

**ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO MEDIANTE LA
METODOLOGÍA RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD)
PARA LOS CARGADORES FRONTALES DE BAJO PERFIL SANDVIK LHD410
EN LA SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S**

JORGE ANDRÉS LIZCANO GUERRERO

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD
BUCARAMANGA
2019**

**ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO MEDIANTE LA
METODOLOGÍA RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD)
PARA LOS CARGADORES FRONTALES DE BAJO PERFIL SANDVIK LHD410
EN LA SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S**

JORGE ANDRÉS LIZCANO GUERRERO

**Trabajo de monografía para optar al título de Especialista en Gerencia de
Mantenimiento y Confiabilidad**

**MSc. Emil Hernández Arroyo
Director**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD
BUCARAMANGA
2019**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 23 de Enero de 2019

Dedicatoria.

A Dios por ser la guía en el camino que ayuda a tomar las mejores decisiones y lograr todos los objetivos.

A mis padres Adela y Jorge quienes con su motivación, apoyo y confianza absoluta logran que sea una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A Deyanira, Jose Ignacio y Gabriel que son mi familia, forman parte de este importante logro y aportaron directa o indirectamente en la elaboración de esta monografía.

Agradecimientos

A Deyanira por su paciencia y perseverancia, quien siempre brindó su apoyo en momentos difíciles y es parte de este logro.

Al ingeniero Daniel Ojeda que siempre estuvo dispuesto a colaborar y facilitarme los espacios y recursos, a la Sociedad Minera de Santander S.A.S que me permitió desarrollar la investigación en sus instalaciones.

A los profesores de especialización quienes compartieron su conocimiento e impulsaron el desarrollo de mi formación profesional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	22
1. GENERALIDADES PROYECTO SOTO NORTE	24
1.1 SOCIEDAD MINERA DE SANTANTER S.A.S	24
1.1.1 Actividad económica..	24
1.1.2 Estructura corporativa..	24
1.1.3 Ubicación.	25
1.1.4 Historia.....	25
1.1.5 Propósito común.	27
1.1.6 Línea de visión.	27
1.1.7 Proceso Minero Subterráneo.....	29
1.1.8 Ciclo Perforación y Voladura.....	31
2. JUSTIFICACIÓN	32
3. OBJETIVOS	34
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	34
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	34
4. MARCO TEORICO.....	36

4.1	MANTENIMIENTO	36
4.2	HISTORIA DE MANTENIMIENTO	36
4.3	SECCIONES DEL MANTENIMIENTO	37
4.3.1	Mantenimiento Correctivo.....	37
4.3.2	Mantenimiento Preventivo.....	38
4.3.3	Mantenimiento Predictivo.....	38
4.4	MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	39
4.5	LAS SIETE PREGUNTAS BASICAS DEL RCM	41
4.5.1	Funciones.....	42
4.5.2	Fallas Funcionales.. ..	42
4.5.3	Modos de Falla.....	42
4.5.4	Efectos de Falla.. ..	43
4.5.5	Consecuencias de Falla.....	44
4.5.6	Actividades de Mantenimiento.	45
4.6	INDICADORES PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	45
4.6.1	Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)	45
4.6.2	Tiempo Medio para Reparar (MTTR)	46
4.6.3	Disponibilidad (A).....	46
4.7	COSTO DE CICLO DE VIDA	47
4.7.1	Factores principales que afectan la vida útil de un cargador frontal de bajo perfil.....	47

5.	CARGADORES FRONTALES DE BAJO PERFIL SANDVIK LHD410.....	49
5.1	SISTEMAS DE CARGADORES FRONTALES DE BAJO PERFIL LHD410	51
5.2	SISTEMA TREN DE PODER	51
5.2.1	Motor Diesel.....	51
5.2.2	Convertidor de Torque	53
5.2.3	Transmisión.....	53
5.2.4	Caja de Cambios.....	55
5.3	SISTEMA HIDRAULICO.....	55
5.4	SISTEMA DE CARGA.....	57
5.5	SISTEMA ELÉCTRICO	58
5.6	SISTEMAS AUXILIARES	59
5.6.1	Cabina.....	59
5.6.2	Sistema de Lubricación Central (SLU).....	59
5.6.3	Sistema Supresor de Incendios (ANSUL).....	59
6.	PROPUESTA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA CARGADORES SANDVIK LHD410.....	60
6.1	IMPORTANCIA DEL CARGADOR FRONTAL LHD410 EN LA FLOTA DE EQUIPOS MINEROS.....	60
6.1.1	Grupo de Revisión del RCM.....	60
6.1.2	Análisis de Criticidad.....	60
6.1.3	Criticidad en equipos de minería subterránea.....	62

6.1.4	Modos de Falla frecuentes en los Cargadores Frontales de Bajo Perfil en Minesa..	63
6.2	CONTEXTO OPERACIONAL DEL CARGADOR LHD410	64
6.2.1	Rango de operación principal para cargadores LHD410	65
6.3	ELABORANDO LAS SIETES PREGUNTAS BASICAS DEL RCM	66
6.3.1	Análisis de Modo y Efecto de Falla Subsistema Tren de Poder	67
6.3.2	Lógica de decisiones	72
6.3.3	Árbol de decisión	75
6.3.4	Ejecución de una actividad de mantenimiento	77
6.3.5	Servicio de Mantenimiento	77
6.3.6	Estándar de Servicio de Mantenimiento	77
6.3.7	Repuestos críticos	84
6.4	INDICADORES DE GESTIÓN	86
6.4.1	Indicadores de Mantenimiento	86
6.4.2	Indicadores de Mano de obra	87
6.5	PROYECCIÓN DE COSTO DE MANTENIMIENTO A 5 AÑOS EN CARGADORES FRONTALES DE BAJO PERFIL SANDVIK LHD410	87
6.5.1	Costo actual de mantenimiento en los cargadores LHD410	88
6.5.2	Costo de mantenimiento en los cargadores LHD410	90
6.5.3	Costo de producción de los Cargadores LHD410	92
6.5.4	Costo de ciclo de vida Cargadores LHD410	95
7.	CONCLUSIONES	97

8. RECOMENDACIONES	99
BIBLIOGRAFIA.....	101
ANEXOS.....	103

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Consecuencias de falla equipos de minería Proyecto Soto Norte	44
Tabla 2. Relación de cambios y velocidad en Cargadores Frontales de Bajo Perfil.....	55
Tabla 3. Modos de falla más frecuentes en Cargadores Frontales de Bajo Perfil de Minesa	63
Tabla 4. Datos de operación Cargadores Frontales de Bajo Perfil Minesa	64
Tabla 5. AMEF Sistema Tren de Poder - Componente (A) Transmisión	67
Tabla 6. AMEF Sistema Tren de Poder - Componente (C) y (D) Eje delantero y trasero.....	69
Tabla 7. AMEF Sistema Tren de Poder - Componente (E) y (F) Cubos planetarios y diferenciales.....	69
Tabla 8. AMEF Sistema Tren de Poder - Componente (G) Eje impulsor (Cardan)	71
Tabla 9. AMEF Sistema Tren de Poder - Componente (H) Convertidor de torque....	71
Tabla 10. Lógica de decisiones Sistema Tren de Poder - Componente (A) y (B) Transmisión	72

Tabla 11. Lógica de decisiones Sistema Tren de Poder - Componente (C) y (D) Eje delantero y trasero	73
Tabla 12. Lógica de decisiones Sistema Tren de Poder - Componente (E) y (F) Cubos planetarios y diferenciales	74
Tabla 13. Lógica de decisiones Sistema Tren de Poder - Componente (G) Eje impulsor (Cardan)	74
Tabla 14. Lógica de decisiones Sistema Tren de Poder – Componente (H) Convertidor de torque	75
Tabla 15. Servicio de Mantenimiento Tarea – Inspección	78
Tabla 16. Servicio de Mantenimiento Tarea – Puesta a punto	81
Tabla 17. Servicio de Mantenimiento Tarea - Sustitución	82
Tabla 18. Servicio de Mantenimiento Tarea – Cepillado	82
Tabla 19. Servicio de Mantenimiento Tarea – Lubricación.....	83
Tabla 20. Indicadores de mantenimiento periodo 2011-2018.....	86
Tabla 21. Proyección costos de mantenimiento en Cargadores LHD410	90
Tabla 22. Promedio de movimiento de material en metro cubico en 5 años	92
Tabla 23. Costo de ciclo de vida para Cargadores LHD410.....	96

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Estructura corporativa Minesa S.A.S.....	24
Figura 2. Ubicación geográfica Proyecto Soto Norte	25
Figura 3. Línea de Tiempo Proyecto Soto Norte	28
Figura 4. Diseño de Mina Subterránea Proyecto Soto Norte	30
Figura 5. Ciclo de perforación y voladura Proyecto Soto Norte.....	31
Figura 6. Diagrama de decisión del RCM	40
Figura 7. Las siete preguntas básicas del RCM.....	41
Figura 8. Factores que afectan la vida útil en Cargadores Frontales de Bajo Perfil	48
Figura 9. Cargador frontal LHD410 descargando material.....	49
Figura 10. Características técnicas cargadores frontales de bajo perfil LHD410	50
Figura 11. Sistemas principales cargadores frontales LHD410.....	52
Figura 12. Motor Cargadores Frontales LHD410	53

Figura 13. Sistema del convertidor de torque C5502 Cargadores Frontales LHD410	54
Figura 14. Sistema de transmisión cargadores frontales LHD410	54
Figura 15. Bombas hidráulicas en serie P3211 Y P3311	56
Figura 16. Cubeta de carga cargador frontal LHD410	57
Figura 17. Subsistema de carga frontal cangilón	57
Figura 18. Diagrama eléctrico principal de cajas eléctricas de distribución	58
Figura 19. Disyuntores, cajas eléctricas y distribución eléctrica.....	58
Figura 20. Grupo de revisión RCM.....	61
Figura 21. Matriz de criticidad	61
Figura 22. Criticidad equipos de minería subterránea.....	62
Figura 23. Sección longitudinal de la zona de explotación mina Proyecto Soto Norte	65
Figura 24. Movimiento de material desde la mina y superficie sector Emboque Proyecto Soto Norte.....	66
Figura 25. Árbol de decisión de mantenimiento	76
Figura 26. Repuestos críticos Cargadores LHD410.....	85

Figura 27. Utilización mano de obra preventivo-correctivo	87
Figura 28. Costo actual mantenimiento Cargador LHD726.....	89
Figura 29. Costo actual mantenimiento Cargador LHD727	89
Figura 30. Costo de Mantenimiento por servicio al año acumulado.....	91
Figura 31. Tiempo de ejecución de servicios de mantenimiento para Cargadores LHD410.....	92
Figura 32. Proyección de avance de la Mina – Proyecto Soto Norte	93
Figura 33. Dimensiones túneles de movimiento de material Mina – Proyecto Soto Norte	94
Figura 34. Tenor de Oro por tonelada de producción Proyecto Soto Norte	95

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Análisis Modo y Efecto de Falla – Sistema Motor	104
Anexo B. Análisis Modo y Efecto de Falla – Sistema Motor (Continuación)	105
Anexo C. Análisis Modo y Efecto de Falla – Sistema Motor (Continuación)	106
Anexo D. Análisis Modo y Efecto de Falla – Sistema Motor (Continuación)	107
Anexo E. Análisis Modo y Efecto de Falla – Sistema Traslación	108
Anexo F. Análisis Modo y Efecto de Falla – Sistema Hidráulico (Continuación)	109
.....	
Anexo G. Análisis Modo y Efecto de Falla – Sistema Hidráulico.....	110
Anexo H. Análisis Modo y Efecto de Falla – Sistema Eléctrico	111

GLOSARIO

AUROARGENTIFEROS: grupo compuesto de minerales que entre ellos contiene plata.

CUERPO MINERALIZADO: concentración natural de material valioso y que puede extraerse y vender con una ganancia.

SANDVIK MINING: compañía sueca dedicada a la ingeniería de alta tecnología y líder en mecanizado, tecnología de materiales, minería y construcción.

STOCK: bien que se almacena para ser posteriormente usado en el proceso productivo.

SOFTWARE: conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.

VOLADURA: acción y efecto de la utilización de explosivos y accesorios de voladura para romper, arrancar y fracturas rocas, minerales u otro material, o generar ondas sísmicas.

MINESA: Sociedad Minera de Santander, empresa dedicada a la exploración de material aurífero en Soto Norte-Santander.

CANGILÓN: recipiente de hierro definido para ciertas máquinas que se encargan de extraer distintos tipos de materiales.

PRINCIPIO PARETO: descripción de fenómeno estadístico descrito por Vilfredo Pareto.

MORTALIDAD INFANTIL: fenómeno presentado en activos físicos que se muestra cuando estos son inicialmente adquiridos, fabricados o reensamblados y sus fallas son recurrentes.

DISYUNTOR: aparato eléctrico que abre automáticamente el paso de corriente eléctrica.

TOTVS: solución robusta que permite enfocar esfuerzos en las decisiones estratégicas de negocio por medio de sistema de información globalizado.

TENOR DE ORO: grado de pureza que contiene el oro por tonelada métrica de extracción.

REFERENCIA DE SIGLAS

SIGGAMNT: Mantenimiento de Activos Protheus.

LHD: (Load, Haul, Dump) (Carga, Transporte, Descarga).

EIA: Estudio de Impacto Ambiental.

PTO: Plan de Ordenamiento Territorial

RCM: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

SAE JA1011: The Engineering Society for advancing mobility land sea air and space
(Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) processes)

VCM: Vehicule Control Module.

AMEF: Análisis de Modo y Efecto de Falla.

LCC: Life Cycle Cost.

ECM: Electronic Control Module.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ELABORACIÓN UNA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO MEDIANTE LA METODOLOGÍA RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD) PARA LOS CARGADORES FRONTALES DE BAJO PERFIL SANDVIK LH410 EN LA SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S

AUTOR(ES): JORGE ANDRÉS LIZCANO GUERRERO

PROGRAMA: Esp. en Gerencia De Mantenimiento Y Confiabilidad

DIRECTOR(A): EMIL HERNÁNDEZ ARROYO

RESUMEN

Con el presente trabajo de monografía se promueve el desarrollo de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para los Cargadores Frontales de Bajo Perfil LHD410 involucrados en el proceso de voladura del proyecto Soto Norte de la Sociedad Minera de Santander S.A.S. este estudio pretende ser el primer paso para mejorar la gestión integral del mantenimiento y ser replicado a los demás equipos de la compañía. Mediante el estudio de los Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) realizados a cada uno de los sistemas principales, subsistemas y componentes del equipo se logró identificar cuáles serán los efectos y las consecuencias de un modo de fallo, y como estos afectarán la confiabilidad y disponibilidad a lo largo de la operación; de este análisis se extraen las actividades que se resumen en servicios de mantenimiento controlados por las horas de operación y son el documento guía para que el departamento de mantenimiento logre alcanzar sus objetivos en los tiempos establecidos; adicionalmente con esta metodología fue posible definir un listado de repuestos críticos que son indispensables para cumplir con los requerimientos de operaciones. Por otra parte, se calculó el costo de ciclo de vida para el activo en un periodo de cinco años de operación continua, identificando que la intervención de 2000 horas será la más crítica lo que permite ratificar que la metodología RCM ayuda a reducir los costos de mantenimiento y optimizar los recursos de mano de obra y repuestos invertidos en el activo en los mantenimientos preventivos que serán ejecutados a futuro.

PALABRAS CLAVE:

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Costo Ciclo Vida, Cargadores, Mantenimiento Preventivo

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DEVELOP OF A MAINTENANCE PROPOSAL USING THE RCM (RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE) METHODOLOGY FOR THE LOW PROFILE FRONT LOADERS SANDVIK LH410 AT SOCIEDAD MINERA OF SANTANDER S.A. S

AUTHOR(S): JORGE ANDRÉS LIZCANO GUERRERO

FACULTY: Esp. en Gerencia De Mantenimiento Y Confiabilidad

DIRECTOR: EMIL HERNÁNDEZ ARROYO

ABSTRACT

With this monograph paper, the development of the reliability centered maintenance methodology (RCM) is promoted for low profile front loaders LHD410 involved in the blasting process of the Soto Norte project of the Sociedad Minera of Santander S.A.S. This study pretends to be the first step to improve the integral management of maintenance and to be replicated to the other equipment of the company. By studying the analysis of failure mode and effect (FMEA) carried out to each of the main systems, subsystems and components of the equipment was able to identify the effects and consequences of a failure mode, and how these will affect the Reliability and Availability throughout the operation; From this analysis the activities summarized in maintenance services controlled by hours of operation are extracted and are the guiding document for the maintenance department to achieve its objectives in the established times; In addition to this methodology it was possible to define a critical parts list that are essential to meet the requirements of operations. On the other hand, the life cycle cost for the asset was calculated in a period of five years of continuous operation, identifying that the intervention of 2000 hours will be the most representative which allows to ratify that the RCM methodology helps to reduce the maintenance costs and optimize the resources of labor and spare parts invested in the asset in the preventive maintenance that will be executed in the future.

KEYWORDS:

Reliability centered maintenance, life cycle cost, loaders, preventative maintenance

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

“El proyecto de Exploración Subterránea de Minerales Auroargentíferos “Soto Norte” (en adelante denominado Proyecto Soto Norte)”¹ que desarrollará la Sociedad Minera de Santander S.A.S bajo el apoyo del grupo inversionista *Mubadala Development Company* de los Emiratos Árabes Unidos (UAE) en el municipio de California Santander, promete ser uno de los principales negocios en la industria minera en Colombia, “el diseño de la mina se considera de alta selectividad entre las practicas estándares a nivel mundial al dirigirse específicamente al cuerpo mineralizado”², que contará con la más alta tecnología en infraestructura, facilidades, materiales y estándares ambientales y de seguridad durante todas las etapas del proyecto.

Como uno de los pilares fundamentales para la ejecución del proyecto que actualmente se encuentra en etapa de licenciamiento ambiental, la Sociedad Minera de Santander ha definido la necesidad de utilizar equipos para minería subterránea que cumplan con los más altos estándares mundiales de seguridad, ambientales y de eficiencia de operación que vayan de la mano con la tecnología. Es así como la adquisición de estos equipos requiere de una estrategia que no solo se centre en el mantenimiento, sino que garantice la confiabilidad y disponibilidad en la operación continua de un proyecto que planea extenderse a lo largo de 20 años de producción.

¹ INGETEC, Ingenieros consultores. Estudio de impacto ambiental para el proyecto de explotación subterránea de minerales auoargentíferos “Soto Norte”. Cap 3. Descripción del proyecto. Febrero 2018.

² INGETEC, Ingenieros consultores. Estudio de impacto ambiental para el proyecto de explotación subterránea de minerales auoargentíferos “Soto Norte”. Cap 3. Descripción del proyecto. Pag 174. Febrero 2018.

Dentro del proceso de operación bajo tierra para la extracción del material se utilizarán cargadores frontales de bajo perfil, que serán los encargados del movimiento de material desde el frente de mina hacia los diferentes puntos de acopio destinados en el diseño del proyecto. Actualmente la compañía cuenta con tres (3) Cargadores de Bajo Perfil LHD-410 fabricados por la empresa *SANDVIK MINING* de acuerdo con la tecnología más óptima para un proyecto minero. Estos equipos cuentan con sistemas hidráulicos, mecánicos, eléctricos y electrónicos de gran complejidad que presentan una gran oportunidad para desarrollar una estrategia de Mantenimiento Centrada en Confiabilidad a cargo del departamento de Mantenimiento de la empresa.

No obstante, para llevar a cabo la implementación de esta estrategia, se requiere de una gran base de datos para almacenar información clave que permita reunir parámetros, estadísticas, indicadores y *stock* de repuestos destinados únicamente para la máquina que se analiza en el presente proyecto. La estrategia de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad irá de la mano con el *Software* de Mantenimiento de Activos SIGGAMNT que actualmente tiene la compañía y que está integrado con las demás áreas interesadas en la ejecución del proyecto.

El objetivo es desarrollar la estrategia adecuada, a partir de la cual se pueda realizar un control financiero de costo de ciclo de vida de los equipos y se mejore a largo plazo la planeación del mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo que surjan en los análisis, y lograr un control del área técnica en la ejecución de las actividades.

1. GENERALIDADES PROYECTO SOTO NORTE

1.1 SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S

1.1.1 Actividad económica. La Sociedad Minera de Santander S.A.S., Minesa, es una empresa colombiana de minería de oro enfocada en el desarrollo del proyecto aurífero Soto Norte, La compañía posee títulos mineros que contemplan aproximadamente 380 hectáreas, localizadas a unos 2.640 metros sobre el nivel del mar. Sus acciones están orientadas por los mejores estándares mundiales en seguridad, medio ambiente y operaciones, cuenta con el respaldo de Mubadala Development Company, grupo empresarial de inversión y desarrollo del gobierno de Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos, al cual pertenece.³

1.1.2 Estructura corporativa. La estructura corporativa de MINESA S.A.S se observa en la Figura 1.

Figura 1. Estructura corporativa Minesa S.A.S

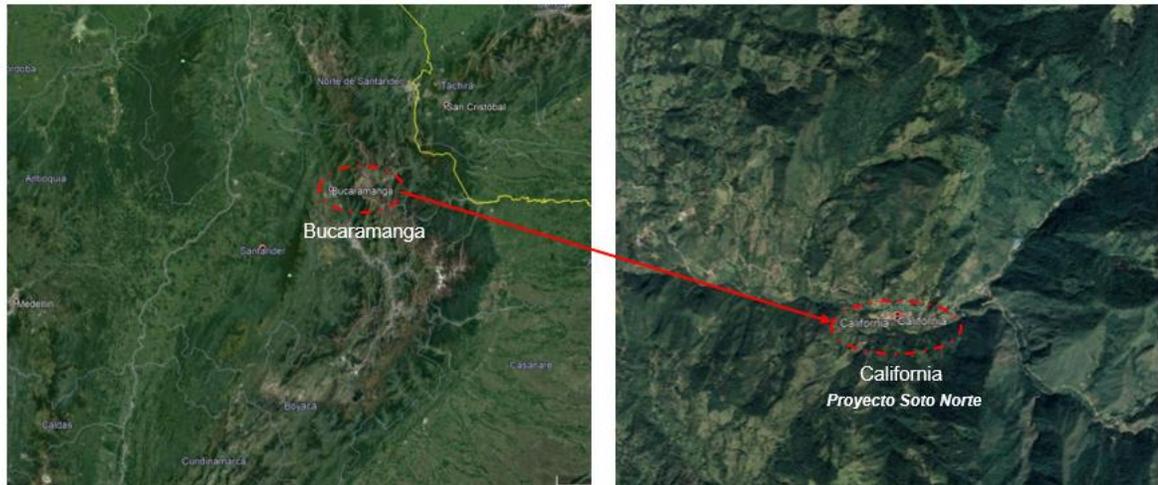


Fuente: En: <http://minesa.com/quienes-somos/equipo-corporativo/>

³ SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. ¿Quiénes somos? Bogotá. 2016. Párr. 1.

1.1.3 Ubicación. El proyecto Soto Norte está localizado a aproximadamente a 470 kilómetros al norte de Bogotá y 60 kilómetros al noreste de Bucaramanga, la capital del departamento de Santander. Entre los municipios de California y Suratá, el proyecto se encuentra fuera de los límites del páramo de Santurbán, ver Figura 2.

Figura 2. Ubicación geográfica Proyecto Soto Norte



1.1.4 Historia. A mediados de los años 90, el Ministerio de Minas otorgó varias licencias para la exploración de oro en la región de California, en las estribaciones de la cordillera Oriental. Una de esas concesiones a 10 años la recibieron particulares. Sin embargo, a partir de 2009, varios de esos buscadores de oro fueron cediendo sus derechos a la sociedad *CVS Explorations Ltda.*, que terminó sumando títulos hasta consolidar una apreciable extensión de terreno para la explotación de oro en una veta promisoría.

En noviembre de 2011, después de una reforma en la sociedad *CVS Explorations Ltda.* Y para facilitar las anotaciones en el Registro Minero Nacional, la firma cambió su nombre por *AUX Colombia Limitada*, con el tiempo se supo que el yacimiento de California quedó en manos del poderoso grupo económico *EBX*, del empresario brasileño Eike Batista, quien para ese momento era considerado como el séptimo hombre más rico del planeta.

En los siguientes meses, bajo el amparo de la ley que le otorgó privacidad y agilidad a la creación de sociedades, AUX Colombia cambió también su razón social por AUX Colombia SAS y, en mayo de 2013, pactó con la Agencia Nacional de Minería un nuevo contrato de concesión. El acuerdo quedó pactado hasta junio de 2028 para hacerlo efectivo en un área de 351 hectáreas distribuidas en cinco zonas. Aunque en tiempo reciente la actividad minera se había visto afectada por la presencia guerrillera del ELN, ya no fue este factor el que retardó la producción minera. El nuevo dilema fue ambiental. La proximidad del páramo de Santurbán obligó a esperar la delimitación de los terrenos.

En 2013, con la quiebra de la petrolera OGX, considerada la más grande de América Latina, comenzó el derrumbe del imperio económico de Eike Batista. Después de ser el representante del “Brasil de la esperanza”, el multimillonario magnate se vio forzado a acelerar la venta de activos para cubrir sus deudas. Entonces su desplome llegó a Colombia. Necesitaba con urgencia solidez económica para amortizar deudas con los bancos Bradesco e Itaú. Según el portal Primerapágina.com, Batista no tuvo otra opción que ceder activos en la mina de oro de California y cubrir una deuda de US\$2.000 millones con el fondo *Mubadala*. El actual representante de AUX Colombia y César Torresini ratificó que *Mubadala Development Company* recibió la empresa por un proceso de reestructuración de deuda. Fue así entonces que se dio la conformación legal de la **Sociedad Minera de Santander S.A.S**, que sustituyó a AUX limitada en los títulos mineros de California y se hizo pública en el municipio el 11 de noviembre de 2015.⁴

⁴ HERNANDEZ, Norbey. El oro de California, en manos de los árabes. Bucaramanga. 2015. Disponible en: <http://www.elespectador.com/noticias/investigacion/el-oro-de-california-manos-de-arabes-articulo-557063>.

1.1.5 Propósito común.

1.1.5.1 Misión.

- Proteger nuestros recursos Naturales.
- Mejoramos la vida de nuestra 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.⁵

1.1.5.2 Visión. La compañía líder en minería de oro más admirada en Colombia.⁶

1.1.6 Línea de visión. Actualmente la empresa se encuentra en etapa de estudios (técnicos y ambientales) y se prepara para iniciar el proceso de licenciamiento ante la ANLA, a partir del segundo trimestre del año 2018. Proyecta iniciar su etapa productiva (explotación) en el año 2021. Ver Figura 3.

⁵ SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Minesa. Bucaramanga. 2016. Disponible en: <http://minesa.com/quienes-somos/>.

⁶ SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Minesa. Bucaramanga. 2016. Disponible en: <http://minesa.com/quienes-somos/>.

Figura 3. Línea de Tiempo Proyecto Soto Norte



Fuente: en: <http://minesa.com/nuestro-proyecto/>

Hitos del proyecto:

2016 estudios técnicos/ambientales: Estudio de Impacto Ambiental EIA y Plan de Trabajo y Obras PTO.

2019 Factibilidad.

2020 Construcción y montaje.

2024 Inicio de la extracción de oro (etapa de producción).

2045 Etapa de cierre y desmantelamiento.

2051 Etapa de restauración⁷.

⁷ SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Minesa. Bucaramanga. 2016. Disponible en: <http://minesa.com/quienes-somos/>.

1.1.7 Proceso Minero Subterráneo. El desarrollo de un proyecto de minería a gran escala subterráneo “es una etapa previa a la preparación y comprende las labores mineras encaminadas a crear los accesos y vías internas que permiten llegar a comunicar al depósito con el fin de preparar la extracción y el transporte del mismo”⁸.

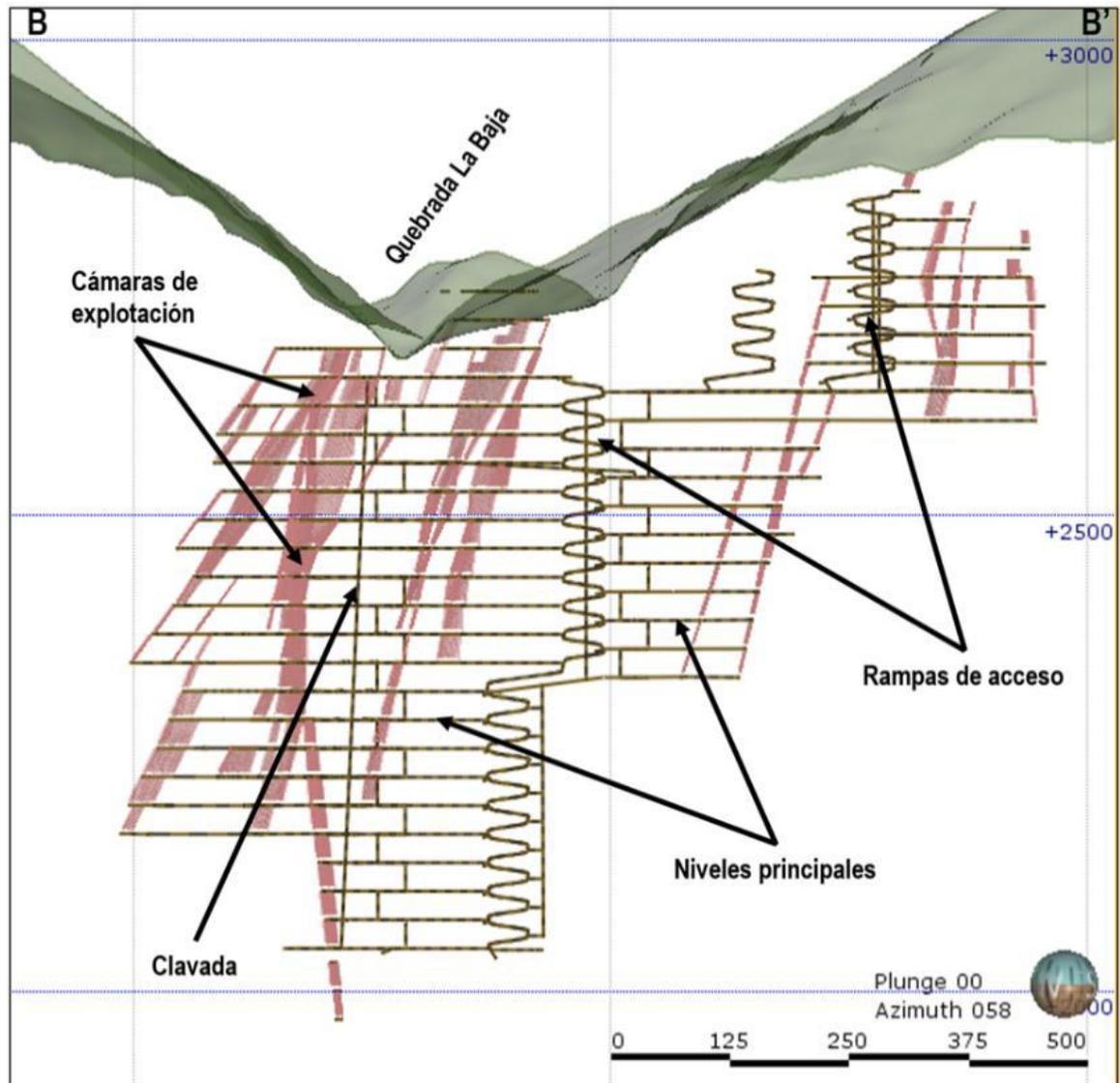
Este es el primer paso después de la adquisición de la licencia ambiental para el desarrollo de la mina y es así como los equipos mineros entran en servicio para lograr llegar a la veta de la mina e iniciar la explotación minera bajo tierra o de socavón, que básicamente es una actividad minera enfocada en la extracción de minerales por medio de excavaciones subterráneas.⁹

En la Figura 4 se observa el diseño de mina subterránea del Proyecto Soto Norte.

⁸ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Documentación: Reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas. Decreto 1886. Bogotá DC: MINMINAS, 2015. Artículo 7. Definiciones.

⁹ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Documentación: Reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas. Decreto 1886. Bogotá DC: MINMINAS, 2015. Artículo 7. Definiciones. Decreto 1886 Artículo 7. Definiciones.

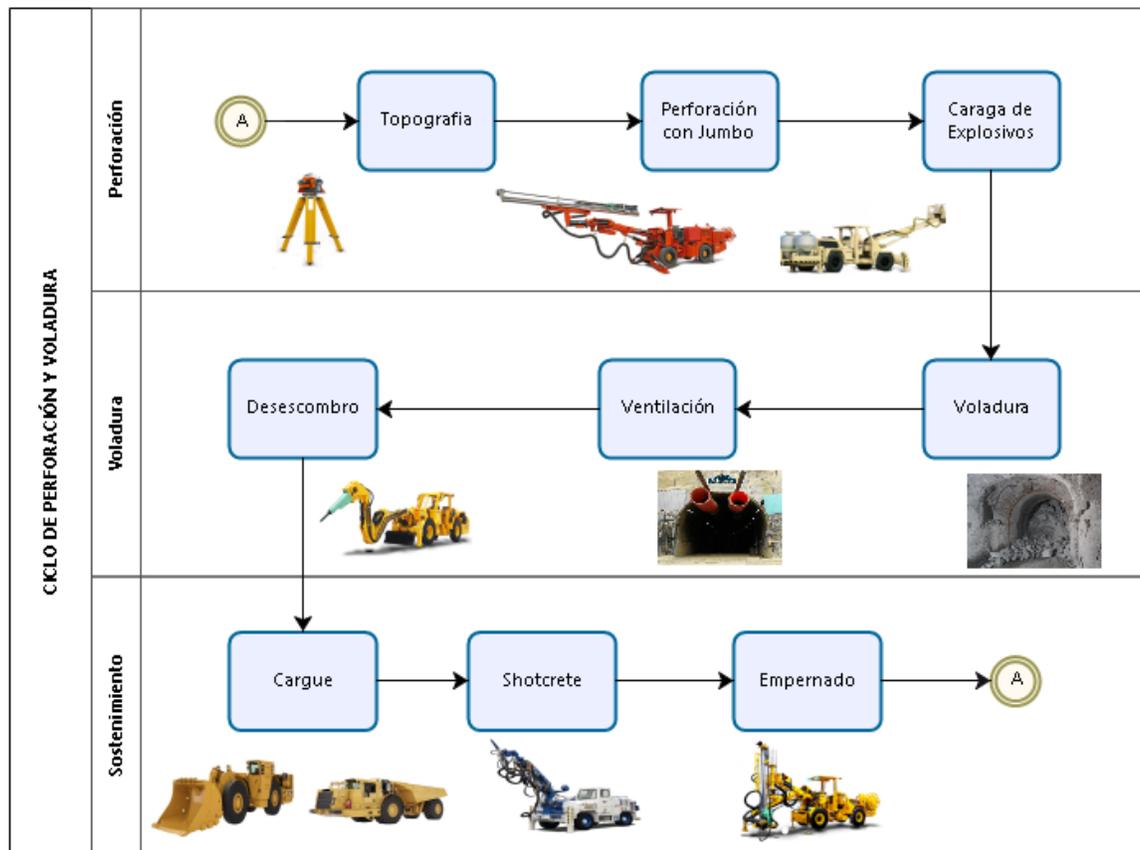
Figura 4. Diseño de Mina Subterránea Proyecto Soto Norte



Fuente: Capítulo 3. Descripción del proyecto. Estudio de impacto ambiental para el proyecto de explotación subterránea de minerales auroargentíferos "Soto Norte".

1.1.8 Ciclo Perforación y Voladura. Actualmente a nivel mundial se desarrollan diversas técnicas mineras para extracción de minerales subterráneos que involucra diferente maquinaria utilizada para este fin. Es así como, La Sociedad Minera de Santander proyecta la construcción de la mina y su posterior explotación con un ciclo de perforación y de voladura que incluye todos los procesos para el desarrollo minero e incluye ingeniería, operaciones y maquinaria para llevarse a cabo. Ver estructura del ciclo de perforación y voladura Proyecto Soto Norte en Figura 5.

Figura 5. Ciclo de perforación y voladura Proyecto Soto Norte



Fuente: Ojeda. D. Ingeniero de Mantenimiento. Departamento de Mantenimiento electromecánico Sociedad Minera de Santander S.A.S

2. JUSTIFICACIÓN

El departamento de Mantenimiento que pertenece a la Gerencia de Operaciones del proyecto es visto como un aliado estratégico en el sostenimiento de todos los activos físicos requeridos, para que al dar inicio a la etapa de explotación de la veta minera se logren cumplir los objetivos propuestos a largo plazo.

Una de las metodologías válidas y que con el paso del tiempo han demostrado dar frutos en la industria, es el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) por sus siglas en inglés. El cual enlaza tres aspectos fundamentales para que un activo funcione en un periodo de tiempo determinado sin presentar una falla; La operación, la confiabilidad y el mantenimiento.

Este tipo de análisis permite adquirir un conocimiento sólido, fundamentado, sistemático y estructurado del Cargador Frontal de Bajo Perfil LHD410 y cómo este se va a desempeñar en la operación bajo tierra, qué tan frecuente será necesario realizar actividades de monitoreo y mantenimiento y los riesgos en la operación que pueden ser mitigados al aplicar esta metodología en el activo.

Siendo un activo crítico e indispensable en la operación del ciclo minero, aplicar la metodología RCM como un primer paso en el mantenimiento de la compañía facilitará al departamento garantizar la operación y disponibilidad del equipo cuando este se requiera, e iniciar con la etapa de concientización al personal técnico de la mejora continua en técnicas de mantenimiento, brindándoles una herramienta de monitoreo continuo como lo es un *software* de mantenimiento de activos. El software permitirá extraer los indicadores de confiabilidad y el análisis de costo de ciclo de vida del activo y ver si está cumpliendo con el propósito para el cual fue adquirido.

Con esta metodología se buscará obtener las frecuencias optimas de mantenimiento y realizar la proyección de costo de ciclo de vida a un periodo de cinco años. Con el fin de evaluar e implementar esta misma en los demás equipos adquiridos y por adquirir de la compañía. Dado que los activos se encuentran en etapa de mortalidad infantil, es importante la elaboración de una propuesta de mantenimiento a largo plazo que permita dar un enfoque gerencial de la importancia del mantenimiento y de esta manera gestionar los recursos necesarios para el proceso venidero de mantenimiento y confiabilidad operacional.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta a través de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para los cargadores de bajo perfil LHD410, con el fin de generar actividades de mantenimiento proactivas que garanticen la disponibilidad de estos equipos en la operación que proyecta desarrollar la Sociedad Minera de Santander S.A.S.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar una investigación detallada de toda la información actual de los equipos, para tener una primera base de estado actual de operación con el fin de obtener indicadores MTTF, MTTR y mano de obra mediante el Software de Mantenimiento de activos.
- Desarrollar un análisis de modo y efecto de falla (AMEF) mediante el documento estandarizado por la compañía, definiendo la función, modos de falla y criterios de riesgo, para determinar los sistemas más críticos en la operación de los equipos.
- Determinar los servicios de mantenimiento que contengan los repuestos críticos, frecuencias y horas de ejecución en los cargadores Sandvik LHD410 mediante el documento de Estándar de Servicios, con el propósito de generar los planes de mantenimiento anuales a través del *software* de Mantenimiento de Activos de la compañía.

- Elaborar un Análisis de Costo de Ciclo de Vida (LCC), utilizando los servicios de mantenimiento como línea base y la información de operación proyectada de la compañía, con el fin de obtener el costo de inversión a realizar en repuestos, mano de obra, servicios de terceros y operación durante los cinco (5) primeros años de funcionamiento del equipo.

4. MARCO TEORICO

4.1 MANTENIMIENTO

Mantenimiento es la función empresarial a la que se encomienda el control del estado de los activos de todo tipo, tanto la parte productiva como las auxiliares y de servicio. De este modo se puede decir que el mantenimiento es el conjunto de acciones encaminadas a conservar o restablecer un sistema a un estado que pueda garantizar su óptimo funcionamiento reduciendo al máximo los costos.

El mantenimiento es asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan. Bajo requerimientos y necesidades especificadas.¹⁰

4.2 HISTORIA DE MANTENIMIENTO

Desde el inicio de la vida humana las herramientas fabricadas por el hombre se han perfeccionado día con día, debido a que éstas le permiten conseguir sus satisfactorios físicos y psíquicos. Durante la Primera Revolución Industrial, se consideró que, para fabricar un producto cualquiera, era necesario emplear 90% de mano de obra y el resto lo proporcionaban las máquinas. Conforme el tiempo pasó y a través de los esfuerzos por mejorar su función haciendo las máquinas más rápidas y precisas, en la actualidad se consigue obtener un producto o servicio con máquinas que se encargan de elaborar más de 90% de éste, lo cual ha sido posible por la dedicación que la humanidad le ha puesto al desarrollo de las labores de

¹⁰ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Asheville: Aladon LLC, 2004. p 7.

cuidado a sus recursos físicos, materia a la que desde sus inicios se llamó mantenimiento. Muchas personas dedicadas al mantenimiento aún consideran que, para obtener un buen producto, es suficiente que las máquinas trabajen adecuadamente y se mantengan en perfectas condiciones. En las escuelas técnicas y universidades aún se sigue enseñando y admitiendo que el mantenimiento sólo tiene que ver con la mecánica, armar, desarmar y componer máquinas. Desde 1950 (Tercera Revolución Industrial) la máquina sólo constituye el medio para obtener un fin, que es el satisfactorio (producto más servicio), el cual es su razón de ser, por lo cual debemos considerar que una instalación industrial está constituida por el sistema equipo/satisfactorio. Así pues, el gran problema es que no se ha captado el cambio que la historia marca y se sigue llamando equivocadamente mantenimiento a una labor que tiene dos facetas: la de preservar la maquinaria y la de mantener la calidad del producto que ésta proporciona.

4.3 SECCIONES DEL MANTENIMIENTO

4.3.1 Mantenimiento Correctivo. El mantenimiento correctivo consiste en ir reparando las averías a medida que se van produciendo. Si éste es el único tipo de mantenimiento que es aplicado, se verá obligado a tener una plantilla numerosa con especialistas de cada oficio y un almacén de recambios lo más completo posible.¹¹

¹¹ NAVARRO, Luis. PASTOR, Ana C y MUGABURU, Jaime M. gestión integral de mantenimiento. En: Tipos de mantenimiento. Productica. Barcelona, España. 1997. p 31-32.

4.3.2 Mantenimiento Preventivo. Tiene como finalidad realizar actividades coordinadas y sistemáticas de mantenimiento por periodos de tiempo definidos para garantizar la preservación del activo y realizar correctivos planeados durante su ejecución.

4.3.3 Mantenimiento Predictivo. Conjunto de técnicas que permiten anticiparse a la ocurrencia de la falla y poner en práctica actividades de monitoreo para monitorear constantemente el estado operativo de los activos. Algunas de estas técnicas y más utilizadas actualmente son:

4.3.3.1 Inspecciones visuales. Consiste en verificar posibles defectos o anomalías superficiales que vayan apareciendo en diferentes elementos del equipo. La inspección puede ser interna o externa.¹²

4.3.3.2 Medición de temperaturas. Puede detectar anomalías que van acompañadas de generación de calor como rozamientos o mala lubricación, fugas en válvulas y purgadores e incluso determinar el estado de los equipos mediante termografías superficiales.¹³

4.3.3.3 Control de la lubricación. El análisis de los aceites de las máquinas permite determinar el contenido de hierro o cualquier otro metal, el grado de descomposición, la posible presencia de humedad o cualquier otro compuesto que altere su funcionamiento.¹⁴

¹² NAVARRO, Luis. PASTOR, Ana C y MUGABURU, Jaime M. gestión integral de mantenimiento. En: Tipos de mantenimiento. Productica. Barcelona, España. 1997. p 33.

¹³ Ibid., p. 33.

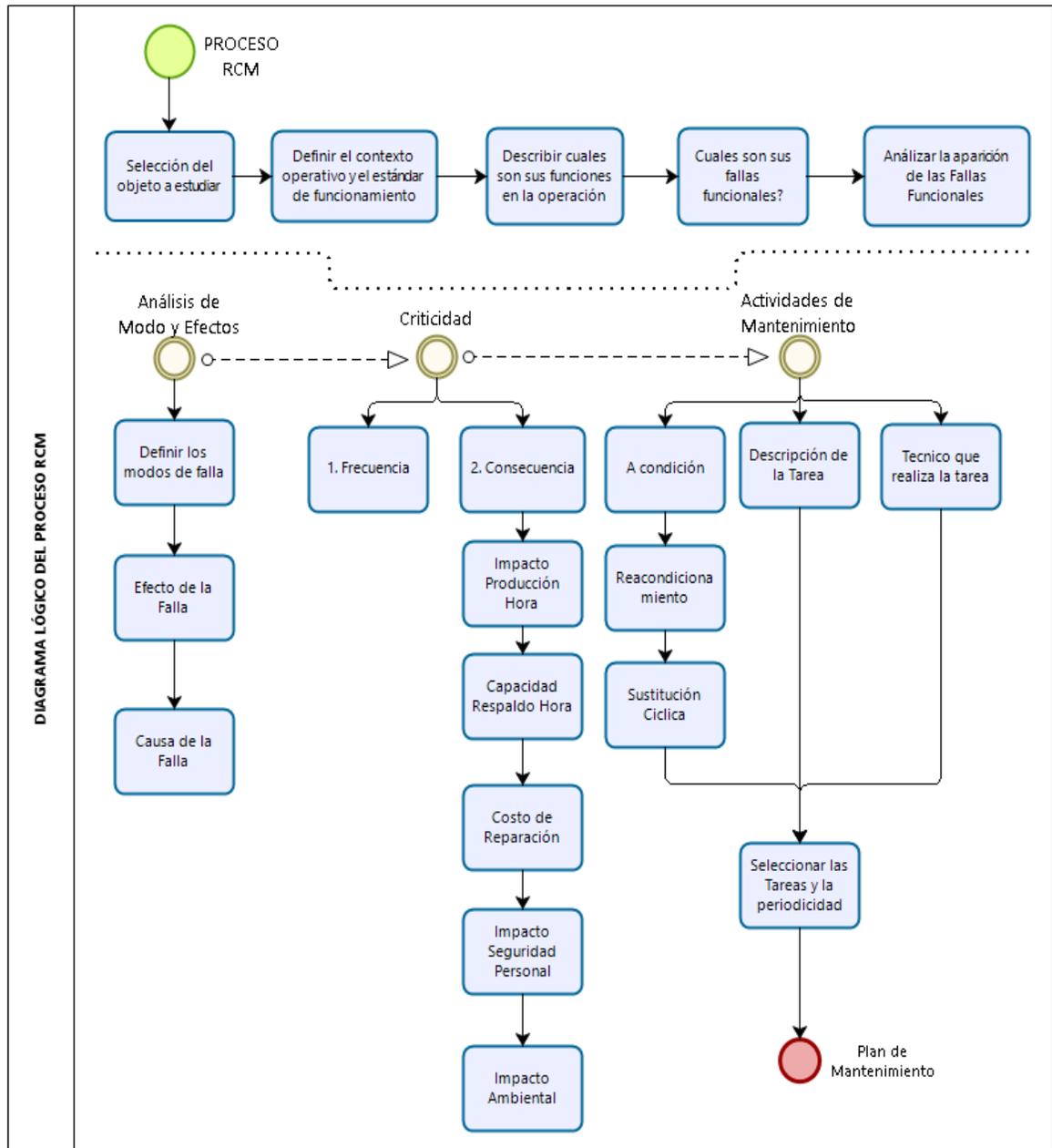
¹⁴ Ibid., p.33.

4.4 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Se entiende que el usuario de un activo adquiere el bien con el fin de lograr un propósito económico que le permita crecer en el negocio. Pero este usuario va a necesitar unas condiciones mínimas de operación y esto depende de donde vaya a ser utilizado el equipo. Es por lo que el RCM según opina Moubray¹⁵ puede verse como un proceso de análisis racional y estructurado que define que se debe hacer para que cualquier activo físico continúe operando según el requerimiento del usuario y que lo haga dentro del contexto operacional establecido. El diagrama de decisión del RCM se muestra en la Figura 6.

¹⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Asheville: Aladon LLC, 2004. p 7.

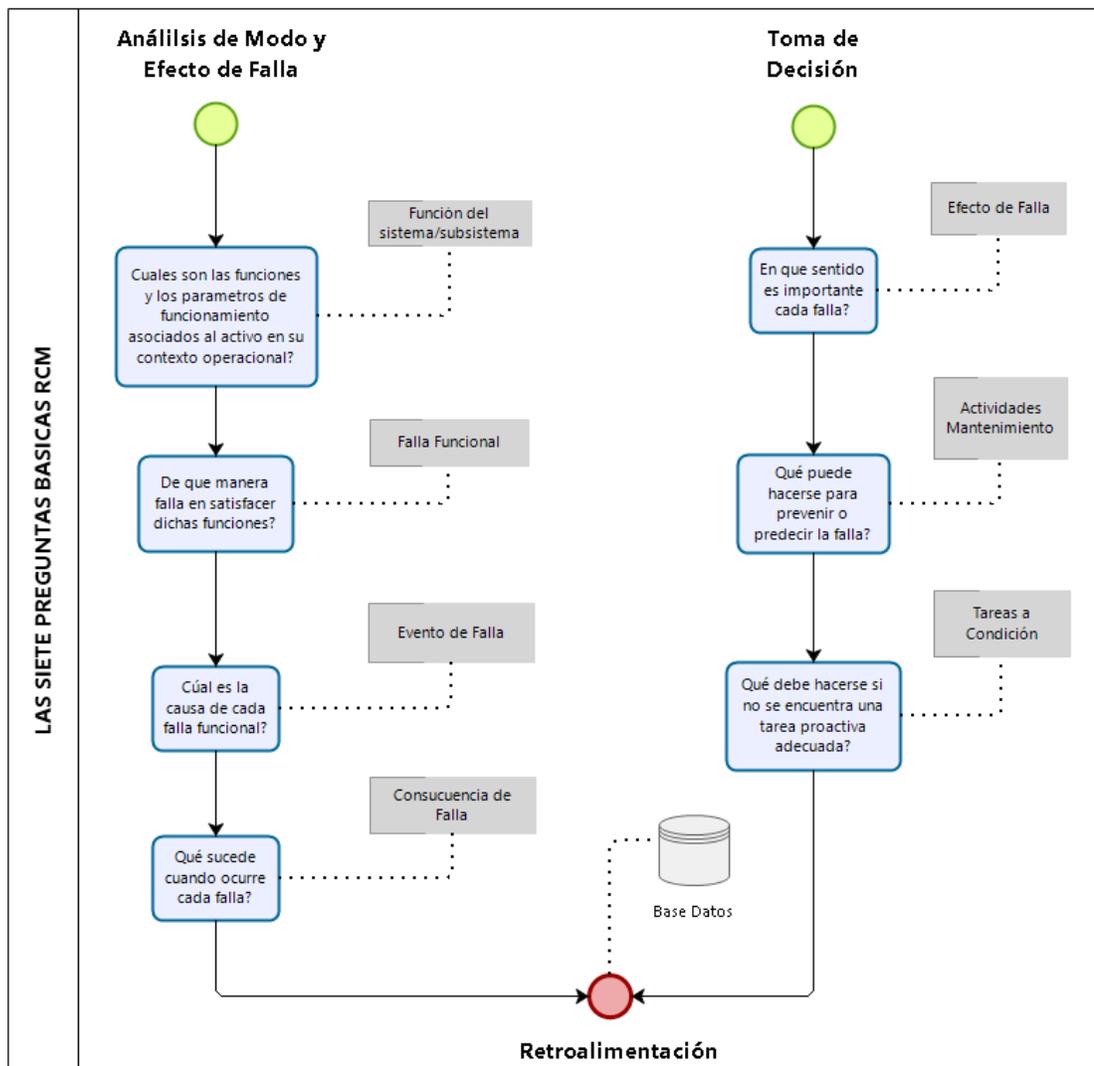
Figura 6. Diagrama de decisión del RCM



4.5 LAS SIETE PREGUNTAS BASICAS DEL RCM

La primera etapa dentro del proceso RCM es responder a las siete preguntas básicas, que puede ser vista como lo expresa la SAE JA1011 por medio de un análisis de modos y efectos de falla que responde a estas preguntas secuencialmente y de manera organizada. Con el fin de llegar a la toma de decisiones sobre los activos. Ver Figura 7.

Figura 7. Las siete preguntas básicas del RCM



4.5.1 Funciones. Es importante definir lo que el dueño del activo quiere que su adquisición realice, así como validar si este es capaz de cumplir con el objetivo de operación. A esto se le conoce como determinar la función bajo el contexto operacional definiendo unos parámetros de desempeño.

Por ejemplo, la función de una bomba hidráulica de frenos es mantener la presión en el sistema a no menos de 4000 PSI. Es importante que el parámetro cuantitativo sea mencionado para de esta manera verificar si cumple o no el requisito.

4.5.2 Fallas Funcionales. Cuando el activo no es capaz de cumplir la función para el cual fue adquirido y no satisface al cliente.

4.5.3 Modos de Falla. Se presenta un evento, suceso u ocurrencia que no permite al activo desempeñar la función. Este debe ser definido concretamente con el fin de entender de donde proviene la falla y no dar espacio a interpretaciones de las fallas funcionales.

- Generalmente se presentan por deterioro, desgaste, operación errónea por humanos y por factores erróneos de diseño.¹⁶
- Ocurre una incapacidad de cumplir con el funcionamiento deseado que puede ser por deterioro, mala lubricación, acumulación de suciedad, mantenimiento inadecuado.¹⁷

¹⁶ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Asheville: Aladon LLC, 2004. p 9.

¹⁷ Ibid., p 9

- Ocurre capacidad excesiva a la definida inicialmente. Es decir, presenta sobrecarga en la operación.
- Ocurre que el activo no es capaz de hacer ninguna función para el cual se requiere.

4.5.4 Efectos de Falla. Describe que ocurre cuando se presenta un modo de falla de manera listada y concreta aportando información necesaria a la elaboración de las consecuencias de la falla.

Dentro de estas debe verificarse:

- La evidencia existente de que la falla ocurrió.¹⁸
- Cómo esta puede afectar la seguridad a las personas y el medio ambiente.¹⁹
- Cómo afecta la producción o la operación.²⁰
- Cuales daños físicos se ha provocado por la falla.²¹
- Que se puede hacer para reparar la falla.²²

¹⁸ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Asheville: Aladon LLC, 2004. p 10.

¹⁹ Ibid., p 10

²⁰ Ibid., p 10

²¹ Ibid., p 10

²² Ibid., p 10

4.5.5 Consecuencias de Falla. Esta parte del proceso responde a los resultados que trae en la operación la presencia de la falla. Que pueden clasificarse como el impacto a la producción, capacidad de respaldo por falla, costo de la reparación, impacto a la seguridad del personal y el impacto ambiental. En la Tabla 1. Se relacionan las consecuencias de falla de equipos de Minería del Proyecto Soto Norte.

Tabla 1. Consecuencias de falla equipos de minería Proyecto Soto Norte

2. IMPACTO A PRODUCCIÓN HORA	
0 - 10 TONELADAS	1
10 - 50 TONNELADAS	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 REPARACIÓN	
Menos de \$1.000.000	1
Entre \$1.000.000 y \$10.000.000	2
Entre \$10.000.000 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: Ojeda. D. Ingeniero de Mantenimiento. Departamento de Mantenimiento electromecánico Sociedad Minera de Santander S.A.S.

4.5.6 Actividades de Mantenimiento. Después de presentado el evento se debe buscar que hacer para predecirlo o prevenirlo, es por eso por lo que definir qué acciones han de tomarse para darle un control a las fallas y las acciones a seguir pueden ser categorizadas en:

- Tareas proactivas: son acciones que se desarrollan antes de la presencia de la falla y se pueden dividir en tres. Tareas de reacondicionamiento cíclico, tareas de sustitución cíclica, tareas a condición.
- Acciones a falta de: son aplicadas cuando no es posible determinar una tarea de mantenimiento preventivo o predictivo que sea practico.

4.6 INDICADORES PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Cualquier proyecto de minería a gran escala requiere que sus activos sean monitoreados constantemente para determinar el estado de operación en el que se encuentran y como se están desempeñando. Este seguimiento no solo aplica al estado de los equipos, sino también al del personal de mantenimiento y operaciones que actúan directamente sobre ellos. Es por eso que los indicadores permiten alinear la misión del equipo de mantenimiento con los objetivos de la compañía y de esta manera tomar decisiones que afecten positivamente el proceso de mantenimiento.

4.6.1 Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF). Es el intervalo de tiempo más cercano al evento entre un conjunto de sucesos que inicia cuando el activo es devuelto al servicio hasta que se presenta un nuevo fallo. La Ecuación (1) describe el tiempo medio entre fallas.

$$MTBF = \frac{\text{Horas de operación}}{\text{Número de fallos}} \quad (1)$$

En este indicador juega un papel importante el dato de los horómetros registrados diariamente en los preoperacionales de las máquinas y el historial de órdenes de trabajo que el departamento de Mantenimiento registra tanto física como digitalmente. Adicionalmente se cuenta con la herramienta del *software* de Mantenimiento de Activos de TOTVS que con un manejo adecuado permite registrar los modos de falla, las causas y las soluciones a los mismos.

4.6.2 Tiempo Medio para Reparar (MTTR). Se describe como el tiempo promediado del activo que permanece parado. Es importante medir el indicador en horas y comprende la planeación de actividades para corregir la falla, la gestión de materiales, desplazamiento a sitio y ejecución de la tarea de mantenimiento que permita devolver el activo al servicio. Por lo anterior este indicador es importante no solo para medir el tiempo de inactividad sino la eficiencia del personal técnico y administrativo en la gestión de una emergencia. En la Ecuación (2) se observa la relación de la sumatoria de horas equipo en fallo entre el número de fallos presentados

$$MTTR = \frac{\sum \text{Horas de equipo en fallo}}{\text{Número de fallos}} \quad (2)$$

4.6.3 Disponibilidad (A). Este indicador describe cuál es la probabilidad de que un activo pueda ser utilizado definida la función que cumple por el usuario, cuando este lo necesite. Es decir, una relación entre los tiempos medios entre falla y la sumatoria de esta con el tiempo medio para la reparación. Este indicador es dado en porcentaje como se muestra en la Ecuación (3).

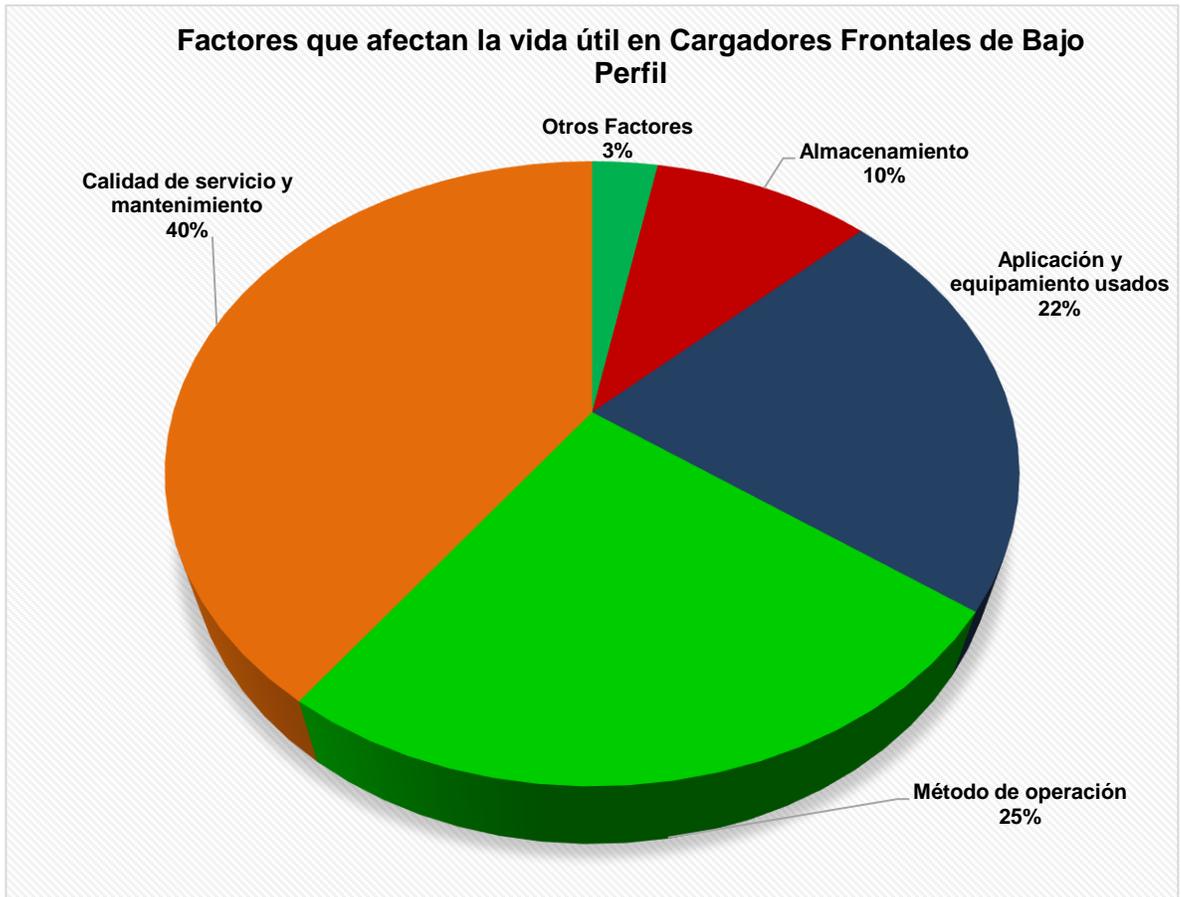
$$A(\%) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (3)$$

4.7 COSTO DE CICLO DE VIDA

El objetivo del estudio del costo de ciclo de vida en los Cargadores Frontales de Bajo Perfil de la Sociedad Minera de Santander es definir cuál va a ser la inversión realizada en estos activos en un periodo definido y que decisiones tomar desde el departamento de mantenimiento con el fin de lograr una reducción de costos en insumos, mano de obra y contratación de terceros en labores de mantenimiento.

4.7.1 Factores principales que afectan la vida útil de un cargador frontal de bajo perfil. La importancia de un nivel de mantenimiento alto cobra importancia cuando se analizan los factores principales que afectan la vida útil de un equipo de minería subterránea, siendo este la principal causa. El método de operación del equipo es un componente para tener en cuenta y es allí donde la capacitación y entrenamiento del operador contribuye a la preservación del activo. Ver Figura 8.

Figura 8. Factores que afectan la vida útil en Cargadores Frontales de Bajo Perfil



Fuente: Operation LH410 Manual Copyright © Sandvik Mining and Construction. Pag 25.

5. CARGADORES FRONTALES DE BAJO PERFIL SANDVIK LHD410

El Cargador Frontal de Bajo Perfil LHD410 fabricado por *SANDVIK*, compañía que se dedica a la producción de tecnología para la industria minera y que con este equipo buscó satisfacer las necesidades operacionales en la producción de minería subterránea. Fue diseñado para cumplir la función específica de cargar, arrastrar y descargar material rocoso de frente de mina hacia los diferentes medios de transporte que sean aplicables al proyecto²³. Este equipo con una capacidad de carga de 10 toneladas métricas es usado en el proyecto Emboque de MINESA para movimiento de material diariamente de entre 20 y 50 toneladas y en entrenamientos de operación de equipos de minería subterránea, durante 6 horas al día. En la Figura 9 se muestra un cargador frontal LHD410 descargando material y en la Figura 10 se relacionan las características técnicas de los cargadores frontales de bajo perfil LHD410.

Figura 9. Cargador frontal LHD410 descargando material



²³ Operation LHD410 Manual Copyright © Sandvik Mining and Construction. Pag. 10.

Figura 10. Características técnicas cargadores frontales de bajo perfil LHD410

Características Técnicas Cargador Sandvik LHD410			
Dimensiones		Ejes estándar	
Longitud total	9591 mm	Eje delantero	Kessler
Ancho total	2647 mm	Eje trasero	Kessler
Altura total	2385 mm		
Peso		Ruedas estándar	
Peso de operación	26200 kg	Tipo	28 ply
Peso total cargado	36200 kg	Tamaño	18X25 L5S
Capacidades		Chasis estándar	
Carga	10000 kg	ROPS/FOPS	2385 mm
Carga de vuelco	23400 kg		
Motor estándar		Dirección hidráulica	
Motor Diesel	Mercedes OM926LA	Válvula de mando	
Potencia	220 kW (295 hp)	Válvula Servo control	
Torque	1200 Nm	Cilindros hidráulicos	2 pcs 125 mm
Número de cilindros	6 - en línea	Bomba	tipo pistón
Desplazamiento	7200 cm ³	Presión	13 Mpa (130 bar)
Principio de combustión	4 tiempos, turbo cargado	Cargador hidráulico	
Sistema refrigeración	Liquida	Sistema cangilón	Z-link
Sistema eléctrico	24V	Bomba	tipo pistón
Capacidad combustible	80 gal	Presión circuito	3,5 Mpa
Convertidor estándar		Presión de carga	26,5 Mpa
Dana C5502	1 etapa	Capacidad tanque	66 gal
Caja de cambios estándar		Válvula Servo control	
Dana RT33425	Cuatro marchas adelante, cuatro marchas atrás, control automático	Válvula de mando	

Fuente: Operation LHD410 Manual Copyright © Sandvik Mining and Construction. Pag. 242, 243.

5.1 SISTEMAS DE CARGADORES FRONTALES DE BAJO PERFIL LHD410

Los principales sistemas de los Cargadores Frontales de Bajo Perfil se dividen en sistema de tren de poder, sistema hidráulico, sistema de carga, sistema eléctrico y sistemas auxiliares. Ver Figura 11.

5.2 SISTEMA TREN DE PODER

5.2.1 Motor Diesel. El motor Diesel Mercedes Benz OM926LA de los Cargadores Frontales de Bajo Perfil es el principal generador de potencia en la máquina el cual la entrega mediante los componentes que se acoplan al sistema tales como: el convertidor de torque, la caja de cambios, la transmisión y los mandos finales. El motor genera una potencia de 295 Hp a 2100 RPM²⁴ que es entregada al convertidor de torque el cual entrega esa potencia al eje motriz principal. Pasando por la caja de cambios que es la encargada de seleccionar las marchas del equipo ya sea manual o automáticamente desde los mandos de control en cabina. Con cuatro marchas hacia adelante y la misma cantidad hacia atrás, este equipo puede desplazarse a una velocidad máxima de 27 Km/h. Este motor además tiene conectado otros subsistemas básicos de operación y que permiten el funcionamiento adecuado del equipo. La refrigeración, lubricación, inyección de combustible y admisión y escape. Ver Figura 12 Motor OM926LA.

²⁴ MERCEDES-BENZ. Manual de operación de motor OM926LA. p 74.

Figura 11. Sistemas principales cargadores frontales LHD410

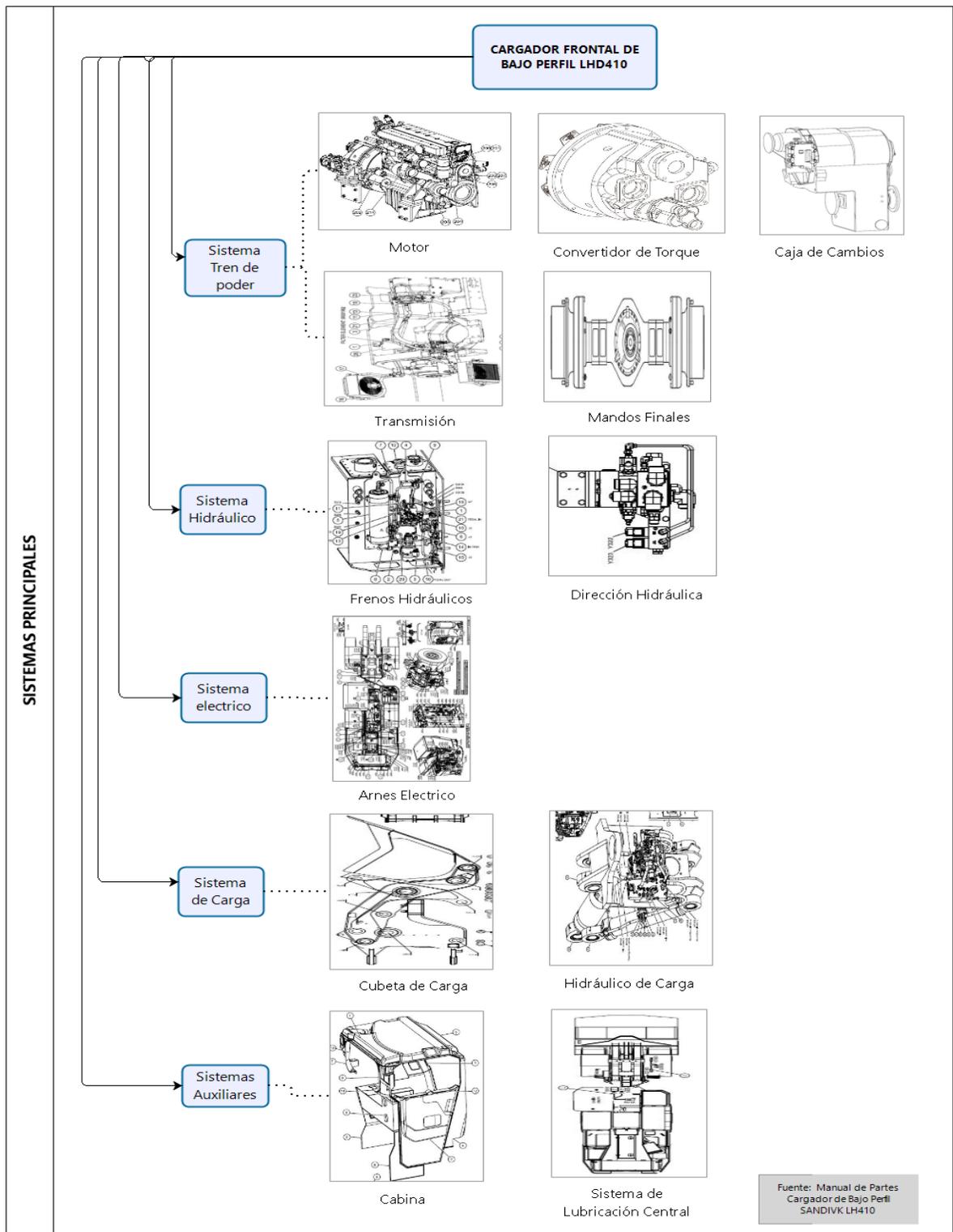
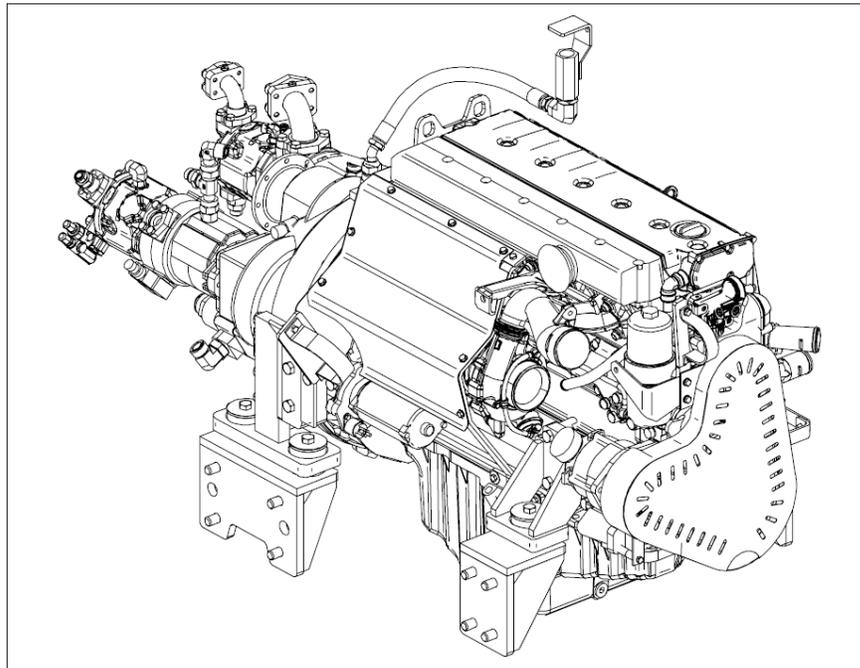


Figura 12. Motor Cargadores Frontales LHD410

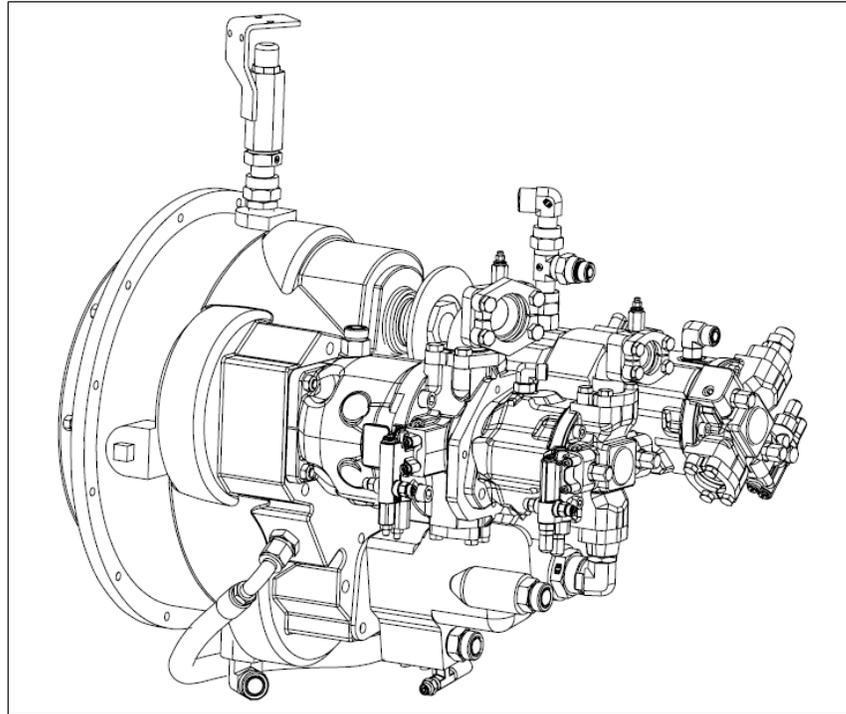


Fuente: Capítulo 9. Tren de Poder. Parts Manual Copyright © Sandvik Mining and Construction. Pag. 100.

5.2.2 Convertidor de Torque. El convertidor de torque cumple la función principal de multiplicar el par motor por medio de la bomba de carga transmitiéndolo a la transmisión. De esta manera cuando el equipo recibe una carga alta o se traslada en zonas declinadas dentro de la mina, la multiplicación de par es más alta que cuando el equipo se encuentra bajo condiciones de operación leves. El equipo cuenta con un convertidor de torque Dana C5502 de única etapa con platos flexibles como se observa en la Figura 13.

5.2.3 Transmisión. La función principal de la transmisión automática es entregar la fuerza producida por el motor a los mandos finales de la máquina y permitir su desplazamiento. Ver flujograma de sistema de transmisión de los cargadores LHD410 en la Figura 14.

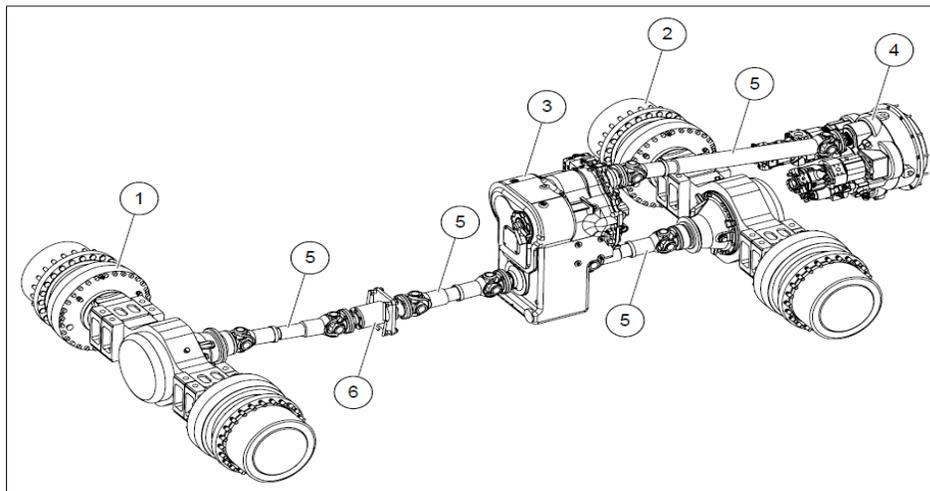
Figura 13. Sistema del convertidor de torque C5502 Cargadores Frontales LHD410



DANA SOH, C5502

Fuente: Capítulo 9. Tren de Poder. Parts Manual Copyright © Sandvik Mining and Construction. Pag. 49.

Figura 14. Sistema de transmisión cargadores frontales LHD410



- | | | | |
|---|--------------|---|------------------|
| 1 | Front axle | 2 | Rear axle |
| 3 | Transmission | 4 | Torque converter |
| 5 | Drive shaft | 6 | Support bearing |

Fuente: Capítulo 9. Tren de Poder. Parts Manual Copyright © Sandvik Mining and Construction. Pag. 223.

5.2.4 Caja de Cambios. Acoplada directamente a la transmisión y como un subcomponente de esta la caja de cambios funciona por medio de un grupo de engranajes que son acoplados al eje principal de acuerdo con el requerimiento de operación del equipo al instante. Es decir, cuando se desplaza sin carga y en una superficie nivelada, el sistema de control electrónico detecta la fuerza que debe ser entregada y varía los cambios como se relaciona en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación de cambios y velocidad en Cargadores Frontales de Bajo Perfil

Marchas adelante/atrás	Velocidad [km/h]
Primera marcha	6.4
Segunda marcha	9.6
Tercera marcha	16.0
Cuarta marcha	27

Fuente: Operation LHD410 Manual Copyright © Sandvik Mining and Construction.

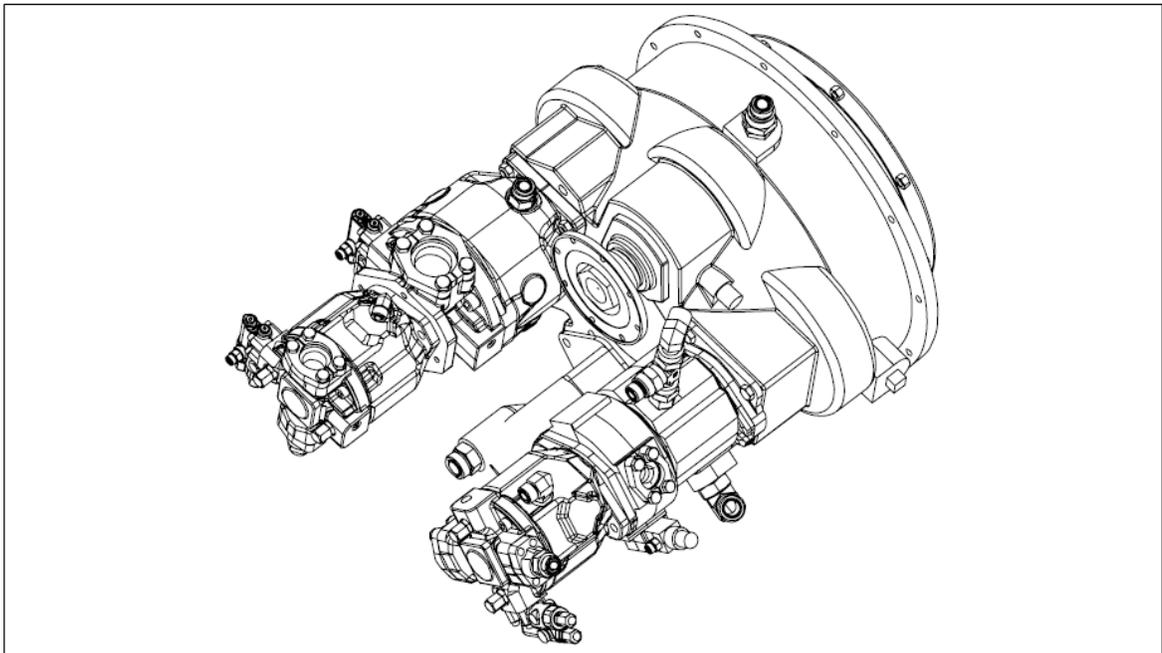
5.3 SISTEMA HIDRAULICO

El sistema hidráulico de los Cargadores Frontales de Bajo Perfil es la principal fuente de trabajo del equipo, este permite que se pueda realizar la operación de carga de material, dirección articulada, accionar el sistema de frenos principal y auxiliar. Todo esto lo hace por medio de seis bombas hidráulicas de caudal variables de pistón. Las cuales se describen como sigue:

- Bomba doble P3211. Sistema de bomba hidráulica en serie que envía aceite hidráulico a presión para el movimiento del boom de la cubeta y mantiene la presión de los frenos hidráulicos, adicionalmente conduce el aceite por los radiadores y acciona el aire acondicionado.

- Bomba doble P3311. Sistema de bomba hidráulica en serie que mantiene la presión en el sistema de movimiento del boom de la cubeta sirviendo como soporte. Por otra parte, es la encargada del accionamiento del motor hidráulico del ventilador de refrigeración de motor y el sistema de dirección articulada de la máquina. Ver Figura 15.
- Bomba soporte de frenos A3542. Encargada de accionar el sistema de frenos de emergencia automático y el sistema de frenos de estacionamiento.
- Bomba de *Power shift*. Esta bomba se encarga del accionamiento hidráulico de los paquetes de transmisión y el convertidor de torque.

Figura 15. Bombas hidráulicas en serie P3211 Y P3311



Fuente: Capítulo 8. Ensamble Motor. Parts Manual Copyright © Sandvik Mining and Construction. Pag. 31.

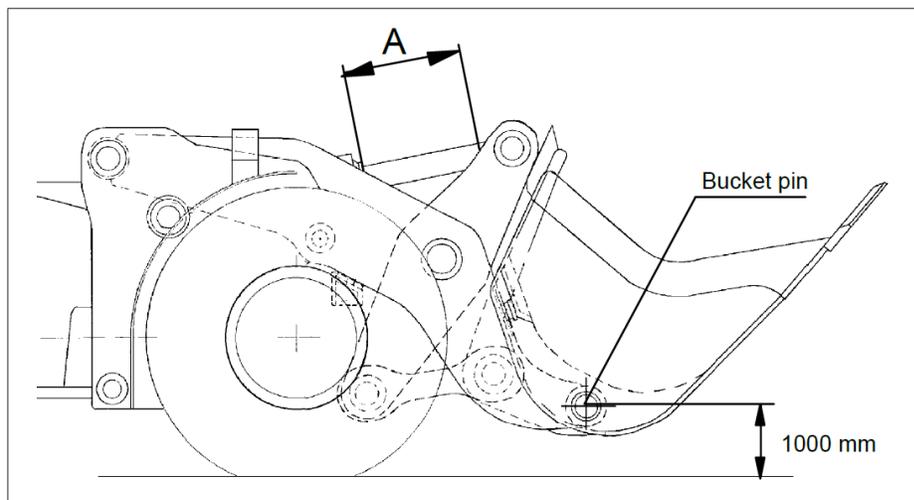
5.4 SISTEMA DE CARGA

La operación principal de un Cargador Frontal de Bajo Perfil hace que este cuente con un sistema de independiente que es capaz de cargar 10 Toneladas métricas, transportarlas y descargarlas en las condiciones deseadas de operación. Para esto cuenta con un subsistema hidráulico y el cangilón que puede cargar una volqueta de perfil bajo utilizadas en minas subterráneas. Ver Figuras 16 y 17.

Figura 16. Cubeta de carga cargador frontal LHD410



Figura 17. Subsistema de carga frontal cangilón



Fuente: Capítulo 4. Estructural. Parts Manual Copyright © Sandvik Mining and Construction. Pag. 9.

5.5 SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico es el encargado de entregar la energía eléctrica que se requiere en la cada uno de los sistemas del equipo; tales como, suministrar la corriente de arranque del motor por medio de las dos baterías, comunicar el módulo de control electrónico (ECM) con las tres cajas del circuito de interruptores del bastidor trasero, bastidor delantero y principal de fusibles, suministrar energía al sistema de luces y cabina. Ver diagrama eléctrico principal de las cajas eléctricas en Figuras 18 y 19.

Figura 18. Diagrama eléctrico principal de cajas eléctricas de distribución

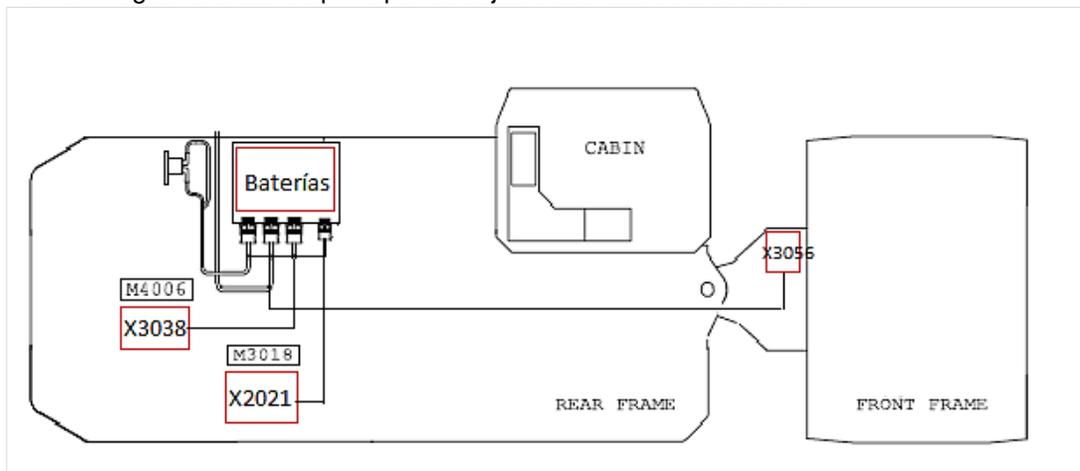
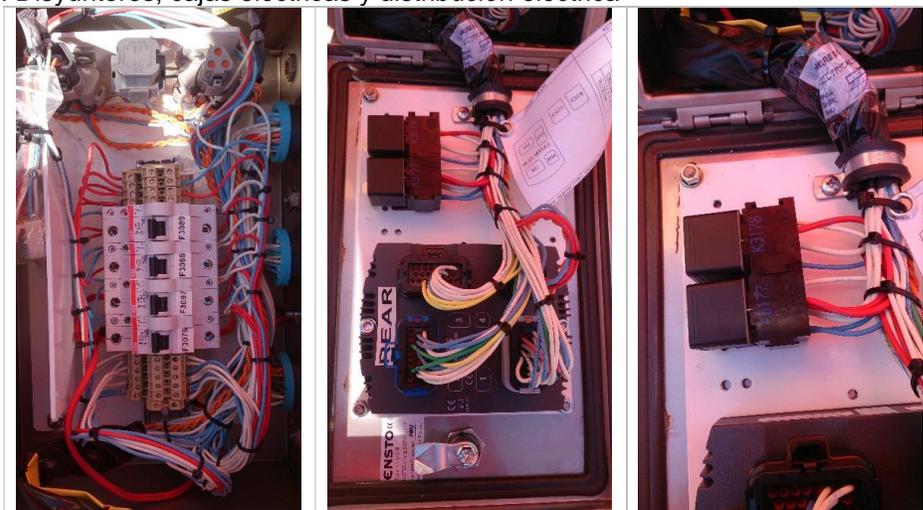


Figura 19. Disyuntores, cajas eléctricas y distribución eléctrica



5.6 SISTEMAS AUXILIARES

Los sistemas auxiliares son componentes con los que cuenta la máquina que permiten un desempeño óptimo y seguridad de operación tanto del equipo, como del operador. La cabina de operación del equipo puede ser completamente cerrada o parcialmente cubierta, es decir, en algunos modelos el equipo cuenta con aire acondicionado y protección contra material particulado que requiere un análisis y mantenimiento para garantizar su funcionamiento debido a las condiciones de operación.

5.6.1 Cabina. El proyecto Soto Norte cuenta con dos de los tres Cargadores Frontales LH410 completamente cerrados y uno de ellos con cabina parcialmente cerrada.

5.6.2 Sistema de Lubricación Central (SLU). El equipo cuenta con un sistema automático de lubricación para las articulaciones principales del equipo como lo son la articulación central y el bastidor frontal. Este sistema posee un depósito de almacenamiento de grasa y por medio de una bomba y tuberías distribuye hacia los diferentes puntos.

5.6.3 Sistema Supresor de Incendios (ANSUL). Este sistema se encarga de apagar cualquier incendio generado en el motor, la transmisión hidráulica y la cabina por medio de un polvo químico almacenado en un tanque y unas botellas disparadoras que envían presión al sistema para que el material sea expulsado por las boquillas. Este sistema fue instalado posterior a la compra del equipo debido a las exigencias en materia de seguridad industrial y operación de equipos para minería subterránea.

6. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA CARGADORES SANDVIK LHD410

Antes de iniciar una metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es importante definir el por qué realizarlo y cuáles serán los resultados a futuro del estudio, para lograr esto es necesario ver la importancia que tiene el activo principal que se escoge para aplicar dicha metodología y como este permitirá replicarlo a los demás equipos pertenecientes a una flota minera subterránea.

6.1 IMPORTANCIA DEL CARGADOR FRONTAL LHD410 EN LA FLOTA DE EQUIPOS MINEROS

6.1.1 Grupo de Revisión del RCM. Conformar un equipo de trabajo multidisciplinario para analizar un equipo en cuestión es vital para tener éxito en la posterior aplicación de la metodología. Es por eso por lo que dentro de este grupo se incluye personal de operaciones quienes son los más interesados en el funcionamiento óptimo del equipo y personal de mantenimiento quienes serán los encargados de satisfacer las demandas de operación y garantizar la disponibilidad del activo. El grupo de revisión RCM se muestra en la Figura 20.

6.1.2 Análisis de Criticidad. La criticidad se define como la frecuencia de ocurrencia de un evento no deseado por la suma de las consecuencias que este evento pueda generar en términos económicos, seguridad del personal, medio ambientales y de afectación a la operación en términos de producción. Por ende, es vital definir la matriz de criticidad como se muestra en la Figura 21 que se relaciona con los criterios para determinar la criticidad de equipos (Véase Tabla 1).

Figura 20. Grupo de revisión RCM



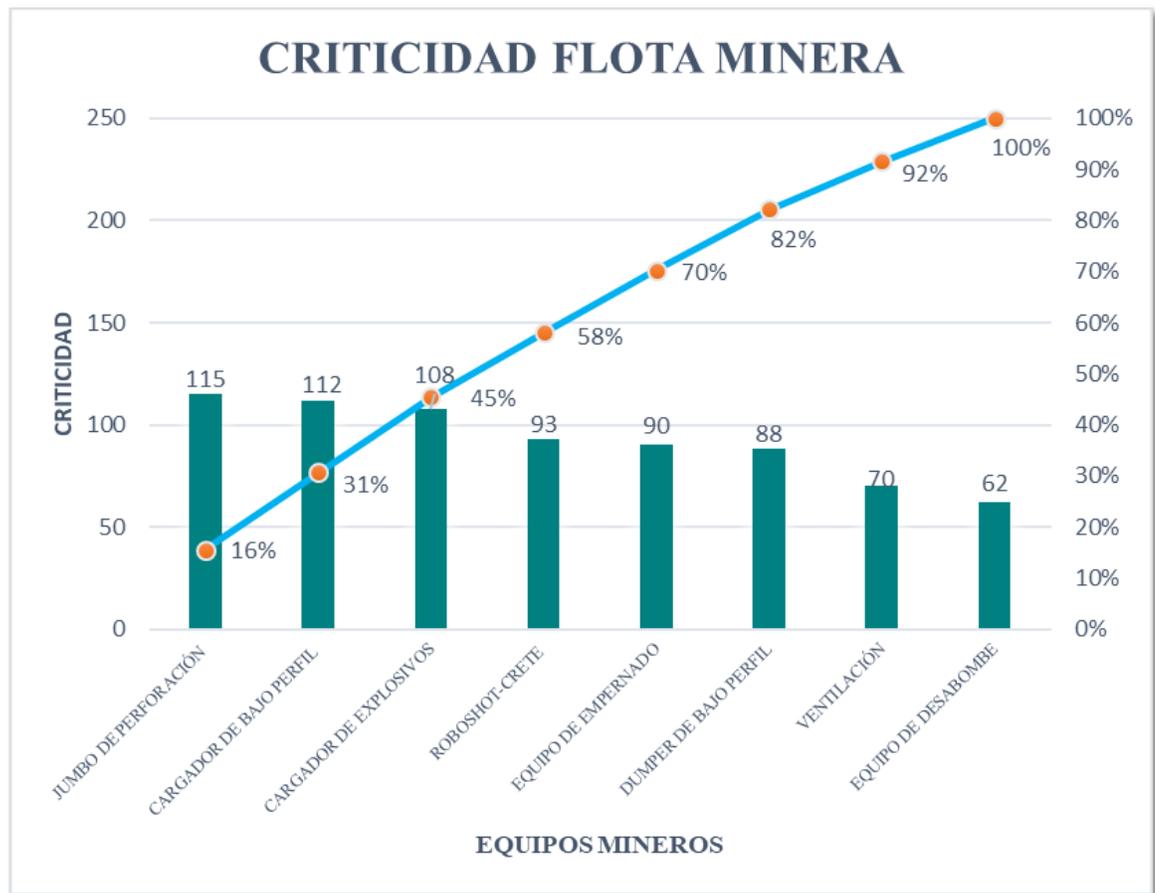
Figura 21. Matriz de criticidad

FRECUENCIA FALLA	5	25	50	100	150	200	250
	4	20	40	80	120	160	200
	3	15	30	60	90	120	150
	2	10	20	40	60	80	100
	1	5	10	20	30	40	50
CONSECUENCIA DE FALLA	5	10	20	30	40	50	

Fuente: Ojeda. D. Ingeniero de Mantenimiento. Departamento de Mantenimiento electromecánico Sociedad Minera de Santander S.A.S.

6.1.3 Criticidad en equipos de minería subterránea. Utilizando el análisis de proporción 80/20 de Pareto es posible determinar la criticidad de los equipos que están involucrados en el ciclo de voladura. Los jumbos de perforación, cargadores frontales de bajo perfil y equipo de cargue de explosivos representan un 45% de los esfuerzos que se deben concentrar para garantizar el flujo continuo del ciclo de voladura. Es por eso que, el cargador frontal de bajo perfil facilita elaborar una metodología de mantenimiento que pueda ser replicada en los demás activos. Ver Diagrama de Pareto Criticidad en la Figura 22.

Figura 22. Criticidad equipos de minería subterránea



6.1.4 Modos de Falla frecuentes en los Cargadores Frontales de Bajo Perfil en Minesa. Debido al escaso tiempo de operación de los equipos, los modos de falla más frecuentes evidencian que estos activos se encuentran en la etapa inicial de la curva de la bañera, conocida como “mortalidad infantil”. En la Tabla 3 se muestra las fallas presentadas en los equipos en relación con la presencia de la falla.

Tabla 3. Modos de falla más frecuentes en Cargadores Frontales de Bajo Perfil de Minesa

Código de Falla	Presencia de falla	Total de Fallas	Porcentaje [%]
89	Motor	13	2%
148	Brake	33	4%
26	Chair	296	35%
81	Dash	102	12%
56	Front Module	158	19%
52	Middle Module	121	14%
16	Pantalla	22	3%
36	Rear Module	101	12%
Total		846	100%

Las presencias de las fallas se pueden interpretar de la siguiente manera:

- **Motor:** Hace referencia a todos los posibles modos de fallo presentados en los equipos durante el periodo de operación del motor.
- **Brake:** Describe la cantidad de ocurrencias presentes en el sistema de frenos de los Cargadores Frontales de Bajo Perfil pertenecientes a la Compañía.
- **Chair:** Muestra las anomalías presentadas en la operación del equipo. Como se muestra en la tabla anterior, es la que presenta la mayor cantidad de fallas y esto es debido al periodo de aprendizaje de los operadores que han manipulado los equipos y el tiempo invertido al entrenamiento de personal para labores de operación de equipo de minería subterránea.
- **Dash:** Representa las fallas asociadas a lecturas erróneas en el *display* de cabina de los equipos.

- *Front Module*: Esta sección muestra las fallas conjuntas de todo el módulo frontal de los activos, incluyendo la cubeta de carga y el sistema lubricación central.
- *Middle Module*: Comprende los hallazgos que detecta el módulo central de control electrónico y que incluye el sistema de transmisión, cabina y depósitos hidráulicos.
- *Pantalla*: Asocia las fallas que son mostradas en la pantalla principal. Es decir, no muestra la información deseada por el operador.
- *Rear Module*: Este módulo detecta todas las ocurrencias encontradas en los filtros, sistemas de refrigeración, sistema supresor de incendios (si aplica), chasis y sistema eléctrico.

La información presentada anteriormente es posible obtenerla desde el módulo de control electrónico VCM de los Cargadores Frontales de Bajo Perfil. Las lecturas fueron tomadas en las horas de operación relacionadas en la Tabla 4.

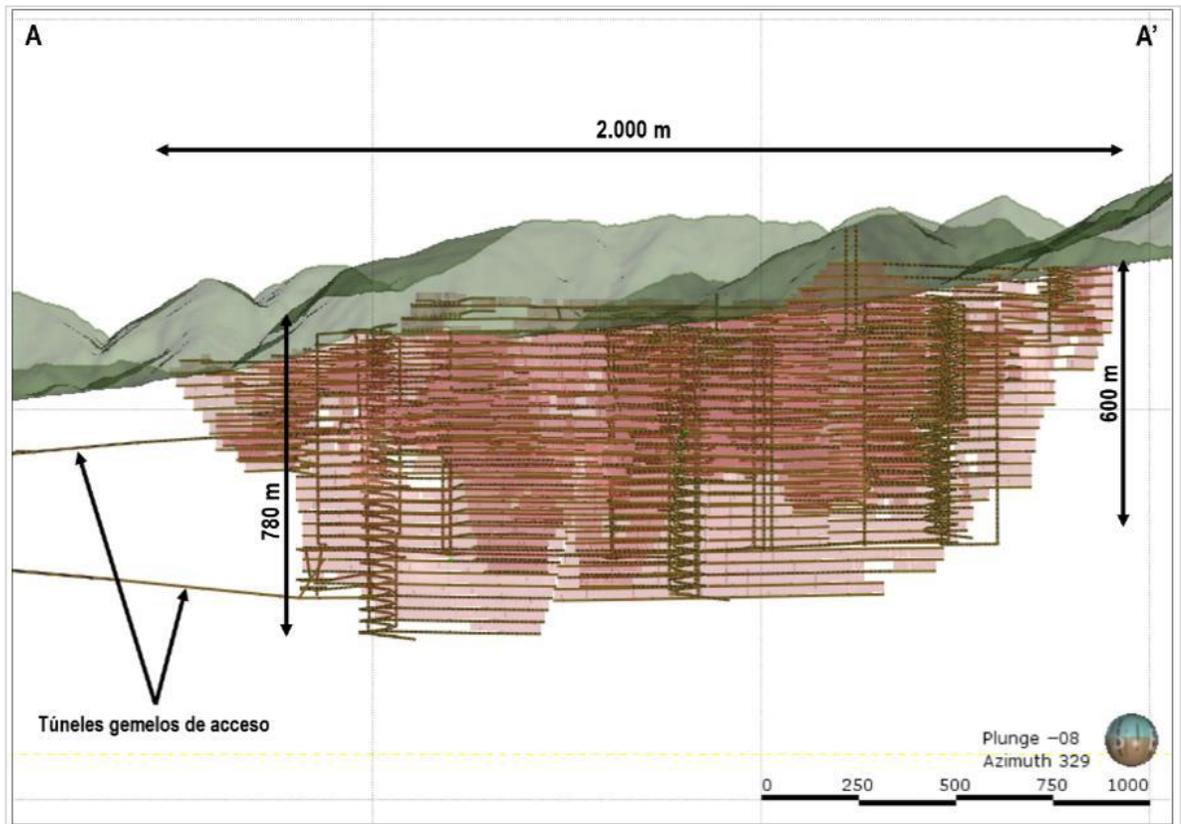
Tabla 4. Datos de operación Cargadores Frontales de Bajo Perfil Minesa

Activo	Máquina [h]	Motor [h]	Transmisión [h]	Odómetro [km]
LHD726	403	403	212	864
LHD727	220	220	101	340
LHD728	26	26	19	13

6.2 CONTEXTO OPERACIONAL DEL CARGADOR LHD410

Los Cargadores Frontales de Bajo Perfil cumplirán sus labores principalmente en las galerías de la mina y las vías de acceso, cargue y descargue de material rocoso minero como se muestra en la Figura 23.

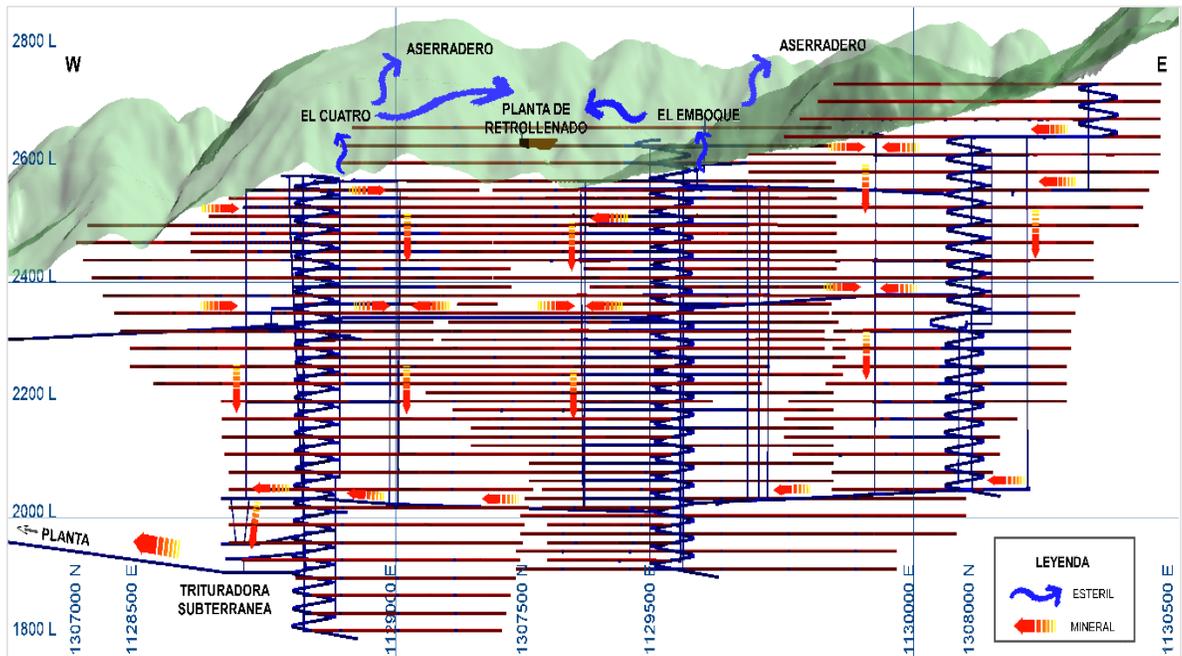
Figura 23. Sección longitudinal de la zona de explotación mina Proyecto Soto Norte



Fuente: Capítulo 3. Descripción del proyecto. Estudio de impacto ambiental para el proyecto de explotación subterránea de minerales auroargentíferos "Soto Norte".

6.2.1 Rango de operación principal para cargadores LHD410. El movimiento del material rocoso que se produce después de realizada la primera etapa del ciclo de perforación y voladura estará a cargo en la fase inicial por los Cargadores Frontales de Bajo Perfil. Con una capacidad de 10 toneladas podrán movilizar el material a lo largo de las distintas galerías de la mina hasta la estación de carga donde permanecerán los camiones articulados para llevar el material a la superficie. En la Figura 24 se observa las rutas de movimiento de material desde la mina hasta la superficie al sector llamado Emboque.

Figura 24. Movimiento de material desde la mina y superficie sector Emboque Proyecto Soto Norte



Fuente: Capítulo 3. Descripción del proyecto. Estudio de impacto ambiental para el proyecto de explotación subterránea de minerales auroargentíferos "Soto Norte".

Se espera que los equipos de carga de material rocoso en la mina operen en turnos separados de ocho horas al día, en los cuales se puede extraer de frente de mina, transportarlo hasta la bahía de carga de camiones o depositarlos en la trituradora subterránea en un tiempo estimado de trece (13) minutos por ciclo. De esta manera los equipos estarían realizando cuatro (4) cargas completas de 10 toneladas y satisfacer la necesidad de un camión articulado para transporte a la superficie.

6.3 ELABORANDO LAS SIETES PREGUNTAS BASICAS DEL RCM

El Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), permite profundizar sobre los eventos posibles, que ya ocurrieron o los más comunes en la industria minera subterránea con el fin de implementar actividades de mantenimiento proactivo que se enfoquen en reducir los impactos que estos generan en la operación del equipo y la afectación a la producción de la compañía. De esta manera se decidió realizar un análisis por

separado de los principales sistemas del activo, incluyendo los subsistemas más relevantes dentro de este, buscando llegar hasta el componente que pueda ocasionar la falla. Con esta información se tomarán acciones específicas para cada sistema que posteriormente serán incluidas en las actividades de mantenimiento programadas.

6.3.1 Análisis de Modo y Efecto de Falla Subsistema Tren de Poder. Con el fin de obtener la información más clara posible de las actividades que requieren ser desarrolladas, este análisis permite profundizar en cada componente incluido en el tren de poder de los cargadores frontales de bajo perfil. Ver Tablas de la 5 a la 9.

Tabla 5. AMEF Sistema Tren de Poder - Componente (A) Transmisión

SISTEMA	C COMPONENTE	F	OPERACIÓN O FUNCIÓN	MF	MODO DE FALLA	EF EFECTO DE FALLA	FREC DE FALLA	CAUSAS DE FALLA
TREN DE PODER	Transmisión	A	Permitir la selección de marchas del equipo mediante la conexión entre el embrague hacia el motor y entrega la potencia hacia los ejes	1	Engranaje roto	No es posible accionar las marchas del equipo, presenta sobre revoluciones y ruidos en la transmisión. Afecta directamente la operación si el equipo no puede ser operado	1	Reaccionadas a la operación: Malas técnicas de conducción conllevan al rompimiento de los engranajes
				2	Engranajes desgastados	Contaminación del aceite y filtro de la transmisión con viruta de los engranajes que se van desgastando, lo que ocasiona un desgaste en los componentes internos del motor	1	Reaccionadas a la operación: Malas técnicas de conducción conllevan al rompimiento de los engranajes
				3	No engrana marchas adelante	No se puede operar el equipo en la extracción de material de frente de mina, el equipo no puede desplazarse dentro de mina lo que afecta directamente la operación y el equipo debe ser enviado a mantenimiento. El tiempo para reparar la falla podría superar 2 días en mantenimiento	1	Relacionadas a la operación: Resorte de válvula by-pass dañado

Tabla 5. (Continuación) AMEF Sistema Tren de Poder - Componente (B) Transmisión

SISTEMA	C COMPONENTE	F	OPERACIÓN O FUNCIÓN	MF	MODO DE FALLA	EF EFECTO DE FALLA	FREC DE FALLA	CAUSAS DE FALLA
TREN DE PODER	Transmisión	B	Entregar la potencia generada por el motor hacia la traslación de la máquina por medio de los engranajes de salida	4	No engrana marchas atrás	No se puede operar el equipo en la extracción de material de frente de mina, el equipo no puede desplazarse dentro de mina lo que afecta directamente la operación y el equipo debe ser enviado a mantenimiento. El tiempo para reparar la falla podría superar 2 días en mantenimiento	3	Relacionadas al mantenimiento: residuos en las aletas del enfriador/golpes y aplastamientos
				5	Sobre temperatura en la transmisión	El equipo genera una alarma por alta temperatura en la transmisión y esto conlleva al desgaste de los componentes internos. Es posible que el equipo se apague en la operación	2	Relacionadas al mantenimiento: ausencia de cambio de filtro
				6	Bomba de transmisión pegada	El equipo no puede operarse debido a que la transmisión no funciona, afecta directamente la operación y el equipo debe ser enviado a mantenimiento lo que genera un tiempo aproximado para reparar la falla de 1 semana	3	Relacionadas a la operación: tiempo de uso cumplido

Tabla 6. AMEF Sistema Tren de Poder - Componente (C) y (D) Eje delantero y trasero

SISTEMA	C COMPONENTE	F	OPERACIÓN O FUNCIÓN	MF	MODO DE FALLA	EF EFECTO DE FALLA	FREC DE FALLA	CAUSAS DE FALLA
TREN DE PODER	Eje delantero	C	Permitir el movimiento de la maquina en las vías dentro de mina y soportar el peso de la máquina mediante 2 llantas	1	Eje suelto	Puede ocasionar un accidente en la operación de la máquina, lo que conlleva a que deba ser enviada a mantenimiento y el tiempo promedio para reparar la falla sería de 2 h lo que afectaría la producción	2	Relacionadas al mantenimiento: falta de inspección de los ejes
				2	Atascamiento en el eje	El equipo se frena en la traslación y esto afecta la operación continua del equipo, puede generar una parada del equipo de 2 h en mantenimiento	5	Relacionadas al mantenimiento: ausencia de lubricación de las bridas del eje
				3	Eje de oscilación desajustado	El eje desajustado genera ruidos anormales en los ejes, lo que alerta al operador y envía la maquina a mantenimiento, causando una afectación en la operación de 2 h	2	Relacionadas a la operación: los componentes generalmente se sueltan y la falta de inspección y ajuste de componentes
	Eje trasero	D	Permitir el movimiento de la maquina en las vías dentro de mina y soportar el peso de la máquina mediante 2 llantas	1	Eje suelto	Puede ocasionar un accidente en la operación de la máquina, lo que conlleva a que deba ser enviada a mantenimiento y el tiempo promedio para reparar la falla sería de 2 h lo que afectaría la producción	2	Relacionadas al mantenimiento: falta de inspección de los ejes
				2	Atascamiento en el eje	El equipo se frena en la traslación y esto afecta la operación continua del equipo, puede generar una parada del equipo de 2 h en mantenimiento	5	Relacionadas al mantenimiento: ausencia de lubricación de las bridas del eje
				3	Eje de oscilación desajustado	El eje desajustado genera ruidos anormales en los ejes, lo que alerta al operador y envía la maquina a mantenimiento, causando una afectación en la operación de 2 h	2	Relacionadas a la operación: los componentes generalmente se sueltan y la falta de inspección y ajuste de componentes

Tabla 7. AMEF Sistema Tren de Poder - Componente (E) y (F) Cubos planetarios y diferenciales

SISTEMA	C COMPONENTE	F	OPERACIÓN O FUNCIÓN	MF	MODO DE FALLA	EF EFECTO DE FALLA	FREC DE FALLA	CAUSAS DE FALLA
TREN DE PODER	Cubos planetarios	E	Facilitar el movimiento de los ejes con las llantas para el desplazamiento de la máquina mediante el giro de engranajes planetarios	1	Sobre temperatura en los cubos	Puede generar ruidos y vibraciones excesivas en la máquina proveniente del tren de traslación, además de daños en los componentes internos (engranajes planetarios). No afecta directamente la producción, pero mediante un análisis predictivo se puede determinar la causa y el tiempo promedio de reparación sería de 2 h	5	Relacionadas a la operación: condiciones de operación extremas generan altas temperaturas, mala calidad del aceite
				2	Fuga de aceite por los cubos	Genera contaminación al ambiente de operación de la máquina por fuga y goteo constantes del aceite de los cubos, no afecta directamente la operación del equipo, pero se debe reparar la falla que constaría de un tiempo promedio de 4h	3	Relacionadas al mantenimiento: cuando se cambió el aceite de los cubos no se apretó el tapón y se presentó fuga de aceite
	Diferenciales	F	Transmitir el par motor entregado por la transmisión a los ejes de traslación mediante piñones helicoidales	1	Alta temperatura en el diferencial	Las altas temperaturas aceleran el desgaste de los componentes internos del eje, no afecta directamente la producción, pero se debe analizar la falla y esto causaría un tiempo de mantenimiento no menor a 2 h	3	Relacionadas a la operación: condiciones de operación extremas generan altas temperaturas, mala calidad del aceite del diferencial
	2			Fugas de aceite por el diferencial	Contaminación del ambiente de operación por goteo de aceite, así como aumento en las temperaturas, ruidos y vibraciones excesivas que conllevan a que el operador envíe la máquina a mantenimiento y el tiempo promedio para reparar la falla podría ser de 4 h	3	Relacionadas al mantenimiento: cuando se cambió el aceite del diferencial no se apretó el tapón y se presentó fuga de aceite	

Tabla 8. AMEF Sistema Tren de Poder - Componente (G) Eje impulsor (Cardan)

SISTEMA	C COMPONENTE	F OPERACIÓN O FUNCIÓN	MF	MODO DE FALLA	EF EFECTO DE FALLA	FREC DE FALLA	CAUSAS DE FALLA
TREN DE PODER	Eje impulsor (cardan)	G Elemento mecánico de transmisión de potencia desde el convertidor de torque hacia los ejes	1	Juntas de Cardan desgastadas	Perdida en la entrega de potencia hacia los ejes, lo cual afecta la operación de la máquina al verse disminuida la capacidad de traslación de la máquina, el operador envía la máquina a mantenimiento y el tiempo promedio para reparar la falla seria de 2 días	3	Relacionadas a la operación: desgaste de las juntas universales por las condiciones de trabajo a las que está expuesta la máquina, así como la falta de lubricación
			2	Eje partido	Se detiene la operación de la máquina totalmente al no poderse trasladar, afectando la operación de extracción de material en frente de mina. El tiempo promedio para la reparación de la falla seria de 9 h	1	Relacionadas a la operación: condiciones de operación que afectan el comportamiento de la máquina y la inexperiencia del operador del equipo minero

Tabla 9. AMEF Sistema Tren de Poder - Componente (H) Convertidor de torque

SISTEMA	C COMPONENTE	F OPERACIÓN O FUNCIÓN	MF	MODO DE FALLA	EF EFECTO DE FALLA	FREC DE FALLA	CAUSAS DE FALLA
TREN DE PODER	Convertidor de torque	H Aumentar el par motor generado por el motor de combustión interna y transmitirlo hacia los ejes	1	Bomba de carga atascada	El convertidor de par no funciona y la máquina no puede desplazarse. Afecta directamente la operación y la maquina debe ser enviada a mantenimiento con un tiempo promedio para reparar la falla de 8h	1	Relacionadas al mantenimiento: Ausencia de inspección de componentes de accionamiento del convertidor de torque
			2	Eje desalineado	Se presenta un desgaste excesivo en los rodamientos del convertidor de torque y ruido anormal, además los componentes tienden a sufrir fatiga y puede parar la operación del equipo afectando directamente la operación	1	Relacionadas a la operación: las condiciones de operación son de carga excesiva y se le suma la inexperiencia de los operadores
			3	Turbina agrietada	El convertidor de par no es capaz de aumentar el torque requerido por la máquina lo que conlleva a una baja eficiencia de la máquina en el proceso de extracción de material de frente de mina	1	Relacionadas al diseño: El daño por aceite con sobre temperatura y virutas que agrietan la turbina por el estado del equipo en la curva de la bañera
			4	Rodamientos desgastados	Aumento de las vibraciones en el tren de poder provenientes del convertidor de torque, afectando los componentes mecánicos relacionados, no afecta directamente la operación	1	Relacionadas a la operación: desgaste cíclico de los rodamientos por tiempo de operación

6.3.2 Lógica de decisiones. Con el objetivo de generar actividades proactivas que surjan de la comprensión de la importancia de la falla en el componente que se presenta, las consecuencias de la falla complementan la matriz para definir la criticidad y a su vez la tarea de mantenimiento a realizar. También, es importante determinar la frecuencia con la que se realizará la actividad según las horas de operación del equipo y que especialidad será la encargada de la ejecución de la labor. Ver Tablas de la 10 a la 14.

Tabla 10. Lógica de decisiones Sistema Tren de Poder - Componente (A) y (B) Transmisión

CONSECUENCIAS						TAREAS DE MANTENIMIENTO					
IMPACTO A PRODUCCION	CAPACIDAD DE RESPALDO	COSTO DE REPARACION	IMPACTO A SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	CRITICIDAD	A CONDICIÓN REACONDICIONAMIENTO	SUSTITUCIÓN CÍCLICA	ACTIVIDAD PROPUESTA	FREC	REALIZAR CON	
4	3	2	8	5	22		X	Cambiar de filtro de la transmisión	500H	MECÁNICO	
4	3	2	8	5	22	X		Revisar nivel de aceite de transmisión desde el tubo de la mirilla	50H	MECÁNICO	
4	3	2	8	5	22		X	Cambiar aceite de transmisión SAE 30 (18 gal)	1000H	MECÁNICO	
4	3	1	8	5	63	X		Inspeccionar el tapón de drenaje de aceite de transmisión (en caso de ser necesario cambiar la junta del tapón)	1000H	MECÁNICO	
2	3	1	5	5	32	X		Limpiar con agua a presión el post enfriador (radiador) de aceite de transmisión	500H	MECÁNICO	
						X		Inspeccionar visualmente la transmisión en búsqueda de fugas o elementos dañados	1000H	MECÁNICO	
						X		Verificar los pernos de sujeción de la transmisión en búsqueda de ítems faltantes	1000H	MECÁNICO	
2	3	1	5	5	48		X	Verificar las presiones de la bomba de la transmisión	1000H	MECÁNICO	

Tabla 11. Lógica de decisiones Sistema Tren de Poder - Componente (C) y (D) Eje delantero y trasero

CONSECUENCIAS						TAREAS DE MANTENIMIENTO					
IMPACTO A PRODUCCION	CAPACIDAD DE RESPALDO	COSTO DE REPARACION	IMPACTO A SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	CRITICIDAD	A CONDICIÓN	REACONDICIONAMIENTO	SUSTITUCIÓN CÍCLICA	ACTIVIDAD PROPUESTA	FREC	REALIZAR CON
4	3	1	8	5	42	X			Inspeccionar visualmente las fijaciones del eje delantero en búsqueda de piezas flojas o dañadas	250H	MECÁNICO
3	3	1	10	5	110		X		Lubricar los puntos de las bridas del eje delantero	250H	MECÁNICO
								X	Cambiar el aceite del eje delantero de traslación SAE 85W (4,6 gal)	500H	MECÁNICO
2	3	1	5	5	32		X		Verificar el ajuste de los pernos del eje de oscilación (M12. 80Nm, M16. 170Nm, M24. 670Nm)	500H	MECÁNICO
4	3	1	8	5	42	X			Inspeccionar visualmente las fijaciones del eje trasero en búsqueda de piezas flojas o dañadas	250H	MECÁNICO
3	3	1	10	5	110		X		Lubricar los puntos de las bridas del eje trasero	250H	MECÁNICO
2	3	1	5	5	32			X	Cambiar el aceite del eje trasero de traslación SAE 85W (4,6 gal)	500H	MECÁNICO

Tabla 12. Lógica de decisiones Sistema Tren de Poder - Componente (E) y (F) Cubos planetarios y diferenciales

CONSECUENCIAS						TAREAS DE MANTENIMIENTO					
IMPACTO A PRODUCCION	CAPACIDAD DE RESPALDO	COSTO DE REPARACION	IMPACTO A SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	CRITICIDAD	A CONDICIÓN	REACONDICIONAMIENTO	SUSTITUCIÓN CÍCLICA	ACTIVIDAD PROPUESTA	FREC	REALIZAR CON
2	3	1	8	10	120	X			Verificar el nivel de aceite de los cubos planetarios de los ejes delantero y trasero	250H	MECÁNICO
2	3	2	8	20	105			X	Cambiar el aceite de los cubos planetarios de los ejes delantero y trasero	500H	MECÁNICO
2	3	1	5	5	48	X			Verificar el nivel de aceite de los diferenciales del tren de poder	250H	MECÁNICO
2	3	1	10	10	78			X	Cambiar el aceite de los diferenciales del tren de poder	500H	MECÁNICO

Tabla 13. Lógica de decisiones Sistema Tren de Poder - Componente (G) Eje impulsor (Cardan)

CONSECUENCIAS						TAREAS DE MANTENIMIENTO					
IMPACTO A PRODUCCION	CAPACIDAD DE RESPALDO	COSTO DE REPARACION	IMPACTO A SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	CRITICIDAD	A CONDICIÓN	REACONDICIONAMIENTO	SUSTITUCIÓN CÍCLICA	ACTIVIDAD PROPUESTA	FREC	REALIZAR CON
4	5	2	8	5	72			X	Cambiar juntas de los cardan del tren de poder	2000H	MECÁNICO
2	3	1	10	5	21	X			Comprobar el par de apriete de los pernos de las bridas del tren motor (pernos de brida 115Nm y cojinete U 390Nm)	1000H	MECÁNICO
							X		Engrasar la junta universal de la transmisión de la articulación central	250H	MECÁNICO
							X		Lubricar las juntas U y los cojinetes de apoyo del eje de la transmisión	50H	MECÁNICO

Tabla 14. Lógica de decisiones Sistema Tren de Poder – Componente (H) Convertidor de torque

CONSECUENCIAS						TAREAS DE MANTENIMIENTO					
IMPACTO A PRODUCCION	CAPACIDAD DE RESPALDO	COSTO DE REPARACION	IMPACTO A SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	CRITICIDAD	A CONDICIÓN	REACONDICIONAMIENTO	SUSTITUCIÓN CÍCLICA	ACTIVIDAD PROPUESTA	FREC	REALIZAR CON
4	5	4	15	10	38		X		Inspeccionar funcionamiento adecuado y presión de la bomba de carga del convertidor de torque	2000H	ELECTROMECAÁNICO
									Inspeccionar visualmente el estado del convertidor de par en búsqueda de fugas o daños en la carcasa	1000H	
									Verificar nivel de aceite dentro del convertidor de torque, que sea el adecuado	2000H	
									Ajustar los pernos de sujeción del convertidor de par (torques indicados en el procedimiento)	4000H	

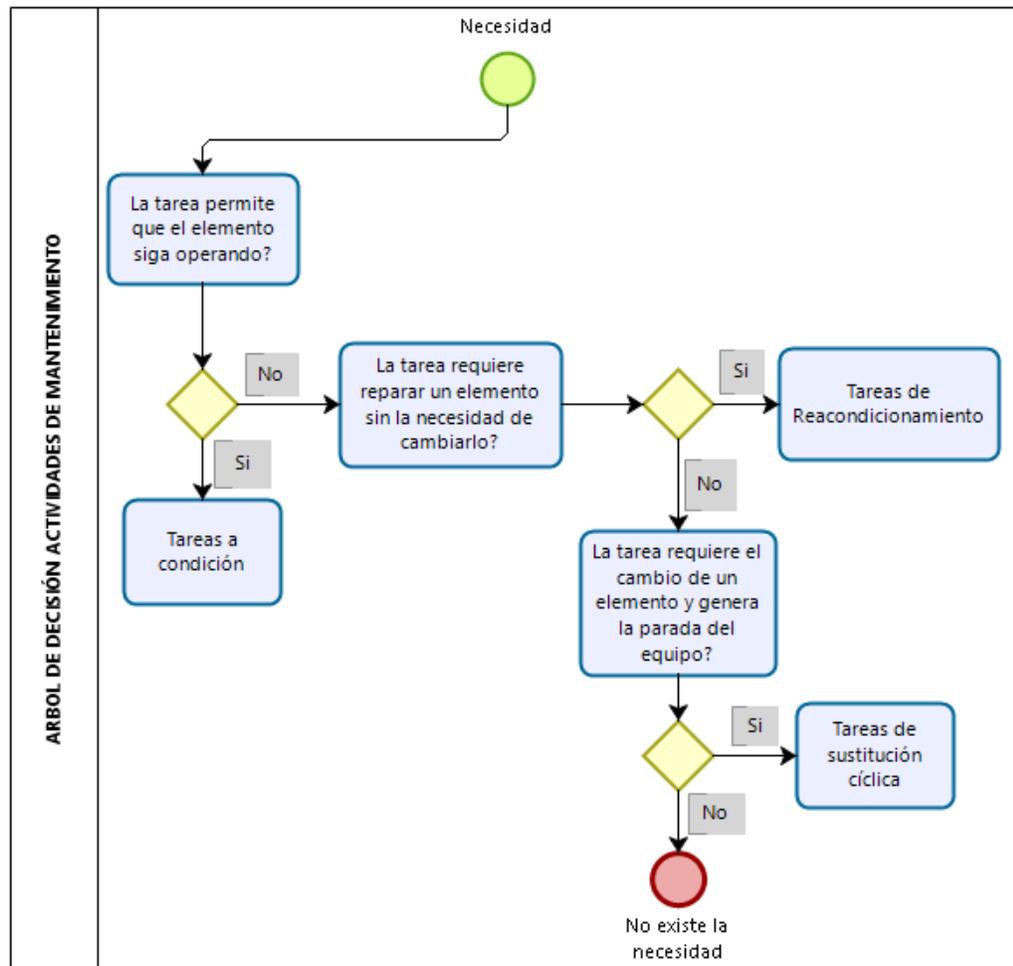
6.3.3 Árbol de decisión. La metodología RCM entrega tres tipos de tareas a realizar para dar una atención a la falla presentada. Ver Figura 25.

- **Las tareas a condición** son las encargadas de atender las fallas potenciales²⁵ es decir, los componentes involucrados pueden seguir operando siempre y cuando estos cumplan con el parámetro de funcionamiento para el cual está diseñado. Estas tareas incluyen mantenimientos predictivos, basados en condición y monitoreo continuo del estado.

²⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Asheville: Aladon LLC, 2004. p 14.

- **Las tareas de reacondicionamiento** son las que implican un cambio en el componente que presentó la falla, pero que no necesariamente requiere la adquisición del ítem de fábrica. Por ejemplo, la reparación de un componente que presentó una rotura y que puede seguir funcionando con la reparación realizada.
- **Las tareas de sustitución cíclica** conocidas como actividades de mantenimiento preventivo consisten en realizar cambios de componentes antes de que lleguen al fin de la vida útil especificado por el fabricante sin importar en qué estado se encuentren.

Figura 25. Árbol de decisión de mantenimiento



6.3.4 Ejecución de una actividad de mantenimiento. Para ejecutar una tarea que involucre una acción de mantenimiento en un activo, es necesario contar con un sistema que permita plasmar en forma de orden de trabajo un listado de acciones para lograr devolver el equipo a servicio. Es por eso por lo que una orden de trabajo permite guiar al personal que ejecuta la labor y lograr una interacción con el plan de mantenimiento, servicios contratados a terceros y piezas de reposición utilizadas.

6.3.5 Servicio de Mantenimiento. Las actividades que se desarrollan en el departamento de mantenimiento deben estar ligadas a un procedimiento que involucra una serie de pasos para lograr la correcta ejecución de la labor. Empezando por la recepción de la orden, continua con el proceso de análisis de seguridad y la posterior ejecución y reporte de las acciones realizadas.

6.3.6 Estándar de Servicio de Mantenimiento. Este documento permite listar ordenada y secuencialmente las actividades propuestas que se derivan de la toma de decisiones de acuerdo con las horas en las que es necesario ejecutar los servicios de mantenimiento. Es importante definir que estos tiempos de ejecución son basados en las recomendaciones del fabricante quien es el que conoce el equipo y es un importante punto de partida para avanzar en la retroalimentación de los planes futuros.

Dentro de estos estándares se definen siete tareas genéricas que deben ser ejecutadas en orden de acuerdo con la codificación de la etapa que se ingresa en el *software* de Mantenimiento de activos de la compañía, acompañada de una descripción breve y clara de manera que sea entendible para el técnico que realizará la actividad. Por otra parte, las condiciones que conllevan a la generación de la orden de mantenimiento permitirán retroalimentar en un futuro los modos de falla presentados en los equipos, así como la acción y el tipo de mantenimiento que debe ser llevado a cabo. Y por último es importante entregar un tiempo estimado de ejecución de cada una de las etapas para de esta manera obtener el tiempo

promedio del equipo en mantenimiento por servicio. Ver matriz de servicios de mantenimiento en las Tablas 15 a la 19.

Tabla 15. Servicio de Mantenimiento Tarea – Inspección

SERVICIOS	TAREA	ETAPAS	COMPONENTE	DESCRIPCION ETAPA	CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO	TIEMPO DE EJECUCION [H]
250H	Inspección	CBI018	Motor	Inspeccionar funcionamiento del turbo por medio del aumento del ruido generado, si aumenta enviar a revisión	Ruido o vibración excesiva	Informar / Ajustar	Preventivo	0,1
		CBI019	Frenos	Inspeccionar sistema hidráulico frenos buscando fugas, averías o pérdida de fuerza de aplicación	Baja presión de frenado	Inspeccionar	Preventivo	0,2
		CBI020	Frenos	Inspeccionar fluido hidráulico que conduce al sistema de frenos en búsqueda de sobrepresión o baja presión	Baja/alta presión de frenado	Revisar	Preventivo	0,2

Tabla 15. (Continuación)

SERVICIOS	TAREA	ETAPAS	COMPONENTE	DESCRIPCION ETAPA	CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO	TIEMPO DE EJECUCION [H]
250H	Inspección	CBI021	Frenos	Revisar presión en el sistema de frenos/indicada en pantalla y verificar con instrumento de medida	Calibración	Inspeccionar	Preventivo	0,2
		CBI022	Transmisión	Revisar nivel de aceite de transmisión desde el tubo de la mirilla	Bajo/alto nivel	Verificar	Predictivo	0,1
		CBI023	Actuadores	Comprobar visualmente la articulación central	Indicado por manual	Inspeccionar	Preventivo	0,1
		CBI024	Actuadores	Inspeccionar bujes y pines del sistema de dirección de la máquina basculante central. Sí están desgastados solicitar cambio	Desgaste esperado del sistema	Inspeccionar	Predictivo	0,1
		CBI025	Motor	Comprobar el ajuste de abrazaderas y pernos de la caja de filtros de aire de motor	Abrazaderas de ductos de admisión sueltas	Inspeccionar/ Ajustar	Preventivo	0,1
		CBI026	Motor	Comprobar el estado de los soportes del motor (tacos de goma y pernos de sujeción)	Desgaste por excesiva vibración	Revisar	Preventivo	0,1
		CBI027	Eléctrico	Comprobar el estado del alternador en búsqueda de corrosión o conexiones sueltas	Carga eléctrica variable	Revisar/Infor mar	Predictivo	0,1
		CBI028	Eléctrico	Comprobar que los terminales del alternador tengan grasa de contacto	Sobrecalentamiento	Revisar/Infor mar	Preventivo	0,1
		CBI029	Translación	Comprobar el nivel de aceite en los cubos planetarios y los diferenciales	Bajo nivel de aceite	Inspeccionar	Preventivo	0,1
		CBI030	Motor	Inspeccionar el radiador y el termo cambiador intermedio en búsqueda de daños o fugas	Altas temperaturas de motor	Revisar	Preventivo	0,1

Tabla 15. (Continuación)

SERVICIOS	TAREA	ETAPAS	COMPONENTE	DESCRIPCION ETAPA	CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO	TIEMPO DE EJECUCION [H]
250H	Inspección	CBI031	General	Inspeccionar estado del interruptor principal/máster Compruebe que funcione la palanca	No se activa la electricidad en la maquina	Revisar/ Informar	Preventivo	0,1
		CBI032	Frenos	Inspeccionar líneas de succión del sistema de frenos	Taponamiento en aceite de frenos	Revisar/ Informar	Preventivo	0,1
		CBI033	Actuadores	Revisar uno a uno todos los puntos de lubricación en búsqueda de daños o fisuras	Desgaste esperado del sistema	Revisar/ Informar	Preventivo	0,1
		CBI034	Actuadores	Inspeccionar fugas en el sistema de actuadores del boom	Fugas de aceite	Comprobar/informar	Predictivo	0,1
		CBI035	Hidráulico	Inspeccionar tendido de mangueras hidráulicas	Fugas o daños en mangueras	Inspeccionar	Preventivo	0,2
		CBI036	Eléctrico	Inspeccionar funcionamiento de las paradas de emergencia y funcionamiento del master	Paradas de emergencia no desenchavan	Inspeccionar	Predictivo	0,1
		CBI037	Eléctrico	Inspeccionar sistema eléctrico de las luces en general y pito	Falta iluminación	Revisar	Preventivo	0,1
		CBI038	Eléctrico	Inspeccionar estado de la caja de fusibles y componentes eléctricos de la caja de la máquina	Problemas en el sistema eléctrico	Inspeccionar	Preventivo	0,1
		CBI039	Cabina	Revisar funcionamiento del asiento del operario, todos los controles indicados deben funcionar	Operación inadecuada de la maquina	Revisar/ Informar	Preventivo	0,1

Tabla 15. (Continuación)

SERVICIOS	TAREA	ETAPAS	COMPONENTE	DESCRIPCION ETAPA	CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO	TIEMPO DE EJECUCION [H]
250H	Inspección	CBI040	Motor	Comprobar ajuste de las abrazaderas de los ductos de aire de admisión	Ruidos anormales en la combustión	Verificar	Preventivo	0,1
		CBI041	Motor	Verificar ajuste de las mangueras de admisión de combustible, que no se evidencien fugas o ítems sueltos	Fuga de combustible	Verificar	Preventivo	0,1
		CBI042	Motor	Verificar la presión de aceite que se envía al turbocompresor y al bloque de motor	Baja presión de lubricación en el turbocompresor	Verificar	Preventivo	0,1
		CBI043	Motor	Inspeccionar el ajuste de la tubería de evacuación de residuos desde compartimiento de aire hasta tubo de escape	Acumulación de suciedad	Inspeccionar	Preventivo	0,1
		CBI044	Motor	Verificar tendido de líneas y mangueras de motor en búsqueda de fugas	Fugas de fluidos de motor	Verificar	Preventivo	0,1
		CBI045	Motor	Inspeccionar estado de las aletas y conductos del radiador de motor que no presenten excesivas abolladuras o fugas	Daño en el radiador	Inspeccionar	Preventivo	0,1

Tabla 16. Servicio de Mantenimiento Tarea – Puesta a punto

SERVICIOS	TAREA	ETAPAS	COMPONENTE	DESCRIPCION ETAPA	CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO	TIEMPO DE EJECUCION [H]
250H	Puesta a punto	CBP002	Actuadores	Verificar que la grasa lubricante llegue a todos los puntos de lubricación	Falta de lubricación	Engrasar	Predictivo	0,1
		CBP003	Neumáticos	Ajustar los espárragos (torque de apriete 650Nm)	Espárragos de sujeción sueltos	Ajustar	Preventivo	0,2

Tabla 17. Servicio de Mantenimiento Tarea - Sustitución

SERVICIOS	TAREA	ETAPAS	COMPONENTE	DESCRIPCION ETAPA	CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO	TIEMPO DE EJECUCION [H]
250H	Sustitución	CBS001	Cabina	Sustituir los filtros de partículas del aire acondicionado	Filtro tapado	Cambiar	Preventivo	0,2
		CBS002	Motor	Cambiar los filtros de aceite de motor	Ciclo de servicio cumplido	Cambiar	Preventivo	1,0
		CBS003	Motor	Cambiar aceite de motor SAE 15W40 (7 gal)	Si necesita cambio	Cambiar/informar	Preventivo	0,3
		CBS004	Motor	Sustituir los filtros de combustible de motor	Combustible de mala calidad	Cambiar	Preventivo	0,3
		CBS005	Frenos	Sustituir el filtro de retorno de barrido del freno	Indica módulo de control	Cambiar	Preventivo	0,2
		CBS006	Motor	Sustituir filtro primario de combustible (separador de agua)	Filtro tapado	Cambiar	Preventivo	0,1

Tabla 18. Servicio de Mantenimiento Tarea – Cepillado

SERVICIOS	TAREA	ETAPAS	COMPONENTE	DESCRIPCION ETAPA	CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO	TIEMPO DE EJECUCION [H]
250H	Cepillado	CBC005	Motor	Limpiar la caja de filtros de aire de motor	Acumulación de suciedad	Limpiar	Mejorativo	0,2
		CBC006	Eléctrico	Limpiar compartimiento y caja de fusibles del bastidor trasero	Presencia de contaminantes	Limpiar	Preventivo	0,2
		CBC007	Eléctrico	Limpiar caja eléctrica de bastidor delantero/presencia de agua o contaminantes	Presencia de contaminantes	Limpiar	Preventivo	0,3
		CBC008	Eléctrico	Limpiar fusibles y contactores de las cajas de inspección eléctricas	Presencia de contaminantes	Limpiar	Preventivo	0,3
		CBC009	Actuadores	Limpiar componentes de articulación y lubricar en caso de ser necesario	Condiciones de operación	Limpiar	Preventivo	0,1
		CBC010	Motor	Limpiar la tapa del radiador del motor	Acumulación de suciedad	Limpiar	Preventivo	0,1
		CBC011	Motor	Limpiar filtro tanque de combustible	Acumulación de suciedad	Limpiar	Preventivo	0,1

Tabla 19. Servicio de Mantenimiento Tarea – Lubricación

SERVICIOS	TAREA	ETAPAS	COMPONENTE	DESCRIPCION ETAPA	CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO	TIEMPO DE EJECUCION [H]
250H	Lubricación	CBL005	Cabina	Lubricar las conexiones de unión del asiento del operario, el freno y el pedal acelerador	Falta de lubricación	Lubricar	Preventivo	0,1
		CBL006	Transmisión	Engrasar la junta universal de la transmisión de la articulación central	Si el SLU no lubrica	Lubricar	Preventivo	0,1
		CBL007	Actuadores	Lubricar los tornillos de apriete del eje de oscilación	Evitar desgaste del componente	Lubricar	Preventivo	0,1
		CBL008	Actuadores	Engrasar los pasadores del cilindro de dirección	Evitar desgaste del componente	Lubricar	Preventivo	0,1
		CBL009	Actuadores	Engrasar el eje de oscilación	Evitar desgaste del componente	Lubricar	Preventivo	0,1
		CBL010	Actuadores	Engrasar los pasadores del amortiguador	Evitar desgaste del componente	Lubricar	Preventivo	0,1
		CBL011	Actuadores	Engrasar pasadores del boom y de la cubeta	Evitar desgaste del componente	Lubricar	Preventivo	0,1
		CBL012	Actuadores	engrasar pasadores de la articulación central	Evitar desgaste del componente	Lubricar	Preventivo	0,1
		CBL013	Actuadores	Engrasar los extremos estacionarios de los pasadores del brazo y la cubeta	Evitar desgaste del componente	Lubricar	Preventivo	0,1
		CBL014	Actuadores	Engrasar los pasadores estacionarios de la palanca de oscilación	Evitar desgaste del componente	Lubricar	Preventivo	0,1
		CBL015	Cabina	Lubricar las bisagras de la puerta y la escotilla	Puerta no abre adecuadamente	Lubricar	Preventivo	0,1

6.3.7 Repuestos críticos. Definir los repuestos más esenciales que deben mantenerse en *stock* es importante a la hora de la ejecución de las actividades que resultan del árbol de decisión. Las tareas de sustitución cíclica estarán siempre ligadas a realizar cambios de componentes consumibles como lo son filtros, aceites, piezas de fricción o ítems no reparables. De esta manera el *software* de Mantenimiento de Activos SIGGA MNT permite enlazar con el activo estos repuestos y garantizar que al momento de realizarse la actividad de mantenimiento se cuenten con estos en bodega. En la Figura 26 se muestra el listado de los repuestos para los cargadores frontales de bajo perfil desde el módulo de mantenimiento de activos.

Figura 26. Repuestos críticos Cargadores LHD410

Codigo	Nomb Repuest	Cantidad	Unidad Med.	Fact.Critico	Cant.	Unid. Cont.	Cant.	Local	Alternativo	Saldo Actual	Alias WT
043915040000014	FILTRO ACEITE SANDVI	1.00	UN	Alta	0		0	Si		0,00	TPY
043915040000015	FILTRO DE COMBUSTIBL	1.00	UN	Alta	0		0	Si		0,00	TPY
043915040000016	FILTRO DE COMBUSTIBL	1.00	UN	Alta	0		0	Si		0,00	TPY
043915040000017	FILTRO HIDRAULICO RE	1.00	UN	Alta	0		0	Si		0,00	TPY
043915040000018	FILTRO HIDRAULICO RE	1.00	UN	Mediana	0		0	No		0,00	TPY
043915040000019	FILTRO HIDRAULICO SA	1.00	UN	Alta	0		0	Si		0,00	TPY
043915040000020	FILTRO DE AIRE PRIMA	1.00	UN	Alta	0		0	No		0,00	TPY
043915040000021	FILTRO DE AIRE DE SE	1.00	UN	Mediana	0		0	Si		0,00	TPY
043915040000022	FILTRO DE TRANSMISIO	1.00	UN	Alta	0		0	Si		0,00	TPY
043915040000023	FILTRO DE AIRE ACOND	1.00	UN	Mediana	0		0	No		0,00	TPY
043915040000024	FILTRO DE AIRE ACOND	1.00	UN	Mediana	0		0	No		0,00	TPY
046212010000103	PREFILTRO AIRE ACOND	1.00	UN	Baja	0		0	No		0,00	TPY
043915040000025	FILTRO DE FRENOS SAN	1.00	UN	Alta	0		0	Si		0,00	TPY
043915040000026	ABRAZADERA DE GOMA SA	1.00	UN	Mediana	0		0	No		0,00	TPY
046922050000018	SENSOR DE TEMPERATUR	3.00	UN	Mediana	0		0	No		0,00	TPY
046922050000019	SENSOR DE PRESION DE	1.00	UN	Mediana	0		0	Si		0,00	TPY
046922050000020	SENSOR DE REVOLUCION	2.00	UN	Mediana	0		0	No		0,00	TPY
041265010000004	DUCTO DE SUCCION DE	1.00	UN	Baja	0		0	No		0,00	TPY
044211020000926	ABRAZADERAS DE GOMA	1.00	UN	Baja	0		0	No		0,00	TPY
044211020000927	ABRAZADERA DE GOMA D	1.00	UN	Baja	0		0	No		0,00	TPY
046212010000105	KIT DE SELLOS BOMBA	1.00	UN	Mediana	0		0	No		0,00	TPY
046212010000106	KIT DE SELLOS BOMBA	1.00	UN	Mediana	0		0	No		0,00	TPY
046212010000107	KIT DE SELLOS BOMBA	1.00	UN	Mediana	0		0	No		0,00	TPY
044211020000928	ABRAZADERA DE UNION	6.00	UN	Mediana	0		0	No		0,00	TPY
046212060000012	INTERRUPTOR DE NIVEL	1.00	UN	Alta	0		0	Si		0,00	TPY
044211020000847	TAPA TANQUE DE REFRI	1.00	UN	Baja	0		0	Si		0,00	TPY
046212010000104	CORREA DE MOTOR 1369	1.00	UN	Mediana	0		0	Si		0,00	TPY
042944140000005	TENSOR DE CORREA DE	1.00	UN	Baja	0		0	No		0,00	TPY
043220010000007	MOTOR DE ARRANQUE SA	1.00	UN	Baja	0		0	No		0,00	TPY
049941050000020	POLEA DE CORREA DE M	1.00	UN	Baja	0		0	No		0,00	TPY
046212010000108	TURBOCARGADOR FOR OM	1.00	UN	Baja	0		0	No		0,00	TPY
046922050000021	SENSOR DE PRESION DE	1.00	UN	Mediana	0		0	Si		0,00	TPY
041272010000079	SELLO DEL EJE DE ENT	1.00	UN	Alta	0		0	No		0,00	TPY
041272010000080	SELLO DEL BLOQUE DE	1.00	UN	Alta	0		0	Si		0,00	TPY
041272010000081	SELLO DEL CONVERTIDO	1.00	UN	Alta	0		0	Si		0,00	TPY
046922050000022	SENSOR DE TEMPERATUR	1.00	UN	Alta	0		0	Si		0,00	TPY
036114090000007	NEUMATICO SANDVIK RE	4.00	UN	Alta	0		0	No		0,00	TPY
046212010000109	KIT DE REPARACION EJ	1.00	UN	Baja	0		0	No		0,00	TPY
046212010000110	KIT DE REPARACION FR	1.00	UN	Baja	0		0	No		0,00	TPY
046212010000111	KIT DE REPARACION PL	1.00	UN	Baja	0		0	No		0,00	TPY
046212010000112	KIT DE REPARACION DI	1.00	UN	Baja	0		0	No		0,00	TPY
046212010000113	KIT DE REPARACION FR	1.00	UN	Baja	0		0	No		0,00	TPY
046212010000114	KIT DE REPARACION PL	1.00	UN	Baja	0		0	No		0,00	TPY
046212010000121	DISCO DE FRENO INTER	8.00	UN	Alta	0		0	Si		0,00	TPY

Fuente: Mantenimiento de Activos. TOTVS. ERP Minesa.

6.4 INDICADORES DE GESTIÓN

6.4.1 Indicadores de Mantenimiento. Desde el año 2011 donde fueron adquiridos los equipos, estos han permanecido la mayor parte del tiempo en *stand by* debido a que la compañía ha venido desarrollando los estudios correspondientes para adquirir la licencia ambiental para el desarrollo del proyecto. Debido a esto, las horas de operación de estos activos son bajas y las actividades de mantenimiento ejecutadas se relacionan más a inspecciones y sustituciones periódicas de cuidado básico.

Actualmente el módulo de mantenimiento de activos tiene registrada la información de las actividades realizadas desde inicios del año 2011 hasta finales del año 2018, donde se han realizado labores correctivas y algunos mantenimientos preventivos con los tiempos de operación como lo muestra la Tabla 20.

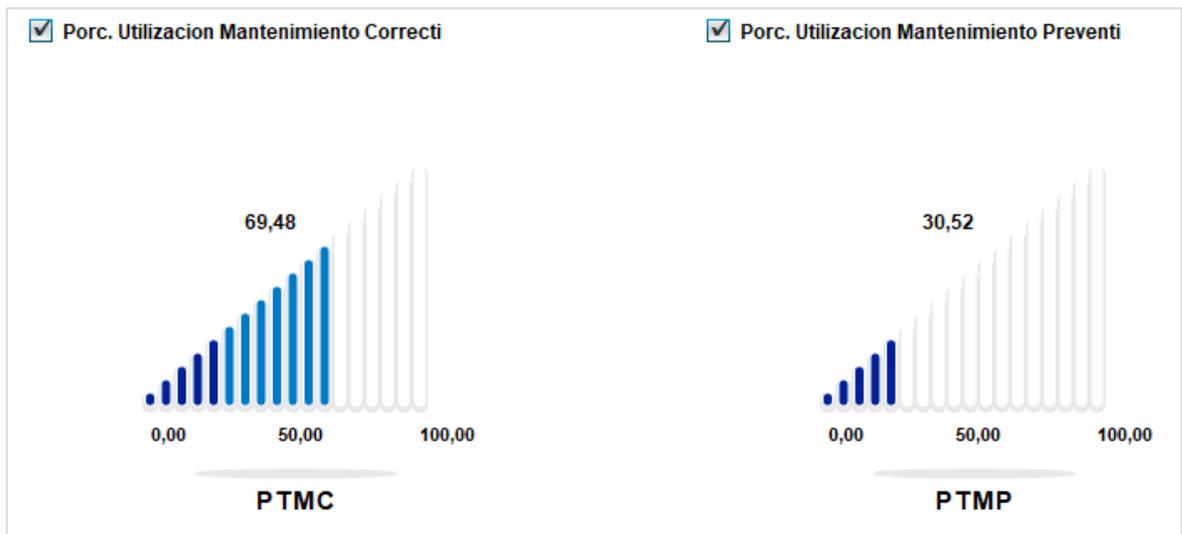
Tabla 20. Indicadores de mantenimiento periodo 2011-2018

Descripción	Cargador 726	Cargador 727	Cargador 728
Horas de operación	403	220	26
Os en el periodo	43	30	0
Tiempo medio para reparar (MTTR) [h]	11,37	2,43	0
Tiempo medio entre fallas (MTBF) [h]	1684,24	2354,70	0

De la tabla anterior se puede decir que, los tiempos medios entre fallas para los equipos que operaron en el periodo es elevado debido al estado de inoperatividad continua al que están sometidos, y los tiempos medios para la reparación de las fallas presentadas evidencian que estas son fallos esporádicos presentados por la etapa de mortalidad infantil en los activos.

6.4.2 Indicadores de Mano de obra. Tener una proyección clara de la manera en que se están utilizando los recursos de mano de obra es importante para entender si la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad logrará entregar resultados positivos, es por eso que en la Figura 27 se muestra el porcentaje de utilización entre mantenimientos correctivos y preventivos donde se puede apreciar que se le está dando mayor prioridad a la atención de emergencias y esto es algo que se espera mejore con la metodología RCM.

Figura 27. Utilización mano de obra preventivo-correctivo



6.5 PROYECCIÓN DE COSTO DE MANTENIMIENTO A 5 AÑOS EN CARGADORES FRONTALES DE BAJO PERFIL SANDVIK LHD410

La metodología RCM entrega un gran número de cualidades que pueden ser aplicadas a diversos activos de una compañía y ha sido desde que se implementó una gran aliada de las áreas encargadas de la gestión de los activos en las compañías. No obstante, para el dueño del activo lo más importante es la inversión que tendrá que realizar para garantizar que su proceso se mantenga y ver en qué

momento requerirá una mejora o el cambio. Es por eso que un análisis de costo de ciclo de vida permite dar una expresión en términos de costos proyectados en un periodo de tiempo y que si es utilizado de la mejor manera justificará la inversión que se necesitará en los activos.

6.5.1 Costo actual de mantenimiento en los cargadores LHD410. Con el fin de realizar una estimación lo más cercana posible a lo que será la operación de los equipos, es necesario detallar inicialmente el costo actual de mantenimiento en mano de obra que ha sido invertida y el tiempo que ha sido necesario para desarrollar cada una de las actividades ya ejecutadas teniendo como principio que los equipos no se encuentran en operación y esto hace que los costos no sean muy elevados como se observa en las Figuras 28 y 29.

- El costo de mantenimiento del Cargador LHD726 para el año 2018 fue de \$2.810.680 que se ejecutaron en mantenimientos correctivos y adecuaciones preventivas.
- El costo de mantenimiento del Cargador LHD727 para el año 2018 fue de \$1.477.260, lo que refleja la inactividad del activo durante el periodo mencionado dado que las actividades fueron adecuaciones preventivas.
- El costo de mantenimiento del Cargador LHD728 para el año 2018 no puede ser observado debido a que el activo no ha tenido ningún tipo de actividad.

Figura 28. Costo actual mantenimiento Cargador LHD726

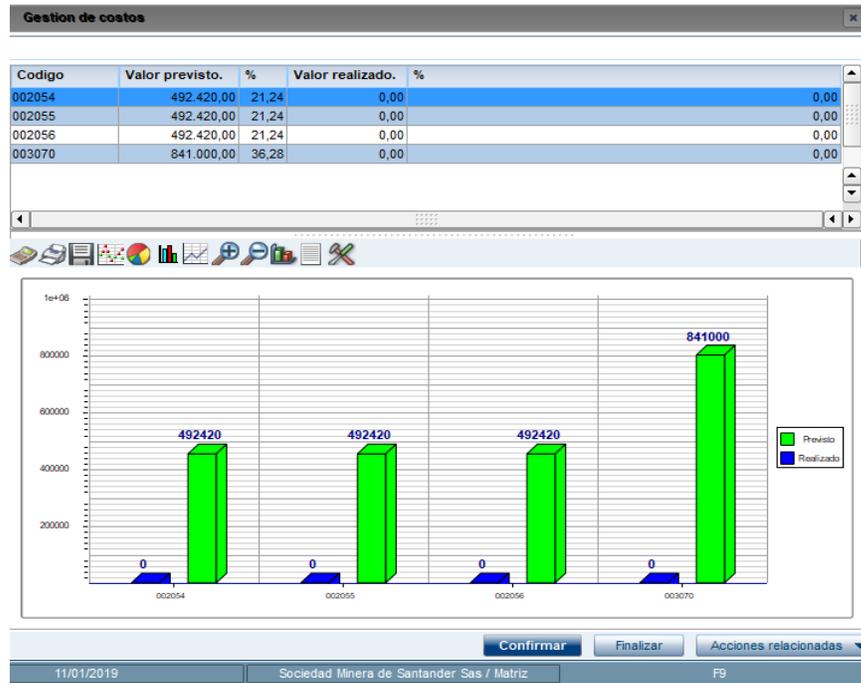
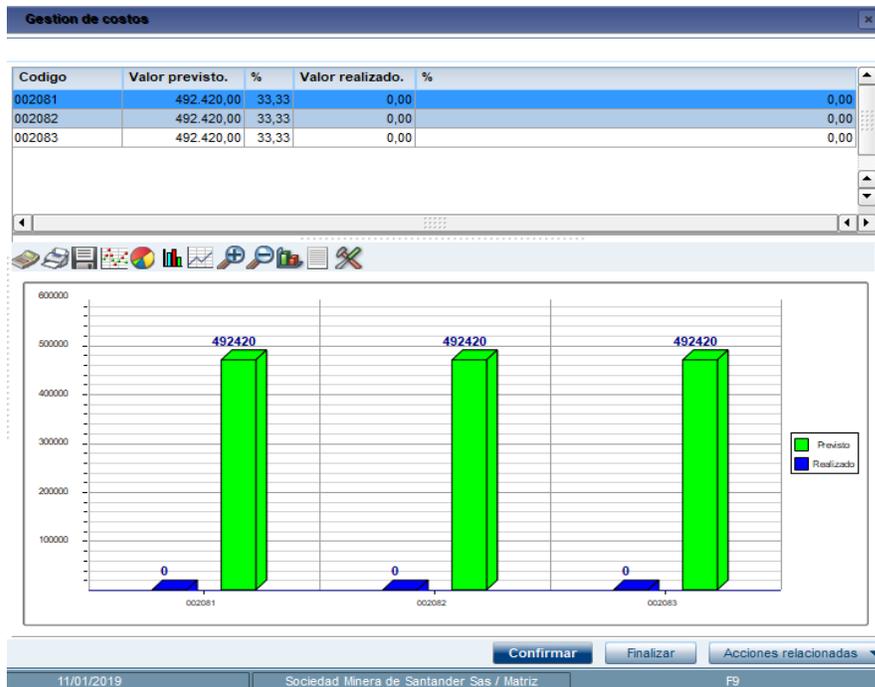


Figura 29. Costo actual mantenimiento Cargador LHD727



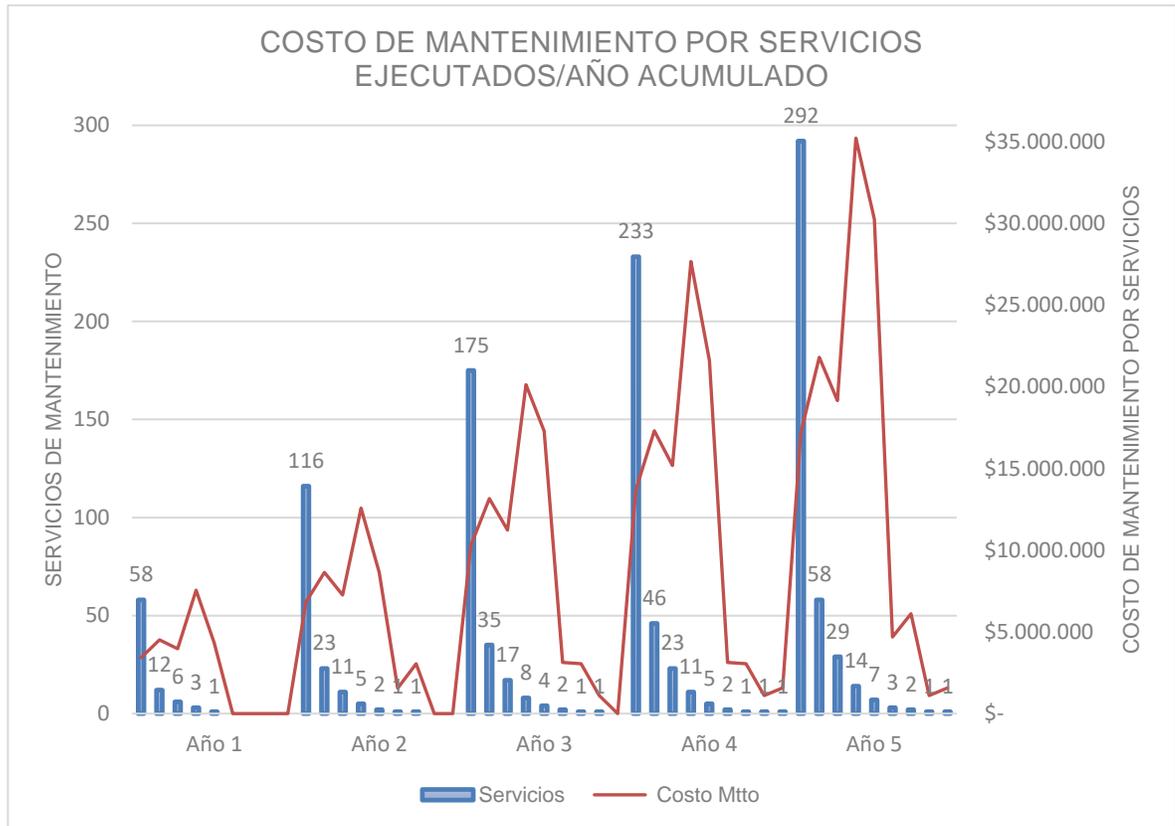
6.5.2 Costo de mantenimiento en los cargadores LHD410. Los servicios de mantenimiento son una herramienta valiosa para calcular cual va a ser el costo en proyección de mano de obra y repuestos utilizados cuando los equipos se encuentren en operación. Por otra parte, esto permitirá incluir el costo global de todos los sistemas evaluados previamente como se observa en la Tabla 21.

Tabla 21. Proyección costos de mantenimiento en Cargadores LHD410

Equipo	Servicios	Tiempo ejecución [H]	Costo Total HH	Costo Total Insumos	Costo Total Mantenimiento
Cargador Frontal Bajo Perfil LHD410	PVO 50H	2,5	\$ 43.250	\$ 15.600	\$ 58.850
	PVO 250H	6,1	\$ 105.530	\$ 270.500	\$ 376.030
	PVO 500H	8,8	\$ 152.240	\$ 508.000	\$ 660.240
	PVO 1000H	12,1	\$ 273.460	\$ 2.242.000	\$ 2.515.460
	PVO 2000H	18,7	\$ 422.620	\$ 3.900.000	\$ 4.322.620
	PVO 4000H	12,8	\$ 349.440	\$ 1.212.000	\$ 1.561.440
	PVO 6000H	15,2	\$ 414.960	\$ 2.641.000	\$ 3.055.960
	PVO 8000H	10,41	\$ 284.193	\$ 830.200	\$ 1.114.393
	PVO 12000H	13,1	\$ 357.630	\$ 1.210.000	\$ 1.567.630

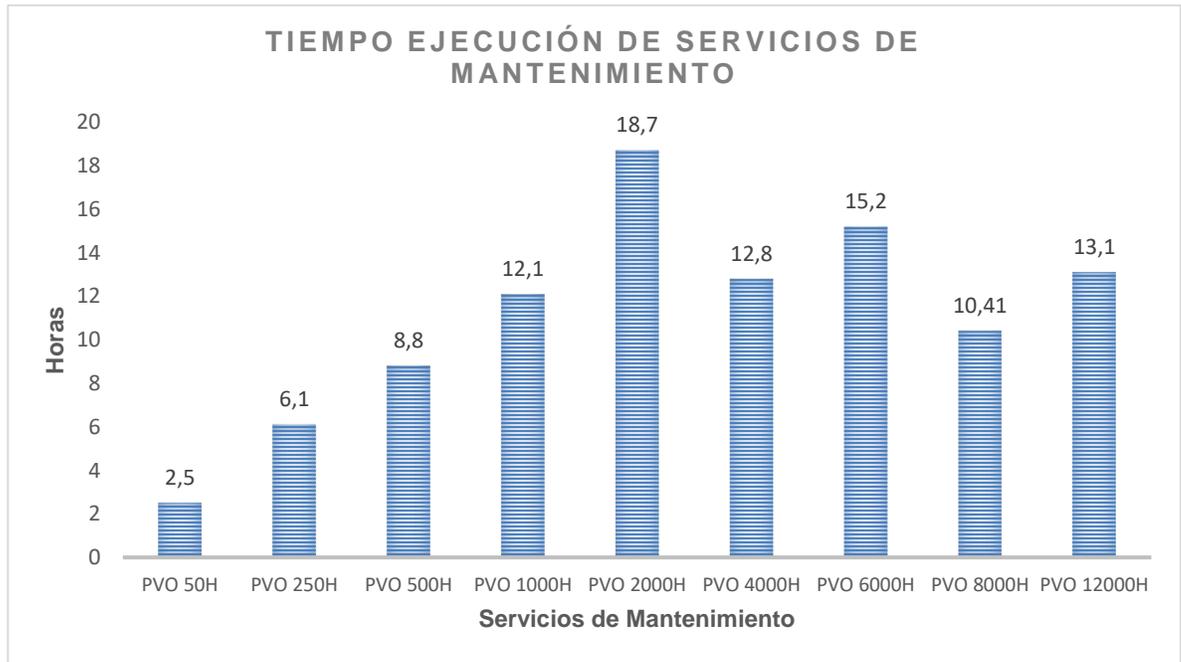
Teniendo en cuenta que la operación de los equipos cuando inicie el proyecto va a ser de turnos de ocho (8) horas diarias, es necesario estimar cuantos servicios de mantenimiento se ejecutarían anualmente y cuál sería su costo proyectado durante los próximos cinco años de actividad en la mina. En la Figura 30 se observa la relación de costos por los servicios de mantenimiento que se ejecutarán en cada uno de los años del análisis y el cual se va acumulando a medida que pasa el tiempo.

Figura 30. Costo de Mantenimiento por servicio al año acumulado



6.5.2.1 Tiempo de ejecución de servicios de mantenimiento. Para cada uno de los servicios de mantenimiento se definió un tiempo estimado de ejecución que va acorde a la mano de obra que atenderá los mantenimientos y la utilización de contratistas. Es importante recalcar que como se muestra en la Figura 31, el servicio de mantenimiento preventivo que más requiere disponibilidad del equipo y que afecta su producción por hora es el de 2000H, esto debido a que en este servicio el equipo requiere una intervención completa con el fin de evaluar el estado de operación, seguridad y *confort* del activo.

Figura 31. Tiempo de ejecución de servicios de mantenimiento para Cargadores LHD410



6.5.3 Costo de producción de los Cargadores LHD410. Para conocer el impacto a la producción hora de un Cargador si este no se encuentra en operación es necesario entender primero como será el desarrollo de la mina en metros lineales, ver Figura 32. Con este dato y las dimensiones de los túneles, ver Figura 33. Se logra obtener cual es el valor en metro cubico que no puede ser movido por el equipo. Ver Tabla 22.

Tabla 22. Promedio de movimiento de material en metro cubico en 5 años

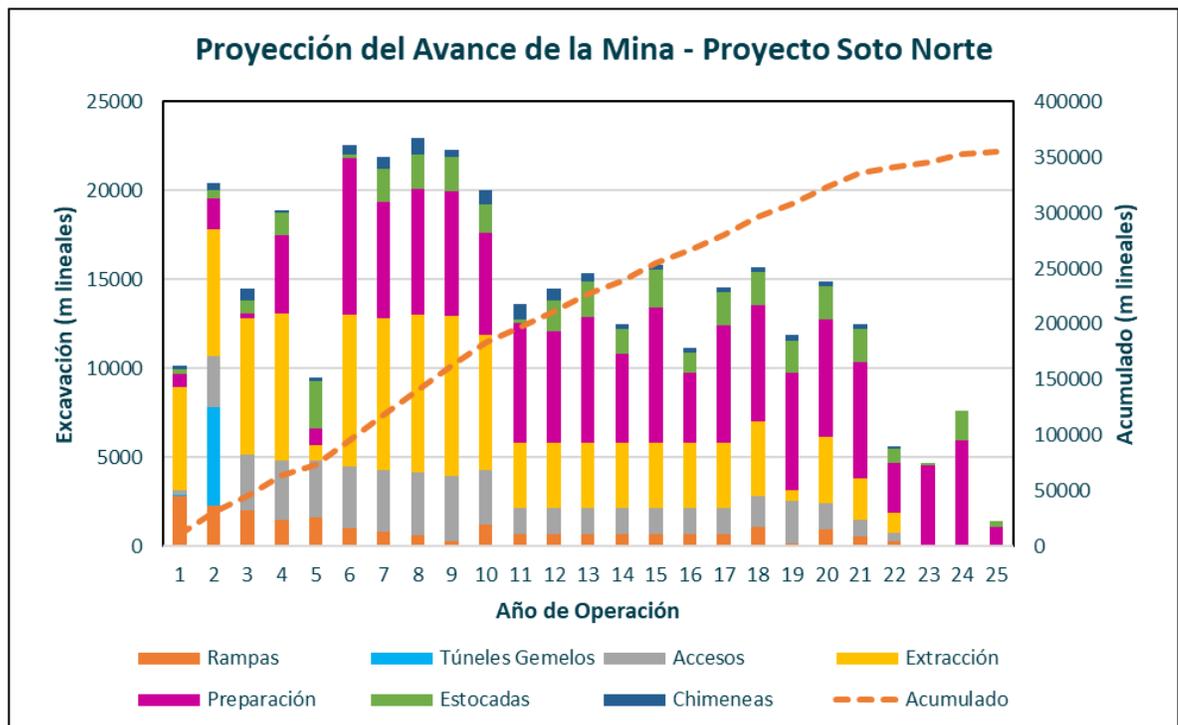
Año	Avance Mina [M lineales]	Dimensiones Túneles [M2]	Avance Mina [M3]
Año 1	10000	30,25	302500
Año 2	20000	30,25	605000
Año 3	14500	30,25	438625
Año 4	14000	30,25	423500
Año 5	9500	30,25	287375
Total	68000		
Promedio	13600		411400

Obteniendo el promedio de avance en metro cubico se puede calcular las toneladas de material de mina que no podría mover un cargador de acuerdo con los parámetros operacionales óptimos y que afectaría la producción en 2810,3 toneladas por día y 39,03 toneladas hora en cada equipo como se muestra en la Ecuación (4). Dado lo anterior el impacto a producción hora para el activo es 2 según la Tabla 1.

$$\frac{\text{Ton}}{\text{día}} = \frac{411400\text{m}^3}{365 \text{ días}} = 1127,12 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \frac{1 \text{ palada}}{4 \text{ m}^3} * \frac{10 \text{ Ton}}{1 \text{ palada}} = 2810,3 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$$

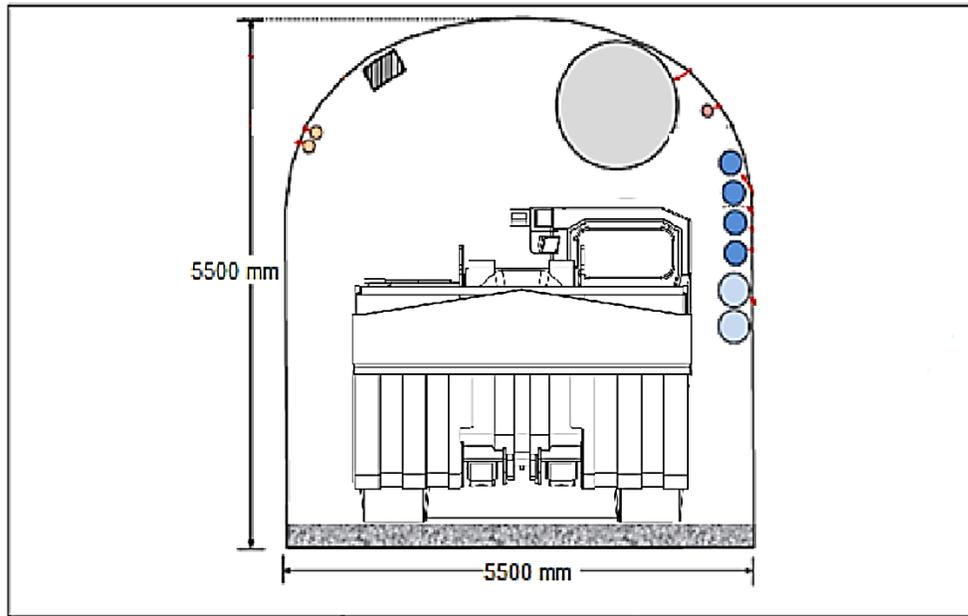
$$2810,3 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \div 3 \text{ equipos} = 936,76 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \text{ equipo} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 39,03 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} \quad (4)$$

Figura 32. Proyección de avance de la Mina – Proyecto Soto Norte



Fuente: Capítulo 3. Descripción del proyecto. Estudio de impacto ambiental para el proyecto de explotación subterránea de minerales auroargentíferos “Soto Norte”.

Figura 33. Dimensiones túneles de movimiento de material Mina – Proyecto Soto Norte



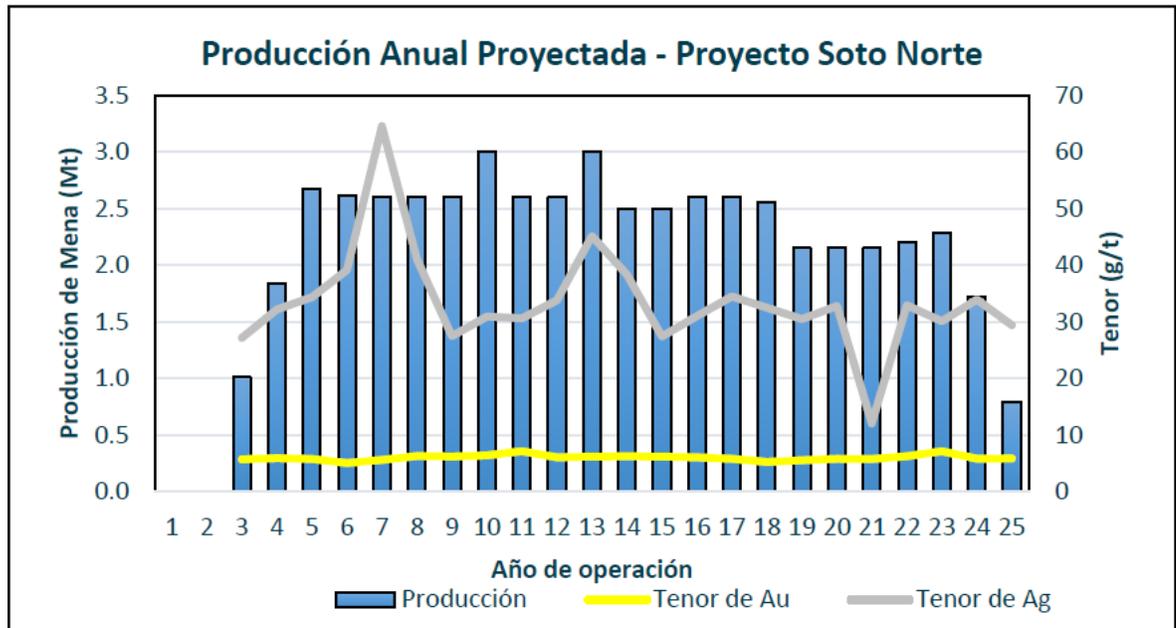
Fuente: Capítulo 3. Descripción del proyecto. Estudio de impacto ambiental para el proyecto de explotación subterránea de minerales auroargentíferos "Soto Norte".

Con el dato de producción día obtenido en toneladas es posible determinar cuál va a ser la pérdida en pesos si el equipo durante un turno (Véase Ecuación (5)). El proyecto Soto Norte contempla que el tenor de oro por tonelada de producción va a ser de 8 gramos por tonelada como se observa en la Figura 34.

$$\text{\$ Producción/h} = 39,03 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} * \frac{8 \text{ gr Au}}{1 \text{ Ton}} * \frac{\$97.995,62}{1 \text{ gr Au}} = \$30.598.152$$

$$\frac{\text{\$ producción}}{\text{turno}} = \$30.598.152 * 8h = \$244.785.219 \text{ pesos por turno} \quad (5)$$

Figura 34. Tenor de Oro por tonelada de producción Proyecto Soto Norte



Fuente: Capítulo 3. Descripción del proyecto. Estudio de impacto ambiental para el proyecto de explotación subterránea de minerales auroargentíferos "Soto Norte".

6.5.4 Costo de ciclo de vida Cargadores LHD410. Con los datos que se obtienen del valor de adquisición del activo, el consumo de energía, los costos de mantenimiento, operación e impacto a la seguridad es posible hallar el valor de inversión al año. Por otra parte, se estima que el valor de salvamento para maquinaria minera es de 80% a los 5 años de operación lo que significa que el desgaste esperado es permitido para que el equipo siga operando bajo condiciones de seguridad y eficiencia óptimas en cada una de las etapas del proyecto.

La metodología RCM si se ejecuta de la manera más adecuada, logrará que el costo de mantenimiento sea menor al costo del consumo de energía del activo durante el año de operación y el ciclo de voladura sea rentable para la compañía como se observa en la Tabla 23.

Tabla 23. Costo de ciclo de vida para Cargadores LHD410

Item	Unidad	Valor	Valor en COL \$
No. De años	#	5	
Tasa de retorno	%	23	
Tasa de inflación	%	3,2	
Tasa de cambio	COL \$	\$ 3.193	
Costo de inversión	USD	USD 373.630	\$ 1.192.999.999,9
Costo de instalación	USD	USD 0	\$ 0,0
Precio del KW-h	USD	0,06	
Energía promedio consumida	KW-H	220	
Horas de operación anual	H/año	2920	
Costo de energía	USD/año	USD 38.544	\$ 123.070.992,0
Costo de operación	USD/año	USD 52.615	\$ 167.999.995,1
Costo de mantenimiento	USD/año	USD 24.626	\$ 78.631.616,3
Shut Down/año	días/año	1	
Costo de 1 día shutdown	USD/día	USD 76.663	\$ 244.785.219,1
Costo por parada de producción	USD/año	USD 76.663	\$ 244.785.219,1
Costo impacto a la seguridad	USD/año	USD 1.000	\$ 3.193.000,0
Otros costos anuales	USD/año		\$ 0,0
Suma total de costos anuales	USD/año	USD 193.448	\$ 617.680.822,5
df = Factor de descuento	#	5,2	
Valor presente del costo anual	USD	USD 1.005.932	\$ 3.211.940.277,0
Cd Desincorporación (año final)	USD	USD 298.904	\$ 954.399.999,9
Cp/Cn costo presente/costo futuro n años	#	0,8	
Valor presente del año final	USD	USD 239.123	\$ 763.520.000,0
RESULTADOS			
Valor presente LCC		USD 1.618.685	\$ 5.168.460.276,9
% del costo de energía		USD 200.429	\$ 639.969.158,4 12%
% del costo de mantenimiento		USD 128.057	\$ 408.884.404,5 8%

7. CONCLUSIONES

- La metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una herramienta aplicable a la industria minera que permite dar una base inicial para generar actividades proactivas encaminadas al cuidado y preservación de los activos durante su operación, reduciendo la probabilidad de presencias de falla que no solamente afecte el estado del activo sino también los factores alrededor que permiten el desarrollo del proyecto.
- Los indicadores de confiabilidad de los Cargadores LHD410 reflejan que los equipos se encuentran en una etapa inicial de vida operativa. Sin embargo, estos activos han presentado fallas considerables que se ven reflejadas en las 73 órdenes de servicio ejecutadas donde el tiempo medio entre fallas estimado es de 1684,24 y 2354,70 horas para cada equipo. adicionalmente el indicador de mano de obra demuestra que el equipo de mantenimiento dedica un 69.48% de su tiempo a corregir fallas afirmando la importancia de la aplicación de una metodología que promueva el cambio en la gestión del mantenimiento de la compañía.
- De acuerdo con el Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) realizado de manera conjunta entre mantenimiento y operaciones, se logró identificar que en los Cargadores LHD410 el sistema hidráulico y el sistema eléctrico son los que representan mayor criticidad para la operación con una frecuencia de falla mayor a 2 veces por año que requieren generar acciones que ayuden a mitigar y reducir la no disponibilidad del activo.

- Los servicios de mantenimiento preventivos que surgieron del AMEF realizado a los Cargadores LHD410 son la pauta que permite establecer las acciones que deben ser llevadas a cabo por el personal especializado en mantenimiento de manera eficiente, proactiva y segura, y así cumplir con las tareas propuestas de acuerdo con las horas de operación que al ser controladas por el *software* de Mantenimiento de Activos en los tiempos especificados logrará que el departamento de mantenimiento sea un aliado estratégico en la operación y económicamente rentable.
- Proyectar los costos de mantenimiento facilita conocer la inversión realizada hasta el momento en los equipos y estimar el presupuesto necesario en mano de obra y repuestos para el mantenimiento preventivo de 2000 horas que para el caso de los Cargadores LHD410 es de \$4.400.000 el cual abarca una revisión exhaustiva del estado operacional y sería ejecutado una vez al año.
- A partir del Análisis de Costo de Ciclo de Vida, fue posible afianzar que la metodología RCM permite reducir los gastos de mantenimiento y que este solo representa un 8% del valor total del ciclo de vida del activo proyectado a 5 años de operación continua.

8. RECOMENDACIONES

- La aplicación de la metodología RCM a los demás equipos involucrados en el proceso de voladura para la operación minera subterránea facilitará las acciones de mantenimiento que tengan que ser realizadas durante la vida de operación de los equipos. Ayudando así a promover análisis de consecuencias de falla que no solo involucren mantenimiento y operaciones, sino que el aporte del conocimiento de la seguridad y salud en el trabajo permitirá hacer más eficiente el rendimiento de los activos.
- El Análisis de Modo y Efecto de Falla es un documento que requiere ser actualizado permanentemente y que el aporte tanto del operador de la máquina como los especializados en mantenimiento ayudaran a alimentar la información consignada y hacer que esta se acerque más a las condiciones operacionales de una mina subterránea.
- La información histórica del mantenimiento realizado a los activos involucrados en esta propuesta es algo limitada, lo que interfirió en la realización de un estudio más a fondo de las fallas presentadas desde su adquisición y por ende la información que se entrega estará sujeta a cambios a medida que inicie la operación de los activos.

- Las pocas horas de operación de los equipos combinadas con las actividades que han desarrollado desde su adquisición reflejan que no han sido utilizados con el propósito inicial para el cual fueron diseñados y esto promueve la aparición de fallas que no pueden ser detectadas sino se aplica un sistema de mantenimiento preventivo/predictivo.
- Los datos utilizados para realizar el cálculo del Costo de Ciclo de Vida están sujetos a la proyección realizada en el estudio de impacto ambiental de la compañía, lo que permite que cuando se dé inicio al proyecto este costo de inversión esté sujeto a modificaciones de acuerdo con la cantidad de activos adquiridos y la manera en que estos sean operados.

BIBLIOGRAFIA

ARZUAGA, Jose. Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la flota de equipos de oruga D11N de la empresa minera Drummond LTD. Universidad Industrial de Santander. 2011.

CABRERA, L.F. Sexto. Mantenimiento industrial: cenicienta que aguarda por su príncipe. Centro de Estudio Innovación y Mantenimiento Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. 20 de octubre de 1999.

CENTRO DE GESTIÓN CEN. Documentación: Industrial de petróleo, petroquímica y gas natural-recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. Reino Unido: Estándares BSI, 2016. (ISO 14224)

CARRILLO, José. Modelo para la gestión de mantenimiento preventivo de la flota vehicular de la empresa COVOLCO. Informe de práctica empresarial realizada como requisito para optar al título de ingeniero Mecánico Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga. 2016. p 19.

HERNANDEZ, Norbey. El oro de California, en manos de los árabes. Bucaramanga. 2015. Disponible en:
<http://www.elespectador.com/noticias/investigacion/el-oro-de-california-manos-de-arabes-articulo-557063>.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Asheville: Aladon LLC, 2004.

NAVARRO, Luis. PASTOR, Ana C y MUGABURU, Jaime M. gestión integral de mantenimiento. En: Tipos de mantenimiento. Productica. Barcelona, España. 1997. p. 31-32.

OJEDA, Daniel. Aplicación de un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para los equipos de perforación subterránea Sandvik dd321-40 de la Sociedad Minera de Santander S.A.S. Universidad Industrial de Santander. 2018.

SIERRA ALVAREZ, Gabriel. Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmecánica industrial AVM S.A. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica. Bucaramanga. 2004.

SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Minesa. Bucaramanga. 2016. Disponible en: <http://minesa.com/quienes-somos/>.

ANEXOS

Anexo A. Análisis Modo y Efecto de Falla – Sistema Motor

GERENCIA DE OPERACIONES													Código:		OP-MAA-0004											
MANTENIMIENTO ELECTROMECANICO													Versión:		1											
FORMATO ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS													Fecha Cre:		20/02/2018											
CARGADOR DE BOLD PEREL SANDOVAL LÓPEZ													Fecha Anl:													
EQUIPO:													X Debe realizarse el cambio													
PLACA:																										
UBICACIÓN:																										
OBSERVACIONES:																										
N°	SISTEMA	C	COMPONENTE	F	DEFINICIÓN O FUNCIÓN	M#	MODO DE FALLA	E#	EFECTO DE FALLA	M#	CAUSAS DE FALLA	CONSECUENCIAS						TABLAS DE MANTENIMIENTO								
												IMPACTO A PRODUCCIÓN	CAPACIDAD DE RESPALDO	EFECTO DE REPARACIÓN	IMPACTO A SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	ENTENDIBILIDAD	PREVENCIÓN INTRÍNSECA	DEFUSIÓN (RISGA)	ACTIVIDAD PROPUESTA	FREC	REALIZADA CON				
1	Mecánico - Combustión OM 926 LA	ADMISIÓN	Turbocompresor	A	Usar los gases de escape para succionar y aumentar el volumen de aire de admisión. La presión que puede generar es alrededor de los 100000 RPM	1	Turbo atascado	3	El motor pierde potencia repentinamente y deja de funcionar. Puede generar pérdida de la operación y pérdida en la producción de extracción de material	3	Relacionada a la operación: el eje se ataca por falta de correcta lubricación y excesivas temperaturas de trabajo	3	3	2	15	10	90			X	1000H	MECANICO				
						2	Alabes de turbocompresor golpeados/parte	2	La eficiencia del turbocompresor se ve disminuida. Pueden entrar partículas al bloque de motor o al post enfriador lo que genera daños mayores en el motor. No se ve afectada la producción de manera inmediata	2	Relacionada a la operación: entrada de impurezas en las partes expuestas provenientes de los ductos de admisión y demerada acumulación de hollín que termina contaminando la zona de compresión	4	3	2	10	10	10	10	10	10	X	500H	2000H	MECANICO		
						3	Señal de lubricación contaminado	3	Fugas de aceite hacia la admisión o escape generando humo azul en gases de combustión, daños en los componentes del turbocompresor lo que genera consumo de aceite de motor y se debe entrar a revisión y reparación el turbocompresor	3	Relacionada a la operación: los conductos de aceite de lubricación se obstruyen, no se verifican las condiciones de lubricación, se dañan partes abrasivas y conexiones de los canales de lubricación	4	3	2	8	10	10	10	10	10	10	X	1000H	MECANICO		
						4	Entrada de contaminantes de motor hacia el turbocompresor	4	Se produce un daño en los alabes del lado caliente del turbocompresor, lo que genera que la cantidad de gases aspirados se disminuya	2	Relacionada a la operación: demerada entrada de hollín hacia el turbocompresor, posición de los carburantes no se ve quemado adecuadamente y existen holguras en las válvulas	4	3	2	8	10	10	10	10	10	10	X	1000H	MECANICO		
						5	Baja lubricación	5	Debido a la contaminación del aceite se presenta una helgada en el eje que produce dañar la máquina por sobrecalentamiento y alta temperatura de mantenimiento	3	Relacionada a la operación: desgaste de los componentes de deslizamiento del eje que causa daños	4	3	2	8	10	10	10	10	10	10	10	X	1000H	MECANICO	
						6	Válvula de descarga abre	6	Se para totalmente la producción debido a los daños en el turbocompresor, puede causar contaminación excesiva al ambiente por humo de escape	2	Relacionada a la operación: fuga de los gases de escape del turbocompresor	1	2	1	5	5	5	5	5	5	5	5	X	2000H	MECANICO	
						7	Sobrecalentamiento de turbocompresor	7	La válvula automática succionadamente, que controla la presión de trabajo del turbo no abre y produce contaminación y sobrecalentamiento en el turbocompresor que puede dañar los componentes internos	1	Relacionada a la operación: la membrana del accionamiento neumático se rompe, baja presión de suministro de aceite	3	3	1	10	10	10	10	10	10	10	10	X	2000H	MECANICO	
						8	Fuga en el colector de admisión	8	Se presenta contaminación del ambiente por humo de escape y aire de admisión por el turbocompresor por alarma de sobretensión de trabajo	2	Relacionada al mantenimiento: la lubricación en el turbocompresor es insuficiente y el aumento en la temperatura de los gases de escape desde el motor puede generar la condición	4	2	1	10	5	44						X	4000H	MECANICO	
						9	Accumulación de contaminantes (carbón)	9	El motor pierde potencia por falta de aire de admisión, lo que puede causar que la mezcla se escape dentro de la cámara de la operación. El tiempo medio para reemplazar la falla es de 20 minutos	3	Relacionada a la operación: los ductos de admisión pueden dañarse por falta de inspección	2	3	1	8	10	10	10	10	10	10	10	10	X	1000H	MECANICO
						10	Filtro de aire tapado	10	La obtención por exceso de carbón puede causar que el motor pierda potencia en la operación y que el operador envíe la máquina a mantenimiento. El tiempo promedio de reparación sería de 15 minutos	3	Relacionada al mantenimiento: la acumulación de impurezas en el colector de admisión que genera exceso de carbón que se acumula en la cámara de combustión	4	2	1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	X	1000H	MECANICO
						11	Filtro de aire roto	11	Perdida de potencia de motor o no enciende generando pérdida en la máquina bajo condiciones de operación	5	Relacionada a la operación: Anillo de máquina roto hacia por el elemento filtrante y se acumula en grandes partículas en las paredes del filtro	2	3	1	8	10	100							X	500H	MECANICO
						12	Filtros de combustible obstruidos	12	Contaminación principal del turbocompresor, lo que genera daños en los alabes y pérdida de partículas al bloque de motor que puede generar problemas de revisión mayores	3	Relacionada a la operación: Cuando el filtro se rompe puede ser debido a una mala instalación, desajuste cuando se limpian o la carcasa protectora tiene roturas	2	3	1	8	10	10	10	10	10	10	10	10	X	500H	MECANICO
						13	Filtros de agua	13	El motor pierde la capacidad de entrega de potencia, se contaminan el medio ambiente por las emisiones del motor, puede incrementar el costo de operación del equipo, el tiempo de parada de máquina no supera los 15 minutos	3	Relacionado al mantenimiento: Demerada contaminación en el combustible causa que el filtro se obstruya, también la acumulación de residuos de agua no permite la adecuada filtración. Afecta la calidad del filtro y el tiempo de parada no supera los 15 minutos	2	3	1	10	5	60							X	50H	MECANICO
						14	Filtros de combustible rotos	14	Filtrar los líquidos y el aire que ingresa al motor tales como aire, aceite y combustible. Previene la entrada de contaminantes al bloque de motor y a componentes auxiliares. El parámetro de funcionamiento está dado por las micras de filtrado de cada elemento	4	Contaminantes entran al bloque de motor causando daños en los cilindros, suplantamiento de inyecciones, conductos de alta presión o daños en la bomba. Afecta la calidad de funcionamiento del equipo. Tiempo de parada de máquina 30 minutos	3	Relacionada al mantenimiento: los filtros se rotan inadecuadamente, provenientes de un exceso de desechos, periodo de cambio del filtro no se respetó y la acumulación de contaminantes provoca rotura en la membrana	5	3	1	8	5	100						X	500H
15	Tubería de admisión de aire rota	15	El aire que ingresa al compresor entra al turbocompresor en el mantenimiento lo que se detecta inmediatamente en los alabes del turbocompresor y contaminante en el motor y postenfriador. Afecta la calidad de trabajo de la máquina	2	Relacionada al mantenimiento: cuando se realizan los mantenimientos no se toman precauciones y se dañan los alabes por generar daños en los ductos de aire, se evita recibir por problemas de trabajo puede causar la rotura	3	3	1	8	10	10	10	10	10	10	10	10	X	2000H	MECANICO						
16	Mangueras de drenaje obstruidas	16	El motor pierde la eficiencia en la operación, puede fugarse y escape y se encuentra en un estado de funcionamiento con un equipo de seguridad del personal. Tiempo de parada de máquina no supera los 30 minutos	3	Relacionada a la operación y mantenimiento: el inadecuado montaje del ducto de admisión ya sea de aire o de combustible, así como el mal uso de los componentes de entrada al motor	2	3	1	8	10	10	10	10	10	10	10	10	X	200H	MECANICO						
17		17																X	200H	MECANICO						

Anexo C. Análisis Modo y Efecto de Falla – Sistema Motor (Continuación)

Categoría	Subcategoría	Modo de falla	Efecto de falla	Causa raíz	Gravedad	Frecuencia	Detección	Mitigación	Riesgo	Indicador	Acción Correctiva	Frecuencia de Mantenimiento	Responsable						
														Impacto	Exposición	Control			
3	Mecánico - Combustión OM 926 LA	Inyectores	Pulverizar el combustible para suministrarlo en cada uno de los cilindros en el bloque de motor garantizando la eficiencia en el consumo de combustible	1. Inyector tapado	Se pierde la capacidad de entrega de potencia del motor. También hay una contaminación ambiental porque las emisiones cambian y se ve disminuida la calidad de suministro de potencia a los bombos. El tiempo para reparar la máquina podría llegar a las 8 horas.	2	Relacionadas a la operación. El inyector se tapa por la entrada de contaminantes en los conductos de alta presión que tapara la boquilla de pulverización.	4	2	2	8	10	53	X	Realizar calibración de tiempos adecuados de inyección.	200H	MECÁNICO		
				2. Baja presión en la inyección	Cuando la presión en la inyección en el motor es baja el motor se apaga y pierde la potencia. Bajo carga esto puede generar un accidente si la máquina está desregulada en pendiente o en calicata. El tiempo para reparar la máquina podría superar las 2 horas.	2	Relacionadas a la operación. La unidad de control no acciona la válvula solenoide de apertura y el inyector no funciona adecuadamente. La bomba de inyección tiene problemas de funcionamiento.	4	3	1	8	10	53	X	Verificar estado del sensor de mando de cabeza de los inyectores y comprobar correcta presión de inyección.	1000H			
				2. Inyector no pulveriza combustible	Se evidencia el consumo excesivo de combustible y la pérdida de potencia, el motor no es capaz de trabajar en ralentí. Se ve afectada la calidad de la operación en horas de mina. El tiempo para reparar la máquina sería de 4 horas.	2	Relacionadas al mantenimiento. El inyector fue instalado incorrectamente sufriendo daños en la cabeza de inyección haciendo que se pierda la presión en la inyección.	4	5	2	10	10	63	X	Cambiar inyector si presentan tapamientos o daños irreversibles.	800H			
		Tubería de inyección	Conducir el combustible a alta presión desde la bomba hacia cada uno de los inyectores del motor con una presión de	1. Fuga en tubería de inyección	El motor pierde eficiencia y puede llegar a apagarse, tiempo para arreglarlo con otros tres pistones, se evidencia un aumento en el combustible por la fuga de presión en la tubería que conduce el combustible hacia el inyector. Operaciones en mina de mantenimiento el tiempo promedio de parada por la falla podría superar las 4 h.	2	Relacionadas al mantenimiento. El motor no acciona la válvula solenoide de apertura y el inyector no funciona adecuadamente. La bomba de inyección tiene problemas de funcionamiento.	3	3	1	10	10	54	X	Inspeccionar el ajuste de las tuberías de inyección desde la bomba hacia los inyectores (que no estén dañadas o con mal funcionamiento).	100H		ELECTRÓNICA	
				2. Tubería de inyección rota/partida	Se produce una contaminación del medio ambiente por exceso de humo negro y el escape puede ser ingresado a túnel. El tiempo para reparar la bomba sería de 2 horas.	1	Relacionadas a la operación. La tubería de mantenimiento el tiempo promedio de parada por la falla podría superar las 4 h.	3	3	2	10	10	70	X	Inspeccionar estado estructural de las tuberías de inyección del motor.	1000H		MECÁNICO	
				1. Baja presión en bomba de inyección	Se produce una contaminación del medio ambiente por exceso de humo negro y el escape puede ser ingresado a túnel. El tiempo para reparar la bomba sería de 2 horas.	2	Relacionadas al mantenimiento. Los tapamientos de los conductos que llevan combustible hacia la bomba no permiten el suministro adecuado de combustible.	4	2	2	15	10	66	X	Purgar el tanque de combustible evacuando residuos contaminantes/agua condensada.	200H			
	Bombas de inyección de combustible	Suministrar el combustible a alta presión hacia cada uno de los inyectores, estas son controladas por el módulo de control electrónico que genera una presión de inyección de alrededor de 2000psi	2. La bomba no genera presión de inyección	El motor no enciende y se detiene la producción. El tiempo para reparar la bomba puede superar 1 semana en taller de mantenimiento.	1	Relacionadas a la operación. La bomba sufre daños internos y es necesario cambiarla.	3	5	3	8	10	28	X	Realizar calibración de las bombas de inyección.	200H	MECÁNICO			
			3. Baja presión de inyección	La bomba puede fallar los inyectores a causar la parada del motor y no permitir el ingreso a horas de mina. El tiempo para revisar el estándar sería de 4 horas.	2	Relacionadas al mantenimiento. Combustible inadecuado o falta en el sistema de control.	3	3	2	8	10	53	X	Verificar funcionamiento de los sensores del motor (que no estén dañados o con mal funcionamiento).	1000H				
			4. Sobreexposición de inyección	El motor se apaga por alarma de inyección. Se activa la alarma de combustible sin cuando hay en el depósito. Se detiene la producción de la máquina en frente de mina.	3	Relacionadas a la operación. Dado en los sensores, cables cortados o alguna falla que provoca la lectura inadecuada y posterior parada de la máquina.	4	3	1	8	10	78	X	Verificar estado de los sensores de presión e indicadores de nivel de combustible.	500H				
	4	Mecánico - Combustión OM 926 LA	Turbocompresor	Usar los gases de escape para comprimir y suministrar el suministro de aire de admisión, la potencia que puede generar es alrededor de los 100000RPM	1. Eje de turbocompresor no gira	No hay compresión de aire en el sistema, lo que provoca la pérdida de eficiencia en el motor y la incapacidad de trabajar bajo carga. La producción se ve afectada porque el equipo se queda parado en horas de mina. El tiempo para reparar el motor por el fallo del turbocompresor puede superar la semana en mantenimiento.	1	Relacionadas a la operación. El reparador arranca el equipo en frío, cuando que no se puede hacer el turbocompresor y solo daña en el eje y posteriormente en los labios.	4	2	3	8	10	27	X	Limpiar carcasa interna del turbocompresor para eliminar hollín acumulado.	200H	MECÁNICO	
					2. Paso de combustible al escape	Sobrecalentamiento en el catalizador y se quema el sustrato cerámico. Tiempo para reparar el catalizador 16 horas.	1	Relacionadas a la operación. El catalizador puede romper cuando se golpea o debido a que no está diseñado para soportar las temperaturas de los gases de escape.	4	2	1	5	10	46	X	Revisar el núcleo del postenfriador de aire del turbocompresor.	1000H		
					3. Motor no permanece en ralentí	Contaminación ambiental por el humo negro de escape. No se permite la operación del equipo dentro de mina. El tiempo para reparar sería de 8 horas.	3	Relacionadas a la operación. El reparador arranca el equipo en frío, cuando que no se puede hacer el turbocompresor y solo daña en el eje y posteriormente en los labios.	4	2	1	5	10	46	X	Limpiar el postenfriador de aire del turbocompresor.	1000H		
Catalizador			reducir la contaminación producida al escapar los gases de escape al exterior	2. Rotura de tubería de contaminantes	Se enciende el termostato de falla sistema emisores en el panel de instrumentos y no se permite la operación dentro de mina.	3	Aumento excesivo de ruido producido por el motor. Contaminación ambiental dentro y fuera de mina. El tiempo para cambiar el catalizador sería de 4 horas.	3	Relacionadas a la operación. El catalizador puede romper cuando se golpea o debido a que no está diseñado para soportar las temperaturas de los gases de escape.	4	2	2	10	10	99	X	Comprobar el estado del catalizador en búsqueda de grietas o roturas que presente.	200H	MECÁNICO
				3. Motor no permanece en ralentí	Se enciende el termostato de falla sistema emisores en el panel de instrumentos y no se permite la operación dentro de mina.	3	Contaminación ambiental por el humo negro de escape. No se permite la operación del equipo dentro de mina. El tiempo para reparar sería de 8 horas.	3	Relacionadas a la operación. El reparador arranca el equipo en frío, cuando que no se puede hacer el turbocompresor y solo daña en el eje y posteriormente en los labios.	4	2	1	5	10	46	X	Inspeccionar el ajuste de la tubería de evacuación de residuos de comportamiento de aire hacia tubo de escape.	25H	
				4. Catalizador roto	Aumento excesivo de ruido producido por el motor. Contaminación ambiental dentro y fuera de mina. El tiempo para cambiar el catalizador sería de 4 horas.	3	Relacionadas a la operación. Dado en los sensores, cables cortados o alguna falla que provoca la lectura inadecuada y posterior parada de la máquina.	4	2	2	10	10	99	X	Verificar el estado de ajuste de los soportes del catalizador.	1000H			
Multiple de escape		Colector de gases de escape que los conduce hacia el turbocompresor y al catalizador	1. Acumulación de hollín en el colector	Dañó en el turbocompresor en el lado caliente por gases de escape acumulados como hollín. Tiempo para corregir la falla sería 1 hora.	3	Relacionadas a la operación. Falta de limpieza del colector.	1	3	1	8	10	99	X	Limpiar el colector de escape/fuerza eliminando hollín acumulado.	400H	MECÁNICO			
			2. Fuga de gases de escape	Contaminación del ambiente y salida de humo desde compartimiento de motor. Pérdida de eficiencia en el motor bajo carga. Tiempo para corregir la falla sería de 2 horas.	1	Relacionadas al mantenimiento. Daño en la junta del colector de admisión.	1	3	1	8	10	29	X	Cambiar la junta del colector de escape si hay fugas de humo en el compartimiento de motor.	400H				
			3. Colector agrietado/dañado	Posible rotura del multiple de escape ocasionando una contaminación por humo y ruido que obliga a detener la máquina. El tiempo para cambiar el colector superaría la semana en taller de mantenimiento.	1	Relacionadas a la operación. Excesiva temperatura en el motor.	4	3	2	10	10	29	X	Cambiar el colector de admisión si hay un grave aumento de evidencia de agrietamiento por sobrecalentamiento.	12000H				
Tubo de escape		Revenir gases de combustión al exterior	1. Tubo de escape roto	contaminación ambiental y audiosa. Tiempo para reparar el tubo de escape 1 hora.	2	Relacionadas a la operación. Golpeo en la operación.	3	3	1	5	10	44	X	Reparar sección de tubo de escape rota, si hay fugas de humo excesiva.	200H	MECÁNICO			
			2. Tubo de escape atascado	Pérdida de potencia de motor y pérdida de turbocompresor que detiene automáticamente el escape para la producción. Tiempo para revisar la falla 1 hora.	2	Relacionadas al mantenimiento. Ineficiencia térmica o deformaciones.	1	3	1	5	10	44	X	Limpiar tubo de escape de contaminantes, agua o acumulación de hollín.	200H				

Anexo D. Análisis Modo y Efecto de Falla – Sistema Motor (Continuación)

Sistema	Componente	Modo de falla	Efecto de falla	Causa de falla	Efectos secundarios	Gravedad	Frecuencia	Detección	Prevención	Mitigación	Evidencia	Código de falla	Categoría	Estado			
														Activo	Inactivo		
AUXILIARES OM 926 LA	Correas y tensores de correa	1	Correa sangrante	Posible de eficiencia en la transmisión de potencia a los componentes accionados, a la larga. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. Dañado por exceso de tensión o por un cambio de correa inadecuado.	3	1	1	1	1	1	1	MECÁNICO	X	Reemplazar correa de motor	10001	
		2	Fuente de correa con grietas											MECÁNICO	X	Limpieza la correa de motor y probar funcionamiento a la carga normal. Cambiar correa si es necesario.	10001
		3	Tensioner oxidado.	La correa sufre de elongación excesiva por el uso prolongado. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. El tensioner puede estar oxidado o dañado.	3	1	1	1	1	1	1	1	MECÁNICO	X	Inspeccionar el estado de los tensores de correa.	10001
		4	Tensioner atascado.											MECÁNICO	X	Reemplazar tensioner. Reemplazar de serie.	10001
		5	Tensioner suelto.											MECÁNICO	X	Ajustar tensores de acuerdo a las especificaciones del fabricante.	10001
	Lineas y mangueras	1	Problemas de flujo de agua	El flujo de agua puede ser afectado por la presencia de obstrucciones en las líneas de distribución.	Relacionada a la operación. El flujo de agua puede ser afectado por la presencia de obstrucciones en las líneas de distribución.	3	1	1	1	1	1	1	1	MECÁNICO	X	Verificar estado de líneas y mangueras de motor en busca de fugas.	10001
		2	Atascos en las mangueras de motor											MECÁNICO	X	Eliminar mangueras de motor y reemplazar con nuevas.	10001
		3	Atascos en las mangueras de motor											MECÁNICO	X	Eliminar mangueras de motor y reemplazar con nuevas.	10001
		4	Atascos en las mangueras de motor											MECÁNICO	X	Eliminar mangueras de motor y reemplazar con nuevas.	10001
		5	Atascos en las mangueras de motor											MECÁNICO	X	Eliminar mangueras de motor y reemplazar con nuevas.	10001
REFRIGERACIÓN 6 MOTOR OM 926 LA	Bomba de refrigerante	1	Rotura de la bomba	El motor puede estar dañado por la rotura de la bomba de refrigerante. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. La bomba de refrigerante puede estar dañada por la rotura de la bomba de refrigerante.	3	1	1	1	1	1	1	MECÁNICO	X	Inspeccionar el estado de la bomba de refrigerante.	10001	
		2	Fugas en la bomba											MECÁNICO	X	Verificar que no haya fugas en la bomba de agua del refrigerante.	10001
	Refrigerante	1	Fugas en las mangueras	El nivel de refrigerante puede ser afectado por la presencia de fugas en las mangueras. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. El nivel de refrigerante puede ser afectado por la presencia de fugas en las mangueras.	3	1	1	1	1	1	1	MECÁNICO	X	Eliminar mangueras de motor y reemplazar con nuevas.	10001	
		2	Refrigerante contaminado											MECÁNICO	X	Eliminar refrigerante contaminado y reemplazar con nuevo.	10001
	Tapa de radiador	1	Tapa obstruida	El sistema de refrigeración puede estar afectado por la obstrucción de la tapa de radiador. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. El sistema de refrigeración puede estar afectado por la obstrucción de la tapa de radiador.	3	1	1	1	1	1	1	MECÁNICO	X	Limpieza la tapa del radiador del motor.	10001	
		2	Insuficiente nivel de refrigerante	El nivel de refrigerante puede ser afectado por la presencia de fugas en el sistema de refrigeración. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. El nivel de refrigerante puede ser afectado por la presencia de fugas en el sistema de refrigeración.	3	1	1	1	1	1	1	MECÁNICO	X	Eliminar mangueras de motor y reemplazar con nuevas.	10001	
	Drenaje de refrigerante	1	Problemas de drenaje de refrigerante	El drenaje de refrigerante puede ser afectado por la presencia de obstrucciones en el drenaje. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. El drenaje de refrigerante puede ser afectado por la presencia de obstrucciones en el drenaje.	3	1	1	1	1	1	1	MECÁNICO	X	Verificar que no se generen fugas por el drenaje de refrigerante.	10001	
		2	Problemas de drenaje de refrigerante											MECÁNICO	X	Verificar que no se generen fugas por el drenaje de refrigerante.	10001
	Radiador/intercambiador de calor	1	Radiador roto	El sistema de refrigeración puede estar afectado por la rotura del radiador. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. El sistema de refrigeración puede estar afectado por la rotura del radiador.	3	1	1	1	1	1	1	MECÁNICO	X	Inspeccionar el estado de los radiadores del motor y reemplazar con nuevos.	10001	
		2	Radiador obstruido											MECÁNICO	X	Eliminar mangueras de motor y reemplazar con nuevas.	10001
Termostato	1	La válvula no se abre	El termostato puede estar afectado por la presencia de obstrucciones en la válvula. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. El termostato puede estar afectado por la presencia de obstrucciones en la válvula.	3	1	1	1	1	1	1	MECÁNICO	X	Inspeccionar el funcionamiento del termostato del refrigerante y ajustar según funcionamiento.	10001		
	2	La válvula no se abre											MECÁNICO	X	Inspeccionar el funcionamiento del termostato del refrigerante y ajustar según funcionamiento.	10001	
Ventilador	1	Ventilador roto	El flujo de aire puede ser afectado por la rotura del ventilador. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. El flujo de aire puede ser afectado por la rotura del ventilador.	3	1	1	1	1	1	1	MECÁNICO	X	Verificar la integridad del ventilador del motor y reemplazar con nuevo.	10001		
	2	Ventilador roto											MECÁNICO	X	Verificar el funcionamiento del motor del ventilador del motor y reemplazar con nuevo.	10001	
ARRANQUE OM 926 LA	Motor de arranque	1	Motor de arranque no funciona	El motor de arranque puede estar dañado por la presencia de obstrucciones en el motor. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. El motor de arranque puede estar dañado por la presencia de obstrucciones en el motor.	3	1	1	1	1	1	1	ELECTRICO	X	Inspeccionar el estado del motor de arranque y reemplazar con nuevo.	10001	
		2	El motor de arranque no funciona											ELECTRICO	X	Inspeccionar el estado del motor de arranque y reemplazar con nuevo.	10001
		3	El motor de arranque no funciona											ELECTRICO	X	Inspeccionar el estado del motor de arranque y reemplazar con nuevo.	10001
	Módulo de control electrónico	1	ECM quemado	El módulo de control electrónico puede estar dañado por la presencia de obstrucciones en el módulo. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. El módulo de control electrónico puede estar dañado por la presencia de obstrucciones en el módulo.	3	1	1	1	1	1	1	ELECTRICO	X	Inspeccionar el estado del módulo de control electrónico y reemplazar con nuevo.	10001	
		2	ECM quemado											ELECTRICO	X	Inspeccionar el estado del módulo de control electrónico y reemplazar con nuevo.	10001
	Baterías	1	Batería dañada	El sistema de arranque puede estar afectado por la presencia de obstrucciones en la batería. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. El sistema de arranque puede estar afectado por la presencia de obstrucciones en la batería.	3	1	1	1	1	1	1	ELECTRICO	X	Reemplazar batería, si la carga es demasiado baja y no se carga al cargar.	10001	
		2	Batería dañada											ELECTRICO	X	Reemplazar batería, si la carga es demasiado baja y no se carga al cargar.	10001
		3	Batería dañada											ELECTRICO	X	Reemplazar batería, si la carga es demasiado baja y no se carga al cargar.	10001
	Alternador	1	Problemas de funcionamiento del alternador	El sistema de arranque puede estar afectado por la presencia de obstrucciones en el alternador. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. El sistema de arranque puede estar afectado por la presencia de obstrucciones en el alternador.	3	1	1	1	1	1	1	ELECTRICO	X	Inspeccionar el estado del alternador y reemplazar con nuevo.	10001	
		2	Problemas de funcionamiento del alternador											ELECTRICO	X	Inspeccionar el estado del alternador y reemplazar con nuevo.	10001
3		Problemas de funcionamiento del alternador											ELECTRICO	X	Inspeccionar el estado del alternador y reemplazar con nuevo.	10001	
Paradas de emergencia	1	Botón no se libera	El sistema de arranque puede estar afectado por la presencia de obstrucciones en el botón. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. El sistema de arranque puede estar afectado por la presencia de obstrucciones en el botón.	3	1	1	1	1	1	1	ELECTRICO	X	Inspeccionar el funcionamiento del botón de parada de emergencia y reemplazar con nuevo.	10001		
	2	Botón no se libera											ELECTRICO	X	Inspeccionar el funcionamiento del botón de parada de emergencia y reemplazar con nuevo.	10001	
Módulo de control electrónico	1	ECM quemado	El módulo de control electrónico puede estar dañado por la presencia de obstrucciones en el módulo. El tiempo para reparar la fuga puede ser de 30 días.	Relacionada a la operación. El módulo de control electrónico puede estar dañado por la presencia de obstrucciones en el módulo.	3	1	1	1	1	1	1	ELECTRICO	X	Inspeccionar el estado del módulo de control electrónico y reemplazar con nuevo.	10001		
	2	ECM quemado											ELECTRICO	X	Inspeccionar el estado del módulo de control electrónico y reemplazar con nuevo.	10001	

Anexo E. Análisis Modo y Efecto de Falla – Sistema Traslación

		GERENCIA DE OPERACIONES															Código:		OP-MAN-0004			
		MANTENIMIENTO ELECTROMECÁNICO															Versión:		1			
		FORMATO ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS															Fecha Or:		09/02/2018			
																	Fecha Act:					
EQUIPO:		CARGADOR DE BARRA FIDEL SANDWICH L100															X Debe realizarse el cambio					
PLACA:		EM-0010																				
UBICACIÓN:		EM-0010																				
OBSERVACIONES:																	TAREAS DE MANTENIMIENTO					
SISTEMA	C	COMPONENTE	OPERACION O RACION	NO	MOD DE FALLA	EF	EFECCO DE FALLA	FREC DE FALLA	CAUSAS DE FALLA	IMPACTO A PRODUCCION	CAPACIDAD DE RESPALDO	EDDTO DE REPARACION	IMPACTO A SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	REPERIBILIDAD	RECURSOS	INTERFERENCIA MTO	DEFERCIÓN TAREAS	ACTIVIDAD PROPUESTA	FREC	REALIZACIÓN	
NEUMÁTICOS	G	Llantas	Cubierta de caucho que facilita el desplazamiento del equipo	1	Llanta desgastada	4	Cuando la llanta está desgastada la máquina está expuesta a mayor deslizamiento dentro de mina, no afecta la operación directamente	4	Relacionada al ambiente y operación; desgaste por operación o mala técnica de operación	4	3	2	15	5	100			X	Reemplazar llanta que presente desgaste excesivo o confundida pronunciada	020H	MECÁNICO	
				2	Llanta deformada	4	Puede generar un riesgo para la seguridad si la llanta se desinfla por deformación anormal. No afecta directamente la operación pero se ve obligada a realizar el cambio de la llanta	1	2	1	5	5	5	5	50	X		Comprobar la presión de los neumáticos y el desgaste que tenga en el perfil de la zona de lajeo	50H	OPERADOR		
				3	Fuga de aire por la llanta	4	Si la presión en el sistema de aire genera alarmas en el panel de control y por condiciones de seguridad tenga que ser corregida la presión antes de iniciar la operación	1	1	1	1	5	5	5	5	40	X		Ajustar presión neumáticos (Solimontes: 025 KPa, Tronera: 005 KPa)	50H	MECÁNICO	
				4	Llanta suelta	4	Desgaste irregular y vibración de equipo que puede llevar a afectar la operación y condición del equipo	1	1	1	1	5	5	5	5	40	X			Ajustar los espaceros (torque de apriete 60Nm)	50H	MECÁNICO
FRENO DE SERVICIO	F	Revestimiento de frenos	Elemento de unión entre el eje y la base de los discos o campanas	1	Revestimiento de freno desgastado	4	Puede generar un riesgo para la seguridad del operador y la operación en general al vibrar excesivamente el equipo se está desplazando dentro de mina y en superficie	1	2	1	5	5	5	50			X		Ajustar los espaceros (torque de apriete 60Nm)	50H	MECÁNICO	
				2	Deficiencia estructural (trabuco, desgaste, corrosión)	4	Puede generar un riesgo para la seguridad del operador y la operación en general al vibrar excesivamente el equipo se está desplazando dentro de mina y en superficie	1	2	1	5	5	5	5	50			X		Ajustar los espaceros (torque de apriete 60Nm)	50H	MECÁNICO
		Unidad de filtración Z306	Elemento filtro de partículas de aire para frenos de accionamiento hidráulico	1	Filtro tapado	3	Obstrucción del sistema hidráulico de freno que puede generar condiciones inseguras y alarmas en panel de navegación	1	3	1	15	20	100					X	Reemplazar revestimiento de los frenos según desgaste esperado	200H	MECÁNICO	
				2	Fuga de aceite	3	Relacionada al mantenimiento. Acusada de cambio de filtro de partículas de freno por parte de mantenimiento y aceite contaminado que tapara el filtro	1	3	1	15	20	100					X	Realizar la medición del desgaste del revestimiento de los frenos por sistema del operador esta al mínimo nivel del casquillo (resaca)	100H	MECÁNICO	
		Acumulador de presión Z309	Mantenimiento presión en el sistema de frenos con una presión de 345 Psi	1	Baja presión en los acumuladores	2	El problema se ve reflejado en el sistema de freno de freno que la presión en la línea de freno a través de la válvula de servicio o de emergencia	2	Relacionada a la operación y mantenimiento. Falta de carga de presión de los acumuladores y/o acumuladores rotos	2	3	1	15	5	50	X			Inspeccionar presión de los acumuladores de presión del sistema de frenos (120-130 bar)	100H	ELECTROMECÁNICO	
				2	Fuga por la válvula	2	Se genera una pérdida de la presión en el sistema de freno que puede generar alarma en el panel por el sistema de freno. También puede generar contaminación ambiental por derrames del aceite hidráulico por la válvula	3	3	3	1	15	20	50			X		Verificar la presión de válvula de cambio de freno	50H	ELECTROMECÁNICO	
		Válvula de cambio de freno V307	Distribuir la presión de freno de acuerdo al depósito freno de servicio o de emergencia	1	Válvula tapada	1	Relacionada al mantenimiento. Falta de limpieza de la válvula	1	3	1	15	20	40						X	Limpiar válvula de cambio de freno ubicada en el banco que direcciona el aceite para el sistema de freno	100H	ELECTROMECÁNICO
				2	Fuga en posición cerrada	2	Se activan los frenos al mismo tiempo por parte de aceite	2	Relacionada a la operación y mantenimiento. Desgaste esperado del sistema	3	3	1	15	5	50			X		Cambiar válvula de cambio de freno del sistema hidráulico si se presenta fuga o tapamiento	600H	MECÁNICO
				3	Falta al abrir bajo demanda	2	No se activa la válvula y no hay paso de aceite	2	Relacionada a la operación y mantenimiento. Desgaste esperado del sistema	3	3	1	15	5	50			X				
				4	Falta al abrir bajo demanda	2	No se activa la válvula y no hay paso de aceite	2	Relacionada a la operación y mantenimiento. Desgaste esperado del sistema	3	3	1	15	5	50			X				
		Pedal	Palanca accionada por el eje para generar presión sobre el sistema de accionamiento del sistema de frenos y generar el trabajo	1	Pedal atascado	4	No se puede en cabina accionar el pedal de freno lo que puede generar un accidente que reduce que afecta la operación y el riesgo a la seguridad del personal	2	3	1	15	5	100						X	Lubricar los puntos de los pedales de freno y accionador de cabina	20H	OPERADOR
				2	Fuga de aceite por mangueras	3	Contaminación del ambiente por gases de aceite hidráulico y alta presión del sistema de frenos. El tiempo medio para reparar la falla puede ser de 2h	5	Relacionada al mantenimiento. Falta de inspección de la presión de freno y de estado de las mangueras hidráulicas	3	3	2	15	20	200			X		Inspeccionar estado de las mangueras hidráulicas del sistema de frenos	20H	MECÁNICO
Mangueras hidráulicas de doble canal	Conjunto de mangueras hidráulicas que conducen el fluido hidráulico de freno que acciona el sistema hasta los revestimientos en cada uno de los ejes	1	Manguera rota	5	No hay accionamiento del sistema de freno, lo que constituye un riesgo para la seguridad y operación del equipo. No se puede operar el equipo. El tiempo medio para reparar la falla puede ser de 1h	5	Relacionada a la operación. Desgaste por operación y movimiento del equipo											X	Cambiar mangueras de sistema hidráulico de freno	100H	MECÁNICO	
		2	Deposito contaminado	2	Contaminación del sistema hidráulico de freno, lo que constituye un riesgo para la seguridad y operación del equipo. No afecta directamente la operación de la máquina. El tiempo medio para reparar la falla puede ser de 2h	2	Relacionada al mantenimiento. Insuficiente mantenimiento al sistema hidráulico y fuga del depósito	4	3	2	15	10	40					X	Limpieza del tanque de depósito de hidráulico de freno por medio de la válvula de drenaje de contaminantes	20H	MECÁNICO	
Válvula proporcional hidráulica	Componente de accionamiento del freno de accionamiento por medio de fluido hidráulico	1	Taponamiento - válvula no envía fluido	3	No hay presión de accionamiento del sistema de parqueo	3	2	1	15	20	100						X	Inspeccionar funcionamiento de las válvulas proporcionales del sistema de parqueo	200H	MECÁNICO		
		2	Lectura anormal presión - bajo nivel de fluido hidráulico	4	No se activa el freno de estacionamiento	4	Relacionada al mantenimiento. No se verifica de acuerdo a los parámetros el nivel de fluido	3	3	1	15	5	100			X		Revisar presión en el sistema de freno, lubricar en pantalla y verificar con instrumento de medida	20H	MECÁNICO		
Válvula solenoide de accionamiento de freno de emergencia	Unidad para detener la máquina cuando el freno de servicio no puede ser accionado por el pedal	1	Taponamiento en la válvula solenoide	3	No se activa freno de emergencia/operación de emergencia	3	Relacionada al mantenimiento. Aceite contaminado o incorrecto	4	3	2	15	5	50				X		Comprobar activación de freno de emergencia	50H	MECÁNICO	
		2	Fuga interna - distribución de la presión de activación de la válvula	3	El freno de emergencia no se activa automáticamente y la máquina se detiene	3	Relacionada a la operación. Aceite contaminado y/o de las mangueras	4	3	2	10	5	50				X		Cambiar tamaño de mangueras de freno de emergencia entre válvula solenoide y válvula freno de servicio si presenta abrasión	200H	MECÁNICO	
Botón de accionamiento de freno de emergencia	Deficiencia estructural del botón no se activa	1	Deficiencia estructural del botón no se activa	2	No se activa el freno de emergencia en el modo manual	2	Relacionada a la operación. Mala utilización del operador	2	3	1	15	5	50				X		Inspeccionar botón de activación manual de freno de emergencia que funciona y activa la alarma	50H	MECÁNICO	

Anexo G. Análisis Modo y Efecto de Falla – Sistema Hidráulico

GERENCIA DE OPERACIONES										Código		IP-MAN-0004												
MANTENIMIENTO ELECTROMECANICO										Versión: 1		Fecha: 02/09/2018												
FORMATO ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS										Fecha Creación:		Fecha Actual:												
CARROZCO DE BULO PARRAL LARGO DE LUZES										Ejemplar:		X Debe realizarse el cambio												
EMBOQUE										Ejemplar:		Ejemplar:												
CONSECUENCIAS										Ejemplar:		Ejemplar:												
TABLA DE MANTENIMIENTO										Ejemplar:		Ejemplar:												
ITEM	C	COMPONENTE	F	OPERACION O FUNCION	M	MODO DE FALLA	E	EFFECTO DE FALLA	PREV. DE FALLA	CAUSA DE FALLA	IMPACTO A PRODUCCION	CAPACIDAD DE RESPUESTA	EFECTO DE RESPUESTA	IMPACTO A SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	SEVERIDAD	ACCIONES	RECOMENDACIONES	VERIFICACION	ACTIVIDAD PROPUESTA	FREC.	REALIZADO CON		
1	D	DEPOSITO	A	Tanque Hidráulico para carga y dirección	Contenedor para el almacenamiento del aceite hidráulico	1	Acumulación de contaminantes	Deterioración de los filtros hidráulicos	2	Relacionados al mantenimiento según sea	3	3	1	5	5	5	34	X		Limpiar tanque hidráulico	100%	MECANICO		
						2	Fuga externa	Perdida de aceite y presión	2	Relacionados a la operación en el tanque de aceite	4	3	2	10	5	40								
	A	Tanque Hidráulico para sistema de frenos	Contenedor para el almacenamiento del aceite hidráulico	1	Acumulación de contaminantes	Deterioramiento de filtros o válvulas de control	2	Relacionados al correcto mantenimiento del depósito	4	3	2	10	5	40			X		Cambiar filtro respiración tanque hidráulico	100%	OPERADOR			
				2	Fuga externa	Perdida de aceite	2	Relacionados al correcto mantenimiento del depósito	4	3	2	10	5	40			X		Reparación del tanque con soldadura y control de fuga	100%	MECANICO			
	2	B	BOOM Y CUBETA	A	Cilindro de inclinación	Encargado del movimiento de la cubeta respecto a la inclinación de la carga	1	Acumulación de contaminantes	Deterioramiento de filtros o válvulas de control	2	Relacionados al correcto mantenimiento del depósito	4	3	2	10	5	40			X		Reparación del tanque con soldadura y control de fuga	100%	MECANICO
							2	Fuga externa	Perdida de aceite	2	Relacionados al correcto mantenimiento del depósito	4	3	2	10	5	40			X				
A		Cilindro de levantamiento	Encargado del levantamiento de los brazos de boom	1	Acumulación de contaminantes	Deterioramiento de filtros o válvulas de control	2	Relacionados al correcto mantenimiento del depósito	4	3	2	10	5	40			X		Cambiar filtro respiración tanque hidráulico	100%	OPERADOR			
				2	Fuga externa	Perdida de aceite	2	Relacionados al correcto mantenimiento del depósito	4	3	2	10	5	40			X		Reparación del tanque con soldadura y control de fuga	100%	MECANICO			
A		Control del boom	Sistema de válvulas y joystick de accionamiento del boom	1	Acumulación de contaminantes	Deterioramiento de filtros o válvulas de control	2	Relacionados al correcto mantenimiento del depósito	4	3	2	10	5	40			X							
				2	Fuga externa	Perdida de aceite	2	Relacionados al correcto mantenimiento del depósito	4	3	2	10	5	40			X							
3	B	BOMBAS	A	Bomba P3111	Sistema de bomba de presión para la dirección y la válvula de control de la cubeta	1	Alta producción - no hay suficiente presión en el sistema	perdida de presión en el sistema	2	Relacionados a la operación, problemas de mantenimiento en la bomba por falta de aceite	2	3	2	8	5	40		X		Reparación o mantenimiento externo de la bomba P3111	100%	MECANICO		
						2	Baja producción - exceso presión en el sistema	Daños en los sellos de los actuadores	2	Relacionados al montaje sobrevoluntario de la bomba	2	3	5	10	5	40			X		Verificar presión de trabajo de la bomba P3111 (200 bar)	100%	ELECTRICIAN	
	A	Bomba P3511	Sistema de bomba de presión para frenos hidráulicos, enfriador de aceite y aire acondicionado	1	Alta producción - exceso presión en el sistema	Daños en los sellos de los actuadores	2	Relacionados al mantenimiento incorrecto de mantenimiento de la bomba	2	3	2	8	5	40			X		Reparación o mantenimiento externo de la bomba P3511	100%	MECANICO			
				2	Baja producción - no hay suficiente presión en el sistema	El sistema de freno no se activa correctamente y se sobrecalienta el sistema	2	Relacionados a la operación, mala calidad del aceite hidráulico	2	3	1	10	5	40			X		Cambiar kit de sellos de la bomba P3511	100%	MECANICO			
	A	Bomba P3211	Sistema de bomba de presión para el enfriador de la cubeta de apoyo respecto a la bomba P3111	1	Alta producción - exceso presión en el sistema	perdida de presión en el sistema	2	Relacionados a la operación, problemas de mantenimiento en la bomba por falta de aceite	2	3	2	10	5	40			X		Reparación o mantenimiento externo de la bomba P3211	100%	MECANICO			
				2	Baja producción - no hay suficiente presión en el sistema	Daños en los sellos de los actuadores	2	Relacionados al montaje sobrevoluntario de la bomba	2	3	1	8	5	40			X		Verificar presión de trabajo de la bomba P3211 (200 bar)	100%	ELECTRICIAN			
A	Bomba P3311	Sistema de bomba de presión para el enfriador del motor	1	Alta producción - exceso presión en el sistema	habilita daños en el sistema de enfriador del motor	2	Relacionados al mantenimiento incorrecto de mantenimiento de la bomba	4	3	2	10	5	100			X		Reparación o mantenimiento externo de la bomba P3311	100%	ELECTRICO				
			2	Baja producción - no hay suficiente presión en el sistema	No funciona correctamente el enfriador del motor y hay sobrecalentamiento	2	Relacionados a la operación, dengue apropiado del sistema	2	3	1	8	5	40			X		Verificar presión de trabajo de la bomba P3311 (200 bar)	100%	ELECTRICIAN				
C	Bomba de soporte de sistema de freno A3542	En caso de falla de los bombas del equipo esta entra en funcionamiento para salir al sistema de frenos de emergencia y prevenir por medio de un motor eléctrico	1	Falta cantidad de aceite bombeado	Las bombas de freno están de emergencia y no se operan correctamente	2	Relacionados a la instalación, problemas en la bomba no se operan correctamente	1	1	1	1	1	1	5	5	10		X		Inspeccionar estado de la bomba de respaldo del sistema de freno	100%	MECANICO		
			2	Motor eléctrico no funciona	No hay presión en la bomba de respaldo del sistema	2	Relacionados al sistema, no se conectan motores de emergencia	1	1	1	1	1	1	1	5	5	10		X		Inspeccionar estado del motor eléctrico de accionamiento de la bomba de respaldo del sistema de freno	100%	ELECTRICO	
4	L	LINEAS DE SUCCION	A	Línea de succión principal	Grupo de conducto por el cual se succiona el aceite hidráulico desde el tanque hacia los bombas	1	Taponeramiento - se tapa el conducto	No hay flujo de aceite hidráulico hacia las bombas	2	Relacionados al mantenimiento incorrecto de limpieza del depósito hidráulico y aceite contaminado	1	3	1	5	5	10		X		Inspeccionar estado de las líneas de succión del sistema hidráulico	100%	MECANICO		
						2	Dificultad estructural fractura y grietas	perdida de fluido hidráulico y pérdida de presión	2	Relacionados a la operación, dengue apropiado por contaminación de aceite	2	3	2	8	5	40			X		Cambiar líneas de succión del sistema hidráulico	100%	MECANICO	
	B	Línea de desague (bomba freno)	Grupo de mangueras y accesorios que permiten el retorno de aceite hacia el depósito	1	Taponeramiento - se tapa el conducto	Aumento de presión en el sistema	2	Relacionados a la operación, no se conectan mangueras de aceite	1	3	1	10	5	10			X		Limpiar sistema de desague de líneas hidráulicas de freno	100%	MECANICO			
				2	Dificultad estructural fracturas y grietas	Contaminación del sistema hidráulico y fuga de aceite	2	Relacionados a la operación, dengue normal del tapón	1	3	1	5	5	10			X		Inspeccionar estado del tapón de purga del sistema hidráulico	100%	MECANICO			
	D	Línea de succión de freno	Grupo de mangueras de freno para el sistema de frenos hidráulico	1	Taponeramiento - se tapa el conducto	Perdida de presión de aceite en el sistema de freno	2	Relacionados al mantenimiento incorrecto de limpieza en el sistema	2	3	1	10	5	10			X		Inspeccionar líneas de succión del sistema de freno	100%	MECANICO			
				2	Fugas externas	Perdida de aceite hidráulico y presión del sistema	2	Relacionados a la operación, dengue de las mangueras por abrasión	2	3	2	10	5	40			X		Cambiar mangueras hidráulicas y prevenir fugas o abrasión excesiva	100%	MECANICO			
A	Mangueras hidráulicas	Grupo de mangueras que transportan el aceite hidráulico hacia los diferentes actuadores y sistema hidráulico	1	Abrazamiento - las mangueras se doblan inadecuadamente	No hay flujo hidráulico y se rompen las mangueras	2	Relacionados al mantenimiento falta de mangueras del estado de las mangueras	2	3	1	8	5	10			X		Inspeccionar estado de mangueras hidráulicas	100%	MECANICO				
			2	Dificultad estructural fracturas y grietas	Perdida de aceite hidráulico	2	Relacionados a la operación, condiciones de trabajo	2	3	1	5	5	10			X		Cambiar accesorios y componentes de mangueras deteriorados	100%	MECANICO				
5	L	LUBRICACION AUTOMATICA	A	Deposito de lubricante	Deposito de almacenamiento de grasa para el sistema de lubricación	1	Taponeramiento	No se lubrica la máquina adecuadamente	2	Relacionados a la operación, tipo de grasa en el estado	1	1	1	8	5	10		X		Comprobar visualmente el sistema de lubricación automática	100%	MECANICO		
						2	Fugas externas	Perdida de grasa lubricante	2	Relacionados a la operación, golpes o mal trato al depósito	2	3	1	5	5	10			X		Inspeccionar estado del depósito, buscar fugas debilitaciones o abolladuras	100%	MECANICO	
	B	Bomba de envío	Bomba de grasa que se encarga de distribuir el lubricante	1	Falta en el arranque de la bomba	No se envía grasa lubricante al sistema	2	Relacionados al mantenimiento falta de mantenimiento del sistema	1	3	2	8	5	10			X		Revisar funcionamiento de la bomba de envío de grasa a los puntos de lubricación	100%	MECANICO			
				2	Dificultad estructural fracturas y grietas	Perdida de grasa lubricante y falta de lubricación	4	Relacionados a la operación, golpes o fracturas en las líneas por la operación	2	3	1	10	5	100			X		Revisar uno a uno todos los puntos de lubricación en búsqueda de fallas o frías	100%	MECANICO			
D	Rancho de Válvulas direccionales	Válvulas direccionales que envían el aceite hidráulico a los puntos indicados	1	Obstrucción	No se direcciona la grasa hacia los puntos lubricados	2	Relacionados al mantenimiento incorrecto de mantenimiento en el sistema	2	3	1	5	5	10			X		Cambiar filtro de alta presión del sistema de lubricación automática	100%	MECANICO				

Anexo H. Análisis Modo y Efecto de Falla – Sistema Eléctrico

GERENCIA DE OPERACIONES										Código:		OP-MAA-R004													
MANTENIMIENTO ELECTROMECÁNICO										Versión:		1													
FORMATO ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS										Fecha Cre:		12/02/2018													
CAMIONEROS DE BICO PEPER, SINOVA SANTIAGO										Fecha Act:															
EQUIPO:												X debe realizarse el cambio													
PLACA:										E08-E109															
UBICACIÓN:										EMBOQUE															
OBJETIVOS:																									
SISTEMA	C	COMPONENTE	F	OPERACIÓN O FUNCION	M	MODO DE FALLA	EF	EFECTO DE FALLA	PREC. DE FALLA	CAUSAS DE FALLA	IMPACTO A PRODUCCIÓN	CAPACIDAD DE RESPALDO	COSTO DE REPARACIÓN	IMPACTO A SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	UTILIZADO	ACCIÓN	REACTIVACION	REVISIÓN	REVISIÓN	TABLA DE MANTENIMIENTO				
																					ACTIVIDAD PROPUESTA	FREC.	REALIZADO CON		
ENCENDIDO	Cables de encendido	A	1	Conducir alta tensión entre la bobina de encendido y la bujía de la unidad	1	Parada - cables rotos	1	No hay corriente y el motor no enciende	2	Desgaste por vida útil de los cables y rozamiento forzado con otros elementos de la máquina	4	2	2	10	5	40	X				Reestablecer los cables cortados/dañados rotados de la máquina	500h	ELECTRICO		
																					Cambiar los cables deteriorados	1000h	ELECTRICO		
																					Realizar limpieza al circuito afectado	1000h	ELECTRICO		
	Baterías	B	1	Fuente de alimentación para el encendido del motor y para que los componentes eléctricos del equipo funcionen cuando esta apagado	1	Parada inesperada, no hay corriente proveniente de la batería	1	Ruido extraño al el motor de arranque, motor no arranca	3	Desgaste o cumplimiento de la vida útil de la batería	2	2	2	10	5	60				X		Recargar la batería	1000h	ELECTROMECÁNICO	
																						Inspeccionar estado de las baterías	500h	ELECTROMECÁNICO	
																						Sustituir la batería	1000h	ELECTRICO	
Alternador	C	1	suministrar corriente al circuito eléctrico del vehículo por medio de la batería cuando la fuente del motor	1	Parada inesperada, no hay corriente proveniente de la batería	1	Ruido extraño al el motor de arranque, motor no arranca	3	Excesivo desgaste del núcleo y niveles de tensión bajos	4	2	3	10	5	70	X			X		Cambiar el núcleo de fases alternador	4000h	ELECTRICO		
																					Revisar estado de la correa alternador	500h	MECÁNICO		
																					Sustituir los bujes y rodamientos alternador	4000h	ELECTROMECÁNICO		
LUCES	Luces de conducción	A	1	Sistema que incluye luces de alta y baja, accionadas desde la cabina y con sistemas independientes de iluminación	1	Falla en el encendido	1	La máquina no tiene la iluminación suficiente para el trabajo bajo demanda	3	Relacionadas a la operación: Gópes con obstáculos a las luces o tiempo de uso completo	1	1	1	15	5	80				X		Cambiar luces y bombillas quemadas de la iluminación	1000h	ELECTRICO	
																						Luces de parqueo	B	1	Sistema de iluminación encargado de la advertencia del movimiento de la máquina en posicionamiento estático
	Luces de freno y dirección	B	1	Sistema de iluminación de advertencia cuando se acciona el pedal de freno cuando se indica la dirección de movimiento de la máquina	1	Falla de encendido bajo demanda o accionamiento	1	Deficiencia en la iluminación de la máquina y alerta de detención	3	Relacionadas a la operación: daño en el sistema o tiempo de uso completo	2	3	1	15	5	70				X			Sustituir bombillas de luces de frenos y reemplazar unidades partidas	500h	ELECTRICO
																							Luces de cabina	D	1
	Pito y luz de reversa	E	1	Sistema encargado de la advertencia cuando la máquina está en movimiento de reversa	1	Falla de encendido bajo demanda o accionamiento	1	Deficiencia en la iluminación y del pito de advertencia cuando la máquina retrocede	3	Relacionadas a la operación: daño en el sistema o tiempo de uso completo	2	3	1	15	5	30				X			Inspeccionar sistema eléctrico de las luces en general y pito	250h	ELECTRICO
																							Caja de fusibles trasero X3038	A	1
Limpiar compartimiento y caja de fusibles del trasero	250h	ELECTRICO																							
Caja de fusibles delantero X2021	B	1	Caja de inspección y control del sistema eléctrico de la parte delantera de la máquina	1	Desviación de parámetros - elementos quemados	1	Algunos componentes mecánicos no funcionan, se queman los fusibles de la caja	3	Relacionadas a la operación: Debido a los cambios de energía o tiempo de uso de los elementos	2	3	1	8	5	17				X			Sustituir fusibles de la caja de fusibles delantero que estén quemados o requieran cambio		1000h	ELECTRICO
																						Limpiar caja eléctrica de fusibles delantero/granero de agua y contaminantes		250h	ELECTRICO
Caja de fusibles X3056	C	3	Caja de inspección de los fusibles de la máquina	1	Fusibles quemados o dañados por sobrecalentamiento	1	La máquina no enciende o algunos componentes del sistema eléctrico fallan	3	Relacionadas a la operación: tiempo de uso de los fusibles o cortos circuitos	2	3	1	15	5	70				X			Inspeccionar estado de la caja y fusibles de la máquina	250h	ELECTRICO	
																						Limpiar fusibles y contactos de las cajas de inspección eléctricas	250h	ELECTRICO	
CABINA	Aire	A	1	Comprimir el gas (fluido refrigerante) que permite en un ciclo de compresión/decompresión producir una transferencia de calor	1	Se acciona bajo demanda	No se acciona el sistema de aire acondicionado de la máquina	1	Relacionadas al mantenimiento: ausencia de revisión del sistema	1	3	1	8	5	10				X			Revisar funcionamiento del sistema de aire acondicionado	1000h	ELECTROMECÁNICO	
																						Condensador	B	1	Atascamiento
	Evaporador	C	1	Sobrecalentamiento	1	Alta temperatura de cabina por falta en el sistema de climatización	1	Relacionadas al mantenimiento: falta de limpieza del sistema	1	3	1	10	5	20				X							
																						Blower's	D	1	Ventiladores que se encargan de soplar aire en el sistema para ventilación
	Inspeccionar funcionamiento correcto de los blower's en búsqueda de vibraciones y ruidos extraños	1000h	ELECTROMECÁNICO																						
	Motor hidráulico	E	1	Convierte la energía hidráulica proveniente de las bombas para el sistema de aire acondicionado	1	Se detiene bajo demanda	1	No genera energía para mover el compresor	1	Otros: no se conocen las causas de la falla	2	3	1	8	5	10				X			Verificar funcionamiento del motor hidráulico que acciona el compresor de aire de cabina	500h	ELECTROMECÁNICO
																							Perilla y visagras	F	1
	Accesorios	G	1	Componentes que mejoran la visibilidad y comodidad del operador	1	Parada inesperada	1	Reducción de la visibilidad y facilidad de operación de la máquina	1	Relacionadas al mantenimiento: falta de lubricación	1	1	1	8	5	10			X						
Limpiar general de la cabina con productos especializados y sin agua																									Lubricar componentes móviles de la cabina (pedales de freno y acelerador, asiento)