

**IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD (RCM) PARA LOS EQUIPOS MINEROS A CARGO DEL AREA DE
MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA MINESA S.A.S.**

JESÚS DAVID DIAZ VILLAR

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA
2017**

**IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD (RCM) PARA LOS EQUIPOS MINEROS A CARGO DEL AREA DE
MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA MINESA S.A.S.**

JESUS DAVID DIAZ VILLAR

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar por el título de
Ingeniero Mecánico**

**Director:
Gabriel Fernando Garcia Sanchez
Ingeniero Mecánico Msc.**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA
2017**

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Jesús David Díaz Villar, declaro que el presente trabajo de grado es de mi autoría y que el contenido es auténtico y original. Los textos y figuras en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad de este trabajo de grado para la titulación del pregrado.

JESUS DAVID DIAZ VILLAR
C.C 1098762163

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por permitirme llegar hasta donde hoy día he llegado, por sus enormes bendiciones y su infinita bondad que día a día están presentes en mi vida.

Agradezco a mi supervisor de práctica Ing. Daniel Ojeda por la confianza en el trabajo y el tiempo dedicado en la guianza de las actividades realizadas durante el desarrollo de la misma, a Omar López por la gestión y la ayuda para el ingreso a la práctica.

A la empresa Sociedad Minesa de Santander S.A.S por el acogimiento, la responsabilidad del cargo como ingeniero de mantenimiento y el acceso a la información necesaria para cumplir con los objetivos de este trabajo.

Jesús.

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado se lo dedico a mis padres Alexandra Villar y Mauricio Díaz que gracias a sus incansables esfuerzos me dieron la dicha de realizar mí pregrado, a mis hermanos por apoyarme en los momentos difíciles, a mi querida esposa por su inmenso cariño, amor y comprensión durante todo el transcurso de mi carrera, y a mi fuente de inspiración, a mi mayor fuerza de motivación, mi hija Emma Lucia Díaz Bayona.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCION	13
1.1 Generalidades de la empresa	15
1.1.1 Reseña histórica	15
1.1.2 Visión.....	15
1.1.3 Misión.....	15
1.2 Instalaciones de la empresa	15
1.3 Planteamiento del problema	20
1.4 Justificación.....	20
1.5 Objetivos	21
1.5.1 Objetivo general	21
1.5.2 Objetivos específicos	21
1.6 DESCRIPCION GENERAL DEL AREA DE MANTENIMIENTO DE LA COMPAÑÍA.....	21
1.6.1 Objetivos del área de mantenimiento	22
1.6.2 Organigrama del área de mantenimiento	23
2. MARCO TEORICO	24
2.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad	24
2.1.1 Antecedentes	24
2.1.2 Definición de RCM	27
2.1.3 El RCM como técnica.....	28
2.2 Metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad	30
2.2.1 Funciones.....	29
2.2.2 Fallas funcionales	30
2.2.3 Modos de falla.....	30
2.2.4 Efectos de falla.....	31
2.2.5 Consecuencia de la falla	31
2.2.6 Tareas proactivas	31
2.2.7 AMEF.....	32
2.2.8 Análisis de criticidad.....	33
3. FLOTA DE EQUIPOS MINEROS	34
3.1 Equipos mineros seleccionados	36
3.1.1 Dumper articulada VOLVO A30F	37
3.1.2 Tractor de cadenas (bulldozer) CAT D6N	38
3.1.3 Telehandler CAT TH414	39
3.1.4 Retroexcavadora VOLVO BL60	40
3.1.5 Lanzador de concreto NORMET ALPHA 20	41
3.1.6 Cargador de bajo perfil SANDVIK LH410	43
3.1.7 Jumbo de perforación SANDVIK DD321	44
4. PORCENTAJES DE DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS	45
4.1 Disponibilidad total	45
5. IMPLEMENTACION DEL RCM	48
5.1 Planificación	48
5.2 Formación equipo de trabajo	49
5.3 Selección de los sistemas de actuación a los que aplicara el RCM.....	49

5.4 Alcance de la taxonomía del análisis	51
5.5 Análisis de criticidad	52
5.6 Plan de mantenimiento	55
6. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA RCM	55
6.1 Determinación del AMEF y Análisis de Criticidad	56
6.2 Desarrollo del plan de mantenimiento aplicando RCM.....	57
6.2.1 AMEF y Análisis de Criticidad del sistema Motor	58
6.2.2 AMEF y Análisis de Criticidad del sistema de Traslación	63
6.2.3 AMEF y Análisis de criticidad del sistema Hidráulico.....	66
6.2.4 AMEF y Análisis de Criticidad del sistema Eléctrico	55
6.3 Planes de mantenimiento por sistema de actuación	72
6.3.1 Plan de mantenimiento según RCM para el sistema Motor	73
6.3.2 Plan de mantenimiento según RCM para el sistema Traslación	78
6.3.3 Plan de mantenimiento según RCM para el sistema Hidráulico	82
6.3.4 Plan de mantenimiento según RCM para el sistema Eléctrico.....	84
6.4 Creación de estándar de trabajo (STANDARD JOB)	85
6.4.1 Tareas de inspección	86
6.4.2 Tareas de limpieza	89
6.4.3 Tareas de lubricación	89
6.4.4 Tareas de reparación y fabricación	89
6.4.5 Tareas de sustitución por grupos de equipos	90
7. GESTION DE OT Y HOJA DE VIDA DE LOS EQUIPOS	93
8. GESTION DE LA INFORMACION DEL RCM PARA LA FUTURA IMPLEMENTACION DEL MODULO DE MANTENIMIENTO (SOTWARE TOTVS) COMPRADO RECIENTEMENTE POR LA EMPRESA.....	96
9. CONCLUSIONES	98
10. BIBLIOGRAFIA	101

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Área de influencia del proyecto.....	15
Figura 2. Instalaciones de sede Higuera.....	16
Figura 3. Instalaciones de sede Calvista.....	17
Figura 4. Instalaciones de sede Pórtico.....	17
Figura 5. Instalaciones Emboque.....	18
Figura 6. Instalaciones Padilla.....	19
Figura 7. Ubicación del área de mantenimiento en la empresa.....	22
Figura 8. Objetivos del área de mantenimiento.....	22
Figura 9. Organigrama mantenimiento.....	23
Figura 10. Evolución de los patrones de falla	26
Figura 11. Descripción del comportamiento de los casos de falla.....	26
Figura 12. Evolución de las técnicas de mantenimiento.....	27
Figura 13. Estrategias del mantenimiento.....	32
Figura 14. Hoja de vida Dumper articulada VOLVO A30F.....	37
Figura 15. Hoja de vida Tractor de cadenas CAT D6N.....	38
Figura 16. Hoja de vida Telehandler CAT TH414.....	39
Figura 17. Hoja de vida Retroexcavadora VOLVO BL60.....	40
Figura 18. Hoja de vida Lanzador de concreto NORMET ALPHA 20.....	41
Figura 19. Hoja de vida cargador de bajo perfil SANDVIK LH410.....	43
Figura 20. Hoja de vida jumbo de perforación SANDVIK DD321.....	44
Figura 21. Horas de operación por vida en la empresa de cada equipo.....	46
Figura 22. Horas paradas de los equipos mineros por mantenimiento.....	46
Figura 23. Disponibilidad de los equipos mineros.....	47
Figura 24. Diagrama de flujo metodología RCM.....	48
Figura 25. Fallas de grupos de equipos por sistema de actuación.....	50
Figura 26. Taxonomía del RCM.....	51
Figura 27. Formato Orden de trabajo.....	94
Figura 28. Listado ordenes de trabajo.....	95
Figura 29. Lugar de almacenamiento de hoja de vida y catálogos de equipos.....	96
Figura 30. Software TOTVS (módulo de mantenimiento).....	97

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Evolución del RCM.....	25
Tabla 2. Las siete preguntas del RCM.....	29
Tabla 3. Ubicación de los equipos mineros por grupos de operación.....	35
Tabla 4. Matriz de criticidad.....	53
Tabla 5. Criterios para determinar la criticidad de los equipos	54
Tabla 6. Hoja informativa dentro del RCM del AMEF y Análisis de Criticidad.....	56
Tabla 7. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de admisión del motor diésel de 4 tiempos.....	58
Tabla 8. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de compresión del motor diésel de 4 tiempos.....	59
Tabla 9. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de inyección del ciclo motor diésel de 4 tiempos.....	60
Tabla 10. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de escape del motor diésel de 4 tiempos.....	61
Tabla 11. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema correas de accesorios.....	62
Tabla 12. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema neumáticos.....	63
Tabla 13. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de frenos.....	64
Tabla 14. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de servo transmisión.....	65
Tabla 15. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de ejes.....	66
Tabla 16. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema deposito.....	67
Tabla 17. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema actuadores.....	68
Tabla 18. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema arranque.....	69
Tabla 19. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de encendido.....	70
Tabla 20. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de encendido.....	71
Tabla 21. Plan de mantenimiento subsistema admisión.....	73
Tabla 22. Plan de mantenimiento subsistema compresión.....	74
Tabla 23. Plan de mantenimiento subsistema inyección.....	75
Tabla 24. Plan de mantenimiento subsistema escape.....	76
Tabla 25. Plan de mantenimiento subsistema correas de accesorios.....	77
Tabla 26. Plan de mantenimiento subsistema neumáticos.....	75
Tabla 27. Plan de mantenimiento subsistema frenos.....	79
Tabla 28. Plan de mantenimiento subsistema transmisión.....	80
Tabla 29. Plan de mantenimiento subsistema ejes.....	81

Tabla 30. Plan de mantenimiento subsistema deposito hidráulico.....	82
Tabla 31. Plan de mantenimiento subsistema actuadores.....	83
Tabla 32. Plan de mantenimiento subsistemas arranque, encendido y carga.....	84
Tabla 33. Tareas de mantenimiento para los estándares de trabajo.....	85
Tabla 34. Tareas de inspección del plan de mantenimiento.....	86
Tabla 35. Tares de limpieza del plan de mantenimiento.....	88
Tabla 36. Tares de lubricación del plan de mantenimiento.....	89
Tabla 38. Tareas de sustitución del plan de mantenimiento.....	87
Tabla 39. Tareas de puesta a punto.....	93

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA LOS EQUIPOS MINEROS A CARGO DEL AREA DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA MINESA S.A.S.

AUTOR(ES): Jesús David Díaz Villar

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): Gabriel Fernando García Sánchez

RESUMEN

En este proyecto, se desarrolla la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) aplicado a los equipos mineros a cargo del área de mantenimiento de la empresa Minesa S.A.S. Metodología que busca reducir considerablemente las paradas a causa de fallas inesperadas en la próxima etapa de construcción para la cual la empresa se prepara. La taxonomía del mantenimiento se propuso mediante la revisión de las hojas de vida de los 13 equipos mineros que dispone la empresa, realizando un análisis sobre cuales sistemas de actuación se encuentran las principales fallas que afecten la continuidad de las operaciones, la seguridad y la disponibilidad actual de los equipos. Posteriormente se escogieron 4 sistemas de actuación a los que se les aplico el RCM con un nivel de detalle de componente en el análisis de fallas. Mediante el equipo de trabajo y un análisis exhaustivo en los principales componentes de los diferentes sistemas de actuación, se realizó un análisis de frecuencia de falla en cada uno, lo que llevo a clasificar mediante el análisis de criticidad los parámetros de evaluación como son impacto a producción, capacidad de respaldo por falla, costo de reparación, impacto a la seguridad personal e impacto ambiental. Una vez realizado el RCM se llevó a la implementación en cada uno de los equipos con la creación de un servicio de trabajo independiente clasificado por 7 tareas de mantenimiento.

PALABRAS CLAVE:

Minesa, RCM, Equipos mineros, AMEF, Análisis de criticidad

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: IMPLEMENTATION OF THE METHODOLOGY MAINTENANCE CENTERED IN RELIABILITY (RCM) FOR THE MINING EQUIPMENT IN CHARGE OF THE MAINTENANCE AREA OF THE COMPANY MINESA S.A.S.

AUTHOR(S): Jesús David Díaz Villar

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Gabriel Fernando Garcia Sanchez

ABSTRACT

In this project, the methodology of maintenance focused on reliability (RCM) applied to the mining equipment in charge of the maintenance area of the company Minesa S.A.S. Methodology that seeks to considerably reduce stops due to unexpected failures in the next stage of construction for which the company is preparing. The taxonomy of maintenance was proposed by reviewing the resumes of the 13 mining equipment available to the company, performing an analysis on which systems of action are the main failures that affect the continuity of operations, safety and availability current of the teams. Subsequently, 4 action systems were chosen to which the RCM was applied with a component level of detail in the fault analysis. Through the work team and an exhaustive analysis of the main components of the different action systems, a failure frequency analysis was carried out in each one, which led us to classify the evaluation parameters by means of the criticality analysis. production, backup capacity due to failure, repair cost, impact on personal safety and environmental impact. Once the RCM was carried out, the implementation was carried out in each of the teams with the creation of an independent work service classified by 7 maintenance tasks.

KEYWORDS: Minesa, RCM, Mining Equipment, AMEF, Critically analysis

1. INTRODUCCIÓN

La dependencia humana se ve reflejada hoy en día por la obtención de riquezas generadas por los negocios altamente mecanizados y automatizados, es por esto que el mantenimiento industrial se ha enfocado en la continua integridad de los activos físicos. Esto es debido a que cuando los activos físicos fallan, no solo originan gastos considerables para la empresa ni solo se interrumpen los servicios, sino que nuestra propia vida se ve en riesgo.

En diferentes escenarios industriales ha existido una causa muy importante que desarrolló los peores accidentes e incidentes ambientales, se trata de la falla. Como resultado de esto, se han vuelto realmente de alta prioridad todos los procesos por los cuales suceden estas fallas y las actividades que hay que realizar para mitigarlas.¹

Junto a la importancia del cumplimiento que la empresa tiene en el cronograma de trabajo, se hizo prudente la realización de un modelo de mantenimiento en los equipos que tendrán la mayor demanda una vez se inicie la etapa de explotación, el cual se enfatizó en incrementar el tiempo promedio entre paradas de los equipos (MTBS) donde un incremento de dicho indicador refleja la buena calidad de los trabajos realizados para mantener los equipos y el aumento de la confiabilidad. Esto se realizó con el objetivo de recopilar la información suficiente para la retroalimentación de un módulo de mantenimiento que va a entrar en funcionamiento y permitirá el aumento de la eficiencia en la programación y ejecución de las ordenes de trabajo (OT) y el control de los activos fijos a cargo del área de mantenimiento, el cual con el tiempo ira teniendo una concepción de la información cada vez más real y enfocada a la confiabilidad que se define como la capacidad de que un equipo realice sus funciones requeridas bajo condiciones establecidas durante un periodo determinado.

¹ Moubray, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Carolina del Norte.: Aladon LLC, 2004. P. prefacio

1.1 Generalidades de la empresa

1.1.1 Reseña Histórica

La Sociedad Minera de Santander (MINESA), es una empresa colombiana de minería de oro instalada en noviembre del 2015 a razón de que el fondo árabe Mubadala, de propiedad del Gobierno de Abu Dhabi compró AUX Colombia, empresa minera del brasileño Eike Batista, un multimillonario que fue a la quiebra a causa de una plataforma oceánica de extracción de petróleo en Brasil llamada OGX. Empresa que en el año 2012 anunció que no podría producir más petróleo debido a errores cometidos por los ingenieros en los cálculos del volumen del pozo, esto llevó a que las acciones de OGX comenzaran a perder valor rápidamente cuando los inversores sospecharon que podía haber problemas con los compromisos financieros de la empresa.

La situación se agravó en el año 2013 cuando la empresa confirmó que iba a interrumpir la producción de petróleo ante las dificultades que habían surgido y posteriormente llegó la quiebra con las negociaciones con acreedores por una deuda de US\$3.600 millones que tenía la empresa.²

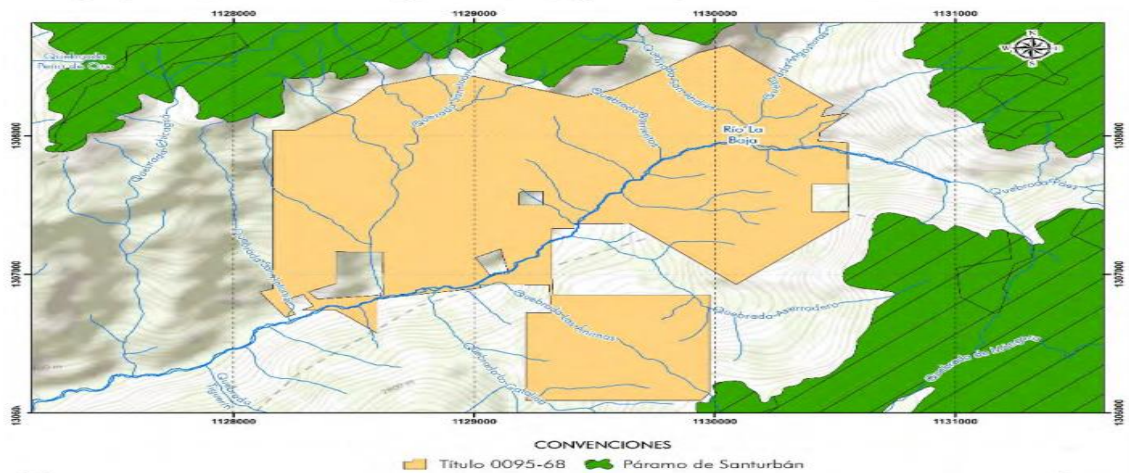
La caída de OGX considerada la más grande de América Latina afectó la solidez financiera de las otras empresas del grupo Batista, en las cuales estaba AUX. Batista no tuvo otra opción que ceder los activos de AUX para cubrir una deuda de US\$2.000 millones con el fondo Mubadala Development Company que recibió la empresa por un proceso de reestructuración de deuda.³ Al paso del tiempo se realizaron reuniones con los árabes del fondo Mubadala en el Ministerio de Minas en las que se apropiaron de las licencias en California Santander. Minesa reestructuró el proyecto minero que heredó para desarrollar un proyecto aurífero en la región de Soto Norte en el que se pretenden extraer 9 millones de onzas de oro durante 30 años. Actualmente la compañía se encuentra en fase de exploración y adelanta los estudios técnicos, financieros y ambientales necesarios para el desarrollo de un proyecto de minería de oro subterránea de clase mundial.

² Lissardy, Gerardo. La caída en desgracia del magnate brasileño que soñó con desbancar a Carlos Slim. En: BBC Mundo. Brasil. 2014. [En línea] párrafo 16 – 17.

³ Quevedo Hernández, Norbey. El oro de California, en manos de árabes. En: El Espectador. Colombia. 2015.

El proyecto Minesa está localizado en los municipios de California y Suratá en el departamento de Santander, fuera de los límites del páramo de Santurbán. Actualmente cuenta con 608 empleos entre directos y contratistas.

Figura 1. Área de influencia del proyecto



Fuente: Minesa S.A.S

1.1.2 Visión

La compañía líder en minería de oro más admirada en Colombia

1.1.3 Misión

- Proteger los recursos Naturales.
- Mejorar la vida de la gente y las comunidades locales contribuyendo con el desarrollo económico a Santander y Colombia.
- Hacer uso de la última tecnología y sistemas de negocio para tener una operación minera segura, eficiente y rentable.

1.2 Instalaciones de la empresa

Minesa cuenta con distintas sedes en California departamento de Santander, instalaciones

que son necesarias exponer para comprender la distribución, lugares de acción de la maquinaria y equipos con los que se ha estado realizando las actividades del plan de trabajo.

- Sede Higuera: Campamento actual del proyecto donde se encuentran las habitaciones (tanto para contratistas, operadores, jefes de área, practicantes y supervisores), comedores, gimnasio y las oficinas en las que se encuentran las áreas de recursos humanos, compras, tecnología de la información, geología, seguridad industrial, ambiental e ingeniería. La higuera también dispone de un consultorio médico en caso de emergencia.

Figura 2. Instalaciones de sede Higuera



Fuente: <http://www.minesa.com/quienes-somos/>

- Calvista: Esta sede está ubicada 1,5 km abajo de la sede principal Higuera. Está dividida en 3 sectores:
 1. El almacén, lugar donde se encuentran los repuestos, materiales, equipos y dispositivos para cualquier reparación, ajuste o modificación que se necesite realizar en las

diferentes instalaciones de la empresa y activos fijos.

2. Oficinas de Calvista, lugar a cargo del área de geología para realizar análisis geotécnicos y geoquímicos.
3. Taller, lugar a cargo del área de mantenimiento donde se ejecutan trabajos manuales de soldadura, corte, perforación, limpieza, inspección y reparación de equipos y demás.

Figura 3. Instalaciones de sede Calvista



Fuente: Elaborado por el autor

- Pórtico: Se encuentra ubicada al frente de la sede Calvista y está a cargo únicamente por el área de geología donde se realiza logging (muestrear los núcleos de rocas, cortar y preparar muestras según el estudio que se necesite, por ejemplo, para geoquímica, densidades o plt (prueba de carga puntual)).

Figura 4. Instalaciones de sede Pórtico



Fuente: Elaborado por el autor.

- Emboque: Ubicado 3 km arriba de la sede principal Higuera, este es el lugar y zona donde se dará inicio al proceso de extracción del oro.

Figura 5. Instalaciones Emboque



Fuente: <http://www.minesa.com/quienes-somos/>

El emboque actualmente cuenta con un túnel subterráneo con 156 m de longitud en los que los primeros 6m son túnel falso y 150 m del punto de inicio hasta el frente del túnel. Fue realizado por la anterior administración de AUX y será el inicio para la creación de dos túneles gemelos que tendrán una distancia de 5657 m y tendrán su destino final en la sede expuesta posteriormente. Es el lugar que contiene la mayor parte de la infraestructura minera.

- Padilla: Destino final de los túneles gemelos del proyecto y lugar de almacenamiento de todos los núcleos geológicos (muestras que se obtienen del subsuelo a partir de perforaciones el cual tiene como característica no afectar la roca y ver sus estructuras y texturas naturales según la profundidad de la perforación).

Figura 6. Instalaciones Padilla



Fuente: Elaborado por el autor.

En total existen 7 instalaciones de Minesa ubicadas en el municipio de California Santander, instalaciones que durante el tiempo de permanencia se han conocido y realizado diferentes tareas dentro del cronograma de actividades. Estas están enfocadas a la inspección de componentes de equipos mineros para la realización de cotizaciones asociadas a la compra de repuestos para el mantenimiento de las maquinas, la elaboración de instructivos de seguridad y mantenimiento enfocados a la utilización de equipos y a la inspección basada en la identificación de riesgos bajo las condiciones actuales de operación para equipos eléctricos, actualizaciones de hoja de vida de los equipos, inspecciones mecánicas por fallas de funcionamiento. Con lo anterior también se ha iniciado a la realización del AMEF del sistema mecánico de los equipos mineros para la futura implementación del RCM.

1.3 Planteamiento del problema

La compañía tiene en el desarrollo del proyecto diferentes etapas, como la de construcción y montaje propuesta para el año 2018 y la de explotación propuesta para el año 2021, etapas que una vez inicien la mayoría de equipos pesados operaran 24 horas diarias y el aumento de fallas será evidente. Actualmente en el plan de mantenimiento de la compañía no existe una planificación de un mantenimiento preventivo que sea diferente a la realización de tareas básicas de lubricación, cambios de aceite y filtros, además que tampoco está digitalizado y es establecido sin seguir una metodología específica, por esto resulta primordial desarrollar un plan apropiado de mantenimiento a través de la metodología Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad (RCM), que minimice notoriamente las fallas y sus efectos de los principales componentes de los sistemas de actuación de los equipos mineros.

1.4 Justificación

La Sociedad Minera de Santander (MINESA) del municipio de California Santander dispone de una infraestructura minera entre la que está la maquinaria pesada, equipos que actualmente realizan operaciones de poca duración por la etapa en la que la empresa se encuentra.

Dichos equipos son importantes para la siguiente etapa en la que estará la empresa (etapa de construcción), en está los equipos estarán diariamente en operación realizando funciones de excavación, perforación, relleno, transporte, desplazamiento de cargas, entre otros servicios sobre la zona de influencia del proyecto. La mayoría de edad que tiene toda la maquinaria pesada no sobrepasa los 8 años de operación, por lo que se considera que para empezar la etapa de construcción están en una etapa de alta probabilidad de fallas.

Las operaciones que se llevaran a cabo en la etapa de construcción requieren de una alta confiabilidad de los equipos ya que esta cuenta con un tiempo de ejecución y se generarían considerables pérdidas económicas, aprovechando que la mayoría de equipos no tienen muchas horas de operación se desea tener los equipos a punto para que el único momento en que se encuentren inactivos sea en lo posible solo en los mantenimientos programados

de cada uno.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General.

Implementar la metodología RCM (Reability Centred Maintenance) en los activos fijos a cargo del área de mantenimiento de la Sociedad Minera De Santander S.A.S.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Realizar y evaluar un análisis de modo y efecto de falla (AMEF) propuesto para los principales componentes de los sistemas de actuación de los equipos mineros.
- Gestionar las actividades de mantenimiento de los equipos mineros mediante horómetros que se generan desde los (check list) pre operacionales, y verificar según las condiciones de trabajo nuevas frecuencias de falla en los componentes de los equipos.
- Gestionar la base de datos del área de mantenimiento incluyendo, información de catálogos, hoja de vida y proveedores.
- Determinar las rutinas y actividades de mantenimiento en los equipos mineros, generando un estándar de trabajo (STANDARD JOB).

1.6 Descripción general del área de mantenimiento de la compañía

La Sociedad Minera de Santander, en general está constituida por gerencias y subprocesos administrativos, organizados y encargados de gestionar recursos productivos, ejecutar actividades con capital y recurso humano.

Uno de estos procesos es el de mantenimiento, que se deriva de la gerencia de operaciones y cuyas actividades se extienden a todos los procesos de la organización como proceso de apoyo, manteniendo una estrecha relación con el resto de las áreas funcionales de la empresa.

Figura 7. Ubicación del área de mantenimiento en la empresa



Fuente: Manual de funciones mantenimiento de Minesa

1.6.1 Objetivos del área de mantenimiento

El objetivo general del proceso de mantenimiento se plantea como obtener un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo coste y con el máximo estándar de seguridad para el personal que las utiliza y las mantiene.

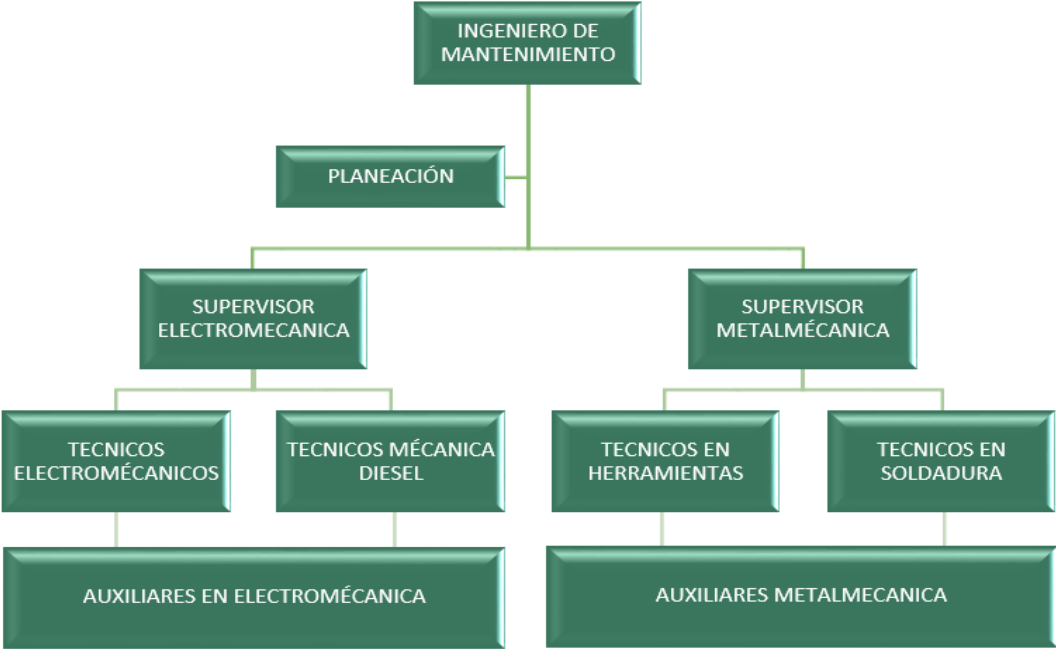
Figura 8. Objetivos del área de mantenimiento



Fuente: Manual de funciones mantenimiento de Minesa

1.6.2 Organigrama del área de mantenimiento

Figura 9. Organigrama mantenimiento.



Fuente: Manual de funciones de mantenimiento de Minsa

2. MARCO TEORICO

2.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad

2.1.1 Antecedentes

Una de las técnicas organizativas más actuales para aplicar el mantenimiento y mejorar significativamente los resultados es la del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, de ahora en adelante RCM (Reliability Centered Maintenance).

El RCM según la norma SAE JA1011 “fue desarrollado inicialmente por la industria de la aviación comercial con el fin de mejorar la seguridad y la confiabilidad de sus equipos. Fue documentado en un informe escrito por F.S. Nowlan y H.F Heap y publicado por el departamento de defensa de EE.UU. en 1978.”⁴ El reporte brindo una descripción integral del desarrollo y la aplicación del RCM en la industria de la aviación civil, y sentó las bases de la mayoría del trabajo hecho hoy en día fuera de la industria aeronáutica.⁵

El creciente reconocimiento mundial del papel fundamental que juega el RCM en la formulación de las estrategias de administración de activos fijos y la importancia de aplicar el RCM correctamente condujo a la American Society Of Automotive Engineers a publicar la norma SAE JA1011⁴, documento que describe los criterios mínimos que cualquier proceso debe cumplir para considerarse RCM. Inclusive la misma norma SAE JA1011 indica que no intenta definir un proceso RCM específico, pero si pretende ser útil para cualquier persona que desee verificar un RCM.⁶ Pag 1

El rastro del RCM se puede seguir a través de tres generaciones:

⁴ SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999. p1.

⁵ Moubray. Op. Cit., p reconocimientos.

⁶ Moubray. Op. Cit., p6.

Tabla 1. Evolución del RCM

Primera Generación		Segunda Generación			Tercera Generación		
La prevención de falla de los equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes por la simplicidad de los equipos en ese tiempo ya que en su mayoría estaban sobredimensionados, lo que le permitía al trabajador tener menos habilidades para ejecutar el mantenimiento.		Por la segunda guerra mundial aumento notoriamente la mecanización y complejidad por la demanda de todo tipo de bienes. En efecto surgió la atención en los tiempos de paradas de las maquinas, a lo que llevo al mantenimiento preventivo a tener reparaciones en intervalos fijados ya que con el tiempo la suma del capital ligado a activos fijos, llevo a las personas a buscar la forma de extender la vida útil de estos bienes.			Desde la década del sesenta hacia adelante la preocupación se enfocó en los costos operacionales, el servicio al cliente y la reducción de la producción por los tiempos de parada de las maquinas ya que los efectos que producía por pequeña que pareciera la falla hacia parar toda la planta.		
<ul style="list-style-type: none"> Reparar cuando se rompe 		<ul style="list-style-type: none"> Mayor disponibilidad de planta Mayor vida de los equipos Menor costo 			<ul style="list-style-type: none"> Mayor disponibilidad y confiabilidad de planta Mayor seguridad Mejor calidad de producto Ningún daño al medio ambiente Mayor vida de los equipos Mayor costo-eficiencia 		
1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010

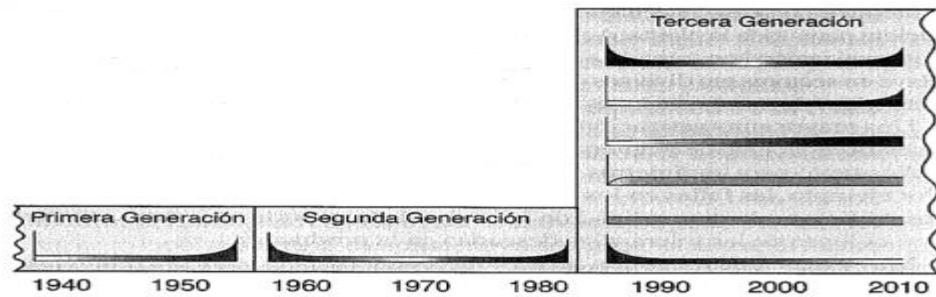
Fuente: Elaborado por el autor

Con la existencia de nuevas investigaciones se han cambiado muchas creencias acerca a la edad y fallas de las maquinas que se adoptaron desde la primera generación, donde la conexión entre la edad de la mayoría de los activos y la probabilidad de que estos fallen cada vez es menor. En la primera generación la idea se basaba en que los elementos envejecían con el paso del tiempo y eran más propensos a fallar. En la segunda generación se adoptó un patrón de falla que tuvo alta frecuencia en la primera y fue el modelo de mortalidad infantil que inicia con una gran incidencia de fallas y que posteriormente evoluciono la idea en la segunda generación cambiando la credibilidad a la curva de bañera que comienza con mortalidad infantil, seguida por un incremento constante o variable de la probabilidad condicional de falla y por ultimo una zona de desgaste que muestra una probabilidad condicional de falla.⁷

⁷ Moubray. Op. Cit., p6-7.

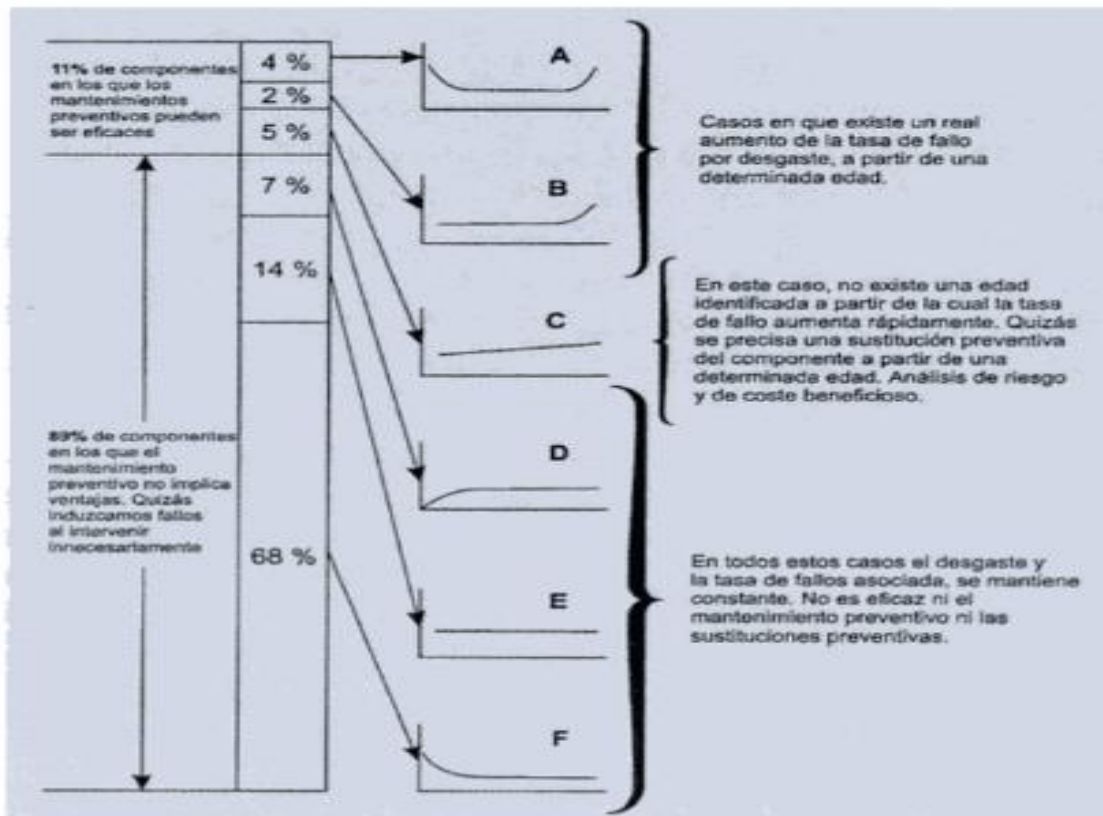
Con el paso del tiempo, las investigaciones en la tercera generación a diferencia de la primera y segunda generación, demostraron seis patrones de falla que realmente ocurren en la práctica ya que muchos tipos de fallos no podían ser prevenidos sin importar cuan intensas fueran las actividades de mantenimiento debido a que las fallas no seguían los patrones de fallo tradicionales.

Figura 10. Evolución de los patrones de falla



Fuente: Jhon Moubray RCM 2

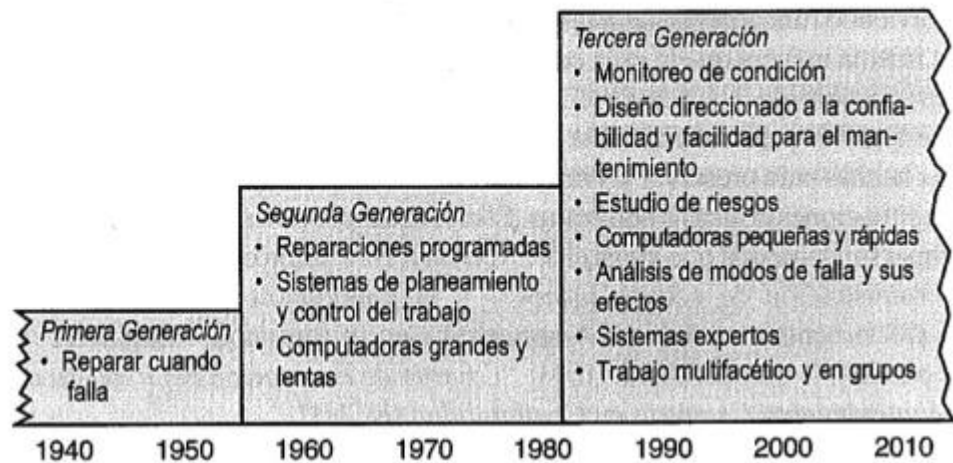
Figura 11. Descripción del comportamiento de los casos de falla



Fuente: Jhon Moubray RCM 2.

Producto de la evolución de generación en generación también se fueron adquiriendo nuevas técnicas de mantenimiento con el fin de mantener un control específico de los sistemas, yendo más allá de las tareas que están en los mantenimientos programados dados por el fabricante del equipo, ya que lo que se busca es que el trabajo planeado se mantenga y se haga tal cual como se planea, pero esto depende de muchas variables en su entorno de trabajo.

Figura 12. Evolución de las técnicas de mantenimiento



Fuente: Jhon Moubray RCM 2

2.1.2 Definición de RCM

La norma SAE JA1011 define el RCM como “un proceso utilizado para identificar las políticas que deben implementarse para administrar los modos de fallas que podrían causar fallas funcionales de cualquier activo”⁸.

⁸ SAE JA1011. Op. Cit., p2

Desde un punto de vista empresarial se define como “un proceso para determinar cuáles son las operaciones que debemos hacer para que un equipo o sistema continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, siempre y cuando ellas sean rentables para la empresa”⁹

2.1.3 El RCM como técnica

El RCM es una técnica que se basa en la búsqueda de mejores resultados con base en las siguientes premisas:

- Analizar con una metodología rigurosa y auditable cada tipo de fallo o avería de la forma más estricta y profunda, estudiando el modo y forma en que se producen dichos fallos y como estos se traducen en costes y reparaciones.
- La productividad global del departamento de mantenimiento debe mejorarse mediante una forma de trabajo más avanzada, proactiva y planificada y no haciendo mantenimientos inútiles.
- Se debe contar con el apoyo activo y cooperación del personal de mantenimiento, el de operación o producción, el personal técnico o de ingeniería y el administrativo.
- Tras el trabajo de estudio y definición de táctica es necesario una auditoria imparcial antes de su implantación real.

El RCM se implementa sobre la base de una serie de pasos muy planificados y relacionados. Primero hay que examinar bien las metas de productividad y de mejora que ha definido el área de mantenimiento, para lo que se precisara una clara estrategia por parte de esta sobre los principales parámetros a mejorar (costos, disponibilidad, fiabilidad, etc.). Una vez claro se evalúan los métodos por lo que estos objetivos puedan alcanzarse y también los efectos de los fallos. Por último, teniendo claras las metas y como se van a lograr, se debe llevar un trabajo casi de investigación para deducir los modos de falla más factibles y la mejor manera de eliminar o reducir las consecuencias de cada fallo.¹⁰

⁹ Gonzales Fernández, Francisco Javier. Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. II Edición. España.: Fundación Confemetal, 2005. p88-89.

¹⁰ Ibid. p. 82-83

2.2 Metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Cualquier proceso que se denomine como RCM debe cumplir con las siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

Tabla 2. Las siete preguntas del RCM

Número de pregunta	Descripción de la pregunta	Requisito
1	¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?	Funciones
2	¿De qué manera puede fallar al cumplir sus funciones?	Fallos funcionales
3	¿Cuál es la causa de cada fallo funcional?	Modos de fallo
4	¿Qué sucede cuando ocurre cada fallo?	Efectos de fallo
5	¿De qué manera afecta cada fallo?	Consecuencias
6	¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada fallo?	Tareas proactivas y frecuencias de ejecución
7	¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?	Acciones predeterminadas

Fuente: VILLACRÉS, Sergio, 2016.

2.2.1 Funciones

El primer paso del RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados. Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede ser dividido en dos categorías¹¹:

1. Funciones primarias: Resume el porqué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.
2. Funciones secundarias: Reconoce que se espera de cada activo. Recopila expectativas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales, etc.

¹¹ Moubray. Op. Cit., p8.

2.2.2 Fallas funcionales

Ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable. Dicho de otra forma, se considera falla funcional cuando el activo no realiza la función planteada en la primera pregunta de la **Tabla 2**.

2.2.3 Modos de falla

Una vez determinadas las funciones también se tienen las fallas funcionales como resultado inverso a la función. “El siguiente paso es tratar de identificar todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla, a estos hechos se les denomina modos de falla. Estos modos de falla “razonablemente posibles” incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallas que aún no han ocurrido, pero son consideradas altamente posible en el contexto operacional.”

“También es importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo tratando síntomas en lugar de causas reales”¹², por ejemplo, “no se puede intervenir en un gran motor generador por que haga un poco de ruido. La rigurosidad debe estar siempre presente en la toma de decisiones; con ello se quiere decir que, en este caso el nivel de ruido deberá tener unos límites aceptables a partir de los cuales sea necesaria la intervención de mantenimiento.”¹³

¹² Moubray. Op. Cit., p9.

¹³ Gonzales Fernández. Op. Cit., p89.

2.2.4 Efectos de falla

El cuarto paso tiene que ver con realizar un listado que describa lo que ocurre en cada modo de falla, tal como¹⁴:

- Que evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido
- De que modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente
- De que manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta)
- Que daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla
- Que debe hacerse para reparar la falla

2.2.5 Consecuencias de la falla

Las consecuencias hacen parte del análisis detallado de cualquier empresa industrial ya que cada una de estas afecta a la organización de algún modo, pero en cada caso los efectos son diferentes. Afectando operaciones, calidad del producto, servicio al cliente, la seguridad y el medio ambiente. Todas para ser reparadas tomaran tiempo y costaran dinero.¹⁵

2.2.6 Tareas proactivas

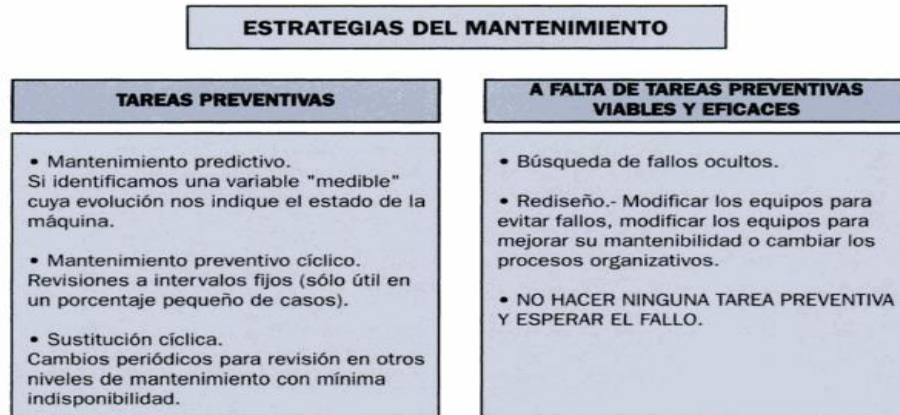
Es necesario que, cada vez que el grupo de trabajo analice fallo a fallo y aparezcan interrogantes, estos se deben contestar y analizar con mucha claridad en las respuestas. De esta forma se puede obtener el necesario análisis sobre costo – beneficio, que muy a menudo no existe en los planes de mantenimiento. Para esto hay que analizar que sucede si no se puede prevenir el fallo¹⁶. En la **Figura 13**. se presentan las estrategias de mantenimiento que el grupo debe tener en cuenta siempre.

¹⁴ Moubray. Op. Cit., p9.

¹⁵ Moubray. Op. Cit., p10.

¹⁶ Gonzales Fernández. Op. Cit p91.

Figura 13. Estrategias del mantenimiento



Fuente: Gonzales Fernández, Francisco Javier. Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado.

2.2.7 AMEF

El Análisis de los Modos y Efectos de Fallos (AMEF) o FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) en inglés, constituye la herramienta principal del RCM para la optimización de la gestión de mantenimiento en una organización. El AMEF es un método sistemático que permite identificar los problemas antes de que estos ocurran y puedan afectar o impactar a los procesos y productos, bajo un contexto operacional determinado. Hay que tener presente que la realización del AMEF constituye la parte más importante del proceso de implantación del RCM, ya que, a partir del análisis realizado por los grupos de trabajo RCM a los distintos activos en su contexto operacional, se obtendrá la información necesaria para poder prevenir los efectos y causas de los posibles fallos y realizar la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de fallo y sus posibles causas.

Por lo expresado anteriormente, se deduce que el objetivo básico del AMEF es encontrar todas las formas o modos en los cuales puede fallar un activo dentro de un proceso e identificar las posibles consecuencias o efectos de los fallos en función de tres criterios básicos para el RCM: seguridad humana, ambiente y operaciones (producción). Para poder cumplir con este objetivo, los grupos de trabajo RCM deben realizar el AMEF siguiendo la siguiente secuencia¹⁷:

¹⁷ Mora de Céspedes, Raúl. Mantenimiento RCM del sistema de refrigeración del motor diésel de un buque [en línea]. Tesis de pregrado Madrid.: Universidad Carlos III de Madrid. 2014.

- Explicar las funciones de los activos del área seleccionada.
- Definir los modos de fallo.
- Establecer los efectos y las causas asociadas a cada modo de fallo.

2.2.8 Análisis de criticidad

No todos los equipos, sistemas, componentes, etc., tienen la misma importancia en una planta industrial. Sabiendo que los recursos de una empresa para mantener una planta son limitados, se debe destinar la mayor parte a los equipos más importantes, dejando una pequeña porción del reparto a los equipos que menos pueden influir en los resultados de la empresa.

Para diferenciar los equipos, sistemas, componentes, etc., que tiene una gran influencia en los resultados de los que no la tienen se deben distinguir una serie de niveles de importancia o criticidad¹⁸:

- Equipos críticos: Son aquellos cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa.
- Equipos importantes; Son aquellos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles.
- Equipos prescindibles: Son aquellos con una incidencia escasa en los resultados. Como mucho, supondrán una pequeña incomodidad, algún pequeño cambio de escasa trascendencia, o un pequeño coste adicional.

¹⁸ Garcia Garrido, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento. Ediciones Diaz de Santos, S.A. Madrid.: Doña Juana I de Castilla, 2003. p24.

Una vez identificado los niveles de clasificación, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad. Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, rata de fallas y tiempo de reparación principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera puntuación para cada elemento evaluado. “La lista generada, resultado de un trabajo de equipo, permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades, y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad.”¹⁹

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

Criticidad= Frecuencia x Consecuencia

“Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación, capacidad de respaldo y los impactos en seguridad y ambiente.”²⁰

3. FLOTA DE EQUIPOS MINEROS

La Sociedad Minera de Santander está conformada por diferentes equipos, estos se ubican en las diferentes instalaciones en la zona de influencia del proyecto y están a cargo del área de mantenimiento. La siguiente tabla indica la ubicación y el número de los equipos mineros a cargo del área de mantenimiento, así como el grupo de operación en donde cada uno opera.

¹⁹ Huerta Mendoza, Rosendo. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional [en línea]. Club de mantenimiento. Venezuela, (S.F). p1.

²⁰ Ibid. p. 3

Tabla 3. Ubicación de los equipos mineros por grupos de operación

Operación	Ubicación	Equipo	Cantidad
<i>Transporte y elevación de cargas</i>	Calvista	TELEHANDLER CAT TH414	1
		RETROEXCAVADORA VOLVO BL60	1
	Emboque	TELEHANDLER CAT TH414	1
		DUMPER ARTICULADA VOLVO A30F	2
		CARGADOR DE BAJO PERFIL SANDVIK LH410	2
	Padilla	BULLDOZER CAT D6N	1
<i>Generación de energía</i>	Pórtico	TELEHANDLER CAT TH414	1
	Emboque	GENERADOR CAT 50KW	1
		GENERADOR CUMMINS 1400 73RD AVE	1
	Calvista	GENERADOR KIPOR KDE12STAF3	1
		GENERADOR STEWART & STEVENSON SMDDC-370	1
Higuera	GENERADOR STEWART & STEVENSON SDC-95	1	
<i>Perforación</i>	Emboque	JUMBO DE PERFORACIÓN DD321	2
<i>Lanzador de concreto</i>	Emboque	ROBOT SHOTCRETE NORMET ALPHA 20	2
<i>Plantas de trituración y concreto</i>	Emboque	PLANTA DE TRITURACION ASTECNIA	1
		PLANTA DE CONCRETO ALTRON AM-25	1

Fuente: Elaborado por el autor

Como se evidencia en la tabla, el lugar en el que la empresa tiene más equipos mineros es en el emboque ya que este es el lugar desde donde se iniciara el proyecto en la etapa de explotación.

3.1 Equipos mineros seleccionados

La selección de los equipos a los que aplicara el RCM surgió de la pregunta ¿Cuáles son los equipos que posee Minesa actualmente que están encargados de realizar operaciones directas y auxiliares a la minería y que por una falla inesperada reduciría considerablemente el avance de explotación?

Los equipos mencionados posteriormente pertenecen a un grupo de trabajo que es propenso a diferentes fallas, ya sea por las largas jornadas de operación o por los ambientes corrosivos en los que estarán expuestos.

Los equipos mineros se seleccionan por factores específicos como lo son²¹:




- Producción: Volumen o peso de material a ser manejado en una operación específica
- Tasa de producción: Producción por unidad de tiempo
- Productividad: Producción real por unidad de tiempo cuando todas las eficiencias y factores de gestión se han considerado (toneladas/turnos de trabajos)
- Capacidad: Volumen de material que una maquina puede manejar en cualquier instante de tiempo.
- Requerimientos técnicos:
 - Uso del equipo o aplicación
 - Condiciones ambientales
 - Infraestructura
- Requerimientos económicos
 - Inversión
 - Costos de operación (US\$/hr)
- Requerimientos ambientales
 - Consumo aproximado de combustible
 - Fluidos con bajo contenido de azufre
 - Tratamiento de gases de escape

²¹ Anónimo. Selección de equipos mineros [en línea]. MI57G – Manejo de minerales y ventilación de minas (S.F). p5-14

3.1.1 Dumper articulada VOLVO A30F

El camión articulado A30F es utilizado especialmente en minería y construcción. Posee 3 ejes, capacidad de carga de 28 toneladas métricas y un volumen de carga de 17,5 m³. Tiene tracción 4x4 y 6x6 con acoplamiento automático y manual de los bloqueadores de diferencial longitudinales.

Figura 14. Hoja de vida Dumper articulada VOLVO A30F

	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA		Version	001	
	MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO		Fecha elaboración		
	HOJA DE VIDA EQUIPOS		Fecha revisión		
NOMBRE DEL EQUIPO	DUMPER ARTICULADA 1		Formato		
UBICACIÓN	EMBOQUE		PLACA	0361	
FOTO DEL EQUIPO					
					
DATOS PLACA					
NÚMERO SERIE	VCE0A30FC00072770	MODELO	A30F	AÑO FABRICACIÓN	2011
CAPACIDAD [Kg]	28000	PESO [Kg]	51500	FABRICANTE	VOLVO
DATOS MOTOR					
TIPO	VOLVO - DIESEL	NÚMERO SERIE	231547	MODELO	D11F
NUMERO CILINDROS	6	POTENCIA [HP]	356	CORRIENTE [A]	170
VOLTAJE [V]	24	PAR MOTOR [Nm]	2032	FRECUENCIA [Hz]	60
CILINDRADA [L]	10,8	RELACIÓN COMPRESION	18:01	SISTEMA REFRIGERANTE	LIQUIDO
COMBUSTIBLE [Gal]	106	VELOCIDAD [rpm]	2200	NIVEL LIQUIDO REFRIGERANTE	16,9
BANDA DE PODER [Kw]	130-560	STAGE	II	MAX ADV POT. [Bhp]	2100
DATOS TRANSMISIÓN					
TIPO	PLANETARIA POWERTRONIC	NUMERO DE CAMBIOS HACIA ADELANTE	6	NUMERO DE CAMBIOS HACIA ATRÁS	2
PARTE HIDRAULICA					
TIPO DE BOMBA	PISTÓN AXIAL	PRESIÓN [kPa]			350-450
CANTIDAD DE BOMBAS [u]	4	TIPO DE FILTRO			RETORNO
CARACTERISTICAS GENERALES					
ALTURA [m]	3,45	ANCHO [m]	2,94	LARGO [m]	10,29

Fuente: Minesa S.A.S

3.1.2 Tractor de cadenas (bulldozer) CAT D6N

El tractor de cadenas CAT D6N XL es uno de los equipos preferidos por muchas industrias que requieren de sus prestaciones. Es capaz de mover hasta 32,5 toneladas y por su tamaño es ideal para operaciones subterráneas.

	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA			Version	001
	MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO			Fecha elaboración	9/02/2017
	HOJA DE VIDA EQUIPOS			Fecha revisión	
NOMBRE DEL EQUIPO	BULDOZZER CAT			Formato	
UBICACIÓN				PLACA	0148
FOTO DEL EQUIPO			EMBOQUE		
					
DATOS PLACA					
NÚMERO SERIE	19516154	MODELO	D6N	AÑO FABRICACIÓN	2011
CAPACIDAD EMPUJE [K _n]	320	PESO [Kg]	22200	FABRICANTE	CATERPILLAR
VEL. AVANCE [km/h]	10	COMBUSTIBLE [L]	300		
DATOS MOTOR					
TIPO	C6.6 CAT	NÚMERO SERIE	24316097MN	MODELO	2010
CANTIDAD DE CILINDROS	6 - SERIE	POTENCIA [HP]	150	CORRIENTE [A]	95
VOLTAJE [V]	24	VELOCIDAD [rpm]	2200	FRECUENCIA [Hz]	60
CILINDRADA [L]	6,6	ACEITE	15W40	SISTEMA REFRIGERANTE	AIRE
DATOS TRANSMISIÓN					
TIPO	PLANETARIA	NUMERO DE CAMBIOS HACIA ADELANTE	4	NUMERO DE CAMBIOS HACIA ATRÁS	3
PARTE HIDRAULICA					
TIPO DE BOMBA	PISTÓN AXIAL	PRESIÓN [Bar]	N/D	CAUDAL [gal/min]	36,2
CANTIDAD DE BOMBAS [u]	9	TIPO DE FILTRO	RETORNO	TIPO ACEITE	ISO 68
CARACTERISTICAS GENERALES					
ALTURA [m]	3	ANCHO [m]	2,5	LARGO [m]	3,7

Fuente: Minesa S.A.S

3.1.3 Telehandler CAT TH414

También llamado manipulador telescópico, el Telehandler es una maquina usada para la elevación y transporte de cargas, posee un chasis montado en cuatro ruedas y está equipado con una pluma hidráulica telescópica con carruaje de horquillas que proporciona alturas de elevación de hasta 13,7m y resiste un peso máximo de 3700 kg. Cada instalación de la compañía a excepción de la higuera cuenta con uno por los distintos trabajos que puede realizar, siendo algunos de ellos realizar mantenimiento a equipos más grandes y se necesite bajar los componentes, arrastre de equipos que no cuentan con sistema de traslación, izaje de cargas, etc.

Figura 16. Hoja de vida Telehandler CAT TH414

	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA		Version	001	
	MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO		Fecha elaboración		
	HOJA DE VIDA EQUIPOS		Fecha revisión		
NOMBRE DEL EQUIPO	TELEHANDLER 1		Formato		
UBICACIÓN	EMBOQUE				
FOTO DEL EQUIPO					
DATOS PLACA					
NÚMERO SERIE	TBZ00764 - LH410	MODELO	TH414	AÑO FABRICACIÓN	2012
CAPACIDAD [Kg]	3700	PESO [Kg]	9360	FABRICANTE	CATERPILLAR
-	-	-	-	CAP. COMBUSTIBLE [L]	150
DATOS MOTOR					
TIPO	DIESEL	NÚMERO SERIE	44609022	MODELO	C4.4 DITAAC
ACEITE [L]	8,5	POTENCIA [Kw]	74,5	CORRIENTE [A]	
VOLTAJE [V]	24	VELOCIDAD [rpm]	1500	FRECUENCIA [Hz]	60
CILINDRADA [L]	4,4	NIVEL LIQUIDO REFRIGERANTE	14	SISTEMA REFRIGERANTE	LIQUIDO
DATOS TRANSMISION					
TIPO	PLANETARIA	NUMERO DE CAMBIOS HACIA ADELANTE	3	NUMERO DE CAMBIOS HACIA ATRÁS	3
PARTE HIDRAULICA					
TIPO DE BOMBA	PISTÓN AXIAL	PRESIÓN [Bar]	250	CAUDAL [L/min]	113
CANTIDAD DE BOMBAS [u]	1	CAP. SISTEMA [L]	145	TIPO ACEITE	CAT TDTO-TMS
CARACTERISTICAS GENERALES					
ALTURA [m]	2,5	ANCHO [m]	2,5	LARGO [m]	6,4

Fuente: Minesa S.A.S

3.1.4 Retroexcavadora VOLVO BL60

La retroexcavadora BL60 desempeña funciones de excavación y movimientos de tierra y/o material rocoso. Posee un diseño ergonómico y una alta visibilidad desde la cabina para ejecutar con comodidad y seguridad las operaciones requeridas, posee tracción permanente en el eje trasero. Tiene una capacidad de carga en la cuchara de 0,2 m³ con una profundidad de excavación (en suelo plano) de 4,45 m y en el cargador de 1 m³ con una máxima altura de operación de 4,1 m y la mayor parte de su trabajo actualmente la realiza en el arreglo de vías del sector y en el emboque moviendo tierra para crear espacio para nuevas construcciones.

Figura 17. Hoja de vida Retroexcavadora VOLVO BL60


	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA		Version	001	
	MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO		Fecha elaboración		
	HOJA DE VIDA EQUIPOS		Fecha revisión		
NOMBRE DEL EQUIPO	RETROEXCAVADORA		Formato		
UBICACIÓN	RETROEXCAVADORA		PLACA	0048	
UBICACIÓN	EMBOQUE				
FOTO DEL EQUIPO					
					
DATOS PLACA					
NÚMERO SERIE	VCE00B60C00020479	MODELO	BL60	AÑO FABRICACIÓN	2010
CAPACIDAD [M ³]	0,2	PESO [Kg]	6990	FABRICANTE	VOLVO
POTENCIA MINIMA [HP]	91	TORQUE ARRANQUE [Nm]	380	CAP. COMBUSTIBLE [L]	150
DATOS MOTOR					
TIPO	TD2013L4 2V MECH	NÚMERO SERIE	N/D	MODELO	D5D CCE3 TURBO
VELOCIDAD [rpm]	2200	POTENCIA [HP]	93	CORRIENTE [A]	95
VOLTAJE [V]	12	VALVULAS	8	FRECUENCIA [Hz]	60
CILINDRADA [L]	4,8	CILINDROS	4	SISTEMA REFRIGERANTE	LIQUIDO
-	-	-	-	REFRIGERANTE [L]	22
DATOS TRANSMISIÓN					
TIPO	POWER SHUTTLE	NUMERO DE CAMBIOS HACIA ADELANTE	4	NUMERO DE CAMBIOS HACIA ATRÁS	4
PARTE HIDRAULICA					
TIPO DE BOMBA	ENGRANAJES	PRESIÓN [Bar]	250	CAUDAL [L/m]	112
CAPACIDAD [L]	140	TIPO DE FILTRO	RETORNO	TIPO ACEITE	ISO 68
CARACTERISTICAS GENERALES					
ALTURA [m]	3,75	ANCHO [m]	2,35	LARGO [m]	7,25

Fuente: Minesa S.A.S

3.1.5 Lanzador de concreto NORMET ALPHA 20

También llamado roboshot, es un equipo que se utiliza para la creación del revestimiento en concreto del túnel minero.

Figura 18. Hoja de vida Lanzador de concreto NORMET ALPHA 20

	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA		Version	001	
	MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO		Fecha elaboración		
	HOJA DE VIDA EQUIPOS		Fecha revisión		
NOMBRE DEL EQUIPO	ROBO SHOTCRETE ALPHA 20 (2)		Formato		
UBICACIÓN	EMBOQUE				
FOTO DEL EQUIPO					
					
DATOS PLACA					
NÚMERO SERIE	S-20734	MODELO	ALPHA 20	AÑO FABRICACIÓN	2012
POTENCIA [HP]	145	PESO [Kg]	7210	FABRICANTE	NORMET
DATOS MOTOR					
TIPO	DIESEL	NÚMERO SERIE	21021930	MODELO	BF4M1013C
MARCA MOTOR	DEUTZ	POTENCIA [HP]	145	CORRIENTE [A]	55
VOLTAJE [V]	24	COMBUSTIBLE [L]	100	FRECUENCIA [Hz]	60
CILINDRADA [L]	3,77	VEL. OPERACIÓN [km/h]	14	SISTEMA REFRIGERANTE	LIQUIDO
CILINDROS	4	-	-	NIVEL LIQUIDO REFRIGERANTE [L]	70
DATOS TRANSMISION					
TIPO	HIDROSTATICA DE REGULACION AUTOMATICA	TIPO BOMBA	PISTONES AXIALES	TIPO MOTOR HIDRAULICO	PISTONES AXIALES
BOMBA DE ADITIVO					
TIPO	PERISTALTICA	PRESION [Bar]	8	-	-
CAPACIDAD [L]	400	CAUDAD [lts/min]	0-25	-	-
PARTE HIDRAULICA					
BOMBA HIDRAULICA PARA BRAZO	DESPLAZAMIENTO VARIABLE				
BOMBA DE CONCRETO	DESPLAZAMIENTO FIJO				
CARACTERISTICAS GENERALES					
ALTURA [m]	2,5	ANCHO [m]	2,3	LARGO [m]	11,6

Fuente: Minesa S.A.S

El concepto de Nuevo Método Australiano de Construcción de Túneles (NATM) se basa en el uso de concreto proyectado para brindar soporte activo inmediato después de cada ronda de avance, con soporte adicional siendo instalado con una combinación de pernos para roca, pernos para cable y revestimientos de concreto de molde permanente o rociado. Esencialmente, el hormigón proyectado se usa para evitar la deformación inicial del perfil del frente de avance y permitir a la estructura de la masa rocosa permanecer auto-soportándose hasta las últimas etapas en que el soporte puede ser instalado.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, las aplicaciones mineras dependen del concreto proyectado no tanto para brindar soporte a la masa rocosa, sino más bien para proporcionar una capa de seguridad sobre superficies de roca expuestas.²²

²² Equipo Minero. Soporte del Siglo XXI. Equipo Minero [en línea] [revisado el 6 dic 2017].

3.1.6 Cargador de bajo perfil SANDVIK LH410

El cargador Sandvik fue diseñado exclusivamente para cargar, arrastrar y descargar material rocoso en minas subterráneas. Posee una capacidad de carga en el balde de 4,6 m³ y tiene un sistema de inspección automático que evalúa cada uno de los componentes principales de sus principales sistemas de actuación. También se puede ejecutar manualmente.

Figura 19. Hoja de vida cargador de bajo perfil SANDVIK LH410


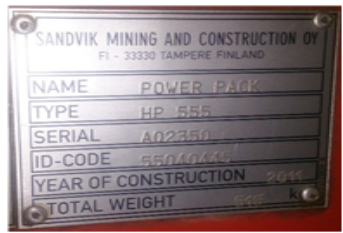

	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA		Version	001	
	MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO		Fecha elaboración		
	HOJA DE VIDA EQUIPOS		Fecha revisión		
NOMBRE DEL EQUIPO	CARGADOR DE BAJO PERFIL 1		Formato		
UBICACIÓN			PLACA	0108	
EMBOQUE					
FOTO DEL EQUIPO					
					
DATOS PLACA					
NÚMERO SERIE	L210D726	MODELO	LH410	AÑO FABRICACIÓN	2012
CAPACIDAD [TON]	10	PESO [Kg]	26200	FABRICANTE	SANDVIK
VEL. MAXIMA [km/h]	27				
DATOS MOTOR					
TIPO	ELECTRICO- DIESEL	NÚMERO SERIE	OM 926 LA	MODELO	MERCEDES
CANTIDAD DE CILINDROS	6 - SERIE	POTENCIA [HP]	295	CORRIENTE [A]	80
VOLTAJE [V]	24	VELOCIDAD [rpm]	2100	FRECUENCIA [Hz]	60
CILINDRADA [L]	7,2	PAR MOTOR [Nm]	860	REFRIGERANTE	AGUA
COMBUSTIBLE [L]	310	-	-	-	-
PARTE HIDRAULICA					
TIPO DE BOMBA	PISTONES	PRESIÓN [Bar]	140	CAUDAL [m ³ /s]	N/D
CAP. ACEITE HIDRAULICO [L]	250	CUBO HIDRAULICO [Bar]	265	-	-
CARACTERISTICAS GENERALES					
ALTURA [m]	2,3	ANCHO [m]	2,6	LARGO [m]	9,8

Fuente: Minesa S.A.S

3.1.7 Jumbo de perforación SANDVIK DD321

La jumbo de perforación DD321 es un equipo para minería subterránea que se usa para realizar agujeros de un diámetro específico en la roca del frente de túnel, con un conjunto de martillos hidráulicos y unas brocas perforadoras que alcanzan una profundidad de hasta 5,2 m. Al momento de la perforación utiliza recursos auxiliares como el agua y el aire para la lubricación y la debilitación de la roca. Posteriormente con el agujero ya realizado es insertado el explosivo para debilitar el área de roca a intervenir para la ampliación del túnel.

Figura 20. Hoja de vida jumbo de perforación SANDVIK DD321

	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA		Version	001	
	MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO		Fecha elaboración		
	HOJA DE VIDA EQUIPOS		Fecha revisión		
NOMBRE DEL EQUIPO	JUMBO PERFORACIÓN		Formato		
UBICACIÓN			PLACA	0354	
FOTO DEL EQUIPO		EMBOQUE			
					
DATOS PLACA					
NÚMERO SERIE	211-D19747-1	MODELO	DD321-40	AÑO FABRICACIÓN	2011
TRANSLACIÓN [km/h]	16	PESO [Kg]	22000	FABRICANTE	SANDVIK
SISTEMA CONTROL	THC561	COMBUSTIBLE [L]	150		
DATOS MOTOR					
TIPO	MERCEDES BENZ	NÚMERO SERIE	904.975-00-898298	MODELO	MB904LA
VOLTAJE [V]	24	POTENCIA [HP]	148	CORRIENTE [A]	N/D
VOLUMEN [Cm³]	N/D	COMPRESOR	CT16 11 Kw	FRECUENCIA [Hz]	60
-	-	VELOCIDAD [rpm]	700-2200	SISTEMA REFRIGERANTE	LIQUIDO
DATOS MOTORES DE EMPUJE					
POTENCIA [HP]	555	SERIAL	A02350	ID-CODE	55040445
PESO [KG]	515	AÑO FABRICACION	2011	VOLTAJE [V]	380
FRECUENCIA [Hz]	50				
PARTE HIDRAULICA					
BOMBA DE PERCUSION	PISTONES AXIALES	ACEITE	SHELL HFE	BOMBA DE AGUA	CENTRIFUGA
BOMBA DE ROTACION	ENGRANAJES	CAP. TANQUE ACEITE HIDRAULICO [L]	270	CAUDAL BOMBA DE AGUA [L/H]	6000
CARACTERISTICAS GENERALES					
ALTURA [m]	3,2	ANCHO [m]	2,15	LARGO [m]	10,1

Fuente: Minesa S.A.S

4. PORCENTAJES DE DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS

“Para conocer la marcha del departamento de mantenimiento, decidir si debemos realizar cambios o determinar algún aspecto concreto, se deben definir parámetros que permitan evaluar los resultados que se están obteniendo en el área de mantenimiento.”²³

Agrupando los equipos mineros y por medio de las hojas de vida de cada uno se sumaron los tiempos de paradas de cada equipo y obteniendo el tiempo que han estado en operación, se obtuvo la disponibilidad de cada equipo.

4.1 Disponibilidad total

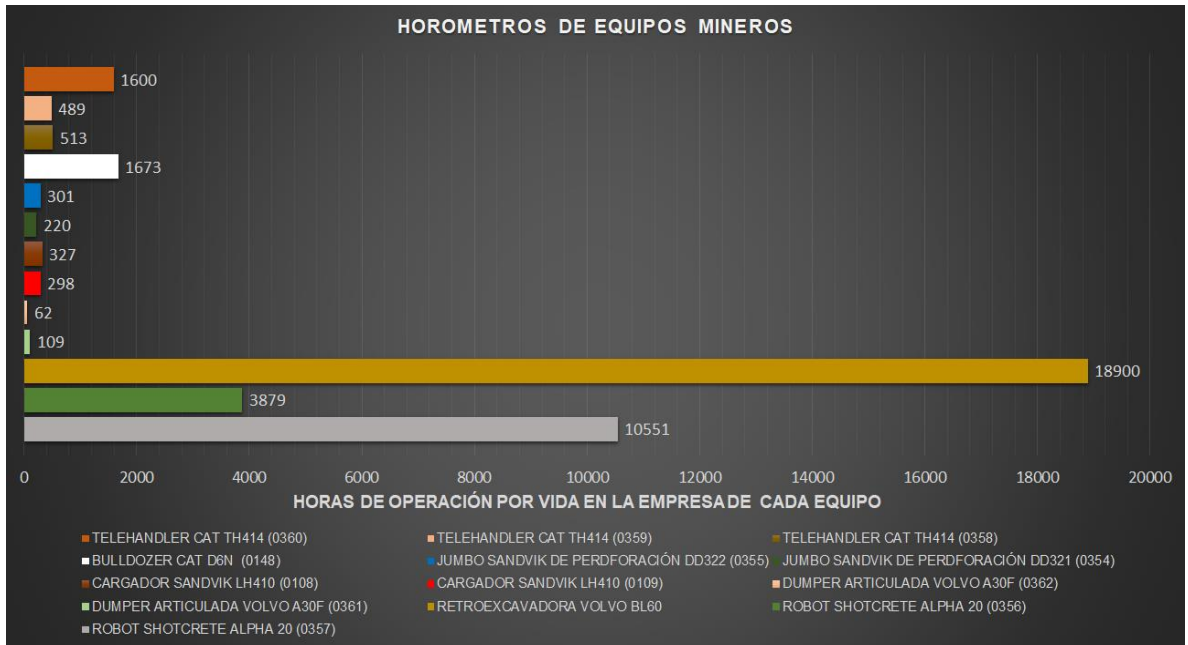
“Es uno de los indicadores más importantes de la planta. Es el cociente de dividir el número de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el número de horas totales de un periodo”²⁴:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

²³ Garcia Garrido. Op. Cit., p. 255

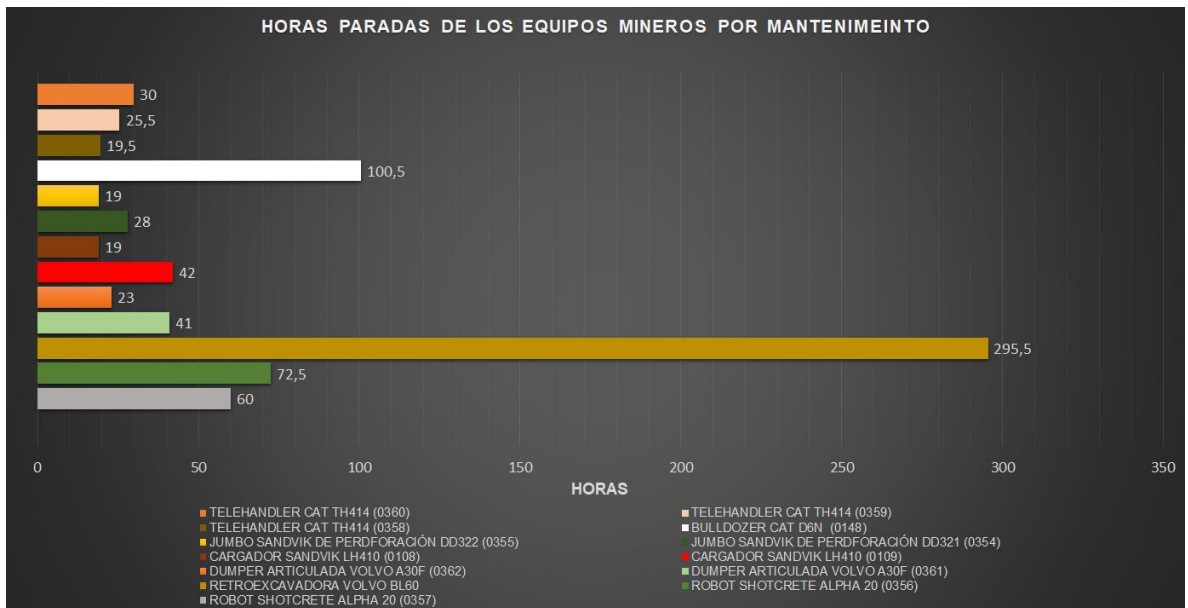
²⁴ Ibid. p. 257

Figura 21. Horas de operación por vida en la empresa de cada equipo



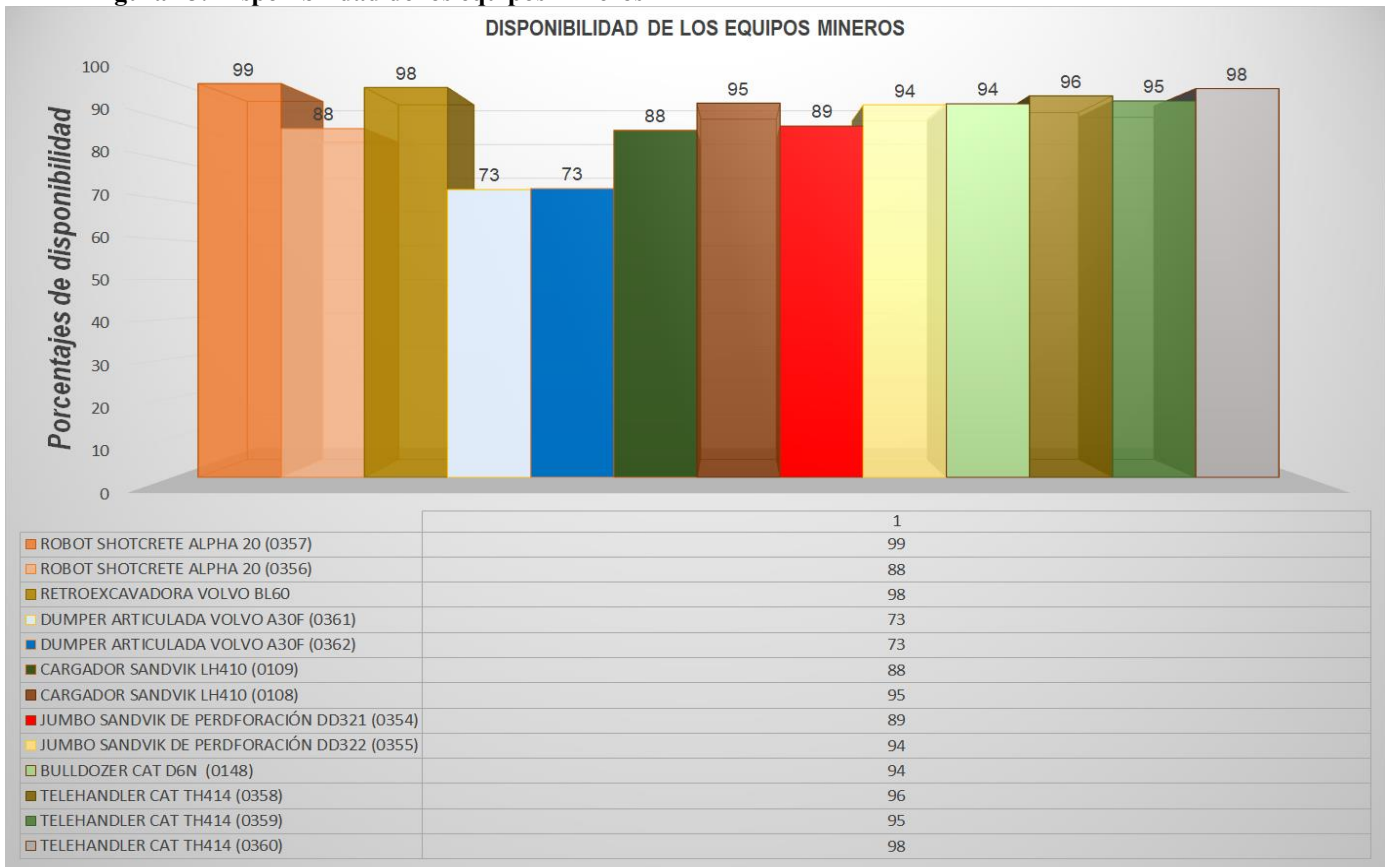
Fuente: Elaborado por el autor

Figura 22. Horas paradas de los equipos mineros por mantenimiento



Fuente: Elaborado por el autor

Figura 23. Disponibilidad de los equipos mineros



Fuente: Elaborado por el autor

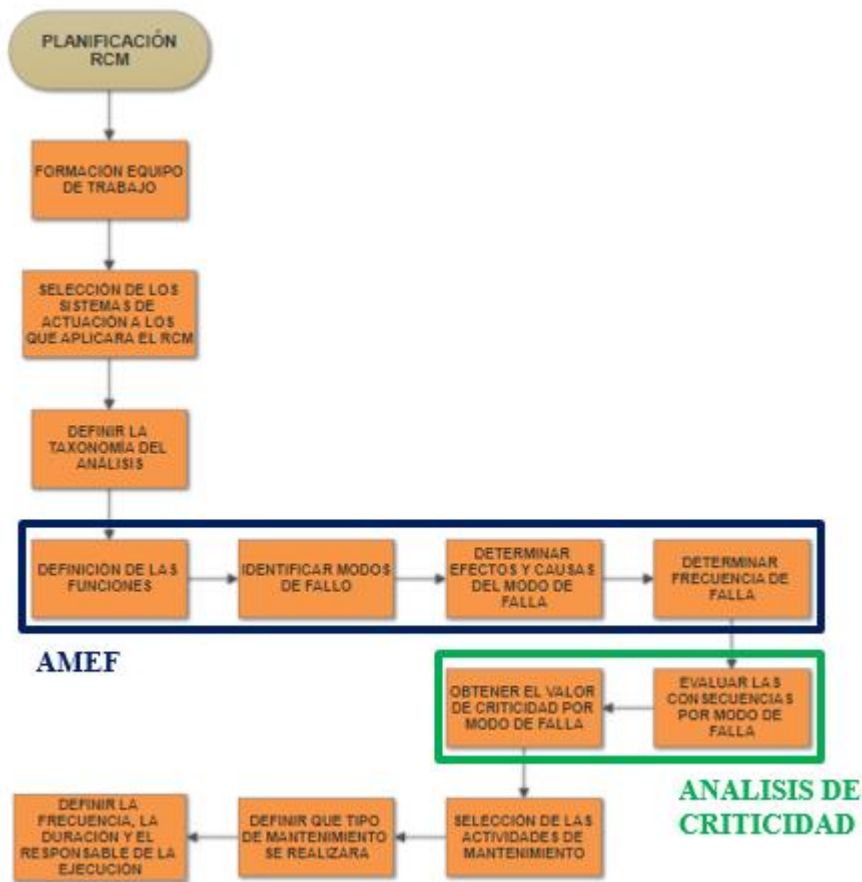
Al realizar el análisis de los equipos durante toda la vida útil de cada uno, se demostró que el área de mantenimiento es altamente productiva ya que el mayor número de paradas que los equipos tienen son mantenimientos programados predominando con un valor del 70% en porcentaje global y el 30% restante de las paradas fueron a causa de fallas.

Cabe resaltar que la disponibilidad de dichos equipos está relacionada directamente al stand by en el que los equipos se encuentran actualmente por la espera de la aprobación de la licencia de explotación. Razón por la cual, como se puede ver en la figura XX los horómetros de 11 de los 13 equipos seleccionados para la aplicación del RCM están por debajo de las 10 mil horas de operación, incluso algunos están por debajo de las 500, con lo que se evidencia la alta disponibilidad de cada uno sabiendo que el modelo del equipo más antiguo es 2011.

5. IMPLEMENTACION DEL RCM

Para la implementación del RCM se deben conocer las diferentes etapas con las que se desarrollara el plan.

Figura 24. Diagrama de flujo metodología RCM



Fuente: Elaborado por el autor

5.1 Planificación

En la implementación de modelo de mantenimiento el RCM se fundamentó en una estrategia previa general por los diferentes recursos que esta consume a lo largo de su implementación, recursos como el tiempo requerido, la necesidad de definir alternativas a menudo difíciles de seleccionar, el recurso humano que precisa este trabajo y la formación requerida, que es un proceso lento y caro.²⁵

En este aspecto también es muy importante resaltar de que el contexto operacional sea claramente entendido por todos los participantes en la realización y ejecución para lograr los objetivos empresariales que se persiguen con la implementación del RCM.

5.2 Formación equipo de trabajo

La formación del equipo de trabajo para desarrollar este trabajo está conformado por:

- Personal técnico y administrativo, relacionado con el mantenimiento y la administración de los equipos pesados.
- Especialistas en el área de mantenimiento de uno o varios equipos (técnicos contratistas del proveedor de la marca).

5.3 Selección de los sistemas de actuación a los que aplicará el RCM

Minesa cuenta con una línea de maquinaria pesada con alrededor de 40 equipos, de los cuales 13 son equipo minero y se usaran para las operaciones de explotación. Los equipos que se seleccionaron tienen en común los 4 sistemas de actuación con más fallas a lo largo de su vida útil y son la base para cualquier trabajo en la industria.

El RCM se enfoca exclusivamente en los equipos que contienen componentes similares en sus sistemas de actuación, se realizara de esta forma para lograr un RCM universal.

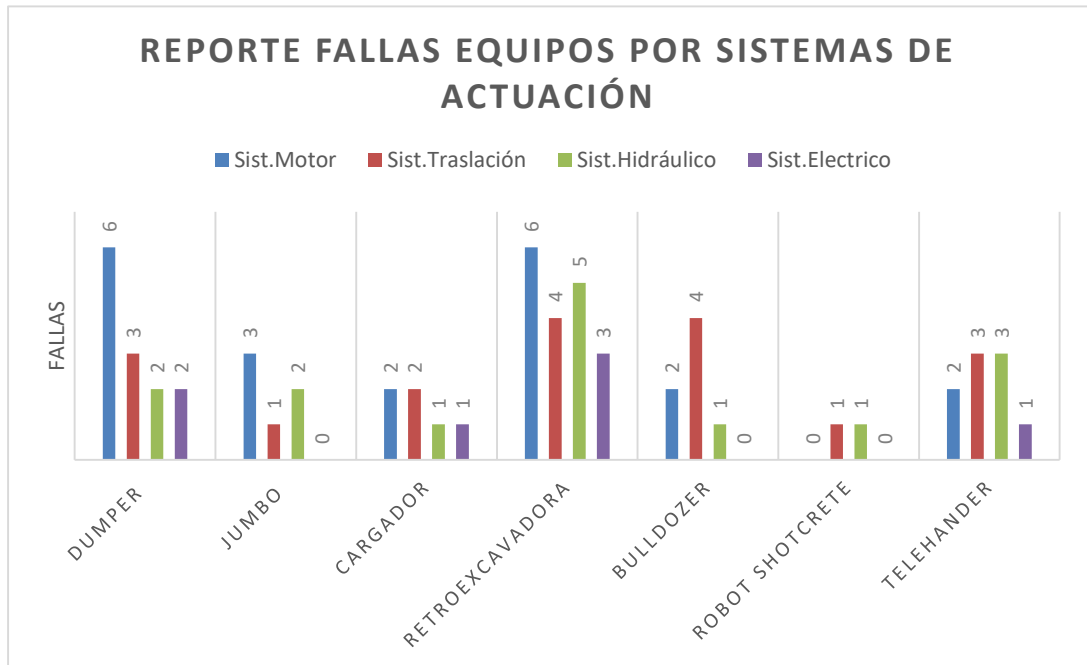
Por lo anterior, se seleccionaron los sistemas a los que aplica el RCM, siendo:

1. Sistema de actuación del Motor
2. Sistema de actuación Hidráulico
3. Sistema de actuación de Traslación
4. Sistema de actuación Eléctrico

²⁵ Gonzales Fernández. Op. Cit., p96.

En la Figura 25. se exponen el número de fallas de los equipos mineros por cada sistema de actuación, donde se muestran todas las fallas por conjunto de equipo:

Figura 25. Fallas de grupos de equipos por sistema de actuación



Fuente: Elaborado por el autor

El número de fallas representado en cada equipo por sistema es el número de fallas presentadas durante toda la vida útil del equipo hasta la fecha actual. Las razones por la cual el valor de fallas no es alto es porque la mayoría de los equipos tienen aproximadamente 8 años desde el año de fabricación, también porque muchas de las fallas que se pudieron presentar no fueron reportadas en la hoja de vida de cada equipo por falta del retorno de la OT y por último es que la mayoría de equipos actualmente son usados en periodos muy cortos y duran la mayoría del tiempo estacionados a lo que desde su primer uso llevan pocas horas y/o km de recorrido para obtener más frecuencia de fallas que permitan un análisis, esto se debe a la etapa en la que está el proyecto (aprobación de la licencia minera).

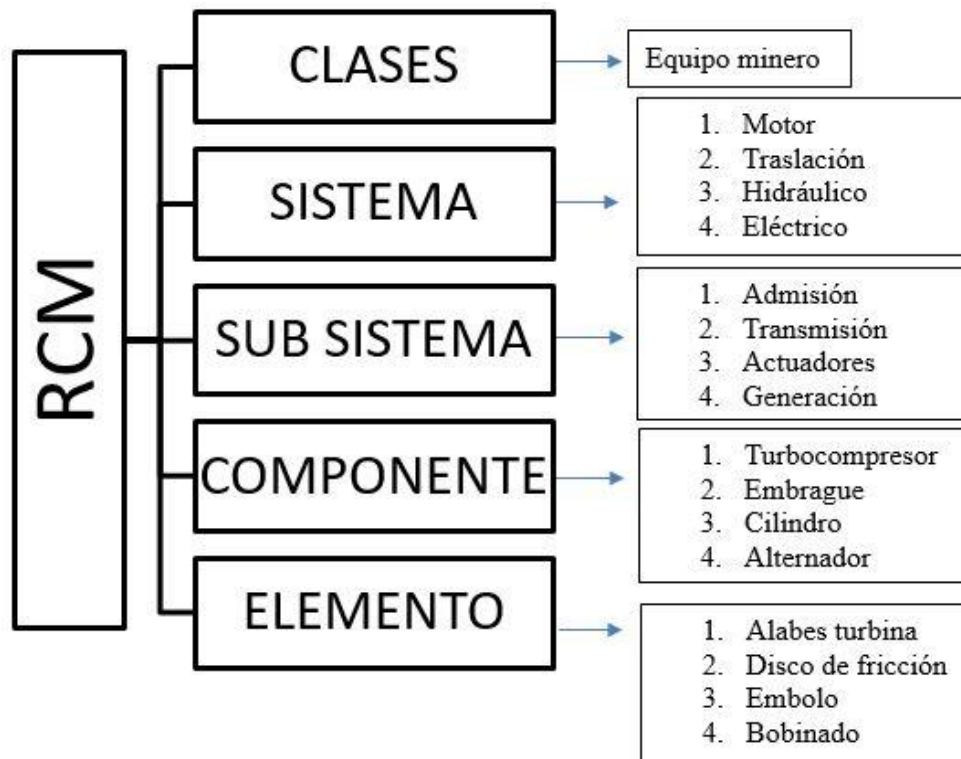
5.4 Alcance de la taxonomía del análisis

Ya conocidos los sistemas sobre los cuales aplicará el plan de mantenimiento se define el alcance de la taxonomía que tendrá el RCM.

Según la norma internacional ISO 14224 “que brinda una base para la recolección de datos de Confiabilidad y Mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación transporte de petróleo y gas natural posee también criterios que se extienden a otras actividades e industrias”²⁶, en este caso la minera.

La norma ISO 14224 acoge a la maquina con una estructura jerárquica desglosándola de mayor a menor grado de detalle:

Figura 26. Taxonomía del RCM



Fuente: Elaborado por el autor

²⁶ ISO 14224. Industria de petróleo y gas natural – Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. International Organization For Standarization, 2000. p4.

A partir de la taxonomía presentada, la norma ISO 14224 las define cada una de ellas como²⁷:

- CLASES: Determinado tipo de equipo, representa el nivel más general de detalle.
- SISTEMAS: Conjunto que realiza una función específica en un servicio determinado dentro del proceso. Incluyen todos los equipamientos disponibles para la operación de los mismos y en general, comparten muy pocas partes con otros sistemas.
- SUB SISTEMA: Aquellos equipos que posibilitan que el sistema realice su función operativa y se pueden dividir por sus funciones específicas. Todo equipo calificado como sub sistema que falle, afecta directamente al sistema.
- COMPONENTE: Partes de los equipos sobre los cuales es necesario realizar acciones de mantenimiento, con el objetivo de alcanzar la confiabilidad deseada. Desde otra definición, el componente es aquella parte en la que, si se presenta un modo de falla, provoca pérdida de la capacidad del sistema.
- ELEMENTO: Cualquier parte, componente, dispositivo, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que pueda considerarse individualmente.

Para llevar a cabo el presente trabajo se aborda hasta la taxonomía de componente, con el fin de conocer la criticidad de cada uno dentro del sistema al que pertenece según su modo de fallo, además de obtener un desglose de las diferentes actividades de mantenimiento que se propondrán a lo largo también de los modos de falla y así lograr la confiabilidad deseada.

5.5 Análisis de criticidad

Esta investigación también está dirigida a desarrollar una propuesta de planificación de mantenimiento a los componentes que se denominen críticos, por lo cual se realizara un análisis de criticidad para ayudar a cuantificar y a cualificar los componentes que se van verificar en cuanto a nuevas frecuencias de falla por las horas de operación que tiene el equipo.

²⁷ Troffé, Mario. Análisis ISO 14224/ Oreda. Relación con RCM-FMEA [en línea]. Argentina, (S.F). p4.

Para el análisis de criticidad, se utilizó la metodología cualitativa que es de fácil comprensión y manejo y que emplea la frecuencia de fallo y criterios de evaluación, estos se enfocan en identificar el impacto en el área de producción por hora, la capacidad de respaldo por falla, el costo de la reparación y el impacto en el área ambiental.

El valor de criticidad total, se obtendrá del producto entre la frecuencia de la falla y el valor de la consecuencia:

$$\text{Criticidad total} = \text{Frecuencia de ocurrencia} \times \text{Consecuencia}$$

$$\text{Criticidad total} = \text{Frecuencia de falla} [(\text{producción} \times \text{capacidad de respaldo}) + \text{costo de reparación} + \text{impacto a seguridad personal} + \text{impacto ambiental}]$$

Una vez que se obtiene el valor de criticidad total por cada modo de falla de los componentes se ubican en la matriz de criticidad **Tabla 13**, determinando a través del color de la celda donde se encuentre el grado.

Tabla 4. Matriz de criticidad

Frecuencia	RIESGO ALTO	4					
	RIESGO MEDIO ALTO	3			90		
	RIESGO MEDIO BAJO	2	20				100
	RIESGO BAJO	1					
		0	10	20	30	40	50
Consecuencia							

Fuente: Elaborado por el autor

“La evaluación se realiza a través de la estimación de la ocurrencia de fallas de un periodo de tiempo determinado, y la evaluación del impacto del fallo en el área operativa, económica, de seguridad humana y medio ambiente. La determinación de una jerarquía de criticidad de los sistemas, equipos, etc. servirá como un instrumento para la toma de decisiones, así como para el direccionamiento del esfuerzo y los recursos”²⁸.

²⁸ Agüero y Calixto. Análisis De Criticidad Integral De Activos. R2M. S.A Reliability and Risk Management, Citado por Villacrés, Sergio. Maracaibo-Venezuela, no. 58, pp. 1-14.

La tabla que presenta los criterios de evaluación de criticidad se presenta en la **tabla 5**, siendo los valores más altos los que indican un mayor impacto.

Tabla 5. Criterios para determinar la criticidad de los equipos

<i>Criterios para determinar la criticidad de los equipos</i>	
Descripción de los criterios	Cuantificación
1. FRECUENCIA DE FALLA(Falla que impacte producción o función del sistema)	
Menos de 1 fallos/año	1
1 - 2 fallos/año	2
2 - 5 fallos/año	3
5 - 8 fallos/año	4
Más de 10 fallos/año	5
2. IMPACTO A PRODUCCION HORA	
0 - 10 TONELADAS	1
10 - 50 TONELADAS	2
50 - 100 TONELADAS	3
Más de 100 TONELADAS	4
3. CAPACIDAD DE RESPALDO POR FALLA	
No afecta producción	1
26% de impacto	2
60% de impacto	3
75% de impacto	4
La impacta totalmente	5
4. COSTO DE REPARACION	
Menos de \$1,000,000.	1
Entre \$1,000,000 y \$10,000,000,	2
Entre \$10,00,000 y \$30,000,000	3
Entre \$30,000,000 y \$ 50,000,000	4
Entre \$50,000,000 y \$80,000,000	5
Más de \$100,000,000	6
5. IMPACTO EN LA SEGURIDAD PERSONAL	
Incapacidad temporal	5
Discapacidad del 20%	8
Discapacidad del 50%	10
Fatalidad	15
6.IMPACTO AMBIENTAL	
Contaminación del suelo	5
Contaminación del aire	10
Contaminación de Ríos	20

Fuente: Elaborado por el autor

5.6 Plan de mantenimiento

Con la obtención de la criticidad de cada componente se propone un plan de mantenimiento aplicable a los equipos, analizado para cada modo de fallo con el fin de garantizar una reducción en la tasa de fallos. Recopilada toda la información de los catálogos de cada uno de los equipos, equipo de trabajo y fuentes externas se inicia la determinación de las actividades de mantenimiento.

Teniendo claras las metas y como se pretenden alcanzar, se llevó a cabo un trabajo casi de investigación para deducir los modos de fallos más factibles, sus frecuencias y la mejor manera de eliminar o reducir los efectos de cada fallo. Es por eso que, en determinados casos, el análisis de fallos asociado al análisis de costes nos aconsejó dejar que el equipo siga funcionando hasta que falle (a condición), y no hacer ningún tipo de mantenimiento preventivo. En otros, también se indujo a dejar que el equipo siga trabajando hasta que falle, pero con un sistema alternativo en paralelo, cuya incorporación mediante una reforma es más barata que realizar el periódico mantenimiento preventivo (reacondicionamiento) y por último esta realizar los mantenimientos preventivos por tiempo de operación o distancia recorrida (sustitución cíclica).²⁹

6. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA RCM

Como se expuso anteriormente para la aplicación del RCM se seleccionaron 4 sistemas, sistemas que son el corazón de operación de cada equipo y cada uno es el complemento del resto, siendo la razón para obtener una alta confiabilidad durante el proyecto.

²⁹ Gonzales Fernández. Op. Cit., p83.

6.1 Determinación del AMEF y análisis de Criticidad

La **Tabla 6.** presenta la hoja informativa que se usara para la recolección de información en la que se presenta el subsistema, el componente con un resumen de su función, los modos de falla, los efectos que responden a que sucede con la aparición del modo de falla y por ultimo las causas de las fallas. Lo anterior expone solamente lo que conlleva el apartado de AMEF.

Para el análisis de criticidad de los modos de falla se realizó con la frecuencia de falla (FR), el impacto a producción hora (PR), la capacidad de respaldo por falla (R), el costo de reparación (CR), el impacto en la seguridad (IS) y por último el impacto ambiental (IA) de cada componente obteniendo color de criticidad según la matriz de riesgo. Con esto se identifican los componentes más importantes para la siguiente etapa que es la realización del estándar de trabajo donde se estandariza un plan de mantenimiento para cada equipo según el tiempo en servicio.

Tabla 6. Hoja informativa dentro del RCM del AMEF y Análisis de Criticidad

SUB-SISTEMA	COMPONENTE	OPERACIÓN O FUNCION	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	FR	CAUSAS DE FALLA	CONSECUENCIAS					CRITICIDAD							
							PR	R	CR	IS	IA								
1	A		1									0							
			1																0
	C		1							0									
			2														0		
	D		1																0
			2														0		
			3																

Fuente: Elaborado por el autor.

La hoja de información permite, establecer un código para la función y lo que de ello se deriva, por ejemplo: el código 1A1, se refiere al subsistema número 1; A, se refiere al componente y función del subsistema 1 y el tercer dígito, se refiere al modo de fallo 1 del componente A.

6.2 Desarrollo del plan de mantenimiento aplicando RCM

Se inicia con el sistema de actuación mecánico del motor diésel, en donde se verifican los componentes principales que actúan en los 4 tiempos de la combustión que a modo que fallen, provocan pérdida de la capacidad de todos los sistemas analizados. Posteriormente y de la misma manera se analiza el sistema de traslación, el sistema hidráulico y por último el sistema eléctrico.

Una vez este planteado el análisis de modo y efecto de falla junto al análisis de criticidad se presenta el plan de mantenimiento que tiene cada modo de falla según el tipo de mantenimiento al que pertenecen y con la diferente frecuencia para cada equipo, ya que cada uno cuenta con repuestos que manejan una vida útil y de recambio diferentes y es importante respetar siempre las recomendaciones del fabricante.

Por último, se organizaron todas las actividades propuestas en el plan de mantenimiento por medio de 7 tareas que agrupan los mantenimientos del mismo tipo.

6.2.1 AMEF y Analisis de criticidad del sistema motor

Tabla 7. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de admisión del motor diésel de 4 tiempos

SUB-SISTEMA	COMPONENTE	OPERACIÓN O FUNCION	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	FR	CAUSAS DE FALLA	CONSECUENCIAS					CRITICIDAD										
							PR	R	CR	IS	IA											
1	ADMISIÓN	A	Turbocompresor (caracola de admisión)	Succiona el aire del ambiente para comprimirlo y posteriormente ingresarlo a los cilindros para que se realice la mezcla aire - combustible.	1	Eje azulado con desgaste en las zonas de apoyo de los bujes	Turbo con ruidos anormales	1	La bomba de aceite no alcanza la presión adecuada, desgastada o dañada.	4	4	1	5	10	32							
					2	Eje, bujes y bridas del nucleo con desgaste y rayaduras profundas			Filtro de aceite tapado	3	4	2	10	10	34							
					3	Fuga en la manguera de presión de aire de la valvula wastegate			Mala calidad del aceite con impurezas provenientes del desgaste, que no fue cambiado a tiempo y ya no cumple su proceso de lubricar y refrigerar.													
					3	Fuga en la manguera de presión de aire de la valvula wastegate			Vastago de la valvula wastegate flojo o con vibraciones Fuga en la manguera produce sonido	Manguera deteriorada, mordida por animal, le cayo alguna sustancia	1	4	2	5	10	21						
		4	Abrasión en los alabes del compresor y cuerpo de la caracola de admisión	Desbalanceo del eje Impurezas en el cuerpo de admisión Humo negro en el escape.	2	Un filtro de aire roto, su ausencia , en mal estado, una abrazadera suelta o un manguito rajado.	3	3	1	5	10	50										
													1	Tuberías de intercooler rotas	Perdida de eficiencia del motor. Aumento del consumo de combustible.	1	3	4	1	5	10	28
													2	Intercooler roto o deteriorado	Fugas de aire comprimido por serpentines rotos Inyectores, valvulas, cilindros, y pistones deteriorados por la creación de carbonilla al haber una combustión con poco aire (incompleta) Paradas ocasionales de motor.							
		B	Colector de admisión.	Distribuir el aire a cada uno de los cilindros por medio de las valvulas de admisión.																		

Fuente: Elaborador por el autor

Tabla 8. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de compresión diésel de 4tiempos.

2	COMPRESIÓN	Culata	A	Soportar el mecanismo de válvulas, cubrir los cilindros, formar la cámara de combustión con la cabeza del pistón, dar paso a la admisión de aire, permitir el escape de los gases, facilitar la lubricación y disipar altas temperaturas al momento de la combustión por intermedio del flujo del líquido refrigerante a través de la misma	1	Empaquetadura de la culata quemada	Mezcla de refrigerante con aceite de motor. Mangueras de líquido refrigerante perforadas.	1	Sobrecalentamiento de motor									
					2	Culata agrietada o poroseada	Descompensación del motor Perdida de compresión entre la culata y el bloque.				4	5	5	8	10	43		
					Pistón		Realizar el movimiento alternativo para producir la combustión y generar trabajo a la rueda.	1	Pistón gripado	Fricción mixta con desgaste entre pistón y camisa. Huellas en la cabeza y la falda del pistón muy desgarradas y color negro Motor ruidoso	1	Deformaciones del cilindro por sobrecalentamiento, causado por sedimentos de cal, suciedad u otras fallas del sistema de refrigeración.	3	5	4	5	10	34
								2	Huellas de golpes en la cabeza	Daño de válvulas Inyector desplazado con las vibraciones a lo que ya no puede mantener la presión en estado cerrado e inyecta combustible de forma incontrolada.		1	Rebasamiento del régimen del motor. Las válvulas no cierran a tiempo debido al aumento de la fuerza de inercia y golpean contra el pistón Sedimentación de aceite carbonizado en la cabeza del pistón, que provocan un estrechamiento o solapamiento del intersticio.	3	5	4	5	10
		3	Falta de compresión	Evidente pérdida de potencia Apagones repentinos Falla al arrancar				1	Desgaste de pistón Desgaste de anillos de compresión	3	4	3	5	10	30			
		Camisa de cilindro	C	Tubo cilíndrico en donde el pistón realiza su trayectoria y da lugar a la combustión.					1	Cavitación por corrosión	Formación de huecos en el cuerpo de la camisa. Indicador de temperatura de refrigerante en el sector de alta.	1	Temperatura muy elevada del líquido refrigerante Presión insuficiente en el sistema de refrigeración. Punto de ebullición demasiado bajo del líquido refrigerante	3	3	3	5	10
								Biela	D	Transmite la potencia al cigüeñal.	1		Daño en cojinetes de la biela	Deformación o ruptura de los mismos.	1	Sobre revolucionar el motor en frío	3	3
		Cigüeñal	E	Transmite la potencia la eje				1	Desbalanceo	Ruido en el motor Vibraciones Pérdida de potencia	1	Mal sincronismo	3	4	5	10	10	37
		Anillos de compresión	F	Mantienen la presión generada en la cámara, no dejan pasar el aceite a la cámara.	1	Fugas de aceite a la cámara de combustión.	Aumenta el consumo de aceite y la cantidad de contaminantes en el combustible Humo gris en el escape	1	Combustible de mala calidad Desgaste	2		4	2	5	20	35		
					1	Desgaste abrasivo y/o deformación del elemento elástico	Pistón gripado Bulón de pistón de color azul por el recalentamiento. Partículas de hollín húmedas expulsadas por el escape		1	Desgaste por vida útil	4	4	2	5	20	43		

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 9. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de inyección del motor diésel de 4 tiempos.

3	INYECCIÓN	Inyectores	A	Pulverizar el combustible en cada cilindro	1	Inyectores obstruidos	Perdida de potencia	1	Vastago de valvula del inyector agarrotado	3	2	3	5	10	24
							Humo negro y con hollin en el escape		Muelle roto						
							Tirones de motor		Tobera obstruida						
					2	Inyectores descalibrados	Rebajamiento considerable del material de los pistones.	2	Valvula de presión de la bomba de inyección dañada	2	2	3	5	10	44
							Combustion detonante		Inyectores defectuosos						
							Debilitamiento erosivo de la cabeza del pistón.								
		1	Valvula reguladora de presión se agarrota en la posición abierta	Humo negro en el escape.	1	Trampa de agua llena	3	4	2	5	10	29			
				Aire en el sistema de combustible		Desgaste de componentes									
				Bomba con impurezas adheridas en su interior		Bomba descalibrada									

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 10. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de escape del motor diésel de 4 tiempos.

4	ESCAPE	Turbocompresor (caracola de escape)	A	Girar la turbina por el flujo de los gases de escape para que solidariamente tambien gire el compresor.	1	La válvula wastegate agarrotada en posición cerrada	Las caracolas presentan cambio de color, agretamiento en su superficie, ya sea en toda o en sectores.	1	Resorte de valvula de presión dañado o trabado.	3	5	2	5	10	32	
						Indicador de alta temperatura en la salida del turbo encendido (para los equipos que en los que lo incluye su panel de instrumentos)										
					3	Sellos de turbina y compresor desgastados	Humo azul en el escape Fuga de aceite por la caracola de admisión y/o escape.	3	Exceso de revoluciones del motor durante mucho tiempo.	1	2	2	5	10	57	
			Valvula EGR	B	Devuelve parte de los gases de escape de vuelta a la cámara de combustión para reducir la temperatura y disminuir la emisión de NOx.	1	Acumulación de suciedad	Movimientos anormales de motor Perdida de potencia y humo excesivo.	2	Circular por mucho tiempo a bajas RPM en los diferentes periodos de trabajo, lo que ocasiona que el hollin que sale con los gases y va a volver a entrar a la camara de combustion se pegue a las paredes por la insuficiente temperatura en los gases de escape.	2	2	1	5	20	60
			Filtro de particulas Diesel	C	Retener las particulas solidas que generan los motores (carbonillas)	1	Obstrucción parcial de los gases de escape.	Reduce la eficacia y duración del motor Se enciende el testigo de fallo sistema emisiones motor en el panel de instrumentos.	2	Usar aceite para motor con un contenido de SAPS (ceniza sulfatada, fosforo y azufre) mayor o igual a 15 ppm.	3	4	1	5	10	56
		2				Daño de la unidad de filtracion.	Los gases de escape toman coloracion negra por la cantidad de carbonillas que salen directamente al ambiente Aumento de combustible	1	Sedimentaciones excesivas por utilizar combustible con un contenido de azufre mayor a 15 ppm.	3	3	2	8	20	39	

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 11. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema correas de accesorios

5	CORREAS DE ACCESORIOS	A	Accionar la bomba de agua del motor, el generador y el compresor de aire.	1	Desgaste del lomo de la correa (cara exterior)	Correa rota	1	Tensión insuficiente	4	5	1	8	10	39
								Desgaste del rodamiento de la polea o de la polea						
						Ruido		Reestricción al giro de las poleas del alternador, bomba de agua o tensores.						
						Recalentamiento de motor, se encienden los testigo de alta temperatura y de batería.								
				2	Giretas y cortes en las estrias de la correa.	Ruido	2	Correa expuesta a un considerable aumento de temperatura lo que produce grietas y endurecimiento de la goma	2	3	1	10	10	54
								Desalineación de las poleas lo que produce un ángulo de contacto fuera del límite de la correa creando un exceso de tensión						
				3	Desgaste excesivo de estrias	Acumulación de bolas de caucho del mismo material de la correa u otro tipo de partícula indeseada.	2	Fugas de fluidos provenientes del motor que caen sobre las bandas.	2	3	1	5	10	44
						Los accesorios del motor como bomba de agua, compresor de aire y alternador no funcionan correctamente		Contaminación por trabajo en zona muy corrosivas						
						Ruido								

Fuente: Elaborado por el autor

6.2.2 AMEF y Análisis de Criticidad del Sistema Traslación:

Tabla 12. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema neumáticos

SUB-SISTEMA	COMPONENTE	OPERACIÓN O FUNCION	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	FR	CAUSAS DE FALLA	CONSECUENCIAS					CRITICIDAD
							PR	R	CR	IS	IA	
NEUMÁTICOS	Llantas	A Cubierta de caucho de los rines de un vehiculo con las que se desplaza.	1 Llantas desgastadas y agrietadas	Pinchazos	2	Cortes, penetraciones, impactos y separaciones no previstas en la trayectoria del equipo	4	3	2	15	10	78
						Inflarla cuando la maquina se ha usado con una llanta a una presion inferior al 80%						
				Explosión		Trabajos de soldadura o reparacion con chispa cercana						
	Tuercas llantas	B Elemento de union entre el rim y la base de los discos o campanas.	1 Desajuste y caida de las mismas.	Balanceo del neumatico	2	No reapretar las tuercas de las ruedas al cabo de 3 horas de conduccion si se ha cambiado una rueda o ha estado desinstalada.	1	2	3	15	5	50
	Desgaste irregular											

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 13. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de frenos.

FRENOS	Frenos de servicio	A	Detener la máquina independientemente de las condiciones de desplazamiento.	1	Pastilla de freno cristalizada	Desgaste excesivo	2	Utilizar solo los frenos de servicio cuando se transita cuesta abajo.	2	3	2	15	10	66	
						Chirrido agudo al frenar		Pistón de morzada pegado por vida útil o pastillas contaminadas							
						Vibraciones al frenar									
						Discos alabeados		Permitir por desgaste que el espesor de las pastillas de freno llegara a 5 mm.							
					2	Fugas por las mangueras o tubos de freno	Baja presión del sistema	1	Sensor de presión defectuosos	4	4	2	15	20	53
							Tubos corroidos, mangueras deterioradas								
	Ralentizador (si el equipo posee)	B	Freno auxiliar hidráulico que actua en la caja de cambios.	1	El equipo no desacelera correctamente cuando es accionado	Aumento de la temperatura del aceite en la caja de cambios	1	Uso excesivo del ralentizador	4	4	2	15	10	43	
						Enciende indicador de alta temperatura en la transmisión		Valvula del ralentizador con solenoide dañado.							
	Freno de estacionamiento	C	Mantener el equipo estacionado.		Desgaste anormal	Equipo no se detiene completamente en modo servicio cuando tiene carga	1	Aplicar el freno con la máquina en movimiento	3	4	2	15	10	39	

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 14. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de servo transmisión.

SERVOTRANSMISIÓN	Bomba hidráulica	A	Suministrar el aceite del carter de la transmisión a la valvula de control	1	Abrasión en los componentes	Baja presión del aceite	2	Desgaste vida útil y/o aceite incorrecto	4	5	1	5	10	72			
						Los cambios entres marchas no engranan correctamente		Contaminación del aceite									
						Testigo encendido de baja presión de aceite en trasmisión											
	Engranajes	B	Variar la velocidad de giro a la salida de la transmisión, transmitiendo el movimiento proveniente del embrague	1	Fatiga superficial en los dientes del engranaje	Ruido de engranajes en algunas o todas las marchas	1	Filtro obstruido, referencia incorrecta o sin cambio por un largo periodo	3	4	3	5	10	30			
																Falta de lubricación	
				2	Engranajes rayados			La marcha se atasca	1	Averia interna del cambio (rodamientos, sellos, engranaje, juntas toricas)	4	5	2	8	10	40	
	Rodamientos	C	Facilitar el roce de giro de un eje bajo una carga	1	Presentan desalineación	Altas temperaturas de la transmisión	1	Nivel excesivo de aceite que puede provocar espuma	4	5	4	8	10	42			
															Rodamientos astillados y con juego	Desgaste	
															Fricción y desgaste excesivo de ejes y portasatelites	Filtro de lubricación en mal estado o incorrecto	Aceite contaminado y/o de mala calidad
	Embrague	D	Acoplar la transmisión con el volante del motor	1	Disco plancha y disco de fricción desgastados	Discos torcidos	1	Contaminación del sistema de transmisión que hace que se obstruyan los orificios de la valvula de control por mal estado del filtro de ventilación, un cambio de aceite sin precauciones de limpieza, meter el equipo a un rio o lavarlo a presión con agua reutilizada	3	4	2	8	10	32			
																Deslizamiento de embrague	
	Valvula de control	E	Seleccionar la velocidad de marcha por medio de los canales hidraulicos	2	Valvulas proporcionales de la valvula de control dañadas	La marcha seleccionada no se acciona o presenta problemas al tratarla ejecutar	1	Desgaste vida util	4	5	2	5	10	37			
	Caja de reenvio (si el equipo posee)	F	Distribuir igualmente el par motor a todos los ejes.	1	Fugas	Desgaste excesivo de neumaticos	1	Rodamientos con juego y sellos, laminillas de ajuste y anillos de retén desgastados.	2	3	3	5	10	24			
																	Mayor consumo de combustible
																	Falta de tracción en terrenos difíciles

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 15. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de ejes

EJES	Arboles de transmisión (eje cardan y eje deslizando)	A	Transmitir el giro proveniente de la transmisión a los diferenciales	1	Desgaste y desajuste de arboles de transmisión	Ruido, juego y envejecimiento	2	Falta de lubricación	1	2	2	5	20	58
								Contaminación de grasa vieja con suciedad y agua impidiendo que esta penetre a los espacios de lubricación						
	Ejes de carga	B	Transmitir el par proveniente de las juntas universales a las ruedas del equipo	1	Rodamientos guías de la punta del piñón desgastados prematuramente	Ruido al interior de los cubos	1	Fugas de aceite	3	4	2	5	20	39
					Desgaste por condiciones de servicio excesivos (alto torque, baja velocidad y escasa ventilación)									
				2	Fuerza de marcha irregular	Engranajes y rodamientos asociados a la función desgastados	1	Lubricante contaminado con agentes externos (agua, polvo, arena)	3	3	2	5	10	26
					3	Condensación de agua en los ejes		Daño severo a corto plazo al interior de los ejes por corrosión						

Fuente: Elaborado por el autor

6.2.3 AMEF y Análisis de Criticidad del sistema Hidráulico:

Tabla 16. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema deposito

SUB-SISTEMA	COMPONENTE	OPERACIÓN O FUNCION	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	FR	CAUSAS DE FALLA	CONSECUENCIAS					CRITICIDAD		
							PR	R	CR	IS	IA			
DEPOSITO	Deposito hidráulico	A	Tanque de almacenamiento del aceite hidráulico	1	Deposito lleno de contaminantes	1	Baja presión						36	
							Fallo del sistema hidráulico	4	5	1	5	10		
							Linea de impulsión con caudal insuficiente							
	Bomba hidráulica	B	Suministrar el aceite desde el deposito a la valvula controladora	1	Presenta desgaste en los componentes por cavitación	2	Baja presión en el sistema						64	
							Ruidos anormales	2	3	1	5	20		
							Cilindros actuadores dañados							
				2	Bajo flujo de bombeo	1		Viscosidad de aceite hidráulico incorrecta						29
							Fallo del sistema hidráulico	3	4	2	5	10		

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 17. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema actuadores

ACTUADORES	Cilindros hidráulicos	C	Componentes hidráulicos mediante el caudal de aceite y la presión que proporcionan las bombas generan un movimiento rectilíneo de avance y retroceso	1	Fugas internas o externas	Reducción en las velocidades de desplazamiento	1	Exceso de aceite hidraulico	4	5	2	8	20	50
						Perdidas de potencia								
						Consumo de aceite								
				2	Pasadores y cojinetes deteriorados	Rechinar o tabletear	3	Desgaste en guias	3	4	2	5	10	87
								Movimientos forzados por desgaste en pasadores o desalineamientos en estructuras por cojinetes oxidados y llenos de grasa envejecida que contiene impurezas						
								Falta de lubricación y por fluidos incorrectos						
				3	Aros de guiado y juntas desgastados y carbonizados	Cromo de embolo rayado y desgastado	2	Retén limpiador del vastago deteriorado	3	3	3	8	20	80
						Fugas externas								
						Aceite hidráulico contaminado y/o con alta temperatura								
				3	Aros de guiado y juntas desgastados y carbonizados	Presión del sistema aumentada de una forma brusca	2	Exceso de carga	4	5	3	15	10	48
						Falla prematura de la junta de apoyo								
						Exceso de carga								

Fuente: Elaborado por el autor

6.2.4 AMEF y Análisis de Criticidad del sistema eléctrico

Tabla 18. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema arranque

SUB- SISTEMA	COMPONENTE	OPERACIÓN O FUNCION	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	FR	CAUSAS DE FALLA	CONSECUENCIAS					CRITICIDAD
							PR	R	CR	IS	IA	
Arranque	Motor de arranque	A Dispositivo que convierte la energía eléctrica en mecánica utilizando la corriente eléctrica de la batería para entregarle un movimiento mecánico al cigüeñal por intermedio de la cercha del volante del motor para generar el encendido del motor hasta que uno de los pistones se coloque en compresión y la expansión de los gases produzca el movimiento del cigüeñal por sí mismo.	1 Ablandamiento de las escobillas de carbón (portadora de la corriente a todos los bobinados del inducido)	Falta de potencia del motor de arranque	1	Motor de arranque sucio de aceite por fuga en el motor, considerándose como causa principal el aro de retención del cigüeñal, donde la rueda volante impulsa el aceite que sale hacia el motor de arranque	3	4	1	5	20	38
				Cortocircuito en escobillas								
				Problemas de contacto eléctrico en las escobillas								

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 19. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de encendido.

Encendido	Cables de encendido	A	Conducir alta tensión entre la bobina de encendido y la bujía de la unidad de postratamiento de los gases de escape	1	Desgaste por vida útil	Emisión de gases nocivos para el ambiente superior al valor permitido por la norma	1	Alta frecuencia de trabajo del equipo	1	1	1	15	20	37
	Bateria	B	Fuente de alimentación para el encendido del motor y para que los componentes electricos del equipo funcione cuando esta apagado.	2	Bateria desgastada por vida útil	Bornes sulfatados, corroidos y desgastados	2	Descargar profundamente la bateria dejando encendido los elementos que consumen energia, sin prender el equipo	1	2	3	15	5	50
						Testigo de carga de bateria encendido		Los terminales no estan bien apretados no llegando a hacer buen contacto						
						Dejar la bateria con un bajo nivel de electrolito y no utilizarla durante un largo tiempo								

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 20. AMEF y resultado del análisis de criticidad del subsistema de encendido.

Carga	Alternador	A	Dispositivo que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, genera corriente alterna trifásica rectificándola mediante diodos para suministrar energía eléctrica a todos los consumidores conectados a la batería, una vez el motor este en marcha.	1	Corrosión en los contactos y bornes de conexión	Tensión del alternador por debajo de la tensión de la batería	1	Lavar el motor con alta presión de agua que penetre sus componentes y cause estanqueidad	2	3	2	15	10	33	
						Interrupción del suministro de corriente		Atravesar el equipo por riachuelos							
						Ruido									
				2	Daño del cojinete	1	Generación de ruido intenso por el juego radial, axial o el bloqueo del rotor	1	Penetración de agua	38					
							Vibraciones								
						2	Juego en el rotor con posible daño en la carcasa del alternador		Tensión excesiva de la correa de accesorios		3	4	1	15	10
							Desgaste prematuro del cojinete								

Fuente: Elaborado por el autor.

Los diferentes modos de falla expuestos, llevaron la investigación a un análisis arduo para determinar además de los efectos, frecuencias y causas, los puntajes de evaluación para el análisis de criticidad que fueron impacto a producción hora, la capacidad de respaldo que no solo se analizó por la existencia de más equipos del mismo tipo que pudiesen entrar a operar por que uno se encuentre en mantenimiento, sino también se tuvo en cuenta la disponibilidad de servicios, repuestos y/o materiales que tiene la empresa en el momento en que ocurriese la falla, el costo de reparación, el impacto en la seguridad personal y por último el impacto ambiental. Todo lo anterior da la puntuación al análisis de criticidad, que es el medio por el cual se cuantifico la información de los modos de falla y su desarrollo.

6.3 Planes de mantenimiento por sistema de actuación

Los planes de mantenimiento son el medio por el cual se logrará cumplir con el objetivo empresarial que requiere la compañía en sus equipos mineros para obtener la confiabilidad deseada y disminuir los altos costos que se generan al intervenir cualquier equipo, además de las perdidas por el retraso de las operaciones.

El análisis de criticidad tuvo gran importancia para la clasificación del tipo de mantenimiento a realizar y las frecuencias por equipo, que tienen prevalencia ya que los equipos una vez entren en operación trabajarán largas jornadas y su desgaste será evidente. Es por eso que los planes de mantenimiento propuestos tratan de ir a la causa raíz de los problemas hasta donde el fabricante no va para crear la rentabilidad en la postventa.

6.3.1 Plan de mantenimiento según RCM para el sistema Motor

Tabla 21. Plan de mantenimiento subsistema admisión

SUB-SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLA	TAREAS DE MANTENIMIENTO											DURACIÓN	REALIZAR CON			
			A CONDICIÓN	REACONDICIONA MIENTO	SUSTITUCIÓN CÍCLICA	ACTIVIDAD PROPUESTA	FRECUENCIA DE TAREA POR EQUIPO											
							DUMPER	JUMBO	ROBOSH OT	RETROE XCAVAD ORA	TELEHA NDER	BULLDO ZER	CARGAD OR					
1	ADMISIÓN	Turbocompre sor (caracola de admisión)	1		X		Desmontar y realizar mantenimiento a la bomba de aceite del motor donde se cambien sellos, piezas de desgaste, juntas toricas , calibración, etc.	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	8 horas	MECÁNICO		
			2			X	Cambiar el aceite del motor. (buscar los tipos de aceite permitidos y homologados según sea el equipo)	500H	500H	500H	500H	500H	250H	500H	40 minutos			
						X	Cambiar los filtros de aceite del motor y al instalar los nuevos se deben llenar de aceite de motor para garantizar la lubricación del motor justamente despues de arrancar. (Despues de instalados el motor se debe dejar a relanti como minimo por 1 minuto).								25 minutos			
			3		X		Inspeccionar manguera de aire de la valvula wastegate	250H	250H	250H	250H	250H	250H	250H	10 minutos			
			4			X	Realizar el cambio del filtro de aire secundario (nunca limpiarlo).	2000H	2000H	1000H	2000H	2000H	2000H	1000H	1000H		25 minutos	MECÁNICO
						X	Desmontar el filtro primario para inspeccionar el estado, siempre con el cuidado de impedir entrada de impurezas en la admision del motor. Para limpiarlo hasta un máximo de 2 veces en todo su uso y despues cambiarlo.	1000H	1000H	250H	1000H	1000H	250H	250H	10 minutos		MECÁNICO	
				X	Inspeccionar el estado de las abrazaderas de los ductos de admisión, que no esten oxidadas ni sueltas.	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	10 minutos	OPERADOR			
	Colector de admisión.	1	Tuberias de intercooler rotas				Inspección visual al intercooler donde se revisen el estado de las aletas y los serpentines.	250H	250H	250H	250H	250H	250H	250H	10 minutos	OPERADOR		
		2	Intercooler roto o deteriorado		X		Limpiar las bases del filtro de aire, los tubos, el turbo, intercooler, tubos accesibles de admisión y escape para verificar con precisión si existe un desgaste en los materiales o quitar grasas, mugre adherido que afecte el componente. (REALIZAR LA LIMPIEZA CON CUIDADO PARA NO DAÑAR LOS COMPONENTES).	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	5 horas	MECÁNICO		

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 22. Plan de mantenimiento subsistema compresión

2	COMPRESIÓN	Culata	1	Empaquetadura de la culata quemada				Comprobar el nivel y el estado de las tapas de llenado de los depósitos de todos los fluidos del equipo tales como refrigerante, radiador aceite del motor, aceite de la transmisión, aceite hidráulico y aceite de la caja de reenvío (si la máquina posee).	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	10 minutos	OPERADOR		
			2	Culata agrietada o poroseada		X		Realizar una revisión de los sensores de temperatura del motor corroborando con otro instrumento de medida la temperatura del motor (Pistola termografica).	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	10 minutos	MECÁNICO	
								Limpiar el radiador siempre con el motor detenido, preferiblemente con aire comprimido donde se mantenga la boquilla a una cierta distancia de las aletas para evitar daños.	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	25 minutos	MECÁNICO		
		Pistón	1	Pistón gripado			X		Cambiar el líquido refrigerante	4000H	4000H	4000H	4000H	4000H	4000H	4000H	4000H	25 minutos	MECÁNICO	
			2	Huellas de golpes en la cabeza			X		Ajustar sincronismo de las válvulas	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	3 horas	MECÁNICO	
			3	Falta de compresión			X		Verificar los controles de cambio de aceite en cuanto a fecha y tipo de aceite de motor utilizado.	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	10 minutos		
		Camisa de cilindro	1	Cavitación por corrosión			X		Comprobar el estado de los componentes del sistema de refrigeración del motor, siendo mangueras, abrazaderas, intercambiadores de calor, radiador y termostato.	250H	250H	250H	250H	250H	250H	250H	250H	250H	25 minutos	OPERADOR
									Cambiar el termostato	4000H	4000H	4000H	4000H	4000H	4000H	4000H	4000H	5 horas	MECÁNICO	
		Biela	1	Daño en cojinetes de la biela	X				Ningún mantenimiento programado											
		Cigüeñal	1	Desbalanceo	X															
		Anillos de compresión	1	Fugas de aceite a la cámara de combustión.			X		Iniciar el equipo y dejarlo a ralentí para observar el flujo de gases de escape que sale por el exhosto, como también su coloración y densidad.	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	5 minutos	OPERADOR
		Anillos de lubricación	1	Desgaste abrasivo y/o deformación del elemento elastico			X													

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 23. Plan de mantenimiento subsistema inyección

3	INYECCIÓN	Inyectores	1	Inyectores obstruidos			X	Cambiar el filtro de combustible primario (con separador de agua) y secundario aplicando solamente diesel en la junta roscada.	500H	500H	250H	1000H	1000H	500H	250H	10 minutos	MECÁNICO	
			2	Inyectores descalibrados			X	Calibración y instalación de inyectores.	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	8 horas		
		Bomba de inyección	1	Valvula reguladora de presión se agarrota en la posición abierta			X		Verificar las condiciones del deposito de combustible y del combustible (desde donde se esta sacando el gasoil para el equipo) y reportar si la maquina se deja a la interperie o en instalaciones internas mientras esta sin	250H	250H	250H	250H	250H	250H	250H	10 minutos	OPERADOR
									Desmontar la bomba de combustible, calibrarla en un banco de pruebas y/o reemplazar componentes según su estado.	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	8 horas	MECÁNICO

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 24. Plan de mantenimiento subsistema escape

4	ESCAPE	Turbocompresor (caracola de escape)	1	La válvula wastegate agarrotada en posición cerrada	X		Revisar los manguitos, tubos y mangueras, del turbo por los cuales se conduce el aceite que lo lubrica y el agua que lo refrigera.	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	25 minutos	OPERADOR	
							Inspeccionar (visualmente) el estado de la válvula wastegate											
							Verificar el estado de las caracolas del turbo.											
		3	Sellos de turbina y compresor desgastados	X		Cambio de sellos de hermeticidad y bujes del eje solidario entre la turbina y el compresor del turbo	12000 H	12000 H	12000 H	12000 H	12000 H	12000 H	12000 H	12000 H	5 horas	MECÁNICO		
		Valvula EGR	1	Acumulación de suciedad	X		Mantenimiento a válvula EGR	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	3 horas	MECÁNICO	
		Filtro de partículas Diesel	1	Obstrucción parcial de los gases de escape.	X		Limpiar el filtro de partículas Diesel	4000H	4000H	4000H	4000H	4000H	4000H	4000H	5 horas	MECÁNICO		
2	Daño de la unidad de filtración.	X																

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 25. Plan de mantenimiento subsistema correas de accesorios

5	CORREAS DE ACCESORIOS	1	Desgaste del lomo de la correa (cara exterior)			X	Comprobar con el motor apagado y la correa desmontada girando manualmente la polea para detectar si se genera algún ruido o resistencia	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	1 hora	MECÁNICO
							Sustituir todas las poleas y tensores del sistema.	12000H	12000H	12000H	12000H	12000H	12000H	12000H	12000H	5 horas	MECÁNICO
		2	Grietas y cortes en las estrias de la correa.			X	Inspeccionar las correas visualmente, comprobando que no hayan grietas a una distancia entre uno y dos centímetros, cambiar si lo requiere.	500H	500H	500H	500H	500H	250H	500H	10 minutos	OPERADOR	
							Reemplazar correas de accesorios del motor	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	3 horas	MECÁNICO	
		3	Desgaste excesivo de estrias			X	Comprobar el desgaste, la presencia de grasa, aceite o la ausencia de material en las correas de accesorios, cambiar si lo requiere.	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	10 minutos	OPERADOR	
							Reemplazar correas de accesorios del motor	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	3 horas	MECÁNICO	

Fuente: Elaborado por el autor.

6.3.2 Plan de mantenimiento según RCM para el sistema Traslación

Tabla 26. Plan de mantenimiento subsistema neumáticos

SUB-SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLA	TAREAS DE MANTENIMIENTO												
			A CONDICIÓN	REACONDICIONA MIENTO	SUSTITUCIÓN CÍCLICA	ACTIVIDAD PROPUESTA	FRECUENCIA DE TAREA POR EQUIPO							DURACION	REALIZAR CON
							DUMPER	JUMBO	ROBOSH OT	RETROE XCAVAD ORA	TELEHA NDER	BULLDO ZER	CARGAD OR		
NEUMÁTICOS	Llantas	1 Llantas desgastadas y agrietadas			X	Comprobar el desgaste de los neumáticos preferiblemente con una barra indicadora de desgaste	250H	250H	250H	250H	250H	250H	250H	5 minutos	OPERADOR
						Verificar y calibrar la presión de cada neumático.	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	25 minutos	MECÁNICO
	Tuercas llantas	1 Desajuste y caída de las mismas.		X	Reapretar las tuercas con el par de torque propuesto en el manual de servicio del fabricante si es necesario.	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	25 minutos	MECÁNICO	
					Verificar el estado y ajuste de las tuercas, que no estén oxidadas. Cambiar si se requiere	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	25 minutos	MECÁNICO	

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 27. Plan de mantenimiento subsistema frenos

FRENOS	Frenos de servicio	1	Pastilla de freno cristalizada		X		Comprobar el correcto funcionamiento de los frenos	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	5 minutos	OPERADOR	
						X	Cambiar el filtro de aceite a presión del sistema de frenos	2000H	2000H	1000H	2000H	2000H	2000H	1000H	25 minutos	MECÁNICO	
					X		Verificar desgaste en las pastillas de freno	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	5 horas		
		2		Fugas por las mangueras o tubos de freno		X		Inspeccionar la presión del sistema de frenos conectando un manómetro a uno de los cilindros de rueda, accionando el pedal de freno hasta alcanzar una presión elevada en el circuito donde no puede caer más de 5 bar en 10 min	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	25 minutos	MECÁNICO
	Ralentizador (si el equipo posee)	1	El equipo no desacelera correctamente cuando es accionado		X		Control de fugas del ralentizador (inspección visual)	250H	250H	250H	250H	250H	250H	250H	10 minutos	MECÁNICO	
	Freno de estacionamiento	1	Desgaste anormal		X		Comprobar el freno de estacionamiento	Diaria mente	Diaria mente	Diaria mente	Diaria mente	Diaria mente	Diaria mente	Diaria mente	Diaria mente	5 minutos	OPERADOR
							Calibrar freno de estacionamiento	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	1 hora	MECÁNICO	
							Comprobar el desgaste de los forros de freno	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	1 hora		

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 28. Plan de mantenimiento subsistema transmisión

SERVOTRANSMISIÓN	Bomba hidráulica	1	Abrasión en los componentes		X		Comprobar que no hayan fugas por los empaques, sellos, tubos y mangueras de aceite de la transmisión	500H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	10 minutos	MECÁNICO	
							Verificar si el tipo de aceite que se le echa a la transmisión es el adecuado y recomendado por el fabricante	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	10 minutos		
	Engranajes	1	Fatiga superficial en los dientes del engranaje			X		Cambiar el filtro principal y de lubricación de la transmisión	1000H	1000H	250H	1000H	1000H	1000H	250H	10 minutos	MECÁNICO
		2	Engranajes rayados			X		Verificar el nivel del aceite de la transmisión	Diariamente	Diariamente	Diariamente	Diariamente	Diariamente	Diariamente	Diariamente	5 minutos	MECÁNICO
	Rodamientos	1	Presentan desalineación			X		Cambiar el aceite de la transmisión	2000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	25 minutos	MECÁNICO
	Embrague	1	Disco plancha y disco de fricción desgastados			X		Cambio de filtro de ventilación de la transmisión	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	1000H	2000H	25 minutos	MECÁNICO
	Valvula de control	2	Valvulas proporcionales de la valvula de control dañadas			X		Inspeccionar visulmente el estado de los solenoides de la valvula de contro (cables, carcaza y cuerpo) y verificar fugas por tubos y mangueras	6000H	6000H	6000H	6000H	6000H	6000H	6000H	25 minutos	MECÁNICO
	Caja de reenvio (si el equipo posee)	1	Fugas			X		Cambio del filtro de ventilación de la caja de reenvio	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	5 minutos	MECÁNICO
Cambio de aceite de la caja de reenvio								4000H	4000H	4000H	4000H	4000H	4000H	4000H	25 minutos		

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 29. Plan de mantenimiento subsistema ejes.

EJES	Arboles de transmisión (eje cardan y eje deslizante)	1	Desgaste y desajuste de arboles de transmisión		X		Palpar cada eje cardan y deslizante y comprobar si tiene desgaste y juego	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	25 minutos	MECÁNICO								
							Comprobar visualmente el estado de las crucetas, verificar sus sellos, que los cojinetes y los tornillos de las horquillas están apretados, que los anillos de seguridad (donde los haya) estén completos, en buen estado y se encuentren en posición correcta.																	
							Lavado del equipo teniendo precaución con la presión de agua a utilizar y los componentes críticos										50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	1 hora
							Lubricar las crucetas de los cardanes de los ejes delantero y trasero por medio de las graseras										250H	250H	250H	250H	250H	250H	250H	25 minutos
	Ejes de carga	1	Rodamientos guías de la punta del piñón desgastados prematuramente		X		Verificar los ejes de traslación comprobando fugas o daños por golpes	250H	250H	250H	250H	250H	250H	250H	250H	1 hora	MECÁNICO							
							Comprobar si los ejes tienen ruidos característicos en su interior que no son normales	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	5 minutos	OPERADOR							
		2	Engranajes y rodamientos asociados a la función desgastados		X		Inspeccionar la temperatura de la carcasa de los ejes con cámara termográfica	250H	250H	250H	250H	250H	250H	250H	250H	10 minutos	ELECTROMECAÁNICO							
							Cambiar el aceite de los ejes de traslación	1000H	500H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1 hora	MECÁNICO								
		3	Condensación de agua en los ejes		X		X	Cambiar los filtros de ventilación de cada eje	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	25 minutos	MECÁNICO						
							Proteger el respiradero al conducir por zonas húmedas	A condición	A condición	A condición	A condición	A condición	A condición	A condición	10 minutos	OPERADOR								

Fuente: Elaborado por el autor

6.3.3 Plan de mantenimiento según RCM para el sistema Hidráulico

Tabla 30. Plan de mantenimiento subsistema deposito hidráulico

SUB-SISTEMA	COMPONENTE	MODO DE FALLA	TAREAS DE MANTENIMIENTO												
			A CONDICIÓN	REACONDICIONAMIENTO	SUSTITUCIÓN CÍCLICA	ACTIVIDAD PROPUESTA	FRECUENCIA DE TAREA POR EQUIPO							DURACION	REALIZAR CON
							DUMPER	JUMBO	ROBOSH OT	RETROEXCAVADORA	TELEHANDER	BULLDOZER	CARGADOR		
DEPOSITO	Deposito hidráulico	1 Deposito lleno de contaminantes			X	Cambiar el filtro de respiración del tanque hidraulico	1000H	500H	1000H	500H	500H	500H	1000H	5 minutos	OPERADOR
						Cambio de aceite del sistema hidráulico	4000H	500H	2000H	1000H	1000H	1000H	2000H	40 minutos	MECÁNICO
						Cambiar filtro de retorno y/o succión del sistema hidráulico	2000H	500H	500H	500H	500H	500H	500H	10 minutos	
						Limpieza interna del tanque	6000H	6000H	6000H	6000H	6000H	6000H	6000H	1 día	
						Vaciado de sedimentos del deposito hidráulico	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	25 minutos	
	Bomba hidráulica	1 Presenta desgaste en los componentes por cavitación			X	Comprobar el nivel de aceite hidráulico mediante la mirilla	Diariamente	Diariamente	Diariamente	Diariamente	Diariamente	Diariamente	Diariamente	5 minutos	OPERADOR
						Cambiar el filtro de succión de la bomba del sistema hidráulico	2000H	2000H	2000H	500H	500H	500H	2000H	10 minutos	MECÁNICO
						Verificar fugas en las principales mangueras hidraulicas	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	10 minutos	OPERADOR
		2 Baja presión de bombeo			X	Realizar mantenimiento a las bombas de aceite del sistema hidraulico	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	1 semana	MECÁNICO
						Verificar los acoples de los extremos de las tuberías o mangueras y ajustarlos con el par de torsión correcto	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	5 minutos	OPERADOR

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 31. Plan de mantenimiento subsistema actuadores.

ACTUADORES	Cilindros hidráulicos	1	Fugas internas o externas	X		Verificación visual del estado del embolo (rayas, poros, golpes, corrosión o flexión)	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	5 minutos	OPERADOR
						Comprobar fisuras en el diametro exterior de la camisa, soldaduras y tapas frontal y posterior	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	5 minutos	OPERADOR
		2	Pasadores y cojinetes deteriorados	X		Utilizando una pistola de lubricación engrasar los cojinetes de todos los cilindros hidráulicos del equipo y de las articulaciones de dirección por los puntos de engrase hasta que salga por la graseira grasa nueva y limpia (debe oponerse resistencia al llenar para saber que ya esta a tope)	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	25 minutos	MECÁNICO
						Comprobar el desgaste de los pasadores de todas las articulaciones	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1 hora	
						Comprobar el juego en los cojinetes de todos los cilindros hidráulicos	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	1000H	40 minutos		
		3	Aros de guiado y juntas desgastados y carbonizados	X		Inspeccionar visualmente el estado de las juntas toricas, rascador y del retén del pistón (ubicados en la cara frontal) de los cilindros hidráulicos	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	2000H	5 minutos	MECÁNICO
		4	Curvatura de embolo	X		Comprobar el estado de los pasadores y bulones de los cilindros	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	25 minutos	OPERADOR
						Limpiar el exceso de mugre acumulado en la grasa que lubrica articulaciones de los cilindros	50H	50H	50H	50H	50H	50H	50H	10 minutos	MECÁNICO	

Fuente: Elaborado por el autor

6.3.4 Plan de mantenimiento según RCM para el sistema eléctrico

Tabla 32. Plan de mantenimiento subsistemas arranque, encendido y carga

COMPONENTE			TAREAS DE MANTENIMIENTO											DURACION	REALIZAR CON
			A CONDICIÓN	REACONDICIONAMIENTO	SUSTITUCIÓN CÍCLICA	ACTIVIDAD PROPUESTA	FRECUENCIA DE TAREA POR EQUIPO								
							DUMPER	JUMBO	ROBOSH OT	RETROE XCAVADORA	TELEHANDER	BULLDOZER	CARGADOR		
Arranque	Motor de arranque	1		X		Desmontar el motor de arranque y verificar el solenode, las escobillas, embobinados, tapas y carcasas	12000H	12000H	12000H	12000H	12000H	12000H	12000H	1 día	ELECTROMECAÁNICO
Encendido	Cables de encendido	1			X	Sustituir los cables de encendido del postratamiento de los gases de escape por unos nuevos	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	8000H	5 horas	MECÁNICO
		2	Bateria desgastada por vida útil	X		Reapretar y limpiar terminales de la batería	500H	250H	500H	500H	500H	500H	500H	1 hora	MECÁNICO
						Control de nivel del electrolito									
Carga	Alternador	1	X			Ningún mantenimiento programado									
		2	X												

Fuente: Elaborado por el auto

6.4 Creación de estándar de trabajo (STANDARD JOB)

Estando ya propuestos los planes de mantenimiento con sus respectivas frecuencias en cada equipo, se crearon 7 tipos de tareas de mantenimiento los cuales sirvieron para la clasificación de cada actividad propuesta y se harán efectivas cuando se desee realizar una tarea específica completa.

Tabla 33. Tareas de mantenimiento para los estándares de trabajo

Tareas de Mantenimiento	
No	Tipo
1	Inspección
2	Limpieza
3	Lubricación
4	Reparación
5	Sustitución
6	Fabricación
7	Puesta a punto

Fuente: Elaborado por el autor

En la tarea de inspección, se llevará a cabo una inspección de tipo especializada que se denomina como una inspección puntual, se generaliza en empresas grandes y de manera general de tipo medio. Se basa en que los componentes de alguna maquinaria tendrán una larga vida cuando son considerados dentro de los programas de inspección, por lo que se debe tener un cierto criterio para elaborar dichos programas. Dicho criterio es que todos los componentes que se inspeccionan en los equipos mineros analizados están expuestos a trabajos severos en ambientes críticos que afectan directamente a los componentes de cada uno de los sistemas de actuación, por lo que se estudiaron las condiciones en las cuales no se quiere que el componente este dentro del rango o defecto propuesto, si es así, dará a la generación de una nueva OT para repararlo, cambiarlo o revisarlo específicamente.

Para las tareas de limpieza, lubricación, reparación, fabricación y puesta a punto que contienen etapas, no hubo necesidad de establecer un criterio en el que se determine “adecuado” porque son etapas específicas que se deben realizar sin tener en cuenta más factores, a lo que estas tareas no tienen una condición que genere la creación de una nueva

OT.

En cuanto a la tarea de sustitución se quiere conseguir una sustitución más eficiente, es por eso que en cada actividad de mantenimiento propuesto en los diferentes sistemas de actuación para cada equipo se realizó una recolección de las referencias originales y algunas homologadas de los repuestos, también del volumen de los fluidos para acciones de cambio o llenado y para referencias no encontradas se dejó nombrado el repuesto que se tiene que conseguir.

6.4.1 Tareas de inspección

Tabla 34. Tareas de inspección del plan de mantenimiento

ETAPAS		CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO
1	Inspeccionar el estado de las abrazaderas de los ductos de admisión, que no esten oxidadas ni sueltas.	Oxidadas, no ajustan	Cambiar	Correctivo
2	Revisar los manguitos, tubos y mangueras, del turbo por los cuales se conduce el aceite que lo lubrica y el agua que lo refrigera.	Fugas, agrietadas, rasgadas	Cambiar	Correctivo
3	Inspeccionar (visualmente) el estado de la valvula wastegatenm del turbo	Sumida, cuerpo oxidado	Reparar	Preventivo
4	Verificar el estado de las caracolas del turbo.	Caracola agrietada o deforme	Cambiar	Correctivo
5	Comprobar el nivel y el estado de las tapas de llenado de los depositos de todos los fluidos del equipo tales como refrigerante, radiador aceite del motor, aceite de la transmisión, aceite hidráulico y aceite de la caja de reenvío (si la máquina posee).	Bajo nivel, sobre llenado	Suministrar nivel requerido	Preventivo
		Tapa no enrosca, partida, sin tapa, dañada	Cambiar	Correctivo
6	Verificar el estado y ajuste de las tuercas.	Oxidadas	Cambiar	Correctivo
7	Comprobar si los ejes tienen ruidos característicos en su interior que no son normales.	Ruidos	Revisar	Preventivo
8	Comprobar el correcto funcionamiento de los frenos.	Freno largo, freno corto, equipo frenado	Ajustar	Preventivo
9	Verificar fugas en las principales mangueras hidraulicas.	Fuga, agrietada, rasgada	Cambiar	Correctivo
10	Verificar los acoples de los extremos de las tuberías o mangueras y ajustarlos.	Deformados, sueltos	Cambiar	Correctivo

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 34. Tareas de inspección del plan de mantenimiento (continuación)

11	Verificación visual del estado del embolo de los cilindros hidráulicos.	Rayas, porosidad, deflectado, doblado	Reparar o cambiar	Correctivo
12	Comprobar fisuras en el diametro exterior de la camisa, soldaduras y tapas frontal y posterior.	Fisura, grieta	Reparar o cambiar	Correctivo
13	Comprobar el estado de los pasadores y cojinetes de los cilindros	Desgastados	Cambiar	Correctivo
		Sin lubricacion, ruido, con suciedad	Limpiar y lubricar	Preventivo
14	Verificar que todo el sistema de iluminación del equipo este en correcto funcionamiento.	Cables y conexiones dañadas, iluminación quemada, sin funcionar, partidas	Revisar, reparar, cambiar	Correctivo
15	Inspeccionar manguera de aire de la valvula wastegate	Fuga, agrietada, rasgada	Cambiar	Correctivo
16	Inspección visual al intercooler donde se revisen el estado de las aletas y los serpentines.	Doblados, sucios, obstruidos	Reparar o cambiar	Preventivo
17	Comprobar el estado de los componentes del sistema de refrigeración del motor, siendo mangueras, abrazaderas, intercambiadores de calor, radiador y termóstato.	Radiador deformado, obstruido por suciedad, mangueras agrietadas, rasgadas, ventilador no funciona, acoples dañados, tapa radiador dañada	Reparar o cambiar	Correctivo
18	Verificar las condiciones del deposito de combustible y del combustible (desde donde se esta sacando el gasoil para el equipo) y reportar si la maquina se deja a la interperie o en instalaciones internas mientras esta sin funcionamiento.	Maquina a interperie	Informar	Preventivo
		Deposito de combustible a la interperie, tanques rotos, oxidados, sin tapa, suciedad en su interior	Ajustar	
19	Comprobar el desgaste de los neumaticos preferiblemente con una barra indicadora de desgaste	Gastados, agrietados, lisos	Cambiar	Preventivo
20	Inspeccionar la presión del sistema de frenos conectando un manometro a uno de los cilindros de rueda, accionando el pedal de freno hasta alcanzar una presión elevada en el circuito donde no puede caer más de 5 bar en 10 min	Cae más de 5 bar en 10 minutos	Revisar, reparar, cambiar	Correctivo
21	Control de fugas del ralentizador (inspección visual)	Fuga de aceite	Revisar, reparar, cambiar	Correctivo
22	Verificar los ejes de traslación comprobando fugas o daños por golpes	Fuga de aceite	Revisar, reparar, cambiar	Correctivo
23	Inspeccionar visualmente el estado de la articulación donde se validen los vastagos de los cilindros, cojinetes, pasadores y movimientos del mismo en general	Desgaste, desalineación, juego	Revisar, reparar, cambiar	Correctivo
24	Inspeccionar la temperatura de la carcaza de los ejes con camara termografica	Mayor a 150 °C	Revisar	Preventivo
25	Realizar una revisión de los sensores de temperatura del motor que se muestran en el panel de instrumentos de la cabina corroborando con otro instrumento de medida la temperatura del motor (Pistola termografica).	Valores diferentes entre el panel de instrumentos y la pistola termica	Revisar	Preventivo

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 34. Tareas de inspección del plan de mantenimiento (continuación)

26	Comprobar el estado de carga de la batería que no este por debajo de 12,20 V y para las baterías que no vengan selladas (sin mantenimiento) además de la prueba anterior también se debe tomar con un densímetro una muestra de electrolito de cada celda observando que la densidad en cada uno no este por debajo de 1,18 kg/m ³	Voltaje por debajo de 12,30 V, densidad de celda por debajo de 1,18 kg/m ³	Cargar o cambiar batería según sea	Preventivo
27	Verificar los controles de cambio de aceite en cuanto a fecha y tipo de aceite de motor utilizado.	No se están realizando los cambios con el aceite indicado por el fabricante	Informar	Preventivo
28	Comprobar el desgaste, la presencia de grasa, aceite o la ausencia de material en las correas de accesorios, cambiar si lo requiere.	Desgastadas, producen ruido	Cambiar	Preventivo
29	Verificar desgaste en las pastillas de freno usando un espejo para observarlas con facilidad	Espesor igual o menor a 3mm	Cambiar	Preventivo
30	Comprobar que no hayan fugas por los empaques, sellos, tubos y mangueras de aceite de la transmisión	Fuga de aceite	Revisar, reparar, cambiar	Correctivo
31	Palpar cada eje cardan y deslizante y comprobar si tiene desgaste y juego	Juego, con ruido	Revisar, reparar, cambiar	Correctivo
32	Con un indicador de cuadrante (preferiblemente digital) que tenga base magnética, colocándolo lo más cerca del pasador para que el punto de palpado lo toque y la medición sea correcta, se debe inspeccionar empujando hacia abajo la base donde se apoyo la base del indicador de caratula con el fin de que el pasador suba y se genere la lectura del indicador.	Lectura fuera del rango 0.2-0.4 mm	Revisar, reparar	Preventivo
33	Inspeccionar visualmente el estado de las juntas tóricas, rascador y del retén del pistón (ubicados en la cara frontal) de los cilindros hidráulicos	En mal estado	Cambiar	Correctivo
34	Verificar si el tipo de aceite que se le echa a la transmisión es el adecuado y recomendado por el fabricante	Aceite inadecuado	Informar	Preventivo
35	Comprobar con el motor apagado y las correas de accesorios de motor desmontadas girando manualmente la polea para detectar si se genera algún ruido o resistencia	Ruidos, resistencia	Revisar, cambiar	Correctivo

Fuente: Elaborado por el autor

6.4.2 Tareas de limpieza

Tabla 35. Tares de limpieza del plan de mantenimiento

ETAPAS		CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO
1	Lavado del equipo teniendo precaución con la presión de agua a utilizar y los componentes críticos.	No aplica	No aplica	No aplica
2	Limpiar el exceso de mugre acumulado en la grasa que lubrica articulaciones de los cilindros	No aplica	No aplica	No aplica
3	Limpiar el radiador siempre con el motor detenido, preferiblemente con aire comprimido donde se mantenga la boquilla a una cierta distancia de las aletas para evitar daños.	No aplica	No aplica	No aplica
4	Limpiar las bases del filtro de aire, los tubos, el turbo, intercooler, tubos accesibles de admisión y escape para verificar con precisión si existe un desgaste en los materiales o quitar grasas, mugre adherido que afecte el componente. (REALIZAR LA LIMPIEZA CON CUIDADO PARA NO DAÑAR LOS COMPONENTES).	No aplica	No aplica	No aplica
5	Limpiar el filtro de partículas Diesel	No aplica	No aplica	No aplica

Fuente: Elaborado por el autor

6.4.3 Tareas de lubricación

Tabla 36. Tares de lubricación del plan de mantenimiento

ETAPAS		CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO
1	Utilizando una pistola de lubricación engrasar los cojinetes de todos los cilindros hidráulicos del equipo y de las articulaciones de dirección por los puntos de engrase hasta que salga por la graseras grasa nueva y limpia (debe oponerse resistencia al llenar para saber que ya esta a tope)	No aplica	No aplica	No aplica
2	Lubricar las crucetas de los cardanes de los ejes delantero y trasero por medio de las graseras	No aplica	No aplica	No aplica

Fuente: Elaborado por el autor

6.4.4 Tareas de reparación y fabricación

Estas tareas no están incluidas en el estándar de trabajo porque se van creando a como se requiera a lo largo de la vida de cada equipo y se vuelven resultantes de la tarea inspección.

6.4.5 Tareas de sustitución por grupos de equipos

Tabla 38. Tareas de sustitución del plan de mantenimiento

ETAPAS	DUMPER VOLVO A30F		JUMBO SANDVIK DD321		CARGADOR LH410		ROBOSHOT		TELEHANDER		BULLDOZER		RETROEXCAVADORA		
	REPUESTO A SUSTITUIR	CTD	REPUESTO A SUSTITUIR	CTD	REPUESTO A SUSTITUIR	CTD	REPUESTO A SUSTITUIR	CTD	REPUESTO A SUSTITUIR	CTD	REPUESTO A SUSTITUIR	CTD	REPUESTO A SUSTITUIR	CTD	
1	Cambiar el aceite del motor. (buscar los tipos de aceite permitidos y homologados según sea el equipo)	SAE 15W40	36 Litros	SAE 15W40	15 Litros	SAE 15W40	29 Litros	SAE 15W40	38 Litros	SAE 15W40	8,5 Litros	SAE 15W40	20 Litros	SAE 15W40	14,5 Litros
2	Cambiar los filtros de aceite del motor y al instalar los nuevos se deben llenar de aceite de motor para garantizar la lubricación del motor justamente después de arrancar. (Después de instalados el motor se debe dejar a ralentí como mínimo por 1 minuto).	VOE 477556/P554004	1	61507643/P550768	1	56012848/P550761	1	100011649/P553771	1	CAT 7W-2326/P554407	1	CAT 269-8325/P550920	1	VOE 11700375/P559418	1
		VOE 478736/P550425	2												
3	Cambiar el filtro de combustible primario (con separador de agua) y secundario aplicando solamente diésel en la junta roscada.	Combustible: VOE 15126069/R010062	1	Combustible: 61507642/P550632	1	Combustible: 56018232/P550762	1	100011700/P553004	1	Combustible: CAT 2526338/P502420	1	Combustible: CAT 306-9199	1	Combustible: VOE 11708555/P550662	1
		Separador de agua: VOE 11110683/P559118	1	Separador de agua: 55051165/P551026	1	Separador de agua: 55051165/P551026	1			Separador de agua: R1804		Separador de agua: CAT 326-1644		Separador de agua: VOE 11110474/P559118	
4	Control de nivel del electrolito de la batería	Agua destilada	Reponer el nivel necesario	Agua destilada	Reponer el nivel necesario	Agua destilada	Reponer el nivel necesario	Agua destilada	Reponer el nivel necesario	Agua destilada	Reponer el nivel necesario	Agua destilada	Reponer el nivel necesario	Agua destilada	Reponer el nivel necesario
5	Cambiar la tapa o filtro de respiración del tanque hidráulico	VOE 11113355	1	85079409	1	56008551	1	100009953	1	CAT 9R-9925	1		1	VOE 11882636	1
6	Desmontar el filtro primario para inspeccionar el estado, siempre con el cuidado de impedir entrada de impurezas en la admisión del motor. Para limpiarlo hasta un máximo de 2 veces en todo su uso y después cambiarlo.	VOE 15110642/P777871	1	88601219/P780036	1	56040820/P608678	1 c/u	P778994	1	CAT 2065234/P780523	1	CAT 293-4053/P608766	1	VOE 11883618/P822686	1
7	Cambiar el filtro principal y de lubricación de la transmisión	VOE 11448509/P164378	2	04697505/P574731	1	56202447	1	P789563		CAT 3207360	1	CAT 328-3655	1	VOE 11709048/P763761	1
														VOE 11709050	1
8	Realizar el cambio del filtro de aire secundario del motor (nunca limpiarlo).	VOE 11033999/P777875	1	88601349/P778994		56040822/P607557	1	No tiene		CAT 2065235/P780523	1	CAT 252-5002	1	VOE 11883619/P829333	1

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 38. Tareas de sustitución del plan de mantenimiento (continuación)

9	Cambiar filtro de ventilación del depósito de combustible	VOE 11113355	1	P551026		No tiene		No tiene		No tiene		CAT 319-0844	1	No tiene		1
10	Reemplazar correas de accesorios del motor	VOE 15171845	1	Correa Poly-v	1	56031903	1	100011660	1	CAT 5N-9304	1	CAT 253-4531	1	VOE 20492345	1	
		VOE 3825184	1					100011677	1	CAT 314-5633	1					
		VOE 11709634	1					100011654	1							
11	Cambiar el filtro de aceite a presión del sistema de frenos	VOE 11707544/P169447	1	No tiene		04004032/P567015	1	No tiene		No tiene		No tiene		No tiene		
12	Cambio de filtro de ventilación de la transmisión	VOE 11172907/P575476	1	No tiene		56202447	1	No tiene		No tiene		No tiene		No tiene		
13	Cambiar filtro de retorno y/o succión del sistema hidráulico	VOE 11119887	1	86727289/P763873	1	04004080/P763185	1	100010258	1	CAT 1G-8878	1	CAT 1G-8878/P763535	1	VOE 11882353/P176207	1	
				81558479/P164174	1	56006066	1	100010171	1			CAT 9T-8578/P165877	1			
								100011563	1							
14	Cambiar el aceite de la transmisión	Volvo Automatic Transmission Fluid AT102	40 litros	SAE 10W30	25 litros	SAE 30	69 Litros	80W90	42 litros	MOBIL FLUID 424 ISO 46	12,9 Litros	Aceite CAT HYDO Advance 10W	160 Litros	MOBIL FLUID 424	20 Litros	
15	Cambio del filtro de ventilación de la caja de reenvío	VOE 11172907/P575476	1	No tiene		No tiene		No tiene		No tiene		No tiene		No tiene		
16	Cambiar los filtros de ventilación de cada eje de traslación	VOE 11172907/P575476	3	No tiene		No tiene		No tiene		No tiene		No tiene		VOE 11709275	2	
17	Cambiar el líquido refrigerante	Refrigerante Volvo VCS	70 Litros	Concentrado GlycoShell o Agua pura	27 Litros	Concentrado GlycoShell o Agua pura	40 Litros	Agua pura	70 Litros	50/50 de etilenglicol y agua	20 Litros	50/50 de etilenglicol y agua	40 Litros	Volvo VCS	22 Litros	
18	Cambio de aceite de la caja de reenvío	Volvo Super Gear oil 75w80 60102	9 Litros	No tiene		No tiene		No tiene		No tiene		No tiene		No tiene		

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 38. Tareas de sustitución del plan de mantenimiento (continuación)

19	Cambiar el aceite de los ejes de traslación	Eje delantero (incl. Reductores de cubo) Volvo Super Gear oil 75w80 60102	38 Litros	Eje delantero / trasero	2,3 Litros engranaje planetario / 16 Litros diferencial	Eje delantero (incl. Reductores de cubo)	37 Litros	Eje delantero ISO 90	6 Litros	Diferencial delantero	8 Litros	Bastidor de rodillos c/u Aceite CAT HYDO Advance 10W	20 Litros	Eje delantero (incl. cubos)	7,3 Litros
		Primer eje (incl. Reductores de cubo) Volvo Super Gear oil 75w80 60102	40 Litros			Primer eje (incl. Reductores de cubo)	37 Litros			Diferencial trasero	7.3 Litros				
		Segundo eje (incl. Reductores de cubo) Volvo Super Gear oil 75w80 60102	38 Litros			Cubos (trasero y delantero) ISO 90	1,48 Litros c/u			Cubos frente/trasero	1,9/1,4 Litros				
20	Cambio de aceite del sistema hidráulico	Volvo Super Hydraulic Oil V68/AV68	175 Litros	ISO 68	270 Litros	ISO 68	250 Litros			ISO 46	240 Litros	ISO 68	29,5 Litros	ISO 68	40 Litros
21	Cambiar el termostato	VOE 20726931	1	No identificado		No identificado		No identificado		CAT 2542267	1	CAT 243-2739	1	VOE 20450736	1
22	Sustituir los cables de encendido del postratamiento de los gases de escape por unos nuevos	VOE 15186697	1	No tiene		No tiene		No tiene		No tiene		No tiene		No tiene	
23	Sustituir todas las poleas y tensores del sistema.	VOE 3979746	4	Polea Carter motor	1	56031460	1	Polea bomba de combustible	1	Cigüeñal	1	CAT 192-1563	2	VOE 20459949	1
		VOE 8086970	1	Generador	1			Polea ventilador motor	1	Alternador	1	CAT 144-5611	1	VOE 20459864	1
		VOE 15180450	1	Bomba del radiador	1	56038483	1	Polea Alternador	1	Ventilador	1	CAT 261-0376	1	VOE 20554253	1
		VOE 15170633	1	Polea tensora	1							CAT 173-1498	1	VOE 24426216	1
		VOE 21549016	1	Polea deflectora y de guía	1							CAT 274-1931	1		
Compresor de A/C	1														
24	Cambio de sellos de hermeticidad y bujes del eje solidario entre la turbina y el compresor del turbo	Contactar con proveedor del turbocompresor	Contactar con proveedor del turbocompresor	Contactar con proveedor del turbocompresor	Contactar con proveedor del turbocompresor	Contactar con proveedor del turbocompresor	Contactar con proveedor del turbocompresor	Contactar con proveedor del turbocompresor	Contactar con proveedor del turbocompresor	Contactar con proveedor del turbocompresor	Contactar con proveedor del turbocompresor	Contactar con proveedor del turbocompresor	Contactar con proveedor del turbocompresor	Contactar con proveedor del turbocompresor	Contactar con proveedor del turbocompresor

Fuente: Elaborado por el autor


Tabla 41. Tareas de puesta a punto

ETAPAS		CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO
1	Reapretar las tuercas con el par de torque propuesto en el manual de servicio del fabricante si es necesario	800 Nm	Ajustar	Preventivo
2	Verificar y calibrar la presión de cada neumático	Ruedas delanteras (37,6 Bar)	Ajustar	Preventivo
		Ruedas traseras (43 Bar)		
3	Reapretar y limpiar terminales de la batería	No aplica	No aplica	No aplica
4	Comprobar el desgaste de los forros de freno	No aplica	No aplica	No aplica
5	Calibrar freno de estacionamiento	No aplica	No aplica	No aplica
6	Desmontar la bomba de combustible, calibrarla en un banco de pruebas y/o reemplazar componentes según su estado.	No aplica	No aplica	No aplica
7	Calibración y instalación de inyectores.	No aplica	No aplica	No aplica
8	Vaciado de sedimentos del depósito hidráulico	No aplica	No aplica	No aplica
9	Ajustar sincronismo de válvulas	No aplica	No aplica	No aplica

7. GESTIÓN DE OT Y HOJA DE VIDA DE LOS EQUIPOS

En Minesa cada área puede generar una orden de mantenimiento (OT) con el fin de hacer conocer al área de mantenimiento sus solicitudes y estas sean realizadas lo antes posible. Las solicitudes de OT usan el siguiente formato:

Figura 27. Formato Orden de trabajo.

 Minesa <small>SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S.</small>	GERENCIA DE OPERACIONES		OP-MAN-RG03		
	MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO		Version:	3	
	SOLICITUD DE ORDEN DE TRABAJO		Fecha elab:	29/01/2016	
		Fecha rev:	20/08/2016	OT No:	
FECHA DE LA SOLICITUD:	(DD/MM/AAAA)			000000	
1. DATOS DEL SOLICITANTE					
CARGO		NOMBRE		FIRMA AUTORIZADA	
2. DATOS DEL EQUIPO A INTERVENIR					
NOMBRE DEL EQUIPO		TIPO DE MANTENIMIENTO			
UBICACIÓN		L	C	P	
SECCIÓN		PD			
3. TRABAJOS REQUERIDOS					
4. RECEPCION Y EJECUCION DE LA ORDEN DE TRABAJO					
FECHA RECEPCION OT:	(DD/MM/AAAA)	RECIBIDA POR:			
FECHA INICIO TRABAJOS	(DD/MM/AAAA)	AUTORIZADA POR:			
INFORME DE LOS TRABAJOS EJECUTADOS					
5. CIERRE DE LA ORDEN DE TRABAJO					
FECHA ENTREGA DE TRABAJOS:					
RECIBE A SATISFACCIÓN			FIRMA		
6. REPUESTOS UTILIZADOS					
ITEM	DESCRIPCIÓN	PROVEEDOR	CANT	VALOR TOTAL	
TOTAL					
7. RECURSOS HUMANOS UTILIZADOS					
ITEM	CARGO	NOMBRE	HORAS UTILIZADAS	VALOR HORA	TOTAL COSTO
1					
2					
3					

DIGITALIZADO POR:
Fuente: Minesa

FECHA: (DD/MM/AAAA)

Las OT se gestionan actualmente por el número de orden y por una base de datos en Excel que marca las que ya se han ejecutado (color verde) y las que todavía están en proceso (color amarillo).

Figura 28. Listado de ordenes de trabajo

Minesa		GERENCIA DE OPERACIONES					OP-MAN-RG02		
		MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO					Version: 0		
		LISTADO DE ORDENES DE TRABAJO					Fecha Elab: 16/08/2016		
							Fecha Act:		
ITEM	# OT	FECHA SOLICITUD	FECHA EJECUCION	SOLICITADO POR	SECCION	TRABAJO REQUERIDOS	HORAS DE EJECUCION	ABIERTA	CERRADA
1	160001	18/08/2016	22/08/2016	German Dario Diaz	Geologia	Instalacion de antena de comunicaciones empotrado en pared.	5		
2	160002	18/08/2016	22/08/2016	German Dario Diaz	Geologia	Instalar lamparas en el salon posterior de casa nueva de llano redonde y habilitar alumbrado	5		
3	160003	19/08/2016		Monica Rodriguez	Admin Campo	Desarme de multinacional, e instalacion de equipos en gimnasio	2		
4	160004	19/08/2016	14/08/2016	Julian Alberto Clavijo	Minas	Soldadura de rejas en bocaminas BM5 nivel principal y BM3	5		
5	160005	21/08/2016	22/08/2016	Monica Rodriguez	Admin Campo	Arreglo de instalacion electrica de cafeteria de oficina.	2		
6	160006	22/08/2016		German Dario Diaz	Geologia	Aislamiento con bandaras en el emboque para taller, carcamo			
7	160007	24/08/2016		Daniel Ojeda	Mantenimiento	Arranque de equipo jumbo sanvick y traslado desde padilla a sector emboque.			
8	160008	25/08/2016		Daniel Ojeda	Mantenimiento	Arranque de equipo cargador LH410 sanvick y traslado desde padilla a sector emboque.			
9	160009	22/09/2016	26/08/2016	German Dario Diaz	Geologia	Mantenimiento, engrase de agitador del portico.	5		
10	160010	25/09/2016	31/09/2016	Julian Alberto Clavijo	Minas	Soldadura de rejas en bocaminas BM5 nivel principal y BM3	6		
11	160011	26/08/2016		Marlyn guerrero	Admin Campo	Fabricacion de rejilla sendero casino a manager 1			
12	160012	29/08/2016	27/08/2016	Daniel Ojeda	Mantenimiento	Desmonte y despinche de llantas de telehandler	2		
13	160013			Daniel Ojeda	Mantenimiento	Aislamiento de linea electrica de la PTAT, con manguera de polipropileno para cerramiento de campamento	6		
14	160014	1/09/2016	4/09/2016	German Dario Diaz	Geologia	Revisión de sistema electrico del elevador del emboque	5		
15	160015	1/09/2016		German Dario Diaz	Geologia	Alineacion de lampara luminarias anjar el emboque			
16	160016	1/09/2016	1/09/2016	German Dario Diaz	Geologia	Ajustar lampara y agregar mas para seccion de monitoreo en casa llano redocndo	3		
17	160017	5/09/2016	6/09/2016	German Dario Diaz	Geologia	CONECTAR LAMPARAS EN CALVISTA	1		
18	160018	8/09/2016	9/09/2016	Leidy Gelvez	Ambiental	Desinstalacion y traslado de bombas de agua, ubicadas en la minita.	4		
19	160019	8/09/2016	8/11/2016	Alfredo Palacio	Geologia	mantenimiento preventivo a basokas y taladros.	60		
20	160020	8/09/2016		Freddy Mora	Transporte	Arreglar gnosnes de la turbo	2		
21	160021	9/09/2016	18/09/2016	Monica Rodriguez	Admin Campo	Traslado de linea de gas modulo manager superior	3		
22	160022	9/09/2016	18/09/2016	Monica Rodriguez	Admin Campo	Mantenimiento correctivo a caminadora de gimnasio	2		
23	160023	13/09/2016	13/09/2016	Julian Alberto Clavijo	Minas	Fabricacion de 2 rejas en bocamina la minita	18		
24	160024	15/09/2016		Leidy Gelvez	Ambiental	Desmonte de rueda pelton en el sector el tesorito			
25	160025	15/09/2016	16/09/2016	Leidy Gelvez	Ambiental	Instalacion de manija para caja de phmetro	1		
26	160026	20/09/2016	21/09/2016	Rafael Moscote	IT	Desmonte de Access Point ubicado en la parte alta de la entrada de la bodega de calvista	1		
27	160027	21/09/2016	23/09/2016	German Dario Diaz	Geologia	Revisar y alimentar luces de padilla	3		
28	160028	21/09/2016	25/09/2016	Monica Rodriguez	Admin Campo	Fabricacion base de lavaplatos casino higuera	5		
29	160029	22/09/2016	30/09/2016	Monica Rodriguez	Admin Campo	mantenimieento correctivo a lavaplatos electrolux	2		
30	160030	23/09/2016	27/09/2016	German Dario Diaz	Geologia	Revisión de las baterias de elevador electrico	2		
31	160031	28/09/2016	9/10/2016	Luis F Medina	Siso	Arreglo de equipo hidrocolector, tiene sistema de control de temperatura dañado.	2		
32	160032	28/09/2016	30/10/2016	Daniel Ojeda	Admin Campo	Fabricar peladaño adicional escalera de reactor PTAR	5		
33	160033	29/09/2016		Daniel Ojeda	Admin Campo	REUBICAR CABLEADO ELECTRICO CON AISLADORES Y ASEGURADO A MUROS O POSTES			
34	160034	3/10/2016	9/10/2016	Rafael Moscote	IT	Se solicita Mantenimiento preventivo a UPS ULTIMATE Series II Modelo ULT-8000, Capacidad: 8KVA - S/N: 10131581101	3		
35	160035	3/10/2016	4/10/2016	Rafael Moscote	IT	e solicita revisión de UPS ENERGEX ULTIMATE Series II Modelo ULT- 8000, Capacidad: 8KVA - S/N:10131621101	2		
36	160036	4/10/2016	27/08/2016	Daniel Ojeda	Mantenimiento	Retirar reflector y cableado, sector el gigante.	4		
37	160037	5/10/2016	23/12/2016	Gisela Monoga	Social	Instalación de fundas telescopicas cuatrimoto	9		
38	160038	6/10/2016	8/10/2016	Daniel Ojeda	Mantenimiento	Revisión y mantenimiento de mezcladora de concreto portatil	3		
39	160039	10/10/2016	10/10/2016	Orlando Zarate	Admin Campo	Sellar las puertas de baños ubicados en el predio de calvista para evitar colapso de pozo septico.	3		
40	160040	9/10/2016	13/10/2016	Orlando Zarate	Admin Campo	Reparar techo gimnasio para goteras y filtraciones	4		
41	160041	18/10/2016		German Dario Diaz	Geologia	Revisión / Reparación del gato hidráulico tipo zorro de la bodega de padilla			
42	160042	20/10/2016	24/10/2016	Juan Arciniegas	Minas	FABRICACION DE PORTON POLIVORIN	36		
43	160043	21/10/2016	3/11/2016	Juan Arciniegas	Minas	en: 12 tramos de 25 centímetros de largos. 6 pulgadas de anchos. fabricarle una rejilla a un extremo puede ser con varilla o	3		
44	160044	25/10/2016	26/10/2016	Daniel Ojeda	Mantenimiento	INSTALACION DE PERILLA ABB EN EL TABLERO DE CONTROL DE JUMBOS DENTRO DEL TUNEL	2		
45	160045	26/10/2016	24/10/2016	Daniel Ojeda	Mantenimiento	ALACION DE TUBERIAS, ACCESORIOS, REGISTROS, PARA REALIZAR PRUEBA NEUMATICA A TANQUES DE COMBUST	24		
46	160046	27/10/2016	25/10/2016	Daniel Ojeda	Mantenimiento	ALISTAMIENTO DE MATERIAL, FABRICACION DE CUBIERTA E INSTALACION EN LOS TANQUES DE LA PTAR	36		

Fuente: Minesa

Las OT son diligenciadas por los operarios que intervinieron en la realización de dicha solicitud, una vez haya sido cerrada y dada por terminada completamente. Después de que se acumula un numero de órdenes, se reciben y se actualizan en la base de Excel a OT cerradas.

Los equipos mineros en la empresa poseen un cuarto en donde están almacenados los catálogos y las hojas de vida de cada uno.

Figura 29. Lugar de almacenamiento de hojas de vida y catálogos de equipos



Fuente: Elaborado por el autor

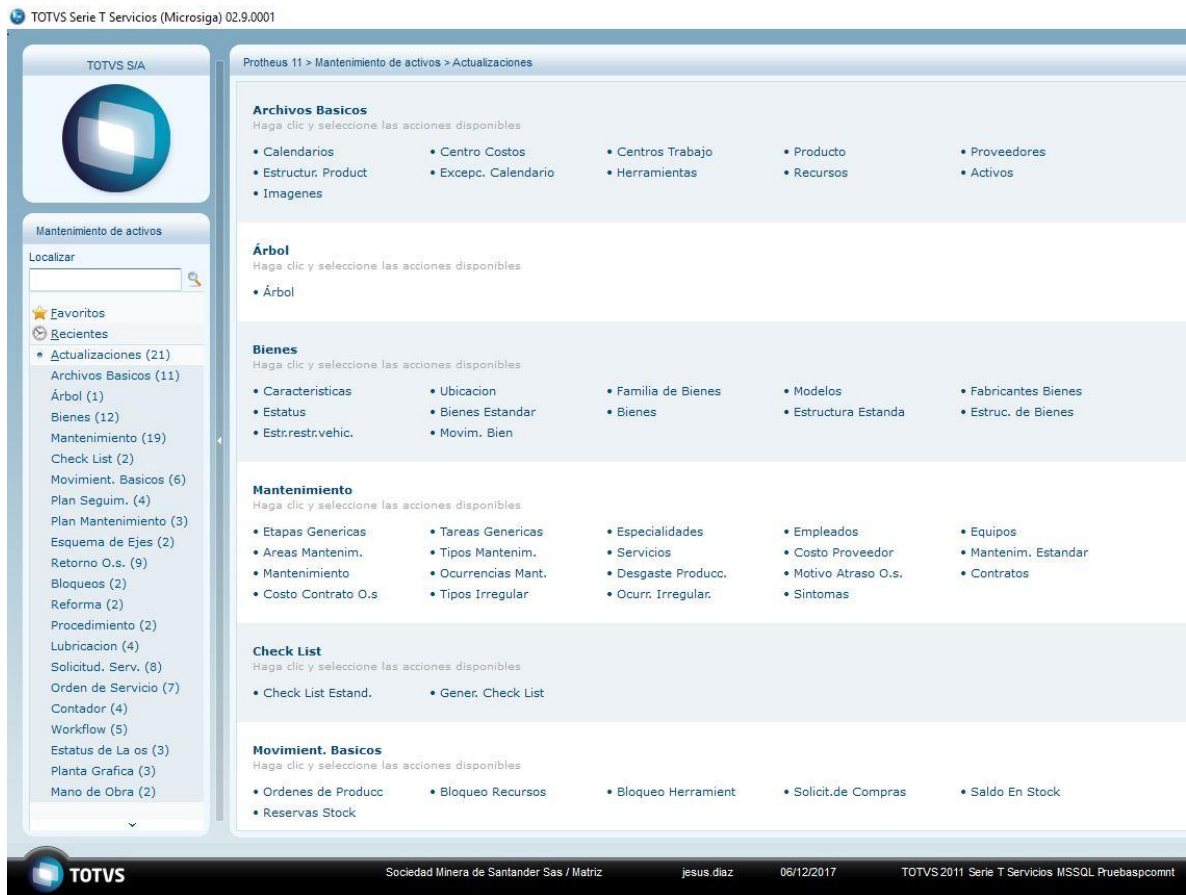
Las OT que involucren cualquier equipo minero se archivan en la carpeta del equipo según su número de identificación en la empresa y referencia, siempre y cuando la OT ya esté cerrada y digitalizada en la base de datos.

8. GESTION DE LA INFORMACION DEL RCM PARA LA FUTURA IMPLEMENTACION DEL MODULO DE MANTENIMIENTO (SOFTWARE TOTVS) COMPRADO RECIENTEMENTE POR LA EMPRESA.

La compañía recientemente adquirió un software para el manejo de toda la información de cada uno de los activos dentro del grupo clasificado como maquinaria y equipo, así como también herramientas y todo lo relacionado al área de mantenimiento. Dicho modulo se encuentra en la etapa de pruebas para la implementación, donde está siendo retroalimentado principalmente por la información del RCM creado para los equipos mineros, información con la que se están realizando las pruebas y capacitaciones.

El módulo está enfocado a permitir un excelente seguimiento a lo que tiene que ver a mantenimientos preventivo, correctivo, locativo y mejorativo facilitando considerablemente la gestión y la calidad de información que contienen las OT.

Figura 30. Software TOTVS (módulo de mantenimiento)



Fuente: Minesa S.A.S

La buena operación del módulo se basa principalmente en la información que contenga, por eso como cualquier modelo de mantenimiento se debe estar actualizando a lo largo de la vida útil de los equipos incluidos en el. Lo que conlleva a que, por parte del grupo de trabajo desde el operador, técnico, digitalizador, jefe de mantenimiento hasta el área financiera encargada de dar de baja a los activos que ya no estén en condiciones operativas para no tener un número de equipos creados innecesariamente y generar únicamente desgaste administrativo, tengan buena comunicación para la actualización de los posibles nuevos modos de falla, repuestos de sustitución comunes, fotos del estado actual del activo, nuevas etapas, tareas y servicios de mantenimiento, etc.

9. CONCLUSIONES

- La implementación del RCM en la compañía permitió dejar las bases y un modelo universal aplicativo a diferentes equipos mineros que comparten los mismos sistemas de actuación con componentes similares para con el tiempo lograr la extensión de la metodología a todos los activos fijos que lo requieran. En dicha implementación se tuvieron en cuenta diferentes puntos de vista, manuales, investigación y análisis para obtener la criticidad real y lograr frecuencias de mantenimientos acertadas, así mismo planes de mantenimiento que modifiquen el estado operativo del equipo sin la necesidad de utilizar tareas de prueba y error que disminuyen la disponibilidad de los mismos y el aumento de los recursos de la empresa. Junto con lo mencionado anteriormente la actualización de las hojas de vida de los equipos permitirá una mayor facilidad en el reconocimiento de las características principales para las áreas externas a mantenimiento como lo son el área de compras y financiera, donde se requiere la mayor información de los equipos para tareas de compra de repuestos o depreciación respectivamente.
- Con la futura implementación del módulo de mantenimiento se establecieron parámetros con la creación de las tareas de mantenimiento que complementaron el RCM para llevarlo a un nivel inteligente donde solo haya que generar la OT y además de los planes de mantenimiento también incluya las referencias de los repuestos a sustituir tanto originales como homologados en caso de que se necesite, además de los rangos de inspección entre los que debe estar la evaluación del técnico para la no generación de una nueva OT.
- Con la inclusión del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) se obtuvo un proceso de intervención a los equipos conciso y completo, esto con ayuda de un buen grupo de trabajo que se enfoca a desarrollar un RCM cada vez más real y adaptado a los modos de falla generados por las condiciones de trabajo, logrando así mantener y aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los mismos proponiendo actividades de mantenimiento que por negocio postventa de los fabricantes no se incluye.

- El Análisis de Efecto y Modos de Fallas junto al Análisis de Criticidad permitieron la asignación y clasificación de cada componente en su respectivo subsistema, donde tuvieron lugar dependiendo a la criticidad del modo de falla para escoger el tipo de mantenimiento a realizar y el factor que afecta directamente al costo siendo la frecuencia de intervención de la tareas en donde los componentes más críticos tuvieron las frecuencias más altas y los menos críticos las más bajas, esto con el fin de tener más controlado los componentes que verdaderamente lo requieren para cada tipo de máquina.
- La inspección es una herramienta que puede generar grandes pérdidas económicas, humanas, etc., o beneficios siempre y cuando el que la ejecute, tenga la capacidad de análisis y conocimiento sobre cuál debe ser el estado y cómo debe comportarse un equipo bajo diferentes condiciones de trabajo.
- La homologación de piezas de marcas que no poseen proveedor nacional es una opción útil a la hora de tener que parar la producción por un repuesto, pero en algunos casos los componentes homologados, aunque se piden por el código del fabricante llegan a no realizar una función eficiente y hasta a tenerse que realizar adaptaciones, produciendo el deterioro de más partes y un trabajo inseguro para el operador.
- La creación de los estándares de trabajo logra que el personal encargado de la realización del mantenimiento identifique específicamente las tareas a ejecutar, esto permite un salto de realizar solamente el defecto o falla que se encuentran al momento de diligenciar los preoperacionales a desarrollar una secuencia de trabajos específicos que abarcan tareas del mismo tipo, disminuyendo las horas de los equipos parados por mantenimiento y en vez de realizarse una a una cada vez que se genere, se realizan todas las formuladas en el RCM.
- Un RCM sería inviable sin la existencia de las hojas de vida de los equipos, operadores y técnicos del área de mantenimiento ya que son ellos quienes llevan la mayor cantidad de tiempo con los equipos.

- No se debe dejar llegar componentes principales de la maquina a un estado de deterioro crítico ya que se puede ver afectada la producción y aumentar la probabilidad de riesgo asociados a accidentes con personas.
- Los catálogos virtuales o físicos de partes que tienen los fabricantes de maquinaria industrial son una gran ayuda para poder comprender el orden y funcionamiento de la numerosa cantidad de componentes a la hora de realizar un análisis sobre causa de falla.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Agüero, M. y Calixto, I. Análisis De Criticidad Integral De Activos [en línea]. R2M. S.A Reliability and Risk Management, Maracaibo-Venezuela, 2007 [citado 06 dic., 2017], p. 1-14. <Disponible en: <http://www.academia.edu/>>
2. Anónimo. Selección de equipos mineros [en línea]. MI57G- Manejo de minerales y ventilación de minas. 2007 [citado 06 dic., 2017]. 39p. Disponible en < https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/MI57G/1/material_docente/bajar?id_material=145245>
3. Equipo Minero. Soporte del Siglo XXI. Equipo Minero [en línea] [revisado el 6 dic 2017]. Disponible en < <http://www.equipo-minero.com/contenidos/1125-soporte-del-siglo-xxi.html#.WijB4EriYdU>>
4. García Garrido, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid.: Doña Juana I de Castilla, 2003. 321p. ISBN 84-7978-548-9.
5. Gonzales Fernández, Francisco Javier. Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. II Edición. España.: Fundación Confemetal, 2005. 579p. ISBN 84-96169-49-9.
6. Huerta Mendoza, Rosendo. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional [en línea]. Club de mantenimiento. Venezuela, (S.F) [citado 06 dic., 2017]. 5p. Disponible en < http://www.mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento_archivos/de%20confiabilidad/ANALISIS%20DE%20CRITICIDAD.pdf>
7. ISO 14224. Industria de petróleo y gas natural – Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. International Organization For Standardization, 2000. 71p.
8. Lissardy, Gerardo. La caída en desgracia del magnate brasileño que soñó con desbancar a Carlos Slim [en línea]. Brasil BBC Mundo, nov. 2014 [revisado 4 sep., 2017]. Disponible en: < http://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/10/131030_brasil_eike_batista_bancarota_a_z#orb-banner>
9. Manuales de servicio equipos mineros
10. Minesa, Manual de funciones mantenimiento. California. 14p.

11. Minesa, Hojas de vida equipos mineros. California. 13p.
12. Mora de Céspedes, Raúl. Mantenimiento RCM del sistema de refrigeración del motor diésel de un buque [en línea]. Tesis de pregrado Madrid.: Universidad Carlos III de Madrid. 2014 [citado 06 dic., 2017]. 173p. Disponible en < https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22647/PFC_raul_mora_cespedes_2014.pdf>
13. Moubray, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Edición en español. Carolina del Norte.: Aladon LLC, 2004. 450p. ISBN 09539603-2-3.
14. Quevedo Hernández, Norbey. El oro de california, en manos de árabes [en línea]. Colombia El Espectador, Abr 2015 [revisado 4 sep., 2017]. Disponible en: <<https://www.elespectador.com/noticias/investigacion/el-oro-de-california-manos-de-arabes-articulo-557063>>.
15. SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999. 12p.
16. Troffé, Mario. Análisis ISO 14224/ Oreda. Relación con RCM-FMEA [en línea]. Argentina, (S.F). [citado 06 dic., 2017] 9p. Disponible <<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/0605MarioTroffeISO14224.pdf>>
17. Villacres, Sergio. Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehículo hidrocleaner vector M564 de la empresa etapa ep [en línea]. Tesis de postgrado.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba Ecuador. 2016 [citado 06 dic., 2017]. 96p. Disponible en < <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/4749>>