforman y las funciones principales y secundarias de los mismos, es por esta razón que es conveniente que en el proceso se tenga en cuenta y/o participe personal operativo, técnico y directivo que conozcan del proceso que se analiza⁹¹.

De esta forma, en el análisis de fallas se establecen dos tipos de fallas, las crónicas y esporádicas, las primeras son las verdaderamente importantes, ya que los tiempos de parada son más grandes que los generados por las segundas. Las fallas crónicas son eventos muy frecuentes y cuando se controlan o eliminan se logra restaurar la funcionalidad al punto máximo y se eleva el nivel de desempeño esperado, Las esporádicas son una desviación al estándar en una operación normal, por lo general son poco frecuente⁹².

2.5.2 Análisis de Pareto. Es también conocido también como análisis ABC, es una herramienta genérica para identificar y jerarquizar datos, permitiendo identificar en una forma gráfica los aspectos que se presentan con mayor

⁹⁰ MORA, Op. cit., p. 330.

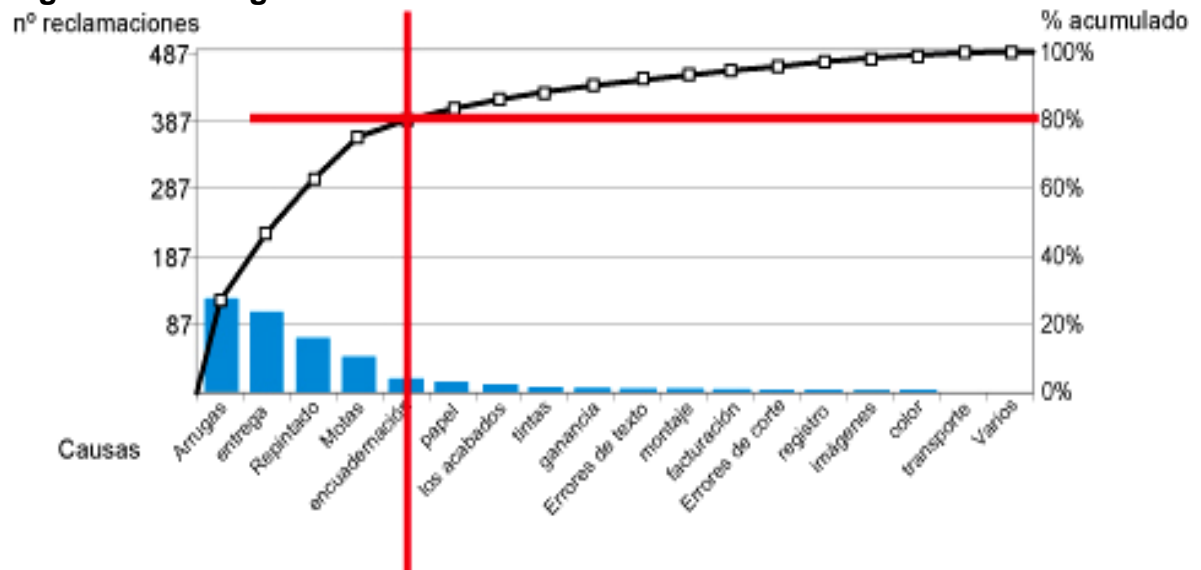
⁹¹ Ibid., p. 331.

⁹² Ibid., p. 328.

frecuencia o que tienen mayor incidencia⁹³ (ver la Figura 11).

Aplicando el principio de pocos vitales y muchos triviales se puede dar prioridad a los temas más relevantes (pocos vitales) asignando recursos y obteniendo resultados en un corto tiempo. Este análisis se puede llevar a cabo siempre y cuando los factores o categorías de un problema se puedan cuantificar⁹⁴.

Figura 11. Diagrama de Pareto: reclamaciones



Fuente: GARCÍA, Jesús. Las siete herramientas de la calidad. Diagramas de Pareto⁹⁵.

2.5.3 Análisis Causa Raíz (RCA). Es un método riguroso para la solución de problemas en cualquier tipo de falla, que se basa en el proceso lógico y en la utilización de árboles de causas de fallas (ver la Figura 12). Consiste en una representación visual de los eventos de una falla, en el cual, por razonamiento

⁹³ VERA, Hernando. Aplicación de la metodología causa raíz (RCA), para la eliminación de un mal actor en equipos críticos de la SOM - Ecopetrol S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011. p. 69.

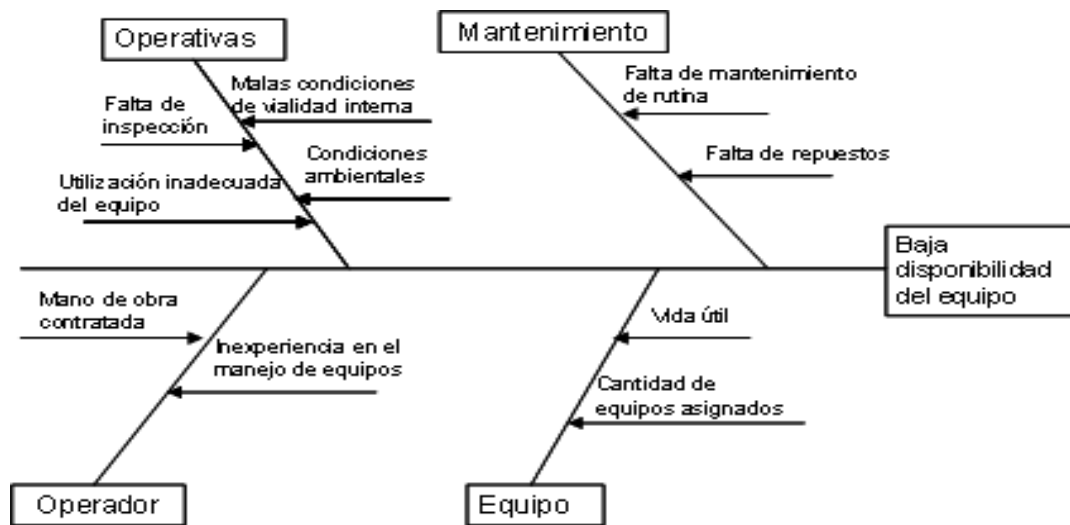
⁹⁴ BORRÁS, Carlos. Mantenimiento preventivo. Op. cit., p. 24.

⁹⁵ GARCÍA, Jesús. Las siete herramientas de la calidad. Diagramas de Pareto [en línea]. 2010 [consultado el 3 febrero 2018]. Disponible en: <https://jesusgarciaj.com/2010/01/19/las-siete-herramientas-de-la-calidad-diagramas-de-pareto/>. p. 2.

deductivo y mediante la verificación de los hechos que ocurren, se puede llegar de una manera fácil y fluida a las causas originales de la fallas⁹⁶.

Los pasos para desarrollar la metodología de causa raíz incluyen: responder a una condición fuera de estándar y conservar la mayor cantidad de evidencias posible; organizar el grupo investigador; analizar las fallas y verificar las causas raíces; comunicar resultados; implementación, monitoreo y realizar un nuevo análisis después de un tiempo⁹⁷.

Figura 12. Análisis causa raíz (RCA)



Fuente: SISTEMIC ESPAÑA. Diagrama causa-efecto: herramienta lean de análisis para la mejora⁹⁸.

⁹⁶ MORA, Op. cit., p. 338.

⁹⁷ FUNDACIÓN CIENCIA TÉCNICA Y ADMINISTRATIVA. Diagrama de Causa y Efecto [en línea]. 2015 [consultado 3 febrero 2018]. Disponible en: http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/herramientas_calidad/causaefecto.htm. p. 3.

⁹⁸ SISTEMIC ESPAÑA. Diagrama causa-efecto: herramienta LEAN de análisis para la mejora [en línea]. 2018 [consultado 3 febrero 2018]. Disponible en: <https://www.sistemic.es/noticias/diagrama-causa-efecto-herramienta-lean-de-analisis-para-la-mejora/>. p. 2.

2.6 INVENTARIOS

El inventarios es el almacenamiento de productos (materia primas, productos en proceso, productos terminados, insumos, repuestos) con el fin de tenerlos a disposición en cualquier momento, para el caso de mantenimiento se refiere a repuestos, insumos y consumibles.

2.6.1 Justificación de los inventarios. Existen varias razones para tener inventario, entre las que se encuentran las siguientes: incremento en la demanda de los repuestos; imposibilidad para asegurar el cumplimiento en la entrega por parte de proveedores; escases de repuestos; fluctuación de precios; y descuentos por compras en volúmenes⁹⁹.

2.6.2 Método de reposición de repuestos. Los métodos más empleados para definir el nivel de reposición de inventarios son:

- **Cantidad fija-periodo variable.** Este consiste en esperar al que el inventario real descienda un nivel establecido para realizar la reposición de los mismos. Este sistema se ajusta al caso de repuestos o materiales de bajo consumo¹⁰⁰.

- **Periodo fijo - cantidad variable.** Este consiste pronosticar el consumo del producto en un periodo establecido y de acuerdo a esto se realiza la solicitud de compra. Este sistema se ajusta al caso de materias primas o materiales de alto consumo¹⁰¹.

⁹⁹ ÁNGEL, Juan. Gestión de stocks: modelos deterministas [en línea]. 2011 [consultado 6 febrero 2018]. Disponible en: https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Stocks_1.pdf. p. 1.

¹⁰⁰ Ibid., p. 1.

¹⁰¹ Ibid., p. 2.

2.6.3 Punto de reorden. Es un nivel de existencias calculado con antelación, que establece que la cantidad almacenada será consumida en el periodo que requiere su reabastecimiento¹⁰². Se puede obtener con una sencilla fórmula:

$$R=DTe+B$$

Donde:

R= Punto de reorden

D= demanda promedio en día

B= Inventario de seguridad

Te= Tiempo de entrega promediado en días¹⁰³

Además, de conocer con exactitud los siguientes términos: niveles de inventario o de material, con el que se cuenta habitualmente en los almacenes; nivel de existencia crítica, respecto al mínimo de productos que se debe tener en el almacén; existencia máxima que se debe de tener en el almacén; existencia mínima de productos necesarios que se debe tener en el almacén¹⁰⁴.

2.6.4 Punto de reabastecimiento. Para calcularlo se distinguen tres casos, dependiendo del tiempo L que tarda en llegar el pedido y la longitud de ciclo de inventario optima T*¹⁰⁵.

¹⁰² UNIVERSIDAD DE MURCIA. Sistema de inventarios [en línea]. 2015 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: https://webs.um.es/mpulido/miwiki/lib/exe/fetch.php?id=amio&cache=cache&media=wiki:inventarios_t7.pdf. p. 129.

¹⁰³ ANGULO, Raúl. Cómo aplicar el punto de reorden en tu empresa [en línea]. 2016 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <https://clickbalance.com/blog/contabilidad-y-administracion/como-aplicar-el-punto-de-reorden-en-tu-empresa/>. p. 2.

¹⁰⁴ Ibid., p. 2.

¹⁰⁵ UNIVERSIDAD DE MURCIA, Op. cit., p. 132.

- Si $L < T^*$, el punto de reabastecimiento es $R^* = LD$.

- Si $L > T^*$, la demanda durante el tiempo de entrega es mayor que q^* , lo que implica que el pedido debe hacerse en algún periodo anterior a aquel en cuya finalización se espera recibir el pedido. En concreto, si m es la parte entera de L/T^* , entonces $L' = L - mT^*$ es menor que T^* y el punto de reabastecimiento es:

$$R^* = L'D = (L - mT^*)D = LD - mq^*$$

- Si $L = T^*$, entonces se debe realizar el pedido cada vez que el inventario se agota, aunque éste llegaría al final del ciclo que se inicia¹⁰⁶.

¹⁰⁶ Ibid., p. 132.

3. DIAGNÓSTICO Y RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

La empresa cuenta con tres sitios de operación o canteras, siendo la principal cantera la denominada Loma Pelada, desde allí se dirigen todas las acciones del Departamento de Mantenimiento, y la información empleada en esta monografía es la obtenida en esta cantera. Esta cantera la operación normal es de tres turnos de ocho horas, seis días a la semana.

El objetivo que tiene planteado el Departamento de Mantenimiento de REX Ingeniería S.A., es el mantener los equipos en óptimas condiciones de operatividad, mediante las acciones técnicas y administrativas que se requieran, cumpliendo la legislación de medio ambiente y legal vigente. Para esto cuentan con recursos propios como los son personal técnico y administrativo, herramientas exclusivas para el área, contratistas, proveedores externos, al igual que procedimientos establecidos para la requisición de repuestos e insumos. En el Cuadro 2 se muestran los equipos que se encuentran en esta cantera.

3.2 BULDÓCER SOBRE ORUGAS

Se trata de un equipo cuya característica principal es que su desplazamiento se puede realizar por terrenos de difícil acceso, por lo cual cuenta con orugas para una mayor tracción sus funciones principales son la excavación y empuje de

tierra¹⁰⁷.

Cuadro 2. Listado de equipos de la cantera Loma Pelada

		Listado Equipos Cantera "Loma Pelada"		
Nº	EQUIPO	No. INT.	SERIE	MODELO
1	Bulldozer CAT D8N	B-01	5TJ02302	1994
2	Bulldozer CAT D5G	B-04	CAT00D5GHRKG02470	2006
3	Bulldozer CAT D5G	B-05	CAT00D5GHRKG01970	2005
4	Bulldozer CAT D5G	B-06	CAT00D5GPRKG00775	2005
5	Bulldozer CAT D3C	B-07	5GS00347	1998
6	Bulldozer KOMATSU D85E18	B-09	18-29311	1985
7	Cargador CAT 966C	C-02	42J4261	1976
8	Cargador CAT 980C	C-03	63X07051	1997
9	Cargador CAT 980C	C-08	63X05947	1985
10	Cargador CAT 980C	C-09	63X04026	1980
11	Cargador CAT 950H	C-10	CAT0950HAN1A01233	2007
12	Cargador CAT 950H	C-11	CAT0950HKN1A00156	2008
13	Cargador CAT 928F	C-14	2XL1009	1995
14	Carrotanque Cisterna	Q-01	NEV 214	1980
15	Excavadora KOBELCO SK200	R-01	YQ02180	1994
16	Excavadora CAT 320 BLN	R-02	3YZ00393	1999
17	Excavadora HITACHI EX550LC	R-06	17H9007152	1999
18	Excavadora KOBELCO SK210-8	R-08	YQ09U4149	2009
19	Excavadora CAT 330LME	R-09	5YM00094	1994
20	Excavadora CAT 320B	R-10	3MR00392	1996
21	Excavadora LIEBHERR R984C	R-12	922-11899	2004
22	Excavadora HITACHI EX120LC	R-14	1E6P053814	1997
23	Excavadora KOBELCO SK210-8	R-16	YQ09U4534	2010
24	Excavadora KOBELCO SK210-8	R-17	YQ09U4533	2010
25	Excavadora KOBELCO SK210-8	R-18	YQ09U4753	2012
26	Excavadora HITACHI EX300-3C	R-22	15M10358	1997
27	Excavadora CAT 323DL	R-24	LFL00559	2014
28	Excavadora KOBELCO SK210LC-8	R-27	YQ12-09353	2010
29	Excavadora HITACHI EX550LCE-5	R-28	17HP007284	1999
30	Excavadora KOMATSU PC 300LC-6	R-36	31608	1996
31	Excavadora HITACHI ZX350-3	R-40	FF01V7Q050407	2007
32	Excavadora HITACHI ZX350-3	R-41	FF01V7Q051726	2007
33	Trituradora No. 3	T-03	FRC INGENIERIA	2012
34	Trituradora No. 4	T-04	ORION	2015

Fuente: REX INGENIERÍA S.A. Listado de equipos cantera Loma Pelada.

¹⁰⁷ BRIDGES, Op. cit., p. 6.

Esta maquinaria utiliza el ripper para excavación y para el empuje de tierras cuentan con una hoja perpendicular en la parte de adelante; igualmente es utilizado para realizar otras tareas como ruptura de terrenos, empuje de materiales, nivelación de terrenos, excavación en línea recta, extendido de tierras por capas y compactación superficial, rellenos, formación de pilas o montones, sirve también como remolque de grandes cargas o para otras máquinas¹⁰⁸.

Figura 13. Buldócer



Fuente: Empresa REX INGENIERÍA S.A.¹⁰⁹.

Los buldócer en la actualidad cuentan con contra-rotación que es una característica que mejora la producción y permite al operador superar las cargas pesadas de esquina y reposicionar rápidamente la hoja sobre la marcha. Además, permite que la máquina dé vuelta sobre su propio eje para ahorrar espacio.

¹⁰⁸ FONSECA, José y LÓPEZ, Luz. Guía práctica de maquinaria adecuada para la construcción de proyectos viales. Trabajo de grado Especialista en Vías y Transporte. Medellín: Universidad de Medellín, 2011. p. 13.

¹⁰⁹ REX INGENIERÍA S.A. Reseña Fotográfica. Cundinamarca 2017.

También cuenta con el control incorporado de nivelación (IGC), este diseño con arquitectura abierta le permite emplear el sistema electrónico de control de nivelación que le dé mejores resultados¹¹⁰.

Los buldócer se maniobran de la misma manera y mantienen su velocidad prefijada así sea sobre terreno plano o en una pendiente de 2 a 1 para control total independientemente del terreno. Además y dentro del mercado actual también pueden ofrecer trenes de mando hidrostáticos en sus buldócer. Para hacer que el equipo sea más versátil pero su potencia se ve afectada lo cual se ve una mejor potencia con los equipos que cuentan con servo la cual es mejor en Virajes, contra-rotación, velocidades de avance¹¹¹.

3.2.1 Tren de mando hidrostático. Controles de tecnología avanzada accionan el tren de mando hidrostático y la hoja de seis vías, garantizando una respuesta previsible en todo momento y en cualquier condición. La gestión de potencia elimina las conjeturas de cualquier operación eficiente. Simplemente ajuste la velocidad de avance máxima que desea y el sistema mantiene la velocidad y el rendimiento óptimos del motor sin que se pare y sin necesidad de cambiar de marcha¹¹².

Las velocidades de avance son variables, de inmóvil a 8 km/h (5 millas/h), le permiten al operador elegir la velocidad ideal para el trabajo. También puede modificarse la gama de velocidades de avance para condiciones de terreno o

¹¹⁰ WORLDWIDE CONSTRUCTION AND FORESTRY DIVISION. Ficha técnica Jhon Deere 450J, 550J, 650J [en línea]. 2012 [consultado 16 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.moffatpipe.com/Equipment-Manuals/DZR%2002%20-%20JD650J/DZR%2002%20-%20650J%20-%20Spanish.PDF>. p. 2.

¹¹¹ Ibid., p. 3.

¹¹² Ibid., p. 3.

aplicaciones específicas, e incluso limitarse para prolongar la vida útil del tren de rodaje. Se han optimizado la relación de la hoja y el centro de gravedad, dando a estos buldócer el equilibrio necesario para ejecutar un excelente trabajo de nivelación o explanación. El sistema TMC ofrece flexibilidad y control máximos, permitiendo personalizar el funcionamiento de la máquina a gusto del operador¹¹³.

3.2.2 Seguridad en operación y confort del operador. El cinturón de seguridad retráctil, tapete antideslizante, asideros convenientes, palanca de arranque en punto muerto y freno de estacionamiento automático ayudan a mantener al operador fuera de peligro. El asiento tipo sillón con suspensión de lujo se ajusta en siete diferentes formas para proporcionar confort y apoyo durante todo el día. Los apoya brazos y apoya pies ajustables son estándar¹¹⁴.

Una sola palanca de control permite controlar con poco esfuerzo la dirección, el sentido de avance y la velocidad de propulsión. También cuenta con topes, por lo que no necesita el toque o la atención constante del operador, y utiliza un conmutador de velocidad de avance accionado con el pulgar. Las luces de conducción de halógeno de alta intensidad son estándar. O, puede optar por el conjunto de luces de 360 grados instalado en fábrica que produce una iluminación de calidad superior. El diseño con cabina más hacia el frente coloca al operador en posición para una marcha más estable y excelente visibilidad detrás, debajo y más allá de la hoja. Un monitor vigila las funciones vitales de la máquina y emite señales de advertencia visual o sonora¹¹⁵.

¹¹³ Ibid., p. 3.

¹¹⁴ Ibid., p. 4.

¹¹⁵ Ibid., p. 4.

3.3 SISTEMAS QUE COMPONEN UN BULDÓCER

Los principales sistemas en los que se divide un buldócer son: tren de potencia, sistema hidráulico, sistema eléctrico, chasis o bastidores, implementos (herramientas) y motor diésel los cuales a continuación se describen.

3.3.1 Tren potencia. Por lo general los equipos con máxima fuerza necesitan transmisiones y dentro de estos se encuentran los buldócer con potencias superiores a los 100 HP de empuje que puede ejercer¹¹⁶. Se destacan dos tipos que a continuación se describen.

- **Transmisión hidrostática.** La transmisión hidrostática es ideal para los trabajos de ciclos cortos en que varían las demandas entre el equipo y la barra de tiro. Un sistema hidrostático transmite la potencia por presión del aceite hidráulico en vez de transmitirla mecánicamente a través de los componentes del tren de potencia entre el volante y los mandos finales¹¹⁷. En la Figura 14 se aprecia el sistema de transmisión hidrostática.

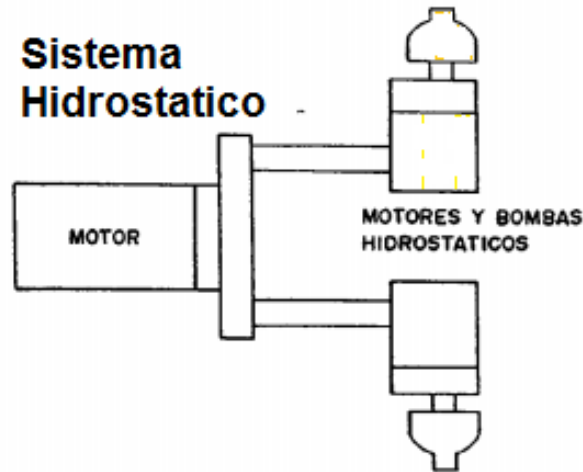
La potencia mecánica en potencia hidráulica se convierte a través de bombas de pistones de caudal variable, además, como cada cadena tiene su propia bomba, la transmisión hidrostática proporciona las siguientes ventajas: control de velocidad infinitamente variable, óptimas adecuación entre la tracción a la barra de tiro y la velocidad de desplazamiento, máximo aprovechamiento potencia (HP) de la potencia y mayor maniobrabilidad mediante virajes, relación entre fuerzas de

¹¹⁶ INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto. 2 ed. España: Gobierno de España, 2001. p. 76.

¹¹⁷ Ibid., p. 398.

tracción y potencias de a plena potencia y la contra-rotación de las cadenas¹¹⁸.

Figura 14. Sistema de transmisión hidrostática de un buldócer



Fuente: INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto¹¹⁹.

3.3.2 Transmisión hidrodinámica. Casi todos los tractores de cadenas van equipados con el motor donde un convertidor de par que proporciona multiplicación de la transmisión, además de otras características de adaptación automática a las cargas en condiciones de trabajo pesado¹²⁰. En la Figura 15 se aprecia la vista superior y lateral de la unidad de tren de potencia.

El convertidor y el tren de rodaje están acompañados de un impulsor conectado al volante del motor, una turbina conectada a un eje de salida y un estator que actúa como un acoplamiento no mecánico el cual transmite y multiplica el par del motor

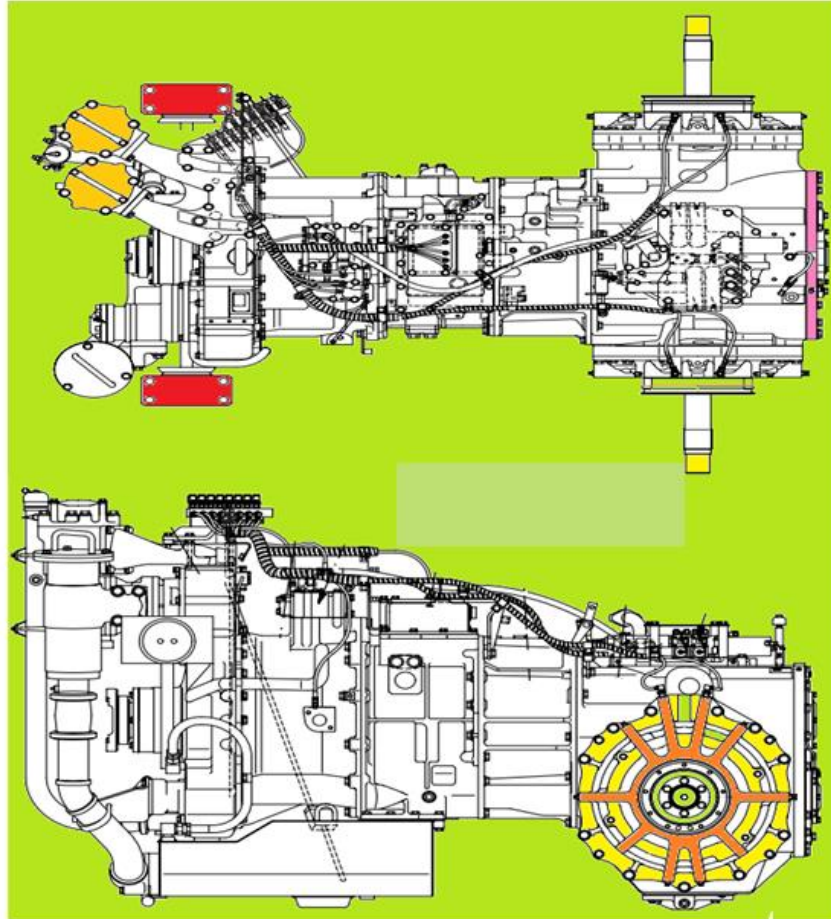
¹¹⁸ Ibid., p. 399.

¹¹⁹ INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto. 2 ed. España: Gobierno de España, 2001. p. 1-603.

¹²⁰ CATERPILLAR MOTOR. Tractor de cadenas D8T [en línea]. 2012 [consultado 22 febrero 2018]. Disponible en: <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20170420-47085-59951>. p. 5.

a los mandos finales¹²¹.

Figura 15. Vista superior y lateral de la unidad de tren de potencia hidrodinámica



Fuente: KOMATSU COLOMBIA. Manual de taller del bulldozer D375A-5 whms Komatsu - Tractor de cadenas¹²².

¹²¹ UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE. El convertidor par [en línea]. 2013 [consultado 22 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.ceduc.cl/aula/cqbo/materiales/ME/ME-470/A/material%20para%20cuestionario.pdf>. p. 1.

¹²² KOMATSU COLOMBIA. Manual de taller del bulldozer D375A-5 WHMS Komatsu - Tractor de cadenas [en línea]. 2015 [citado 18 enero 2018]. Disponible en: <https://www.maquinariaspesadas.org/blog/2052-manual-taller-bulldozer-d375a5-whms-komatsu-tractor-cadenas>. p. 104.

El fluido del convertidor transmite la potencia, y el estator al dirigir a su vez el flujo de aceite hacia los álabes del impulsor, multiplica el par. El convertidor también sirve de amortiguador de los componentes del tren motriz cuando se efectúan cambios bajo carga. En todas las máquinas, el enfriador de aceite controla la temperatura del aceite del convertidor de par, obteniéndose así mayor duración en aplicaciones duras¹²³.

El divisor de par (que suelen montar los tractores medianos y grandes) funciona con el convertidor de par, obteniendo el máximo rendimiento, rápida respuesta de la máquina y evitando que el motor se cale al mover materiales duros. El divisor de par divide la potencia del motor desde el volante, para que la mayor parte (70%) vaya a través del convertidor y el resto (30%) directamente a la transmisión¹²⁴.

3.3.3 Sistema hidráulico. Este sistema es el que sirve para el accionamiento de los equipos de trabajo y consta de los siguientes elementos principales: bomba, depósito de fluido hidráulico, válvula o distribuidor, cilindros, válvulas de seguridad, filtros, tuberías y mangueras¹²⁵. En la Figura 16 se aprecia este tipo de circuito.

La bomba, que es el elemento principal del sistema, se acciona por el volante del motor. Normalmente se utilizan dos bombas en tándem, mandándose el caudal de

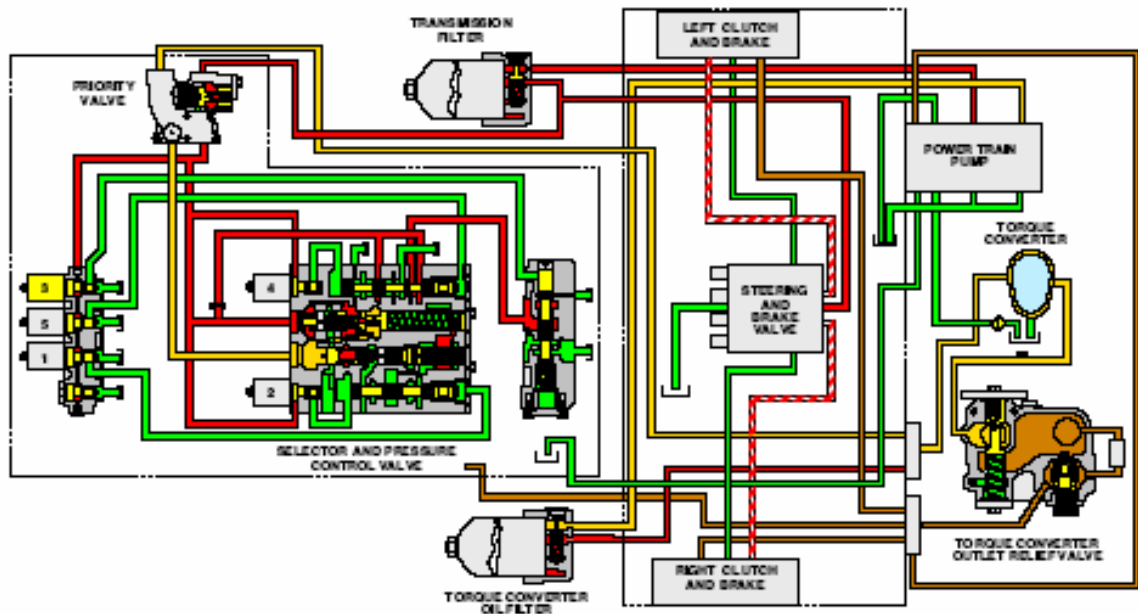
¹²³ BUSTAMANTE, M. Convertidores de par y divisores de par [en línea]. 2014 [consultado 22 enero 2018]. Disponible en: http://www.academia.edu/33132180/Lecci%C3%B3n_2_Convertidores_de_Par_y_Divisores_de_Par. p. 22.

¹²⁴ ALIAGA, Julio. Diferencia entre convertidor y divisor de par [en línea]. 2013 [consultado 23 enero 2018]. Disponible en: <https://info-maquinarias.blogspot.com.co/2013/08/diferencia-entre-convertidor-y-divisor.html>. p. 3.

¹²⁵ MAQUINARIA PESADA. Curso: máquinas de perforación en minas subterránea – aplicaciones y características [en línea]. 2016 [consultado 6 febrero de 2018]. Disponible en: <https://www.maquinariaspesadas.org/blog/6451-curso-maquinas-perforacion-minas-subterranea-aplicaciones-caracteristicas>. p. 402.

cada una de ellas para efectuar distintos movimientos y el flujo total de ambas para otros. Los cilindros hidráulicos empleados en la totalidad hay de doble efecto y son utilizados para la hoja de empuje es frecuente que lleven una válvula de descenso rápido con objeto de realizar el movimiento de dicha hoja con más velocidad¹²⁶.

Figura 16. Sistema hidráulico de transmisión



Fuente: CATERPILLAR MOTOR. Manual del instructor¹²⁷.

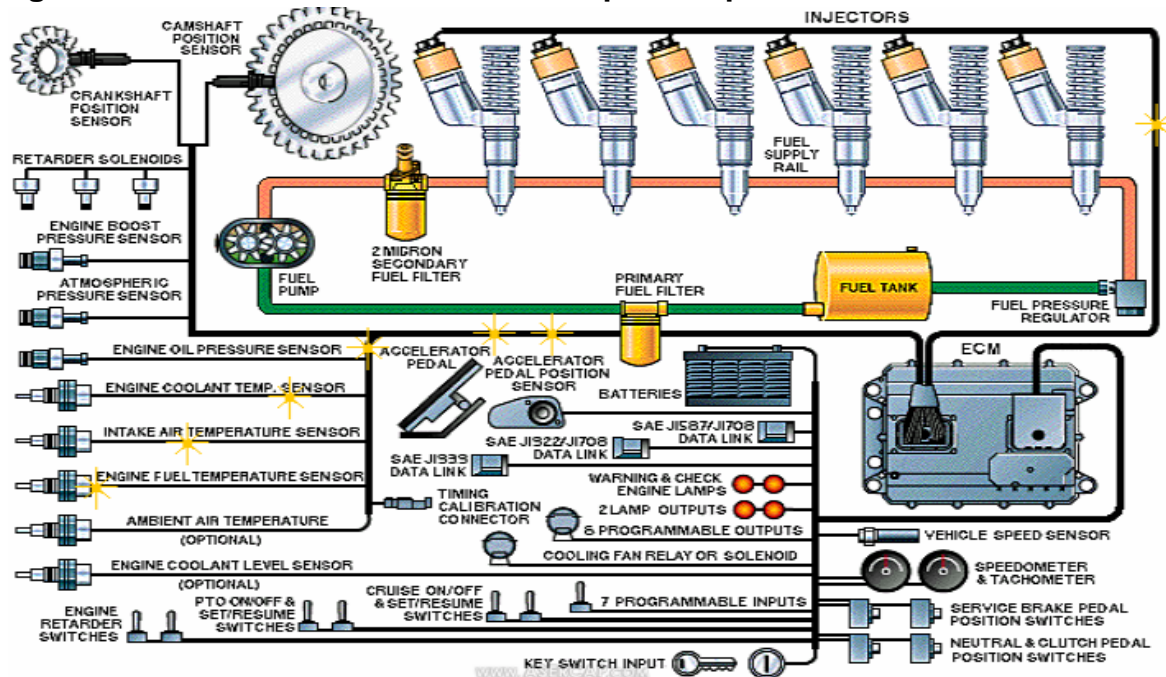
3.3.4 Sistema eléctrico. Esta máquina utiliza cuatro ECMV (válvula de modulación controlada electrónicamente), la primera controla el motor Diésel, la segunda controla el sistema hidráulico, la tercera controla los sistemas de seguridad del equipo y la cuarta controla todo el sistema eléctrico del equipo.

¹²⁶ ESCUELA TÉCNICA MILITAR DE AVIACIÓN. Transmisión hidráulica [en línea]. 2010 [consultado 10 febrero 2018]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/358maquinas/transmision-hidraulica>. p.

¹²⁷ CATERPILLAR MOTOR. Manual del instructor [en línea]. 1984 [consultado 10 febrero 2018]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/barbi1984/60053027-manualdelinstructortrendefuerzatractores>. p. 13.

Cada una de ellas en caso de presentar daño envía un código de error, el cual dependiendo de su nivel *alto, medio, bajo* y si la falla puede afectar la integridad del equipo este se apagará y no enciende hasta no ser corregido¹²⁸. En la Figura 17 se aprecia el sistema electrónico de maquinaria pesada.

Figura 17. Sistema electrónico de maquinaria pesada



Fuente: MAQUINARIA PESADA. Curso: máquinas de perforación en minas subterránea – aplicaciones y características.

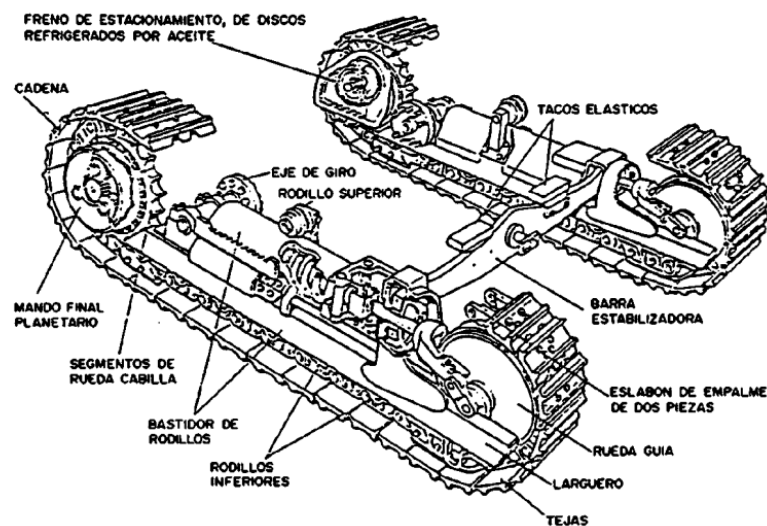
La ECMV es controlada con la corriente de comando enviada desde el controlador hacia el solenoide proporcional y la señal de salida del interruptor de llenado. La relación entre la corriente de comando proporcional para la ECMV, la presión de entrada del embrague, y la señal de salida del interruptor de llenado. Cada ECMV tiene instalado un solenoide proporcional lo que genera un empuje de acuerdo con la corriente de comando del controlador. El empuje generado por el solenoide

¹²⁸ MAQUINARIA PESADA, Op. cit., p. 403.

proporcional actúa sobre el carrete de una válvula de control de presión y genera una presión de aceite. Por lo tanto, controlando la cantidad de corriente de comando, el empuje cambia y se acciona la válvula de control de presión y se controla el flujo y la presión del aceite¹²⁹.

3.3.5 Chasis bastidor. Es el soporte sobre el que van montados todos los elementos de la máquina, al mismo tiempo que los protege. Está constituido de acero de alta resistencia, especialmente diseñado para los enormes esfuerzos (torsiones e impactos) que ha de soportar al empujar y escarificar¹³⁰. En la Figura 18 se aprecia este chasis.

Figura 18. Chasis bastidor



Fuente: PAREDES, Diego. Manual Bulldozers: tipos estructura mecanismos operaciones sistemas aplicaciones selección tendencias¹³¹.

¹²⁹ KOMATSU COLOMBIA, Op. cit., p. 110.

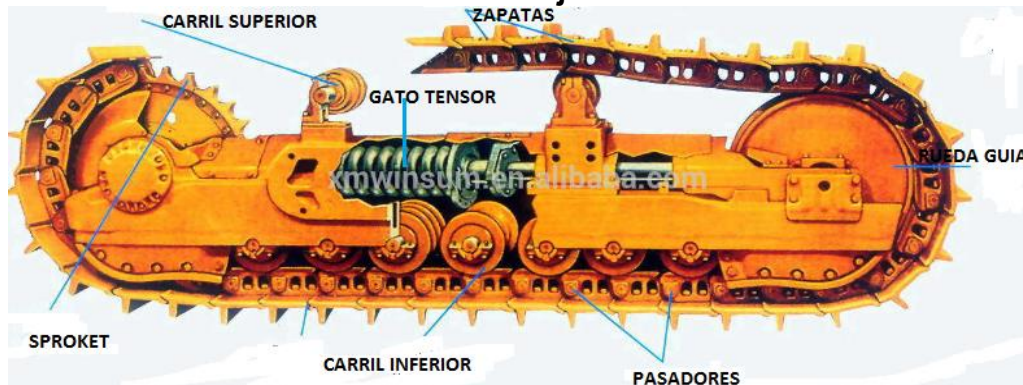
¹³⁰ WORLDWIDE CONSTRUCTION AND FORESTRY DIVISION, Op. cit., p. 5.

¹³¹ PAREDES, Diego. Manual Bulldozers: tipos estructura mecanismos operaciones sistemas aplicaciones selección tendencias [en línea]. 2016 [consultado 2 febrero 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/334012956/Manual-Bulldozers-Tipos-Estructura-Mecanismos-Operaciones-Sistemas-Aplicaciones-Seleccion-Tendencias-1>. p. 403.

La estructura para este tipo de equipos son lo suficientemente fuertes para resistir los golpes y sobretodo la carga a la cual esta expuestos todo el tiempo es por eso que el bastidor de la oruga, la parte delantera se coloca en posición invertida centrada alrededor del eje pivote en la parte trasera adicionalmente, el compensador se gira centrando alrededor del pasador central y conectado con los bastidores de oruga izquierdo y derecho empleando el pasador lateral¹³².

El tren de rodaje estándar es sellado, lubricado y construido para durar. La cadena de vida útil extendida opcional con SC-2 proporciona hasta el doble de duración de servicio de los bujes¹³³ (ver la Figura 19).

Figura 19. Chasis bastidor tren de rodaje



Fuente: MAQUINARIA PESADA. Curso: máquinas de perforación en minas subterránea – aplicaciones y características.

Para reducir los costos operacionales en condiciones extremadamente abrasivas, elija el sistema de tren de rodaje de vida útil máxima, y obtenga todas las ventajas

¹³² Ibid., p. 407.

¹³³ JOHN DEERE. J Bulldozer J:450, 550, 650 [en línea]. 2009 [consultado 19 febrero 2018]. Disponible en: https://www.deere.com/common/docs/products/equipment/crawler_dozers/450j/dka450J.pdf. p. 9.

de SC-2, además de rodillos de oruga, rodillos superiores, ruedas tensoras y sellos más grandes¹³⁴. Los rodillos de la oruga adoptan un montaje del tipo K de bogie y de esa forma aumenta el área de contacto real con el terreno entre una superficie de suelo y una zapata de oruga sobre un perfil de terreno desigual aumentando la tracción en la barra de tiro. Debido a que hay una almohadilla de goma montada en el bogie tipo K, la sacudida procedente de una superficie de terreno es menor¹³⁵.

3.3.6 Implementos o herramientas. Dentro otros de los elementos que integran el buldócer se encuentran los que a continuación se describen.

- **Hoja del equipo o pala.** Es una hoja metálica instalada en la parte delantera del tractor, mediante la cual se aplica el esfuerzo de empuje sobre los materiales que se desean remover y transportar¹³⁶ (ver la Figura 20).

Figura 20. Hoja o pala



Fuente: Empresa REX INGENIERÍA S.A.¹³⁷

¹³⁴ Ibid., p. 10.

¹³⁵ YEPES, Víctor. Trenes de rodaje de orugas [en línea]. 2016 [consultado 19 febrero 2018]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/05/04/trenes-de-rodaje-de-orugas/>. p. 3.

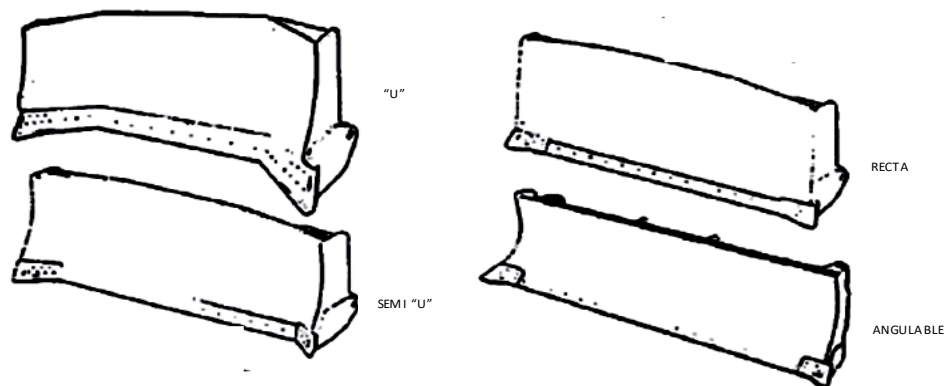
¹³⁶ PAREDES, Op. cit., p. 402.

¹³⁷ REX INGENIERÍA S.A. Reseña fotográfica. Cundinamarca, 2017.

Las hojas están sustentadas por dos brazos de empuje A G que se articulan exteriormente a las orugas, sobre el bastidor de cadena, mediante unos cojinetes de muñón, y están suspendidas de dos cilindros hidráulicos, generalmente fijados a la coraza delantera del bastidor de la máquina. El accionamiento simultáneo de estos cilindros permite bajar o subir a la hoja con relación al bastidor¹³⁸.

La fijación de las hojas a los brazos de empuje se hace, además por las rótulas, por medio de otros dos cilindros hidráulicos que permiten variar la inclinación transversal del equipo de trabajo. Además de los elementos citados, se suele disponer de unas barras diagonales, pero existe un nuevo diseño con tirante estabilizador transversal que posibilita la fijación lateral de la hoja, proporcionando un mayor acercamiento de la hoja al tractor que permite mejorar la visibilidad, reducir el cabeceo de la hoja y aumentar la efectividad de los cilindros de accionamiento debido a su mayor verticalidad¹³⁹. Existen varios tipos de palas las cuales se emplean de acuerdo al tipo de material que se esté trabajando, a la capacidad requerida, como se aprecia en la Figura 21.

Figura 21. Tipos de palas



Fuente: PAREDES, Diego. Manual Bulldozers: tipos estructura mecanismos operaciones sistemas aplicaciones selección tendencias.

¹³⁸ Ibid., p. 404.

¹³⁹ Ibid., p. 402.

- **Riper o escarificador.** Está formado por un bastidor, o estructura porta vástagos, situado en la parte posterior del tractor, en el cual se fijan uno o varios vástagos o rejonas, Mediante cilindros hidráulicos, los brazos se pueden descender clavándolos en el suelo y al ser arrastrados por el tractor producir profundos surcos, fragmentando y esponjando los materiales rocosos En lo que se refiere al diseño de los como el número de fabricantes¹⁴⁰. En la Figura 22 se observa el riper.

Figura 22. Riper



Fuente: Empresa REX INGENIERÍA S.A.¹⁴¹

3.3.7 Motor diésel. La potencia del motor es enviada desde el volante a través del divisor de par que consta de un conjunto de engranajes planetarios el cual a través de ese eje de mando conecta a la transmisión (ver la Figura 23).

¹⁴⁰ Ibid., p. 404.

¹⁴¹ REX INGENIERÍA S.A. Reseña fotográfica. Cundinamarca, 2017.

Figura 23. Motor diésel



Fuente: Empresa REX INGENIERÍA S.A.¹⁴²

La transmisión envía el flujo de potencia a través de un eje de salida que está conectado a la caja de transferencia para luego transmitir el movimiento hacia los embragues de dirección y frenos los cuales están conectados al mando final de cada rueda motriz. Los motores son, generalmente, diésel turboalimentados. Están montados en la parte delantera, consiguiéndose así una mayor componente vertical sobre la hoja de empuje y un mayor equilibrio al disponer del ripper o contrapesos, colocados a tal fin, en la parte posterior¹⁴³.

¹⁴² REX INGENIERÍA S.A. Reseña fotográfica. Cundinamarca, 2017.

¹⁴³ UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. La transmisión [en línea]. 2013 [consultado 22 febrero 2018]. Disponible en: https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2013/449/42166/1/Documento.pdf. p. 1.

3.4 AUDITORÍA AL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA REX INGENIERÍA S.A.

El objetivo de realizar una auditoría al Departamento de Mantenimiento de REX Ingeniería S.A. es establecer su estado actual y poder identificar los puntos susceptibles de mejora, como paso inicial para proponer un plan de gestión de mantenimiento preventivo - predictivo que permita prever y detectar a tiempo fallas en los equipos. Esta auditoría se realizó con la participación del director de equipos y coordinador de mantenimiento que son las personas que encabezan el departamento y tienen el manejo del mismo.

La auditoría está basada en el libro *Auditoría de Mantenimiento e Indicadores de Gestión* de Francisco González¹⁴⁴, donde se analizan 12 bloques o temas mediante una serie de preguntas con las que se diagnostica la situación en un departamento de mantenimiento, estos son: organización general; métodos y sistemas de trabajo; control técnico de instalaciones y equipos; gestión de carga de trabajo; compra y registro de repuestos y equipos; sistemas informáticos; organización del taller de mantenimiento; herramientas y medios de prueba; documentación técnica; personal y formación; contratación; y control de la actividad.

Cada pregunta tiene una valoración entre 0, 10, 20, 30 y 40 puntos, dependiendo de la trascendencia que la misma tiene sobre el bloque analizado. El cuestionario solo admite una respuesta, y por tanto una puntuación por cada una de las preguntas, como se observa en el Cuadro 3 sobre la organización general.

¹⁴⁴ GONZÁLEZ, Francisco. Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión. Madrid: Fundación Confemetal, 2004. p. 35.

3.5 RESULTADOS DE LA AUDITORÍA

Una vez realizada la totalidad de las preguntas de cada tema, se procede a realizar una tabulación de cada una de manera independiente ya que la cantidad de puntos posibles en cada tema varía, se estableció como parámetro de aprobación los valores mayores o iguales al 50%, en cambio los valores entre 0 y 49% son los susceptibles de mejora (ver el Cuadro 3). En el anexo A se puede observar los resultados individuales de la auditoría realizada por tema.

Cuadro 3. Resultados auditoría al Departamento de Mantenimiento REX ingeniería S.A.

ÍTEM	PUNTOS POSIBLES	PUNTOS LOGRADOS	RESULTADO %
Organización general	280	145	52%
Métodos y sistemas de trabajo	270	125	46%
Control técnico de instalaciones	300	200	67%
Gestión de carga de trabajo	300	150	50%
Compra y registro de repuestos y equipos	240	160	67%
Sistemas informáticos	250	55	22%
Organización del taller de mantenimiento	160	120	75%
Herramientas y medios de prueba	170	95	56%
Documentación técnica	190	135	71%
Personal y formación	370	280	76%
Contratación	280	175	63%
Control de la actividad	280	125	45%

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para un mejor dimensionamiento se puede ver en la siguiente figura la información tabulada, donde la línea verde establece los valores máximos por tema, en amarillo el límite de aprobación el cual es del 50% y en rojo los valores obtenidos después de la auditoría.

Figura 24. Resultados de la auditoría al Departamento de Mantenimiento de REX Ingeniería S.A.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se puede observar que los ítems como Organización del Taller de Mantenimiento, Documentación Técnica, Personal y Formación, Control Técnico de instalaciones, obtuvieron resultados sobresalientes indicando que la gestión de mantenimiento en REX Ingeniería S.A. se basa en estos 3 aspectos y que en algún momento se

podría llegar a mejorar. De igual manera; Organización General, Herramientas y medios de Prueba; aprueban la auditoría sin embargo no se deben dejar de lado para mejorar la gestión del departamento de Mantenimiento.

Por otro lado ítems como Métodos y sistemas de trabajo, Gestión de Carga de Trabajo, Sistemas Informáticos, Control de la Actividad; presentan una puntuación por debajo del promedio denotando temas críticos dentro del departamento, estos tocan aspectos como: planificación, ordenes de trabajo, métodos y procedimientos, clasificación software especializado de mantenimiento, plan de mantenimiento preventivo, informes, indicadores entre otros. Estos aspectos se trabajan en este proyecto buscando mejorar el desempeño del departamento de mantenimiento de REX Ingeniería S.A.

3.6 PROCEDIMIENTO ACTUAL DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA REX INGENIERÍA S.A.

3.6.1 Mantenimiento correctivo. Se realiza cuando el equipo se avería, con el fin de devolverlo a sus condiciones normales de trabajo se debe hacer cambio de repuestos, teniendo en cuenta los parámetros del Cuadro 4.

3.6.2 Mantenimiento preventivo. En este se lleva una trazabilidad del cambio de aceites; tanto de motores como hidráulico; al igual que al sistema de filtración, esto se realiza a determinadas horas de trabajo basados en las recomendaciones de los fabricantes, estas horas se toman del horómetro con el que cuenta cada equipo, el tiempo entre cada equipo varía según su uso por lo que este control se lleva estrictamente, junto a este se realizan de labores de engrase, ajustes, limpieza (ver el Cuadro 5).

Cuadro 4. Parámetros de los mantenimientos correctivos

MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS			
N	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	REGISTRO
1	Cuando se detecta una falla en una maquinaria o equipo. Quien detecte la falla informa inmediatamente al coordinador de mantenimientos / encargado producción.	Operador del equipo Supervisor taller, Técnicos I , II III	RX.PA04.02.01 Informe diario de control pre operacional y operacional
2	Se realiza un diagnóstico preliminar de acuerdo a las fallas que presente la maquinaria o equipo. Se determina qué tipo de reparación requiere la máquina o equipo, SERVICIO INTERNO o EXTERNO	Técnico Mecánico / Técnicos Externo	RX.PT04.10 orden de trabajo
3	SERVICIO INTERNO: Se programa la reparación con el personal interno, se adquieren los repuestos o insumos necesarios para realizar el servicio. Se vincula el PROCESO DE COMPRAS RX.PT01 de acuerdo a las necesidades	Coordinador de equipos y mantenimientos/ Director producción	RX.PT01.08 Orden de Compra RX.PT04.10 Orden de trabajo
4	SERVICIO EXTERNO: Se busca al proveedor / subcontratista que suministre el servicio y/o repuestos necesarios para la reparación a ejecutar en el equipo Se vincula el PROCESO DE COMPRAS RX.PT01 de acuerdo a las necesidades, tanto para elementos como para servicios	Coordinador de equipos y mantenimientos	RX.PT01.08 Orden de Compra RX.PT01.14 Orden de Servicio RX.PT04.10 Orden de trabajo
5	Se realiza la reparación al equipo, sea realizado mediante servicio interno o externo, se registra toda la información de la reparación ejecutada, los elementos requeridos y el control de seguridad y aseo.	Supervisor taller, Técnicos I , II III – Técnico Externo	RX.PT04.10 Orden de trabajo RX.PT01.14 Orden de Servicio
6	Cuando un equipo/máquina sufre un daño mayor se debe realizar informe una vez se determine la falla.	Coordinador de equipos y mantenimientos	RX.PT01.15 Informe de equipos
7	Se archiva los soportes de los mantenimientos - informes en la hoja de vida de cada equipo. Eventualmente cuando el servicio es externo quedan más documentos y la facturación del servicio.	Coordinador de equipos y mantenimientos	RX.PA04.02.01 Informe diario de control pre operacional y operacional RX.PT04.03 hoja de vida y control de producción de equipos
	Se registra la información del mantenimiento realizado		
8	Actualización del horómetro real del MP en el Programa mantenimiento de maquinaria"	Coordinador de equipos y mantenimientos	RX.PT04.09 Programa Mantenimiento Maquinaria

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro 5. Parámetros de los mantenimientos preventivos

MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS			
N	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	REGISTRO
1	Los últimos días de cada mes se actualiza el "Programa mantenimiento de maquinaria" de los ejecutados en el mes y se seleccionan los que posiblemente entren dentro de la programación de MP para el siguiente mes.	Coordinador de equipos y mantenimientos	RX.PT04.09 Programa Mantenimiento Maquinaria
2	Todos los lunes se realiza programación de mantenimientos semanales de acuerdo a horómetros "maquinaria / equipos" los que se encuentren en obra/ canteras deben hacer llegar horómetros vía correo al área mantenimiento para calcular de acuerdo a horas de trabajo la fecha aproximada a ejecutar.	Coordinador de equipos y mantenimientos	RX.PT04.13 Programación semanal de mantenimientos
3	Una vez se establezca si está dentro de las 50 horas a culminar horómetro se revisa tabla de trazabilidad mantenimientos para establecer MP	Coordinador de equipos y mantenimientos	RX.PT04.14 Registro de trazabilidad de mantenimientos
4	Una vez se establezca la programación semanal se hace socialización para la adquisición de insumos de acuerdo al MP. Se vincula el PROCESO DE COMPRAS RX.PT01 de acuerdo a las necesidades	Coordinador de equipos y mantenimientos, director obra , ingenieros residentes obras	RX.PT01.08 Orden de Compra
5	Realización del MP	Lubricador / técnico obra	RX.PT04.12 Formato de reporte de Mantenimiento Preventivo
6	Actualización del horómetro real del MP en el Programa mantenimiento de maquinaria	Coordinador de equipos y mantenimientos	RX.PT04.09 Programa Mantenimiento Maquinaria

Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.6.3 Inspecciones generales. Periódicamente todos los equipos de la empresa se ven sometidos a dos tipos de inspecciones generales, las cuales se realizan independientemente del sitio en que se encuentren ubicadas las máquinas; a continuación se describe dichas inspecciones (ver el Cuadro 6). La técnica que se realiza anualmente consiste en una revisión general de cada equipo de manera minuciosa con el fin de detectar probables averías o defectos que se encuentran ocultos, o que se habían detectado con anterioridad pero no representaban un impacto severo sobre el equipo por lo cual no se habían corregido.

Cuadro 6. Cronograma de inspecciones generales

EQUIPO	MES												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Excavadora	■												
Retroexcavadora		■											
Bulldozer			■										
Cargador				■									
Paladraga					■								
Minicargador						■							
Trituradora							■						
Plantas eléctricas								■					
Volquetas									■				
Carrocisterna										■			
Compresores											■		
Motosoldadores												■	
Zarandas móviles													■

Fuente: REX INGENIERÍA S.A. Cronograma de Inspecciones generales.

Las inspecciones de seguridad, se realizan trimestralmente y consiste en la inspección minuciosa de cada uno de los elementos de seguridad con los que cuenta cada equipo, como por ejemplo estado y funcionamiento de guardas de seguridad, del cinturón de seguridad, frenos de parqueo, retrovisores, estado de panorámicos, documentación, entre otros. En marcado en mantener y garantizar la seguridad de los trabadores y cumplir la normativa vigente de movilidad y seguridad vial.

En el Cuadro 7 se observa el cronograma anual de inspecciones de seguridad.

Además, la inspección técnica de equipos y maquinaria se pueden observar en el Cuadro 8.

Cuadro 7. Cronograma anual de las inspecciones de seguridad

EQUIPO	MES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Bulldozer												
Cargador												
Carrocisterna												
Compresor												
Excavadora												
Motosoldador												
Trituradora												
Volqueta												
Zaranda móvil												

Fuente: REX INGENIERÍA S.A. Cronograma anual de inspecciones de seguridad.

Cuadro 8. Inspección técnica de equipos y maquinaria

INSPECCIÓN TÉCNICA DE EQUIPOS Y MAQUINARIA			
N	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	REGISTRO
1	Programación anual de inspecciones técnica para todos los equipos y maquinaria operativa en el proyecto	Coordinador de equipos y mantenimientos/ Ingeniero Sissoma	Cronograma de inspecciones de seguridad
2	Realización de la inspección técnica a cada equipo y maquinaria de acuerdo a la programación mensual.	Coordinador de equipos y mantenimientos/ Profesional y/o Supervisor sissoma	RX.PT04.07 Lista de chequeo del equipo RX.PT04.08 Lista de chequeo de volqueta
3	Definir el plan de acción para ser incluido en la programación de los mantenimientos preventivos o correctivos para cada equipo	Coordinador de equipos y mantenimientos/ Profesional y/o Supervisor SISOMA / Residente de obra	Acta de reunión
4	Ejecutar arreglo falla en equipo por parte área mantenimiento	Técnicos I ,II,III Operador equipo	Correo electrónico
5	Seguimiento y cierre inspección una vez se corrijan las fallas encontrada se archiva en hoja de vida equipos o en carpeta de inspecciones equipos.	Coordinador de equipos y mantenimientos/ Ingeniero Sissoma	RX.PA04.03.01 Inspección de seguridad para maquinaria y vehículos

Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.7 HISTÓRICO DE FALLAS

Para la recolección de esta información se emplearon las hojas de vida de cada buldócer, estas hojas de vida están compuesta por una ficha técnica, la cual

presenta la información general del equipo como número interno, marca y modelo. Seguidamente, se encuentra información sobre las reparaciones correctivas que se ha realizado, en algunos casos se encontraron facturas de servicios externos, información que se tuvo en cuenta desde el mes de enero de 2016 hasta el mes de octubre de 2017. En el Cuadro 9 se observan los modos de fallas más comunes en los buldócer de la cantera Loma Pelada.

Cuadro 9. Modos de fallas más comunes en los buldócer de la cantera Loma Pelada

MODOS DE FALLA MÁS COMUNES EN BULDÓCER CANTERA "LOMA PELADA"		
ITEM	MODO DE FALLA	FRECUENCIA
1	Saturación de filtros combustible antes de mantenimiento	68
2	Daño en sensores traslación sistema eléctrico	66
3	Daño en farolas	52
4	Daño de o ´ring en mangueras y acoples	50
5	Instalación de tapa soporte carriles " Perdida / Ruptura"	44
6	Saturación filtros aire antes de mantenimiento	33
7	Empaquetadura cilindros tensores dañado	24
8	Ruptura de mangueras / Adicionar nivel hidráulico	21
9	Daño en alternador	16
10	Ruptura de tornillos de sproket	15
11	Cambio lineas inyección	14
12	Daño en bomba de succionar sistema de inyección	13
13	Daño en Turbo	12
14	Cambio empaquetadura cilindros de levante	12
15	Daño en arranque	12
16	Daño en carriles inferiores	11
17	Ruptura tornillos de bastidor principal	10
18	Daño bombas de levante " Equipo pala"	9
19	Daño rueda tensora	8
20	Daño en mando final	4
TOTAL		494

Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.8 INVENTARIOS AL MOMENTO DEL ESTUDIO

En general cuando se realiza cualquier tipo de mantenimiento bien sea correctivo o preventivo, se realiza un análisis de todos los materiales y repuestos que se requieren, se realiza una comparación con los disponible en almacén y se realiza el respectivo proceso de compras, lo cual implica que el stock que se puede generar es mínimo, debido únicamente a la diferencia entre lo requerido y la presentación disponibles del material, por ejemplo, si se requieren ocho galones de aceite para motor, pero la presentación disponible es de cinco galones se deben comprar 10 galones quedando un stock residual de dos galones.

Esta directriz se debe en gran medida a que actualmente en la empresa casi no se encuentran máquinas exactamente iguales, o de la misma referencia lo que ocasiona que sea inviable desde el punto vista económico tener repuestos para cada una de las máquinas, más aun teniendo en cuenta la cantidad de equipos que posee REX Ingeniería S.A.

Lo anterior refleja que el almacén de mantenimiento maneja un nivel de inventario casi nulo, en cuanto a repuestos y materiales se refiere, el único material que se maneja en inventario son los aceites para motor y los aceites hidráulicos, grasa, valvulina los cuales, además de los mantenimientos que se realizan, se genera un consumo adicional debido a que en ocasiones se presentan disminución de los niveles por pequeñas fugas que requieren que sean completados en el momento que se es detectado la disminución del nivel mínimo.

En el cuadro 10 podemos observar el inventario de repuestos que actualmente se maneja en la cantera Loma Pelada.

Cuadro 10. Stock Actual de repuestos en Almacén cantera Loma Pelada

ITEM	DESCRIPCION	CANT. MINIMA	CANT. MAXIMA	UNIDAD
1	Aceite para motor MOBIL DELVAC MX 15W40	10	30	Gal
2	Aceite Hidráulico MOBIL NUTO 68	5	10	Gal
3	Valvulina MOBIL 80W90	5	10	Gal
4	Valvulina MOBIL 90W140	5	10	Gal

Fuente: Elaboración propia, 2018.

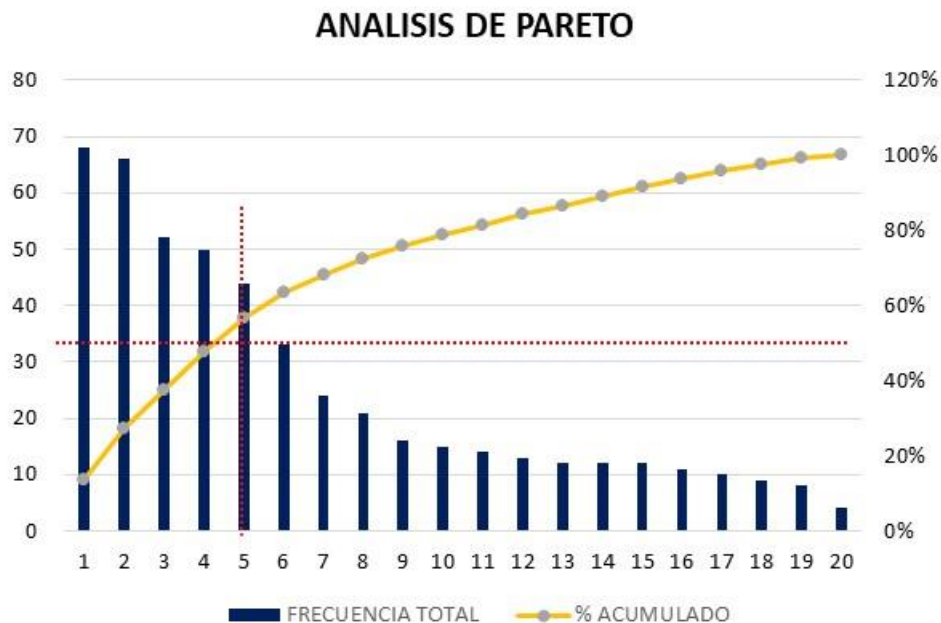
Actualmente, se encuentran algunos consumibles es stock como trapos, soldadura, aserrín, tela oleofílica, entre otros, que son de un costo muy bajo y que se tienen para casos de contingencia. Los valores han sido adoptados de acuerdo a la experiencia de los técnicos.

4. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1 ANÁLISIS DE FALLAS

Tomando como base el histórico de modos de fallas del Cuadro 9 se procede a establecer los modos de fallas más recurrentes mediante el método de Análisis de Pareto, el cual permite establecer cuáles son los más críticos en función de su frecuencia, posteriormente realizaremos un análisis de causa raíz para establecer su origen y poder proponer una solución que permita mitigar estos modos de fallas.

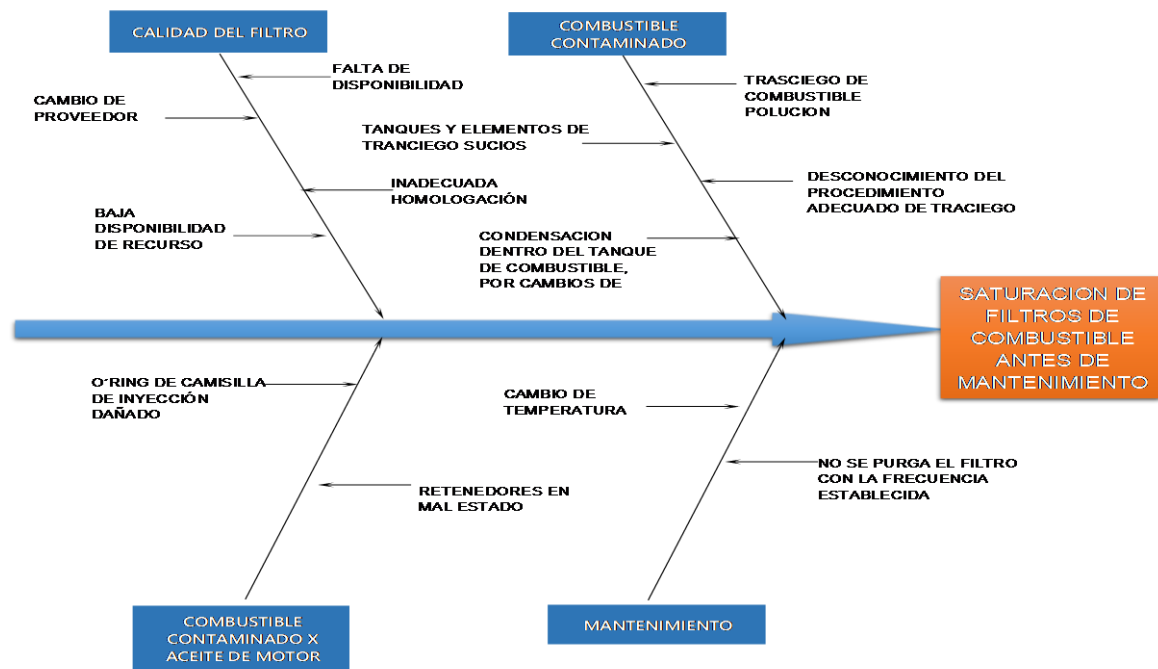
Gráfica 1. Análisis de Pareto Modos de Falla Buldócer Loma Pelada



Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la anterior gráfica se puede evidenciar que las fallas más recurrentes y que generan mayor impacto son las 10 primeras causas representando un 80% de las fallas esto teniendo en cuenta la premisa de pocos vitales y muchos triviales de 80/20, sin embargo detallando un poco más la información nos damos cuenta que dentro de estas 10, las que presentan mayor relevancia son las 4 primeras debido a que entre ellas representan el 50% de las fallas y las seis últimas sólo representan un 29% , por lo que para el análisis se realizará en base a estas fallas. Estas fallas son: saturación de filtros combustible antes de mantenimiento, daño en sensores traslación sistema eléctrico, daño en farolas y daño de origen en mangueras y acoples.

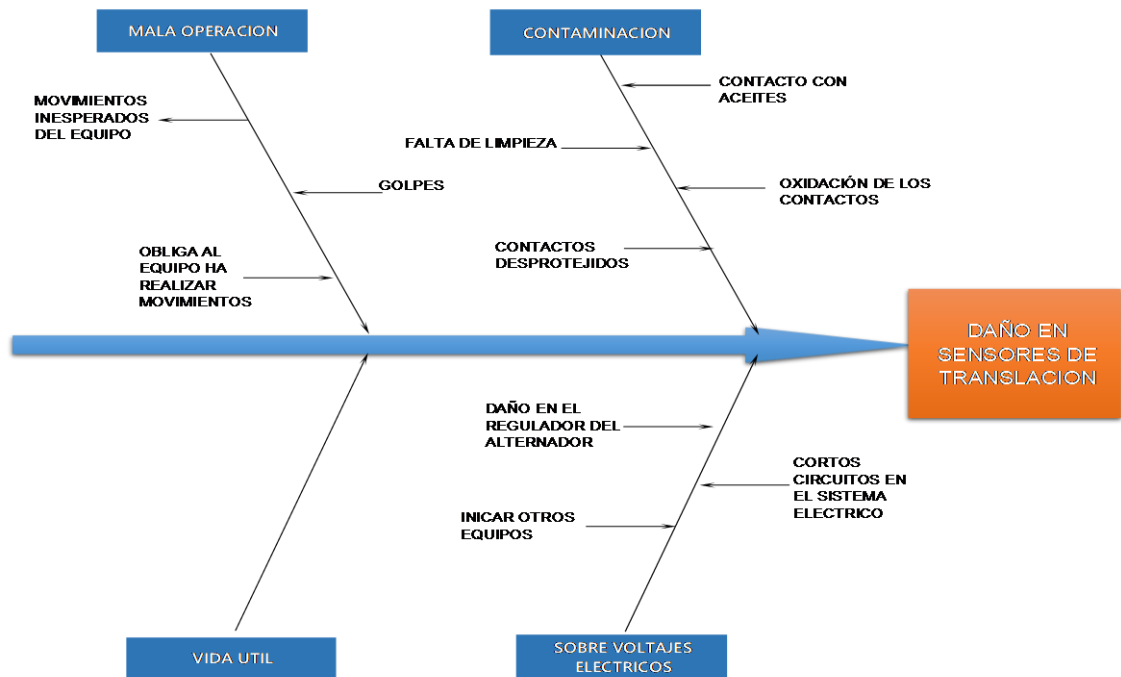
Figura 25. Espina de pescado: saturación filtros de combustible antes mantenimiento



Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la figura anterior se establece que la principal causa para la saturación de los filtros de combustible es la contaminación de combustible, debido en gran medida a que no se tiene un sitio único establecido para el tanqueo de los equipos, por lo que se hace necesario realizar varios trasiegos antes de llegar al equipo. Se propone que se establezca y socialice con el personal encargado un procedimiento para la actividad de trasiego, donde se puntualice sobre la limpieza de los tanques, bomba manual, mangueras y demás elementos que se emplean para realiza la actividad.

Figura 26. Espina de pescado: daño sensores de translación

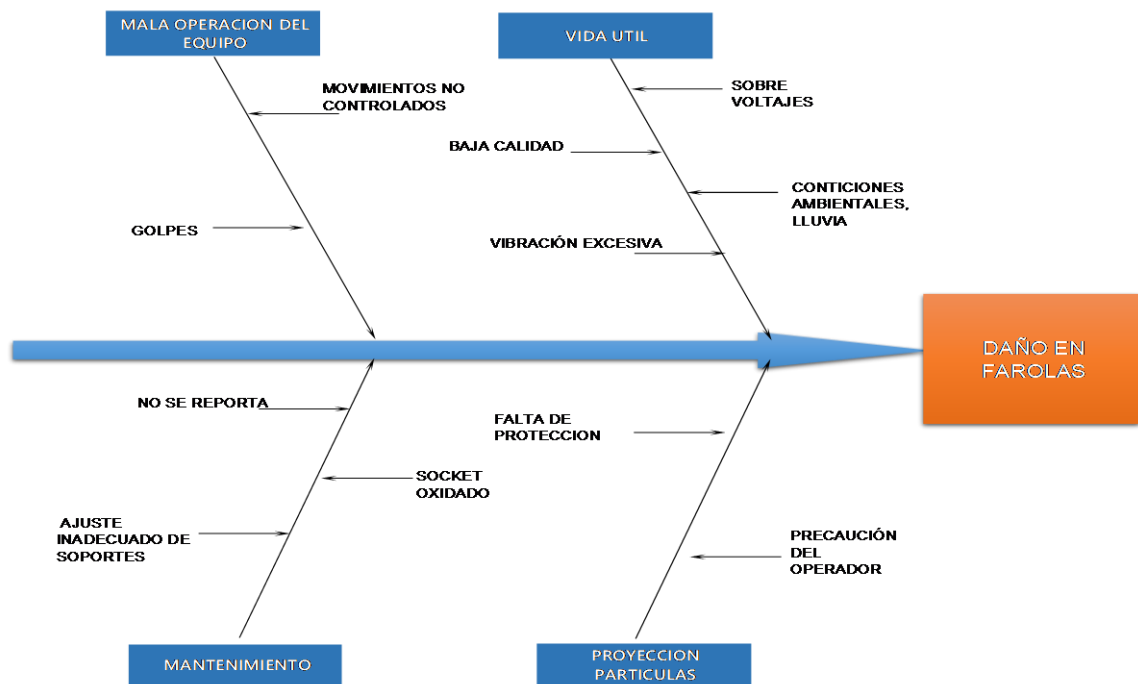


Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la anterior figura se establece como principal causa del daño de los sensores de translación sobre voltajes eléctricos ocasionados al iniciar otros vehículos, ya

que se pudo determinar que quedaban sin cargas las baterías. Sin embargo estos vehículos no presentaban falla en su sistema de recarga de las baterías (alternador) y por ende se pudo establecer que el ciclo de vida de estas ya se había cumplido y se debió realizar su reemplazo. Para esto se propone que se establezca un método en el cual se tenga se pueda verificar y hacer seguimiento del tiempo de trabajo de las baterías, de igual manera realizar una capacitación con los operadores de los buldócer en cuanto que este equipo no puede ser empleado en la actividad de iniciado de otros vehículos.

Figura 27. Espina de pescado: daños en farolas

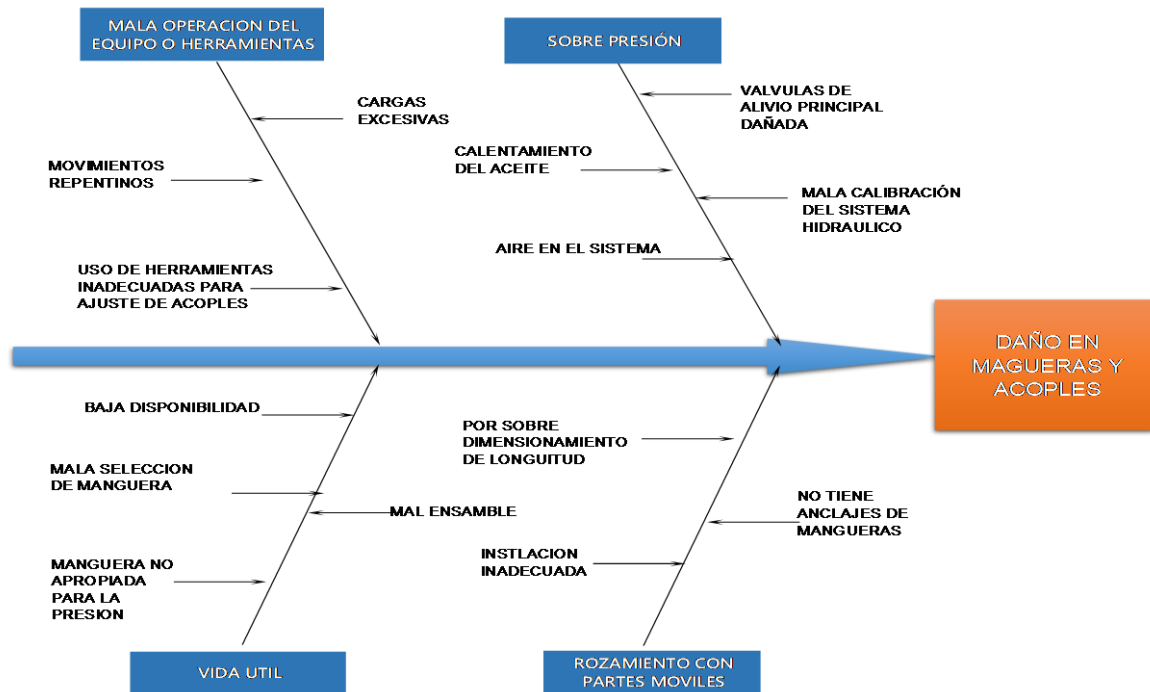


Fuente: Elaboración propia, 2018.

En esta figura se establece como principal causa la proyección de partículas debido a que al ser una cantera a cielo abierto se genera polución y al realizar la extracción o procesar el material se genera proyección de partículas que son de difícil control y los equipos al estar en continuo desplazamiento dentro de la

cantera se ven en riesgo de ser afectados por estas partículas. Se propone que se instalen guardas en las farolas que mitiguen el impacto de las partículas, sin disminuir la eficiencia de la iluminación.

Figura 28. Espina de pescado: daño de mangueras y acoples



Fuente: Elaboración propia, 2018.

En esta figura se pudo establecer como causa principal la baja disponibilidad de las mangueras, generalmente por demora en la entrega por parte del proveedor, para esto se propone que se brinde una capacitación por parte del proveedor al personal de campo en ensamble y selección de mangueras y que se tenga un inventario en consignación tanto de mangueras como de acoples. El control de estos materiales lo realizará el almacén mediante el registro de salida de materiales y se deberá cruzar con la información recolectada por el proveedor estableciendo un periodo fijo para esta revisión, una vez verificada la información

de consumo se realizara el respectivo procedimiento de compra.

4.2 COMENTARIOS AL PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO

Durante el levantamiento de la información se pudo observar que los diferentes procedimientos de mantenimiento se desarrollan en general de manera estructurada y siguiendo los lineamientos del mismo, y que el personal involucrado demuestra interés en participar en el desarrollo de estos.

De igual forma se pudo constatar que, los aspectos que durante la auditoría fueron identificados como críticos eran efectivamente reales. Sin embargo se detectó que son susceptibles de mejora, identificando aspectos que de mejorarse por sí solos repercutirían en otros, conllevando esto a una mejora. Por ejemplo incluyendo y/o mejorando algunos de los formatos que permitan obtener información importante que actualmente se está dejando de lado y que servirían como base para llegar a determinar u obtener por ejemplo indicadores de gestión, control de tiempos, entre otros.

Se destaca el programa de inspecciones periódicas, que buscan que la compañía mantenga los equipos en óptimas condiciones, cumpla con los estándares de seguridad de vial, pero teniendo como principal objetivo la seguridad de los trabajadores, para lo cual se apoyan en el departamento de mantenimiento.

Para el desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo se tomara como base lo sugerido por Montilla y descrito en el Capítulo 2 nivel 2.2.2 Mantenimiento preventivo, en cuanto a los pasos para la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo, de igual manera se tendrá en consideración el modelo

que actualmente se tiene, ya que cuenta con varios aspectos desarrollados.

Actualmente no se realiza una medición del plan de mantenimiento preventivo, por lo cual no se pudo determinar su grado de eficacia, y por ello se plantea una medición de gestión mediante la creación de algunos indicadores.

Es necesario indicar que, al momento del estudio REX Ingeniería S.A. no cuenta con un programa de mantenimiento predictivo por lo que el desarrollo de este estudio es pertinente con el cual se busca que el área de mantenimiento tenga parámetros para prever el desgaste de los elementos, los tiempos para los cambios de aceite y valvulitas.

4.3 INVENTARIOS

Los repuestos y materiales manejados por demanda garantizan que la inversión en estos sea mínima, optimizando así de alguna forma los recursos financieros de la empresa. Sin embargo esto también hace que los tiempos para realizar los mantenimientos sean mayor; si no existe una planeación adecuada y más aún cuando se presentan paradas inesperadas que requieran de repuestos y materiales para ser subsanadas, esto podría determinar que los costos por diferidos en la producción sean mayores en comparación a los que se pueden generar teniendo un stock mínimo.

Para evitar que estos tiempos sean mayores es conveniente que aquellos de respuesta de los diferentes proveedores sean adecuados a las necesidades de la empresa. Lo cual se puede lograr generando acuerdos que beneficien las dos partes.

Otra forma de enfrentar esta circunstancia sería, tener varios proveedores que puedan suministrar los mismos materiales y repuestos, teniendo en cuenta la calidad de los mismos.

De igual manera se puede adoptar tecnologías o procesos que permitan no depender necesariamente de un proveedor externo si no que a través de la esta, podamos convertirnos en nuestros propios proveedores, esto se logra con capacitación y formación del personal propio además de la adquisición de algunas herramientas.

Actualmente no se puede medir el tiempo total de la reparación, para lo cual plantea la modificación o inclusión de este registro en la orden de trabajo.

5. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

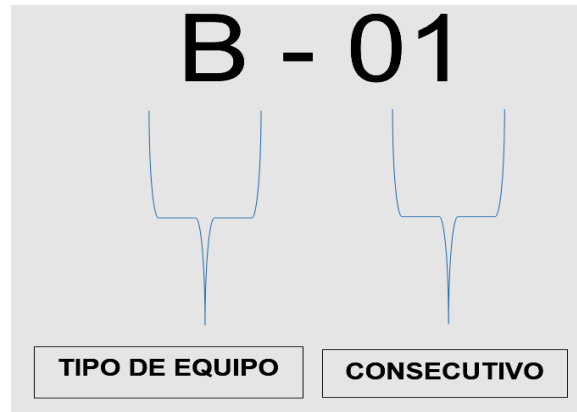
5.1 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA BULDÓCER DE LA CANTERA LOMA PELADA

Siguiendo los pasos contemplado en el punto 2.2.2 de esta monografía sobre los tipos de mantenimiento, se procede a desarrollarlos para obtener un nuevo programa de mantenimiento preventivo, teniendo en cuenta el modelo que se tiene actualmente a fin de evitar cambiar sustancialmente los nombres a los formatos para disminuir la afectación en el proceso y facilitar la adaptación de todo el personal a los mismos.

5.1.1 Inventario de equipo. Inicialmente en esta monografía en el Cuadro 1 se muestran los diferentes equipos que posee REX Ingeniería S.A. y en donde se puede observar que al momento del estudio la empresa contaba con 179 equipos para el desarrollo de sus actividades. De igual manera en el Cuadro 2 se describe un listado de equipos que se encuentran en la cantera principal Loma Pelada, donde actualmente se cuenta con 34 equipos, de los cuales seis son buldócer, y que serán objeto de este plan de mantenimiento preventivo.

5.1.2 Codificación de equipos. Actualmente todos los equipos cuentan con una codificación alfanumérica fija y única, con lo cual se puede garantizar una identificación de cada uno de ellos, esta codificación se encuentra visible y se encuentran pintados en el chasis o carrocería de cada equipo. En la Figura 30 se observa la respectiva codificación.

Figura 29. Codificación de los equipos



Fuente: Elaboración propia, 2018.

A continuación se menciona todas las siglas para los diferentes tipos de máquinas, para buldócer es BD en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Taxonomía: para Equipos Rex Ingeniería S.A.

No.	EQUIPO	IDENTIFICACIÓN
1	Buldócer	B-01
2	Camionetas	N-01
3	Cargador	C-02
4	Carrotanque Cisterna	Q-01
5	Compactador	M-01
6	Compresor	O-01
7	Equipo de lavado y clasificación	I-01
8	Excavadora	R-01
9	Martillos hidraulicos	H-01
10	Motoliveladora	V-01
11	Motosoldador	S-01
12	Pala draga	P-31
13	Planta electrica	P-01
14	Trituradora	T-04
15	Volquetas	U-01
16	Volquetas articuladas	D-01

Fuente: Elaboración propia, 2018.

5.1.3 Tarjetas maestra de datos (TMD). Actualmente se maneja con el nombre de ficha Técnica de Equipo, este formato es objeto de modificación que permitirá obtener información más precisa que agilizará muchas tareas como por ejemplo características de repuestos e insumos, cantidades, entre otras. Esta ficha se debe realizar por cada equipo, por lo cual es de vital importancia los catálogos, manuales de los mismos (ver el Anexo B).

5.1.4 Hojas de vida. Actualmente se posee este mecanismo, el cual en su mayoría contiene ficha técnica, catálogo, órdenes de compra de servicio externo, reportes de mantenimientos correctivos realizados, facturas, entre otros. Para mejorar esta se propone establecer un listado de documentos que contengan cada una, y delegar un responsable para la actualización de las mismas en la medida en que se realicen los mantenimientos, inspecciones al igual que la creación de nuevas hojas de vida para los equipos que se adquieran.

En el Cuadro 12 se aprecia el check list para hoja de vida equipos.

De igual forma se crea un historial de mantenimientos, el cual describirá de manera simplificada cada una de los mantenimientos correctivos o modificaciones que se realice, este documento servirá como índice para incluir los registros de los mismos donde se encontrara detalladamente todo lo ejecutado, como ordenes de trabajo, facturas, planos, y demás información que se considere importante para alcanzar el mejor mantenimiento.


En el Cuadro 13 se aprecia el formato de historial de mantenimiento.

Cuadro 12. Check list para hoja de vida equipos

		CHECK LIST HOJA DE VIDA EQUIPOS		
ITEM	DESCRIPCION	SI	NO	N.A.
1	FICHA TECNICA			
2	MANIFIESTO DE ADUANA			
3	TARJETA DE PROPIEDAD			
4	CERTIFICACIÓN DE INSTALACION GPS			
5	FACTURA DE COMPRA DEL EQUIPO			
6	POLIZA TODO RIESGO			
7	SOAT			
8	LISTA DE CHEQUEO DE EQUIPO			
9	HISTORIAL DE REPARACION			
10	COPIA DE FACTURAS DE COMPRAS REPUESTOS			
11	COPIA DE FACTURAS DE INSUMOS			
12	ORDENES DE TRABAJO CORRECTIVAS			
13	REPORTE DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
14	HOJA DE VIDA CONTROL EQUIPO MENSUAL			
15	INFOME DE ESTAD DEL EQUIPO			

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro 13. Historial de mantenimiento

		HISTORIAL DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO				
ITEM	FECHA	DESCRIPCION BREVE	REALIZADO POR		CONTRATISTA	OBSERVACION
			INTERNO	EXTERNO		

Fuente: Elaboración propia, 2018.

5.1.5 Relación de requerimientos de mantenimiento. Los siguientes son las rutinas de mantenimiento establecidas en la empresa REX Ingeniería S.A. estas se realizaron teniendo en cuenta los manuales de los equipos y apoyados en los muestreos de aceite.

5.1.5.1 Mantenimiento MP1. Este es uno de los mantenimientos más básicos para el equipo se realiza cada 250 Horas de trabajo en el cual primero se refuerza la inspección que realizan los operadores a diario, quien realiza es una persona especializada en dicha labor lubricador y en el cual se realiza cambio de aceite motor, filtración de aire y combustible entre otros, según reporte de mantenimiento código RXPT.PTO4.12 este mantenimiento se debe realizar en un tiempo de tres horas.

5.1.5.2 Mantenimiento MP2. Es un mantenimiento más avanzado teniendo en cuenta el anterior en este se deben realizar las tareas tanto del MP1 y a su vez las del MP2 de acuerdo a lo establecido en el formato RXPT.PTO4.12 este se debe realizar cada 500 horas trabajo del equipo es realizado por el “Lubricador” y tiene un tiempo estimado de cinco horas.

5.1.5.3 Mantenimiento MP3. Es fundamental en este mantenimiento realizar las tareas del MP1, MP2 y las que corresponden al MP3 las horas para realizar el mantenimiento es de 750 horas en algunas tareas se hace necesario la ayuda de un auxiliar u operador para mover el equipo y realizar tareas que exigen esfuerzo quien debe realizar la persona quien realiza este mantenimiento es el lubricador tiene una duración de ocho horas.

5.1.5.4 Mantenimiento MP4. Es uno de los mantenimientos no más importante que los anteriores pero sí el más complicado y a su vez el más largo. Esto en razón a que exige más esfuerzo físico sino también más tiempo tiene una duración de 14 horas se deben realizar tareas de MP1, MP2, MP3 y las que corresponden al MP4.

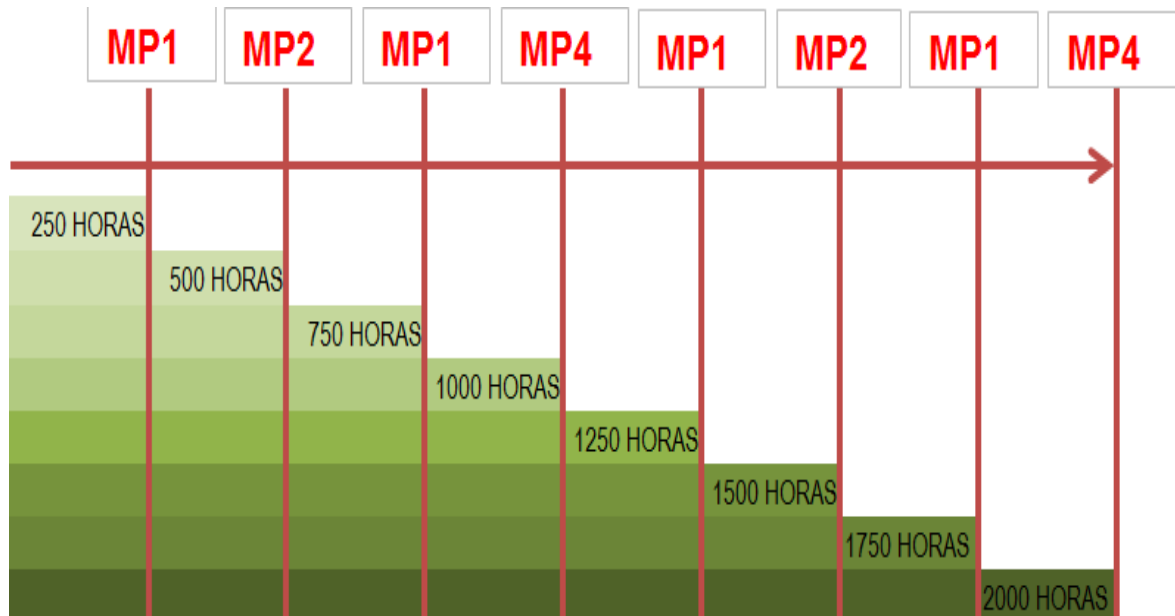
En este tipo de mantenimiento se debe hacer cambio de todos los fluidos, filtración, lavado del equipo, ajustes entre otros. Para todos los mantenimientos resulta fundamental evitar derrames de hidrocarburos al suelo por eso es necesario en cada uno de ellos aislar el piso con kit anti derrames o en su caso bandejas. Se hace necesario de tres personas las cuales son lubricador, auxiliar, operador.

En REX Ingeniería S.A. existen dos tipos de buldócer por esta razón se hace importante hacer dos frecuencias de mantenimiento uno para buldócer que tienen sistema hidrostático dos para buldócer que tienen servo según análisis de aceite los equipos que trabajan con sistema hidrostático tienen a quemar más rápido el aceite hidráulico con respecto a lo que trabajan con un sistema independiente como los de servo.

En la Gráfica 2 se aprecia el cronograma horario para el mantenimiento preventivo del sistema hidráulico.

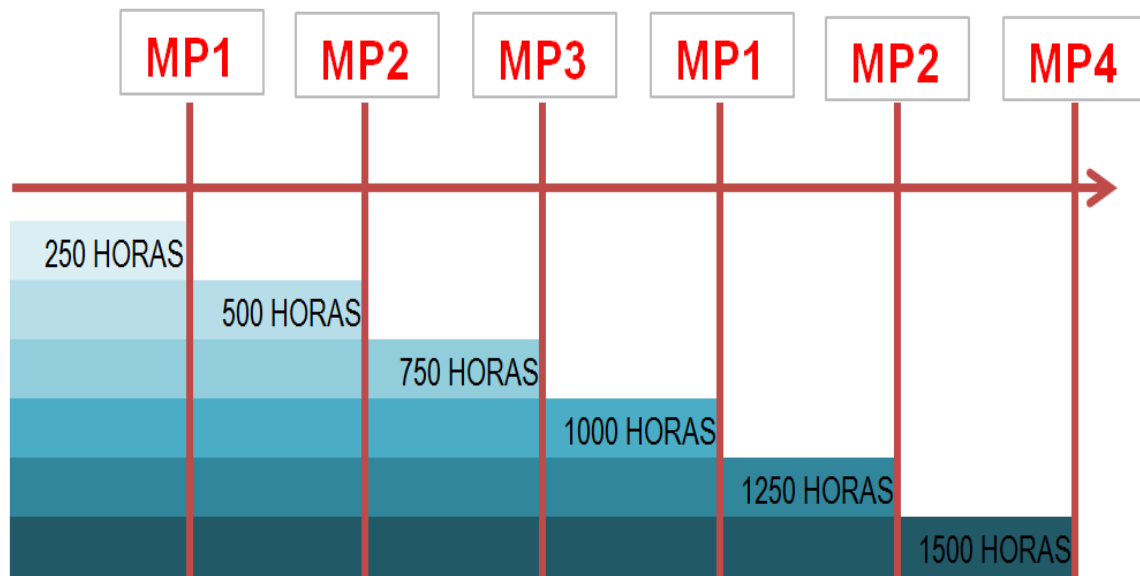
En la Gráfica 3 se aprecia el cronograma horario para el mantenimiento preventivo del sistema hidrostático.

Gráfica 2. Cronograma horario para el mantenimiento preventivo del sistema hidráulico



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Gráfica 3. Cronograma horario para el mantenimiento preventivo del sistema hidráulico



Fuente: Elaboración propia, 2018.

5.1.6 Instructivos de mantenimiento. Se hace necesario realizar una serie de actividades que a continuación se describen.

- **Rutina MP1.** Se debe realizar:

Instalar kit anti derrames o bandejas en piso del equipo

Soltar tapón Carter dejar drenar aceite x una hora e instalar de nuevo.

Soltar tapa de aire sacar filtros interno y externo limpiar alojamiento.

Soltar filtro combustible nuevo llenar e instalar

Adicionar aceite y revisar nivel antes de encender motor diésel.

Realizar demás rutinas tiempo estimado mantenimiento 3 hora.

- **Rutina MP2.** Realizar rutinas de Mp1 incluyendo:

Verificar desgaste de piezas bujes, arandelas, martillo hidráulico bujes para ello se hace necesario revisar equipo.

Engrase tornamesa cada 30 grados de debe dar 20 bombazos.

Verificar estado mangueras en general del equipo banco, equipo stick, boom, motores de traslación, bomba hidráulica.

Verificar frenos tanto de emergencia como de peal.

- **Rutina MP3.** Realizar rutinas de Mp1 y Mp2:

Cambio de filtros hidráulicos para ello se debe soltar tornillos de tapa, cambio empaque.

Cambio de filtro piloto para ello se debe soltar con llave filtros cambio empaque exterior.

Cambio de aceite en transmisión para ello se suelta tapón y se deja drenar durante media hora.

- **Rutina MP4.** Realizar rutinas MP1, MP2, MP3 y Mp4:

Se debe soltar tapón de tanque hidráulico para sacar aceite luego este se dará disposición en cuarto aceites.

Drenar transmisiones o mandos finales valvulina

Cambio de toda la filtración como anteriormente se describe

Sacar aceites de mangueras y botellas hidráulicas, banco, regletas en fin la finalidad es sacar la mayor parte de este para adicionar el nuevo.

Una vez se completen full en cada uno de sus componentes e se hayan instalado filtros tapones sellados se enciende equipo y se procede a revisar: presión del sistema hidráulico con manómetro en cada una de las bombas, revisión general del sistema eléctrico y en general del equipo.

5.1.7 Programación. Los lunes de cada semana se realiza una actualización de hormetros con el fin de saber a cuantas horas de mantenimiento se encuentran los equipos. Esta actualización se realiza en una hoja de Excel la cual se encuentra formulada y a su vez si un equipo está a 50 horas de mantenimiento esta nos dará una alerta esto con el fin que los insumos para el mantenimiento se compren o estén en el almacén. Una vez se cumpla su mantenimiento se realizara una parada programada del equipo estableciendo un tiempo determinado para cada mantenimiento de acuerdo a la inspección y ajuste que se deben realizar de acuerdo al MP que se encuentre.

5.1.8 Rutinas básicas de mantenimiento. Son las diferentes tareas a realizar en cada uno de los mantenimientos preventivos.

En la secuencia que se observa en el Cuadro 14 se aprecian las rutinas básicas de mantenimiento.

Cuadro 14. Secuencia de las rutinas básicas de mantenimiento: MP1 - MP4

REVISIONES E INTERVENCIONES		✓	X
MP1	CAMBIAR FILTROS DE ACEITE MOTOR		
	CAMBIAR ACEITE MOTOR		
	TOMAR PARA ANALISIS MUESTRA DE ACEITE DE MOTOR		
	CAMBIAR FILTROS DE COMBUSTIBLE		
	CAMBIAR FILTRO SEPARADOR DE AGUA		
	CAMBIAR FILTRO DE AIRE EXTERNO		
	REVISAR ESTADO DEL FILTRO DE AIRE INTERNO, DE REQUERIR REALIZAR CAMBIO		
	VERIFICAR ESTADO TENSION CORREAS DEL MOTOR		
	REVISAR Y COMPLETAR NIVEL LIQUIDO DE LAS BATERIAS		
	REVISAR ESTADO DE LOS BORNES, POSTES Y CABLES DE LAS BATERIAS		
	VERIFICAR CARGA DE LAS BATERIAS		
	VERIFICAR ESTADO DE LIMPIEZA DEL RADIADOR, DE SER POSIBLE SOPLETEAR		
	VERIFICAR Y COMPLETAR NIVEL DE REFRIGERANTE EN EL RADIADOR		
	VERIFICAR NIVEL DE ACEITE HIDRAULICO		
	VERIFICAR NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISIONES Y REDUCTORES		
	VERIFICAR ESTADO Y AJUSTAR TREN DE RODAJE		
	REALIZAR LAVADO GENERAL DEL EQUIPO		
REALIZAR ENGRASE GENERAL DEL EQUIPO			
VERIFICAR ESTADO MANGUERAS Y ADMISION			
MP2	VERIFICAR LA EXISTENCIA DE JUEGO EN PASADORES Y BUJES DEL EQUIPO		
	VERIFICAR ENGRASE TORNAMESA		
	VERIFICAR ESTADO DE MANGUERAS, ACOPLEROS Y VALVULAS		
	TOMAR PARA ANALISIS MUESTRA DE ACEITE SISTEMA HIDRAULICO		
	TOMAR PARA ANALISIS MUESTRA DE ACEITE DE REDUCTORES Y TRANSMISIONES		
	VERIFICAR ESTADO DE FRENO DE SERVICIO		
	VERIFICAR ESTADO DE FRENO DE PARQUEO		
VERIFICAR ESTADO MANGUERAS Y ADMISION			
MP3	VERIFICAR ESTADO DEL SISTEMA DE ESCAPE		
	CAMBIAR FILTROS DE ACEITE HIDRAULICO		
	CAMBIAR FILTROS DE AIRE ACONDICIONADO		
	LIMPIAR FILTRO TANQUE DE COMBUSTIBLE		
	VERIFICAR ESTADO Y LIMPIEZA DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE		
MP4	CAMBIAR ACEITE MANDOS REDUCTOR DE GIRO, MANDOS FINALES Y TRANSMISION		
	CAMBIAR ACEITE HIDRAULICO PREVIO RESULTADO DEL ANALISIS DE LABORATORIO		
	VERIFICAR PRESIONES EN TODO EL SISTEMA		
	REVISAR ESTADO DISCOS Y SISTEMAS DE FRENO		
	VERIFICAR TORQUE CULATA MOTOR		
	REALIZAR LAVADO DE TANQUE DE COMBUSTIBLE		
	REVISAR SISTEMA ELECTRICO, MOTOR DE ARRANQUE Y ALTERNADOR		
	CAMBIO DE REFRIGERANTE		

Fuente: Elaboración propia, 2018.

5.1.9 Formatos y documentación básica para la administración del mantenimiento. Para el control y registro del mantenimiento preventivo se establecieron y/o modificaron formatos con los cuales se busca mejorar el desarrollo de las actividades, mediante el seguimiento al proceso mediante la obtención de información que nos permita medir el proceso. Entre ellos están: orden de trabajo, hoja de vida y control de producción, ficha técnica del equipo; lista chequeo equipo; reporte mantenimiento preventivo, programación semanal de mantenimientos, registro de trazabilidad de mantenimientos, e informe estado equipos.

5.1.10 Software de mantenimiento. Dado que REX Ingeniería S.A. no cuenta con un mecanismo que permita controlar más eficazmente el mantenimiento preventivo, se propone generar un documento maestro o base de datos en Excel, que consolide la información y que a partir de la actualización de los horómetros de los equipos permita planear y programar con anticipación la ejecución del mantenimiento preventivo correspondiente.

Se opta por este programa debido a que este se encuentra dentro del paquete con que cuenta la empresa y no se requiere compra de software especializado, de igual manera la interacción con el usuario será muy fácil debido a que es un programa que en su mayoría la gente conoce.

En el Cuadro 15 se observa el modelo del formato de mantenimiento preventivo 2018 teniendo en cuenta los datos técnicos de los equipos así como su programación y su planeación.

Cuadro 15. Modelo del formulario de mantenimiento preventivo

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U			
		MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS 2018																				
		MMTO PROGRAMADO																				
										MP 1000 HORAS				MP 1500 HORAS								
Nº	EQUIPO	No. IN	UBICACIÓN	HOROMETRO ULTIMO MI	HOROMETRO ACTUAL	DIFERENCIA	HOROMETRO PROGRAMADO	TIPO	MP1	MP2	MP3	MP4	MP1	MP2	MP3	MP4	MP1	MP2	MP3	MP4	OBSERVACIONES	
8	Bulldozer KOMATSU D85E18	B-09	SAN ANTONIO	6735	7076	91	6985	MP4													X	Contaminacion Aceite Febrero
5	Bulldozer CAT D5G	B-05	VIA MOSQUERA	859	1060	-49	1109	MP1	X													
4	Bulldozer CAT D5G	B-04	VIA MOSQUERA	4930	5066	-114	5180	MP2		X												
7	Bulldozer KOMATSU D65A12	B-08	SAN ANTONIO	4022	4190	-82	4272	MP1					X									
6	Bulldozer CAT D5G	B-06	SAN ANTONIO	871	990	-131	1121	MP4				X										
2	Bulldozer Fiat Allis 14C	B-02	GUAYURIBA " VILLAO"	1130	1230	-150	1380	MP2						X								
3	Bulldozer JD 750	B-03	CANTERA C.L.P	250	260	-240	500	MP4													X	
1	Bulldozer CAT D8N	B-01	CANTERA C.L.P	5650	5690	-210	5900	MP3							X							Repro MP3 - Agua en Motor

DATOS TECNICOS EQUIPOS

PROGRAMACION

PLANEACION

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Además, el software o base de datos inicial se estructura partiendo de tres factores fundamentales, los cuales son:

- **Datos técnicos equipo.** Consolida la información básica (número interno-descripción-marca-modelo-ubicación y horómetro del último MP) de cada máquina vital para el inicio de la programación de las rutinas de mantenimiento.

- **Programación.** Se ingresan datos de horómetro actual Vs. horómetro programado, donde la diferencia entre las dos variables en horas da la prioridad con la cual debemos intervenir el equipo.

- **Planeación:** Este nos permite clasificar el próximo mantenimiento a realizar en los equipos apoyando así planeación de los recursos necesarios para ejecutarlo tales como: mano de obra, insumos y tiempos de ejecución.

Además, los recursos asociados a la planeación se proyectan partiendo de una base de datos que almacena información de insumos (aceite-filtros) por modelo de equipo y tipo de mantenimiento a ejecutar.

En el Cuadro 16 se observa un pantallazo de la planilla para clasificar los diferentes tipos de aceites teniendo en cuenta el equipo.


En el Cuadro 17 se observa un pantallazo de la planilla base de datos filtros.

Cuadro 16. Pantallazo tipos de aceite por equipo

EQUIPO	NUMERO INTERNO	PROXIMO MTTTO	CONCATENAD	TIPOS DE ACEITE						
				15W40CAT	AW68	85W140	80W90	15W40FORZA	MOBIL 424	
BULLDOZER CAT D8N	B-01	MP1	B-01MP1	10	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER CAT D8N	B-01	MP2	B-01MP2	10	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER CAT D8N	B-01	MP3	B-01MP3	10	0	8	0	50	0	0
BULLDOZER CAT D8N	B-01	MP4	B-01MP4	10	15	8	0	50	0	0
BULLDOZER FIAT ALLIS 14C	B-02	MP1	B-02MP1	9	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER FIAT ALLIS 14C	B-02	MP2	B-02MP2	9	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER FIAT ALLIS 14C	B-02	MP3	B-02MP3	9	0	4	0	18	0	0
BULLDOZER FIAT ALLIS 14C	B-02	MP4	B-02MP4	9	9	4	0	18	0	0
BULLDOZER JOHN DEERE 750	B-03	MP1	B-03MP1	9	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER JOHN DEERE 750	B-03	MP2	B-03MP2	9	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER JOHN DEERE 750	B-03	MP3	B-03MP3	9	0	4	0	18	0	0
BULLDOZER JOHN DEERE 750	B-03	MP4	B-03MP4	9	9	4	0	18	0	0
BULLDOZER CAT D5G	B-04	MP1	B-04MP1	5	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER CAT D5G	B-04	MP2	B-04MP2	5	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER CAT D5G	B-04	MP3	B-04MP3	5	0	3	0	10	0	0
BULLDOZER CAT D5G	B-04	MP4	B-04MP4	5	25	3	0	10	0	0
BULLDOZER CAT D5G	B-05	MP1	B-05MP1	5	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER CAT D5G	B-05	MP2	B-05MP2	5	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER CAT D5G	B-05	MP3	B-05MP3	5	0	3	0	10	0	0
BULLDOZER CAT D5G	B-05	MP4	B-05MP4	5	25	3	0	10	0	0
BULLDOZER CAT D5G	B-06	MP1	B-06MP1	5	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER CAT D5G	B-06	MP2	B-06MP2	5	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER CAT D5G	B-06	MP3	B-06MP3	5	0	3	0	10	0	0
BULLDOZER CAT D5G	B-06	MP4	B-06MP4	5	25	3	0	10	0	0
BULLDOZER CAT D3C	B-07	MP1	B-07MP1	4	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER CAT D3C	B-07	MP2	B-07MP2	4	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER CAT D3C	B-07	MP3	B-07MP3	4	0	3	0	6	0	0
BULLDOZER CAT D3C	B-07	MP4	B-07MP4	4	15	3	0	6	0	0
BULLDOZER KOMATSU D65A12	B-08	MP1	B-08MP1	9	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER KOMATSU D65A12	B-08	MP2	B-08MP2	9	0	0	0	0	0	0
BULLDOZER KOMATSU D65A12	B-08	MP3	B-08MP3	9	0	4	0	18	0	0
BULLDOZER KOMATSU D65A12	B-08	MP4	B-08MP4	9	9	4	0	18	0	0
Bulldozer KOMATSU D85E18	B-09	MP1	B-09MP1	9	0	0	0	0	0	0
Bulldozer KOMATSU D85E18	B-09	MP2	B-09MP2	9	0	0	0	0	0	0
Bulldozer KOMATSU D85E18	B-09	MP3	B-09MP3	9	0	4	0	18	0	0
Bulldozer KOMATSU D85E18	B-09	MP4	B-09MP4	9	9	4	0	18	0	0

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro 17. Pantallazo de la base de datos filtro



BASE DATOS -FILTROS

EQUIPO	COMPONENTE	MARCA	REFERENCIA	REFERENCIA DONALDSON
BULLDOZER CAT D8N B-1	Filtro de aire interno	Baldwin	RS3509	P532474
	Filtro de aire externo	Baldwin	RS3508	P532473
	Filtro de aceite motor	Baldwin	BF614	P551712
	Filtro de aceite motor	Baldwin	B99	P554005
	Filtro combustible trampa	Baldwin	BW5139	P554073
	FILTRO HIDRAULICO	CAT	4T3131	
	FILTRO HIDRAULICO	CAT	1R0735	
BULLDOZER FIAT ALLIS 14C B-2	Filtro de aire interno	Baldwin	PA2545	P127315
	Filtro de aire externo	Baldwin	PA2779	P181080
	Filtro de aceite motor	Baldwin	B309	P550319
	Filtro combustible	Baldwin	BF783	P551605
BULLDOZER JOHN DEERE 750 B-3	Filtro de aire interno	Baldwin	PA1902FN	P181064
	Filtro de aire externo	Baldwin	PA1981	P113343
	Filtro de aceite motor	Baldwin	BT259	P550020
	Filtro combustible	Baldwin	BF-909	P551130
BULLDOZER CAT D5G B-4	Filtro de aire interno	Baldwin	RS4995	P610489
	Filtro de aire externo	Baldwin	RS 4994	P606804
	Filtro de aceite motor	Baldwin	BT364	P555680
	Filtro combustible	Baldwin	BF7746D	P551433
	FILTRO HIDRAULICO	CAT	1G-8878	1
BULLDOZER CAT D5G B-5	Filtro de aire interno	Baldwin	RS 4995	P610489
	Filtro de aire externo	Baldwin	RS4994	P606804
	Filtro de aceite motor	Baldwin	BT364	P555680
	Filtro combustible	Baldwin	BF 7746-D	P551433
	FILTRO HIDRAULICO	CAT	1G-8878	1
	FILTRO HIDRAULICO	CAT	144-6691	1
	Filtro de aire interno	Baldwin	RS4995	P610489
	Filtro de aire externo	Baldwin	RS 4994	P606804
	Filtro de aceite motor	Baldwin	BT364	P555680


FORMATO SOLICITUD ALMACEN **BASE REX FILTROS-ACEITE** BASE FILTROS-ACEITE1 RX.PT04.13 05FEB

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Copiando y adicionando la información del primer pantallazo se muestran automáticamente todos los aspectos requerido para realizar en campo o taller del mantenimiento cruzando incluyendo los datos con inventarios físicos y los stocks mínimos dando como resultado el estimado de insumos a solicitar, como se aprecia en el Cuadro 18 sobre la estimación de aceite por equipo.



En el Cuadro 19 se observa el historial de los mantenimientos realizados.

Cuadro 18. Pantallazo estimación de aceite por equipo

		ESTIMADOS DE ACEITE POR EQUIPO						VERSION: 00	
								PAGINA: 1 DE 1	
								VIGENCIA: 01/11/2016	
				TIPOS DE ACEITE					
EQUIPO	NUMERO INTERNO	UBICACIÓN EQUIPO	PROXIMO MTTO	CAT 15W40 MOTOR	UNO AW68 HIDRAULICO	85W140 VALVULINA	BIOMAX 80W90 VALVULINA	UNO FORZA 15W40 HIDRAULICO	MOBIL 424
Cargador CAT 950 H	C-10	CANTERA CLP	MP1	8	0	0	0	0	0
Carrotanque Cisterna	Q-01	CANTERA CLP	MP2	6	0	0	0	0	0
Excavadora Kobelco SK210-8	R-18	CANTERA CLP	MP1	5	0	0	0	0	0
Excavadora HITACHI EX300-3C	R-22	CANTERA CLP	MP1	8	0	0	0	0	0
Compactador CAT-815	M-01	CANTERA CLP	MP1	12	0	0	0	0	0
Cargador CAT 950 H	C-11	CANTERA CLP	MP2	8	0	0	0	0	0
Excavadora CAT 330LME	R-09	CANTERA CLP	MP4	11	0	10	0	90	0
Excavadora HITACHI ZX350-LC	R-41	CANTERA CLP	MP3	12	0	8	0	0	0
Excavadora HITACHI ZX330LC	R-05	CANTERA CLP	MP1	11	0	0	0	0	0
Excavadora CAT 323DL	R-24	CANTERA CLP	MP2	8	0	0	0	0	0
Excavadora Kobelco SK210-8	R-17	CANTERA CLP	MP2	5	0	0	0	0	0
Excavadora KOBELCO SK210LC-8	R-27	CANTERA CLP	MP2	5	0	0	0	0	0
Excavadora HITACHI EX550LCE-5	R-28	CANTERA CLP	MP4	16	120	10	0	0	0
0	0	0	0						
0	0	0	0						
0	0	0	0						
0	0	0	0						
0	0	0	0						
0	0	0	0						
0	0	0	0						
0	0	0	0						
0	0	0	0						
TOTALES SOLICITADOS (Gal.)				115	120	28	0	90	0
INVENTARIO FISICO				0	0	10	2	40	0
STOCK MIN				50	45	15	25	55	55
PEDIDO				165	165	33	23	105	55
TOTALES SOLICITADOS (Canecas.)				3,0	3,0	0,6	0,4	1,9	1,0

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro 19. Pantallazo del historial de los mantenimientos realizados

 HISTORIAL DE MANTENIMIENTOS REALIZADOS 2018 											
No.	EQUIPO	No. I	UBICACIÓN	HOROMETRO ULTIMO M	TIP	HOROMETRO PROGRAMAE	DIFERENCIA	FECHA EJECUCI	CONSUMO ACEITES	CONSUMO FILTROS	OBSERVACIONES
6	Bulldozer CAT D5G	B-06	SAN ANTONIO	745	MP2	660	Pasado 85 horas	21/02/2018			
5	Bulldozer CAT D5G	B-05	SAN ANTONIO	859	MP4	928	Previo 69 horas	26/02/2018			
4	Bulldozer CAT D5G	B-04	KARIBANA-CARTAGEN	4930	MP1	4950	Previo 20 horas	02/03/2018			
1	Bulldozer CAT D8N	B-01	MAMBITA	5650	MP1	5660	Previo 10 horas	26/03/2018			
6	Bulldozer CAT D5G	B-06	SAN ANTONIO	871	MP1	995	Previo 124 horas	26/03/2018			

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El historial de los mantenimientos realizados permite llevar una trazabilidad de cada intervención realizada a cada máquina con fechas y tipos de MP'S.

5.2 PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

La metodología para el mantenimiento predictivo se basará en el análisis de aceite de los equipos, para optimizar los periodos de cambio, garantizar la calidad del lubricante y el buen estado de los equipos.

Una vez se han establecido todas las rutinas de mantenimiento para los buldócer, se introduce la toma de muestreo y análisis de aceite el cual arroja datos en el estado actual de los equipos y también da a conocer el tipo de desgaste que se tiene en cada uno de los componentes del equipo como son: motor diésel, servo, motores traslación, mandos finales.

Con esta información se puede realizar una parada programada del equipo con el fin de revisar que está pasando con el componente que tiene desgaste y evitar paradas súbitas, a fin de evitar que exista una pérdida de producción. En el caso que se trate de un evento muy grave, se dará el tiempo suficiente para realizar el reemplazo del equipo.

El muestreo de aceite se debe realizar según la rutina de mantenimiento es decir cada 250 horas para llevar la trazabilidad y establecer si se puede ampliar la vida útil del aceite. En la plataforma MOBILSERV se debe diligenciar toda la información del equipo incluyendo el horómetro, sistema al que pertenece la

muestra, cuántas horas ha trabajado el aceite, si durante su uso se a adicionado, entre otros. Se debe dar la mayor información para que al llevar la muestra, esta de resultados más exactos.

5.2.1 Punto de toma muestreo de aceite. Se tiene en cuenta aspectos como el punto de muestreo, los pasos del procedimiento y el análisis de laboratorio, los cuales a continuación se describen.

- **Punto de muestreo.** Por lo general está localizado antes del filtro de aceite y este se evidencia puesto que tiene un codo 90°; se debe tomar con un niple válvula. Cuando no se tiene este punto por lo general se realiza con un vampiro y una manguera de un metro; ésta se corta de acuerdo a profundidad donde se encuentra el depósito de aceite. Los puntos de muestreo aceite antes de los filtros también ayudan a identificar la eficiencia del filtro de igual forma lo que se pretende es saber el estado físico y químico del aceite. En la Figura 30 se observa la toma de la muestra de aceite.

Figura 30. Toma de Muestra de aceite



Fuente: EXXON MOBIL. Únase al programa¹⁴⁵.

¹⁴⁵ EXXON MOBIL. Únase al programa [en línea]. 2015 [consultado 18 marzo 2018]. Disponible en: <https://mobilserv.mobil.com/es/sign-up/>.

5.2.2 Procedimiento. Para conseguir una adecuada toma de aceite los siguientes son los pasos que se deben tener en cuenta:

- **Limpieza punto de toma muestra.** Para comenzar a tomar una muestra de aceite es necesario que el punto esté libre de suciedad por lo que se debe realizar una limpieza con un trapo que no suelte partículas; en el caso de los vampiros la boca de la manguera debe estar limpia.

- **Frasco para tomar muestra de aceite.** Por lo general se utiliza un frasco de plástico transparente que debe contar con una tapa para que, una vez se tome la muestra, éste quede 100% hermético.

- **Identificación muestra de aceite.** El frasco donde está la muestra debe llevar una etiqueta que contenga la siguiente información: fecha, nombre de la empresa, identificación del punto de muestreo, volumen de aceite añadido entre cambios de aceite, horas de operación del aceite y del equipo rotativo, y observaciones relevantes sobre las características del equipo (ver la Figura 31).

Figura 31. Etiquetado de la muestra de aceite



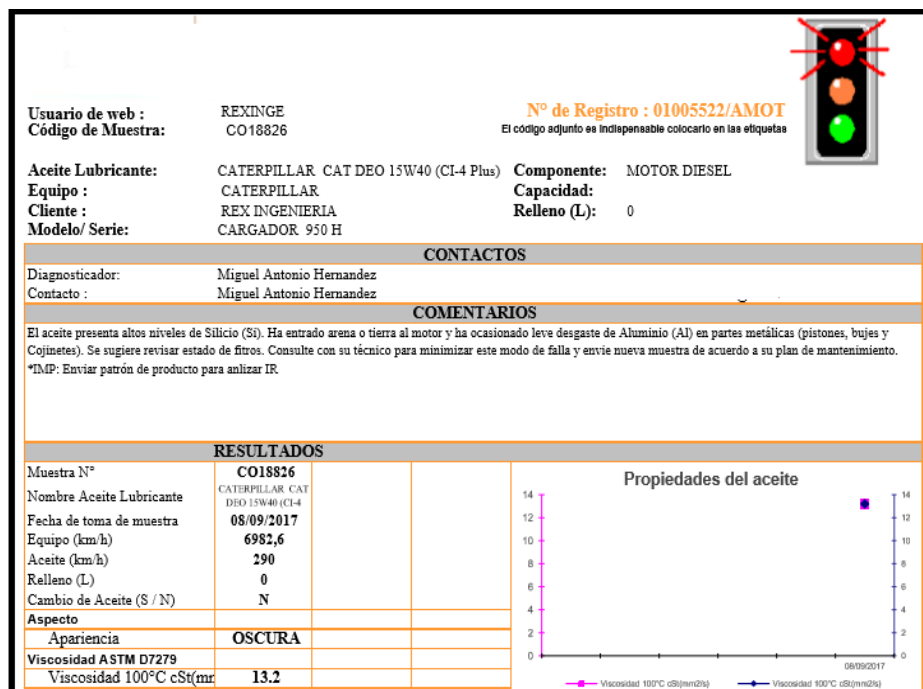
Fuente: EXXON MOBIL. Únase al programa.

5.2.3 Recibo de análisis laboratorio. Los reportes del laboratorio por lo general llegan al correo electrónico con lo cual se puede hacer ingreso a la plataforma MOBILSERV con el fin de observar en qué estado llegó teniendo en cuenta la señal de semáforo con el tipo de alerta respectivo.

El color rojo indica que la muestra se encuentra en un estado crítico determinándose que el equipo debe ser intervenido de forma inmediata (ver la Figura 32).

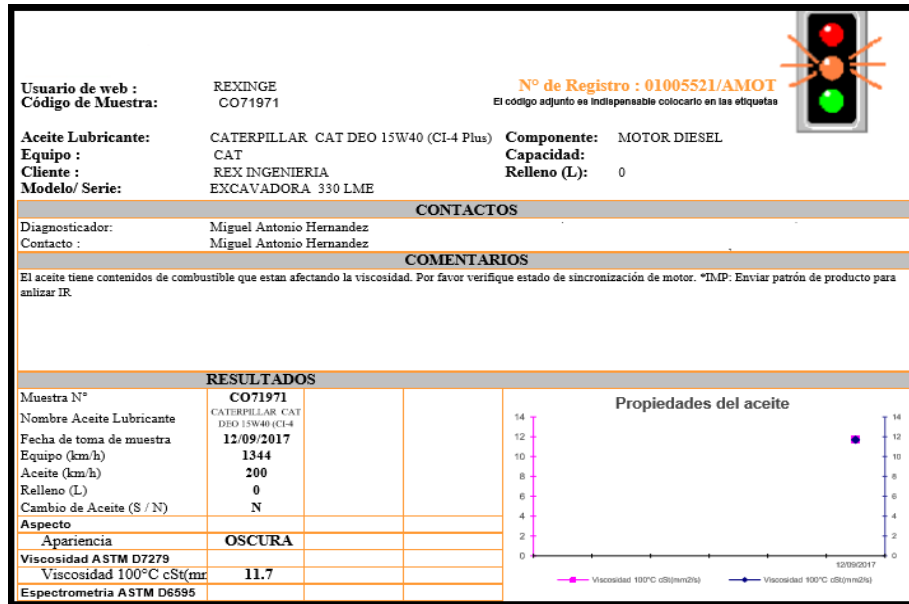
El color anaranjado indica que la muestra se encuentra en estado de prevención para lo cual se debe realizar un seguimiento al componente (ver la Figura 33).

Figura 32. Análisis de laboratorio en rojo



Fuente: EXXON MOBIL. Únase al programa.

Figura 33. Análisis de laboratorio en anaranjado

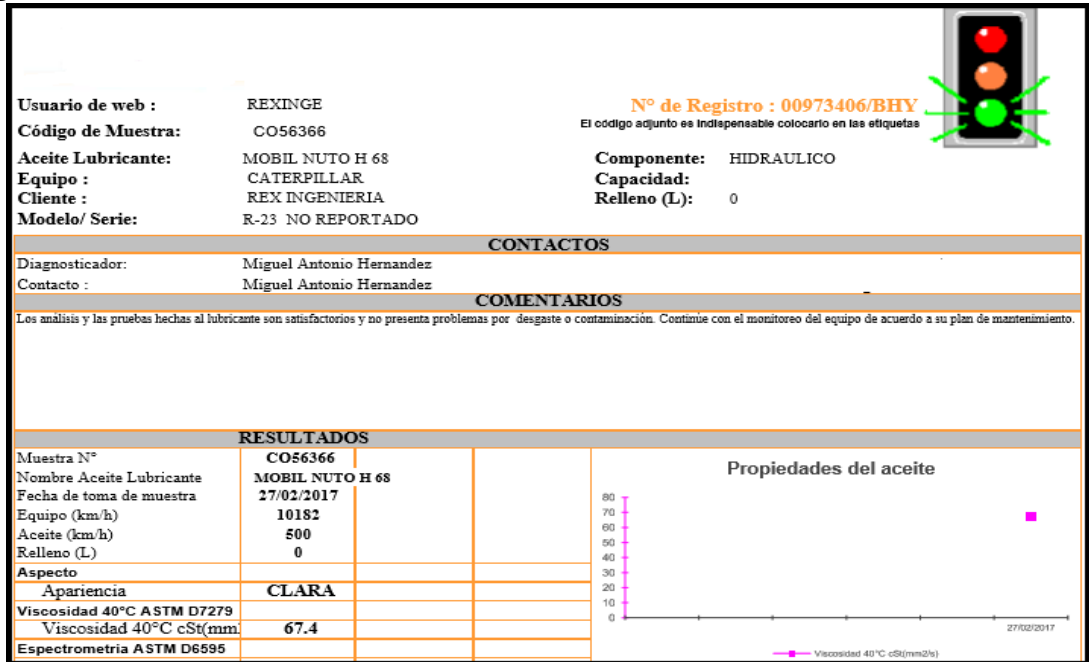


Fuente: EXXON MOBIL. Únase al programa.

El color verde indica que la muestra analizada se encuentra dentro de los parámetros de aceptabilidad y el equipo está en perfecto funcionamiento (ver la Figura 34).

MOBILSERV es un plataforma ayuda a determinar en qué estado se encuentra el equipo que se examina y por esta razón tiene en cuenta varios aspectos como son la viscosidad del aceite, oxidación, acidez entre otros. En la Figura 35 se muestra una plantilla con la cual se pueden interpretar de mejor forma los datos.

Figura 34. Análisis de laboratorio en verde



Fuente: EXXON MOBIL. Únase al programa.

De igual forma esta plantilla explica qué significa cada uno de los resultados del análisis en cuanto a si la muestra reporta un alto nivel en metal, oxidación, acidez entre otros, definiendo su significado (ver la Figura 36).

Figura 35. Calificación del estado de la muestra

	Esencial ◆	Mejorado ◆◆
Viscosidad	✓	✓
Porcentaje de volumen de agua. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)	✓	✓
Oxidación	✓★	✓★
Índice de acidez total (TAN, por sus siglas en inglés)	★	★
Número de base total (TBN, por sus siglas en inglés)		✓
Indicador refrigerante	✓	✓
Hollin	✓	✓
Dilución por combustible	C	C
Índice (PQ) cuantificador de partículas		✓
Metales	✓	✓

Clave
 ✓ Prueba incluido
 C Prueba condicional
 ★ Índice de acidez total (TAN, por sus siglas en inglés) en lugar de la oxidación para los productos sintéticos

Fuente: EXXON MOBIL. Únase al programa.

Figura 36. Análisis de la muestra

Análisis de Lubricante Mobil Serv SM – Análisis del sistema		
Prueba	Objetivo	Importancia de la prueba
Indicador de refrigerante	Determinar el nivel de sodio, potasio y boro en el aceite del compresor.	Indicador de una fuga del refrigerante dentro del compresor.
Metales	Determinar la presencia y niveles de contenido metálico en el aceite, incluyendo partículas contaminantes y de desgaste.	El nivel de metales de desgaste ayuda a determinar si los componentes del equipo se están deteriorando o si han entrado partículas dañinas de contaminación al aceite. También se reporta el nivel de metales que son parte de la química de los aditivos.
Nitración	Medir la cantidad de subproductos del nitrógeno en el aceite.	En bombas de alta presión, la nitración resulta de la rápida compresión del aire arrastrado. Como resultado, si no se controla, el nitrógeno y precursores de la oxidación pueden formar barnices pegajosos, los cuales podrían conducir al pegado de válvulas.
Oxidación	Determinar el nivel de oxidación del lubricante y su deterioro.	La oxidación puede significar: <ul style="list-style-type: none"> Mayor corrosión y desgaste. Menor duración del equipo. Incremento en la viscosidad. Exceso de residuos y obstrucciones.
Análisis de Conteo de Partículas	Medir el nivel de partículas contaminantes en el aceite.	<ul style="list-style-type: none"> La limpieza es un factor crucial en el funcionamiento de los sistemas de aceite hidráulico y de circulación. Los residuos pueden interferir en las tolerancias finas de las bombas y válvulas del sistema u ocasionar desgaste prematuro.
Índice de Cuantificación de Partículas (PQ)	Determinar fallas por fatiga de metales ferrosos y contacto entre metales que normalmente no se detectan con los actuales análisis espectrográficos.	El índice PQ puede detectar, en las primeras etapas: <ul style="list-style-type: none"> Desgaste de los rodamientos antifricción. Desgaste de los rodamientos comunes. Desgaste de los engranes.
Índice Total de Acidez (TAN)	Medir los subproductos de la oxidación del aceite ácido.	Un Índice Total de Acidez elevado podría indicar un incremento en la acidez del aceite, como resultado de su alta oxidación.
Ultracentrifugado	Medir la formación de depósitos en el barniz en el aceite hidráulico.	La formación elevada de depósitos puede indicar potencial para la formación de barniz.
Viscosidad	Determinar la resistencia del aceite al flujo.	<ul style="list-style-type: none"> Un incremento en la viscosidad puede deberse al exceso de hollín o contenidos insolubles, contaminación del agua, o a la mezcla con un lubricante o combustible de mayor viscosidad. Una disminución en la viscosidad puede deberse a la contaminación del agua, o a la mezcla con un lubricante o combustible de menor viscosidad. Tanto la viscosidad alta como baja pueden provocar desgaste prematuro del equipo.
Agua	Detectar la presencia de contaminación en el agua.	La contaminación en el agua podría ocasionar corrosión severa y el subsiguiente desgaste, un grosor insuficiente de película o fragilidad por hidrógeno.

Fuente: EXXON MOBIL. Únase al programa.

5.3 INDICADORES

Para realizar una medición a la gestión de mantenimiento se plantean que se realice mediante la creación de los siguientes indicadores. La frecuencia con que se medirán serán inicialmente de cada 6 meses, sin embargo se podrá modificar su frecuencia a discreción del director de mantenimiento. Cada indicador se maneja por equipo. Los indicadores son:

- Disponibilidad:

$$D = \frac{T_{TO} - T_{TP}}{T_{TO}}$$

Donde:

T_{TO} = Tiempo total de operación.

T_{TP} = Tiempo total de paradas no planificadas.

D = Disponibilidad.

- Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF O MTBF). Permite conocer la frecuencia con que ocurren las fallas.

$$TPEF = \frac{T_{TO}}{\# Fallas}$$

Donde:

T_{TO} = Tiempo total de operación.

- Tiempo Promedio de Reparación (TPPR O MTTR). Este deberá incluir el tiempo de planeación y el tiempo ejecución del mantenimiento.

$$TPEF = \frac{TFS}{\# Fallas}$$

- Índice de mantenimiento preventivo:

$$I_{MP} = \frac{H_{MP}}{H_T}$$

Donde:

H_{MP} = Horas de mantenimiento preventivo.

H_T = Horas disponibles para mantenimiento.

I_{MP} = Índice de mantenimiento preventivo.

- **Porcentaje de cierre de órdenes de trabajo.** Este indicador se podrá medir bimestralmente:

$$\%OT_C = \frac{OT_C}{OT_T}$$

Donde:

OT_C = Ordenes de trabajo cerradas.

OT_T = Ordenes de trabajo totales

$\%OT_C$ = Porcentaje de cierre de órdenes.

5.4 INVENTARIOS

Para establecer el stock de repuestos de máximos y mínimos de los buldócer, se toman como base las siguientes consideraciones:

- Continuar con la directriz de inventarios mínimo.
- Las causas raíz de las fallas comunes en el periodo estudiado.
- Actualmente en la cantera Loma Pelada existen tres referencias de Buldócer CAT- D5G, CAT- D8N, CAT-D3C, KOMATSU D85E18.

En el Cuadro 19 se observa el stock de repuestos propuestos para los buldócer de la cantera Loma Pelada de la empresa REX Ingeniería S.A.

Cuadro 20. Stock de repuestos propuestos para los buldócer la cantera Loma Pelada

ITEM	DESCRIPCION	CANT. MINIMA	CANT. MAXIMA	UNIDAD
1	Filtro de Combustible CAT-D5G	3	5	Und
2	Filtro de Combustible CAT-D3C	1	3	Und
3	Filtro de Combustible CAT-D8N	1	3	Und
4	Filtro Combustible KOMATSU D85E18	1	3	Und
5	Sensor de Translación CAT-D5G	4	8	Und
6	Sensor de Translación CAT-D3C	2	4	Und
7	Sensor de Translación CAT-D8N	2	4	Und
8	Sensor de Translación KOMATSU D85E18	2	4	Und
9	Bombillos Halogenos 24V	12	24	Und
10	Farola CAT- BULDOCER	2	6	Und
11	Farola KOMATSU - BULDOCER	2	4	Und
12	Manguera alta presion R-13 - 5500 psi 1"	20	50	Metro
13	Manguera alta presion R-13 - 5500 psi 3/4"	20	50	Metro
14	Manguera alta presion R-13 - 5500 psi 1/2"	20	50	Metro
15	Manguera alta presion R-13 - 5500 psi 3/8"	20	50	Metro
16	Acople alta presión - Macho - 5500 psi 1"	10	20	Und
17	Acople alta presión - Macho - 5500 psi 3/4"	10	20	Und
18	Acople alta presión - Macho - 5500 psi 1/2"	10	20	Und
19	Acople alta presión - Macho - 5500 psi 3/8"	10	20	Und
20	Acople alta presión - Hembra - 5500 psi 1"	10	20	Und
21	Acople alta presión - Hembra - 5500 psi 3/4"	10	20	Und
22	Acople alta presión - Hembra - 5500 psi 1/2"	10	20	Und
23	Acople alta presión - Hembra - 5500 psi 3/8"	10	20	Und
24	Aceite para motor MOBIL DELVAC MX 15W40	15	55	Gal
25	Aceite Hidráulico MOBIL NUTO 68	5	15	Gal
26	Valulina MOBIL 80W90	5	15	Gal
27	Valulina MOBIL 90W140	5	15	Gal

Fuente: Elaboración propia, 2018.

6. CONCLUSIONES

Al realizar una auditoría de la gestión del mantenimiento REX Ingeniería S.A. en la cantera Loma Pelada se pudo establecer el estado actual del Departamento de Mantenimiento en la empresa, encontrándose que con urgencia se requiere de una intervención inmediata.

Se pudo establecer los modos de falla más recurrentes en los buldócer de dicha cantera, por lo que el examen de la situación problema facilitó proponer un modelo de gerenciamiento predictivo y preventivo con el fin de preveer y detectar a tiempo las fallas de los equipos y ejecutar las actividades necesarias para mantenerlos en óptimas condiciones de operatividad y disponibilidad.

Igualmente, se entregan diversos formatos que permiten establecer un de stock de inventario de repuestos para los buldócer que se encuentran en la cantera Loma Pelada determinado criterios de máximos y mínimos.

Se pudo elaborar un sistema de información en Excel que permita visualizar conceptos indispensables para el óptimo estado de los equipos identificadas desde el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, como lo son: tareas pendientes por equipo, avance actual en ejecución, prioridad de la tarea, personal asignado a cada tarea, tiempos de ejecución estimados, estado pedido e insumos requeridos para la tarea, fecha de entrega de insumos.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIAR, Leonardo y RODRÍGUEZ, Hender. Análisis de modos y efectos de falla para mejorar la disponibilidad operacional en la línea de producción de Gaseosas No. 3. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bogotá: Universidad Libre de Colombia, 2014. p. 1-81.

ALIAGA, Julio. Diferencia entre convertidor y divisor de par [en línea]. 2013 [consultado 23 enero 2018]. Disponible en: <https://informaquinarias.blogspot.com.co/2013/08/diferencia-entre-convertidor-y-divisor.html>.

ALTMANN, Carolina. El análisis de aceite como herramienta del Mantenimiento proactivo en flotas de maquinaria pesada [en línea]. 2005 [consultado 18 marzo 2017]. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/0607lubricacion.pdf>.

ALPIZAR, Emilio. Mantenimiento. En *Operación, mantenimiento y control de calidad*. Washington: BVSDE, 2014. p. 192-246.

ÁNGEL, Juan. Gestión de stocks: modelos deterministas [en línea]. 2011 [consultado 6 febrero 2018]. Disponible en: https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Stocks_1.pdf.

ANGULO, Raúl. Cómo aplicar el punto de reorden en tu empresa [en línea]. 2016 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <https://clickbalance.com/blog/contabilidad-y-administracion/como-aplicar-el-punto-de-reorden-en-tu-empresa/>.

ASTM INTERNATIONAL. Método de prueba estándar para agua en productos derivados del petróleo y materiales bituminosos por destilación [en línea]. 2018 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D445-SP.htm>.

ASTM INTERNATIONAL. Método de prueba estándar para determinación de aluminio y silicio en fueóleos por reducción a cenizas, fusión, espectrometría por emisión atómica de plasma acoplado inductivamente, y espectrometría por absorción atómica [en línea]. 2017 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D5184-SP.htm>.

_____. Método de prueba estándar para determinación de la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (y cálculo de la viscosidad dinámica) [en línea]. 2018 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D445-SP.htm>.

BARDAHL INSTITUCIONAL. ¿Por qué diluir el anticongelante? [en línea]. 2018 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <http://www.bardahl.com.mx/proporciones-anticongelante/>.

BOLAÑO, Arlenso y CHÁVEZ, Jorge. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para las bombas hidráulicas que trasiegan combustible diésel marino del Bote Urabá de la empresa Petrocomercial S.A. Barranquilla: Universidad Autónoma del Caribe, 2012. p. 1-78.

BORRÁS, Carlos. Mantenimiento preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017. p. 1-163.

BORRÁS, Carlos. Principios de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2016. p. 1-125.

BRIDGES, Sarah. I drive a bulldozer. Estados Unidos: Capstone, 2010. p. 1-24.

BUSTAMANTE, M. Convertidores de par y divisores de par [en línea]. 2014 [consultado 22 enero 2018]. Disponible en: http://www.academia.edu/33132180/Lecci%C3%B3n_2_Convertidores_de_Par_y_Divisores_de_Par.

CANTERA PIATTI S.A. La innovación es esencial para el progreso [en línea]. 2017 [consultado 18 noviembre 2017]. Disponible en: <http://www.canterapiatti.com.ar/>. p. 1-6.

CÁRCEL, Javier. La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial. Investigación sobre la incidencia en sus actividades estratégicas. España: Universidad Politécnica de Valencia, 2014. p. 1-316.

CATERPILLAR MOTOR. Manual del instructor [en línea]. 1984 [consultado 10 febrero 2018]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/barbi1984/60053027-manualdelinstructortrendefuerzatractores>.

_____. Tractor de cadenas D8T [en línea]. 2012 [consultado 22 febrero 2018]. Disponible en: <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20170420-47085-59951>.

CERRINI, Roberto y PAGE, Roberto. La minería en el contexto de la ordenación del territorio. España: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 2001. p. 1-414.

CERVANTES, Gustavo. Realizar el plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria del departamento de marcos y molduras en la empresa Antiguo Arte

Europeo S.A. de C.V. Trabajo de grado Ingeniero en Mantenimiento Industrial. Tula de Allende Hidalgo: Universidad Tecnológica de Tula, 2011. p. 1-70.

CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO. Mantenimiento de maquinaria: cuidados y prevención. *Revista Construcción Minera y Energía* [en línea]. 2018, vol. 14, nro. 5 [consultado 21 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.construccionminera.cl/mantenimiento-de-maquinaria-cuidados-y-prevencion/#.Wull0sgvxPZ>.

ESCOBAR, Edgar y MONTERO, Vladimir. Diseño y puesta en marcha de un programa de mantenimiento preventivo/predictivo como requisito en la implementación de un sistema de calidad según la norma ISO 9002 en la empresa "Hustman ISI Colombia Ltda." a través del mejoramiento y aplicación de un software. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Cartagena de Indias: Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, 2000. p. 1-353.

ESCUELA TÉCNICA MILITAR DE AVIACIÓN. Transmisión hidráulica [en línea]. 2010 [consultado 10 febrero 2018]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/358maquinas/transmision-hidraulica>.

EXXON MOBIL. Únase al programa [en línea]. 2015 [consultado 18 mayo 2018]. Disponible en: <https://mobilserv.mobil.com/es/sign-up/>.

FLÓREZ, Antonio. Buldócer [en línea]. 2018 [consultado 14 febrero 2018]. Disponible en: <https://palabrasclaras.mx/destacadas/recuperan-maquinaria-veracruz-en-manos-particulares/attachment/buldocer/>.

FONSECA, José y LÓPEZ, Luz. Guía práctica de maquinaria adecuada para la construcción de proyectos viales. Trabajo de grado Especialista en Vías y Transporte. Medellín: Universidad de Medellín, 2011. p. 1-143.

FUNDACIÓN CIENCIA TÉCNICA Y ADMINISTRATIVA. Diagrama de Causa y Efecto [en línea]. 2015 [consultado 3 febrero 2018]. Disponible en: http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/herramientas_calidad/causaefecto.htm.

GARCÍA, Jesús. Las siete herramientas de la calidad. Diagramas de Pareto [en línea]. 2010 [consultado el 3 febrero 2018]. Disponible en: <https://jesusgarciaj.com/2010/01/19/las-siete-herramientas-de-la-calidad-diagramas-de-pareto/>.

GARCÍA, Santiago. Ingeniería de Mantenimiento. Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento. Madrid: Renovetec, 2013. p. 1-38.

GONZÁLEZ, Francisco. Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión. Madrid: Fundación Confemetal, 2004. p. 1-259.

GUO, Wenyu. Pruebas de diagnóstico y monitoreo de máquinas rotativas. Austria: OMICRON, 2018. p. 1-28.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto. 2 ed. España: Gobierno de España, 2001. p. 1-603.

HOYOS, Luis. El verdadero significado de las 6 curvas RCM [en línea]. 2011 [consultado 28 enero 2018]. Disponible en: <http://www.livingreliability.com/wordpress/posts/el-verdadero-significado-de-las-6-curvas-rcm/>.

JOHN DEERE. J Bulldozer J:450, 550, 650 [en línea]. 2009 [consultado 19 febrero 2018]. Disponible en: https://www.deere.com/common/docs/products/equipment/crawler_dozers/450j/dka450J.pdf.

KOMATSU COLOMBIA. Manual de taller del bulldozer D375A-5 WHMS Komatsu - Tractor de cadenas [en línea]. 2015 [citado 18 enero 2018]. Disponible en: <https://www.maquinariaspesadas.org/blog/2052-manual-taller-bulldozer-d375a5-whms-komatsu-tractor-cadenas>.

LAROCCA, Félix. Sistemas estocásticos y entropía: remedios a fuerzas que controlan nuestras vidas [en línea]. 2009 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos102/sistemas-estocasticos-y-entropia-remedios-fuerzas-que-cona-trolan-nuestras-vidas/sistemas-estocasticos-y-entropia-remedios-fuerzas-que-cona-trolan-nuestras-vidas.shtml#ixzz5DnnMC0Oy>. p. 1-13.

MAGALLÓN, Aaron. Implementación de mantenimiento preventivo/predictivo en equipo biomedico en el Instituto Mexicano del Seguro Social. Trabajo de grado Ingeniero en Mantenimiento Industrial. México: Universidad Tecnológica de Tula, 2011. p. 1-107.

MAHONEY, George. Elimine los defectos con los elementos Uptime [en línea]. 2016 [consultado 28 enero 2018]. Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/elimine-los-defectos-con-los-elementos-uptime>.

MAQUINARIA PESADA. Curso: máquinas de perforación en minas subterránea – aplicaciones y características [en línea]. 2016 [consultado 6 febrero de 2018]. Disponible en: <https://www.maquinariaspesadas.org/blog/6451-curso-maquinas>

perforacion-minas-subterranea-aplicaciones-caracteristicas.

MARTÍNEZ, León. Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional. Trabajo de grado Magister en Ingeniería Eléctrica. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2014. p. 1-92.

MEDINA, Jorge. RCM Paso 3: modos de falla y causa raíz ¿qué ocasiona cada falla funcional? modos de falla {en línea}. 2016 [consultado 30 enero 2018]. Disponible en: <https://confiabilidadrcm.wordpress.com/2016/09/02/paso-3-modos-de-falla-y-causa-raiz-que-ocasiona-cada-falla-funcional-modos-de-falla/>.

MESA, Alejandro. Seis claves para implementar un programa de lubricación centrado en confiabilidad [en línea]. 2017 [consultado 22 abril 2017]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/seis-claves-para-implementar-un-programa-de-lubricacion-centrado-en-confiabilidad/>.

MONTILLA, Carlos. Fundamentos de mantenimiento industrial. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2016. p. 1-205.

MORA, Luis. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. México: Alfaomega, 2009. p. 1-390.

MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México: Pearson Educación, 2006. p. 1-872. ISBN 9702608120, 9789702608127.

NAVIDAD, Daniel. Mejora del programa y la gestión del mantenimiento en un centro comercial. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. España: Universitat Jaume I, 2016. p. 1-76.

NEITA, Lida y PEÑA Elkin. Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo. Trabajo de grado Especialista en Control e Instrumentación Industrial. Floridablanca: Pontificia Universidad Bolivariana, 2011. p. 1-221.

NORIA LATÍN AMÉRICA. Cómo la dilución con combustible daña los motores [en línea]. 2017 [consultado 26 de abril 2018]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/como-la-dilucion-con-combustible-dana-los-motores/>.

_____. El valor del conteo de partículas en el análisis del lubricante [en línea]. 2016 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/el-valor-del-conteo-de-particulas-en-el-analisis-del-lubricante/>.

_____. La oxidación – Enemiga del lubricante [en línea]. 2016 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/la-oxidacion-enemiga-del-lubricante/>.

OLARTE, William y BOTERO, Marcela. La detección del ultra sonido: una técnica empleada en el mantenimiento predictivo. *Scientia et Technica* [en línea] 2011, vol. 7, nro. 47 [consultado 15 marzo 2018]. Disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/525/249>.

OLARTE, William; BOTERO, Marcela y CAÑÓN, Benhur. Technologies of maintenance predictive used in the industry. *Scientia et Technica* [en línea]. 2010, vol. 16, nro. 45 [consultado 22 noviembre 2017]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4546591.pdf>.

QS INDUSTRIAL. Termografía infrarroja [en línea]. 2017 [consultado 23 noviembre 2017]. Disponible en: <http://qsindustrial.com.mx/termografia-infrarroja/>.

PÁEZ, Alfonso. Cómo determinar la presencia de hollín en aceites para motores diésel [en línea]. 2016 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/como-determinar-la-presencia-de-hollin-en-aceites-para-motores-diesel/>.

PAREDES, Diego. Manual Bulldozers: tipos estructura mecanismos operaciones sistemas aplicaciones selección tendencias [en línea]. 2016 [consultado 2 febrero 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/334012956/Manual-Bulldozers-Tipos-Estructura-Mecanismos-Operaciones-Sistemas-Aplicaciones-Seleccion-Tendencias-1>.

PICAS, Josep. Espectrómetro para análisis de metales [en línea]. 2017 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <https://www.upc.edu/sct/es/equip/509/espectrometro-analisis-metales.html>.

RENOVE TECNOLOGÍA S.L. Técnicas de mantenimiento predictivo en plantas industriales [en línea]. 2015 [consultado 23 noviembre 2017]. Disponible en: <http://www.renovetec.com/irim/131-tecnicas-de-mantenimiento-predictivo>.

REX INGENIERÍA S.A. Quiénes somos. Bogotá: REX Ingeniería, 2017. p. 1-4.

_____. Reseña fotográfica. Cundinamarca, 2017.

RISSE, H. Determinación de TAN/TBN totalmente automática en muestras industriales según las normas ASTM D664 y D2896. Documento principal [en línea]. 2017 [consultado 26 abril 2018]. Disponible en: <https://www.metrohm.com/es/applications/80006049>.

RIVERA, Enrique. Sistema de gestión del mantenimiento industrial. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos,

2011. p. 1-232.

RODRÍGUEZ, Rafael y RONCALLO, César. Diseño de un plan maestro para la implantación del Total Productive Maintenance (TPM) en los procesos productivos de la empresa XAR Ltda. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2013. p. 1-263.

RODRÍGUEZ, Wendy. Plan de mantenimiento para el Centro Diagnóstico Automotor El Coche Aguachica S.A.S. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander, 2012. p. 1-108.

SALDIVIA, Francisco. Aplicación de mantenimiento predictivo. caso estudio: análisis de aceite usado en un motor de combustión interna [en línea]. 2013 [consultado 18 marzo 2017]. Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP264.pdf>.

SCHENCK ROTEC GMBH. SmartBalancer: balanceo en campo [en línea]. 2018 [consultado 17 marzo 2017]. Disponible en: <http://www.schenck-rotec.com.mx/products/products/SmartBalancer3.php>.

SISTEMIC ESPAÑA. Diagrama causa-efecto: herramienta LEAN de análisis para la mejora [en línea]. 2018 [consultado 3 febrero 2018]. Disponible en: <https://www.sistemic.es/noticias/diagrama-causa-efecto-herramienta-lean-de-analisis-para-la-mejora/>.

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. Manual de mantenimiento. Bogotá: División Sector Industria y de la Construcción, 1991. p. 1-265.

TBN SERVICIOS INTEGRALES DE LUBRICACIÓN. Ultrasonido: aire y estructuras [en línea]. 2014 [consultado 15 marzo 2018]. Disponible en:

http://www.tbn.es/experia-cgi/v2.2/viewhtml.pl?DescriptionFile=tbn-menu.def&calling=ultrasonidos_es&menudepth=4&language=es&User=&navigate_path=@1;activi.mantenimiento.ultrasonidos&menu=navigate&opened_navigate=0&OsCsid=&.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE. El convertidor par [en línea]. 2013 [consultado 22 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.ceduc.cl/aula/cqbo/materiales/ME/ME-470/A/material%20para%20cuestionario.pdf>.

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. La transmisión [en línea]. 2013 [consultado 22 febrero 2018]. Disponible en: https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2013/449/42166/1/Documento.pdf.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Especialización en mantenimiento: perfil profesional [en línea]. 2015 [consultado 12 noviembre 2017]. Disponible en: <http://medellin.unal.edu.co/egresados/images/pdf/especializacion.pdf>.

VALDERRAMA, Andrés y LÓPEZ, William. Diagnóstico técnico de motores diésel mediante el análisis estadístico del aceite lubricante [en línea]. 2001, vol. 2, nro. 2 [consultado 22 abril 2017]. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/hidraulica_mecanica/2001_n2/diagnostico.htm.

VERA, Hernando. Aplicación de la metodología causa raíz (RCA), para la eliminación de un mal actor en equipos críticos de la SOM - Ecopetrol S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011. p. 1-114.

VERGARA, Raquel. La estadística en el mantenimiento y reemplazo óptimo en el control de calidad. Trabajo de grado Maestría en Ciencias Matemáticas Aplicadas e Industriales. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, 2014, p. 1-128.

WORLDWIDE CONSTRUCTION AND FORESTRY DIVISION. Ficha técnica Jhon Deere 450J, 550J, 650J [en línea]. 2012 [consultado 16 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.moffatpipe.com/Equipment-Manuals/DZR%2002%20-%20JD650J/DZR%2002%20-%20650J%20-%20Spanish.PDF>.

YEPES, Víctor. Trenes de rodaje de orugas [en línea]. 2016 [consultado 19 febrero 2018]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/05/04/trenes-de-rodaje-de-orugas/>.