

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 SAS.

DANIEL OJEDA

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

2018

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 SAS.

DANIEL OJEDA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

JUAN ANDRES BERNAL FINO

Máster en Gestión de Activos Físicos y Negocios

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2018

AGRADECIMIENTOS

En el camino encontramos desafíos, los cuales en ocasiones les ponemos freno, en este caso me quede observando, coloque el miedo a un lado y arranque por este camino que hoy me deja este objetivo, sin duda alguna muchas personas me apoyaron para culminarlo por eso quiero expresarles mi aprecio y respeto, en especial a mi esposa e hija, motor de todo lo que hago.

A mi madre, al Ingeniero Clinton Dann por facilitarme esta posibilidad, a la empresa Sociedad Minera de Santander, a la Universidad Industrial de Santander por la calidad de Maestros que me orientaron y hoy me deja este objetivo, Gracias.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	18
1.1 SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER	18
1.1.1 Reseña Histórica.....	18
1.1.2 Ubicación del Proyecto.....	18
1.1.3 Misión Corporativa	19
1.1.4 Visión Corporativa.....	19
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. JUSTIFICACIÓN.....	22
4. ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
4.1 MARCO TEORICO	23
4.1.1 Reability Centered Maintenance.....	23
4.1.2 Key Performance Indicators (KPI).....	25
4.1.3 Mean time between failures (MTBF).	27
4.1.4 Mean Time Through Repair (MTTR).	27

4.1.5 Mean Time To Failure (MTTF).	27
4.1.6 Confiabilidad (R).	28
4.2 MARCO CONCEPTUAL	28
4.3 PERFORADORAS SUBTERRÁNEAS.....	29
4.3.1 Principios de la perforación por percusión.	31
4.4 JUMBO PERFORADOR SANDVIK DD321-40	32
4.4.1 Brazos Articulado BOOMS SB40.	33
4.4.2 Perforadoras HLX5.	34
4.4.3 Sistema de Traslación.	35
4.4.4 Sistema Hidráulico.	38
4.4.5 Sistema Eléctrico.	40
4.4.6 Sistema Aire y Agua.	42
4.4.7 Sistema de Extinción.	44
4.5 MARCO LEGAL	45
4.6 INSTITUCIONES Y NORMATIVIDAD.....	46
4.6.1 SAE International.	46
4.6.2 Reglamento de Seguridad en Labores Mineras Subterráneas.....	46
5. APLICANDO EL PROCESO RCM	47
5.1 DESCRIPCIÓN DEL GRUPO RCM.....	47
5.1.1 Análisis de Criticidad de Flota Equipos Mineros.	48
5.1.2 Contexto Operacional del Jumbo SANDVIK DD321.	50

5.1.3 Definición de la Estructura Funcional del Jumbo Perforador SANDVIK DD321.....	56
5.2 IMPLEMENTACIÓN DE LAS SIETE PREGUNTAS DE RCM	59
5.2.1 Análisis de Modo y Efecto de Fallas Subsistema de Perforadoras HLX5.	59
5.2.2 Lógica de Decisiones.....	61
5.3 DEFINICIÓN DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO	63
5.3.1 Elaboración del Árbol de Decisión..	65
5.3.2 Consolidación del proceso de la Orden de Servicio.....	66
5.3.3 Gestión de la Información en el Módulo TOTVs Protheus.	70
5.3.4 Indicadores Gerenciales del Equipo.	70
5.4 COSTO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO DE LOS JUMBOS SANDVIK DD321	71
5.5 PROYECCIÓN DEL COSTO ANUAL DEL MANTENIMIENTO JUMBO SANDVIK DD321	73
5.5.1 Proyección de Tiempos en los Servicios de Mantenimiento..	76
5.5.2 Proyección de Tiempos de Mantenimiento de 2018 a 2019..	78
5.5.3 Proyección de Costos por Servicio de Mantenimiento.....	79
5.5.4 Proyección de Costo del Mantenimiento en los años 2018 a 2019.....	81
6. CONCLUSIONES.....	84
BIBLIOGRAFIA.....	86
ANEXOS	88

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación Geográfica Proyecto Soto Norte de Minesa.....	19
Figura 2. Flujo de desarrollo RCM	24
Figura 3. Las Siete Preguntas del RCM.....	25
Figura 4. Indicadores de Mantenimiento KPI	26
Figura 5. Ciclo Minero Subterráneo de Perforación y Voladura.....	30
Figura 6. Diagrama de perforación.	31
Figura 7. Isométrico jumbo de perforación Sandvik DD321-40.....	32
Figura 8. Brazo articulado exterior	33
Figura 9. Brazo articulado vista interior.....	34
Figura 10. Perforadora hidráulica HLX5.....	35
Figura 11. Carrier NC7.....	35
Figura 12. Sistema Inyección PLD/MR de MB 904LA.....	36
Figura 13. Ensamble Motor MB 904LA	37
Figura 14. Bomba de pistón axial.....	38
Figura 15. Funcionamiento de la bomba de pistón axial.....	38
Figura 16. Unidad de regulación DRS	39
Figura 17. Comportamiento de percusión.....	39
Figura 18. Funcionamiento del automatismo de retorno	40
Figura 19. Gabinete eléctrico general.....	41

Figura 20. Distribución de PLC, arrancadores y fuentes de voltaje	41
Figura 21. Compresor de Tornillo Gardner Denver	42
Figura 22. Ciclo de funcionamiento del compresor de tornillo	43
Figura 23. Sistema de Bombeo de Agua	44
Figura 24. Diagrama de extinción ANSUL	45
Figura 25. Grupo de Revisión de RCM	47
Figura 26. Matriz de Criticidad y Ponderación	49
Figura 27. Análisis de Criticidad.....	50
Figura 28. Sección Longitudinal del Túnel Planta - Mina del Modelo Generalizado de la Explotación.....	51
Figura 29. Movimiento de Material desde la Mina y en Superficie, Sector El Emboque - Sección Longitudinal.	52
Figura 30. Esquema del Minado Longitudinal con Taladros Largos.	53
Figura 31. Malla de Perforación (Abanico).....	54
Figura 32. Perforaciones Laterales de Pernado.....	54
Figura 33. Proyección del Avance de Desarrollo del Proyecto Soto Norte.	55
Figura 34. Cuadro de Horómetros de Subsistemas	57
Figura 35. Estructura de Subsistemas Jumbo Perforador.	58
Figura 36. Información relevante para cada Subsistema.....	58
Figura 37. Proceso del Mantenimiento en MINESA.....	64
Figura 38. Árbol de decisión	65
Figura 39. Proceso de la Orden de Servicio Preventiva en MINESA.....	66
Figura 40. Ciclo del Servicio Técnico de Mantenimiento en MINESA.....	67

Figura 41. Relación de Costo del Mantenimiento de los Jumbos Perforadores.....	71
Figura 42. Costo Actual del Mantenimiento Jumbo 0414.....	72
Figura 43. Costo Actual de Mantenimiento del Jumbo 0415.....	73
Figura 44. Consolidado de Servicios 2018-2019	75
Figura 45. Proyección de Tiempos para los servicios del Sistema de Aire/ Agua .	76
Figura 46. Proyección de Tiempos para los servicios del Sistema de Traslación..	76
Figura 47. Proyección de Tiempos para los servicios del Sistema de Perforadoras	77
Figura 48.. Proyección de Tiempos para los servicios del Sistema PowerPack	77
Figura 49. Proyección de tiempos de servicios de 2018 a 2019	78
Figura 50. Proyección de Costos para el Preventivo del Sistema Aire/ Agua	79
Figura 51. Proyección de Costos para el Preventivo del Sistema de Traslación ...	80
Figura 52. Proyección de Costos para el Preventivo del Sistema de Perforadoras	80
Figura 53. Proyección de Costos para el Preventivo del Sistema PowerPack	81
Figura 54. Distribución de costo por servicio 2018-2019	82
Figura 55. Proyección Costo de Mantenimiento 2018-2019	83

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones Hidráulicas y eléctricas del Jumbo DD321-40	32
Tabla 2. Especificaciones del sistema de control y limpieza.....	33
Tabla 3. Parámetro de Consecuencia Para Análisis de Criticidad	48
Tabla 4. AMEF de Componente (A) cámara de barrido.....	59
Tabla 5. AMEF de Componente (B) caja de engranajes.....	60
Tabla 6. AMEF de Componente (C) acumuladores de presión	60
Tabla 7. AMEF de Componente (D) motor de rotación.....	60
Tabla 8. Lógica de decisiones Componente (A) cámara de barrido	61
Tabla 9. Lógica de decisiones Componente (B) caja de engranajes	62
Tabla 10. Lógica de decisiones Componente (C) acumuladores de presión	62
Tabla 11. Lógica de decisiones Componente (D) motor de rotación	63
Tabla 13. Estándar de Servicio de 1000h para compresor Gardner Denver	68
Tabla 14. Catalogación de repuestos críticos en filtración de aceites.....	69
Tabla 15. Indicadores Gerenciales 2011-2017	70
Tabla 16. Consolidado de Servicios de Mantenimiento	74

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Análisis de Modo y Efecto de Falla Subsistema Aire- Agua	89
Anexo B. Análisis de Modo y Efecto de Falla Subsistema de Traslación	90
Anexo C. Análisis de Modo y Efecto de Falla Subsistema Perforadoras	91
Anexo D. Análisis de Modo y Efecto de Falla Subsistema Power Pack.....	92
Anexo E. Servicio de 50H del Subsistema Aire-Agua.....	93
Anexo F. Servicio de 50H del Subsistema de Traslación	93
Anexo G. Servicio de 50H del Subsistema de Perforadoras.....	94
Anexo H. Servicio de 50H del Subsistema Power- Pack	95

RESUMEN

TITULO: 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 SAS*

AUTOR: DANIEL OJEDA**

PALABRAS CLAVE: Confiabilidad, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Indicadores de Gestión, Jumbo de Perforación, Gestión del Mantenimiento.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

Esta monografía evidencia la implementación de la metodología del (RCM) como herramienta inicial de la gestión del mantenimiento en los equipos de perforación subterránea del Proyecto Soto-Norte de la Sociedad Minera de Santander, aplicada en el período de operación inicial de los equipos y considerada como la etapa de mortalidad infantil.

Partiendo del Análisis de Modo y Efecto de Falla AMEF, se realiza un análisis completo de sistemas, subsistemas y componentes, lo cual logra establecer los modos de falla más recurrentes y su criticidad de afectación y periodicidad que deterioran el equipo, de igual forma se proponen las actividades necesarias del mantenimiento con unas especialidades definidas encargadas de ejecutar un paso a paso para mitigar las consecuencias de falla más críticas.

Se logra establecer las rutinas de servicio periódicas que se activaran según la acumulación de los diferentes horómetros del equipo, describiendo las tareas y el paso a paso de las etapas, generando así un listado detallado y guiado de actividades definidas con tiempos establecidos, con el propósito de atender una necesidad específica, catalogando y definiendo los repuestos a utilizar. Los costos iniciales del mantenimiento actual se logran determinar con la información archivada, se definen los servicios de mantenimiento proyectados a dos años considerados en una operación normal del equipo, para lo cual se puede estimar el costo del mantenimiento en cada servicio y definiendo el comportamiento para los próximos años de operación, precisando repuestos, herramientas, terceros y mano de obra a utilizar.

*Monografía

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Juan Andrés Bernal Fino. Ingeniero Mecánico. Máster en Gestión de Activos y Negocios.

SUMMARY

TITLE: APPLICATION OF A MODEL RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE (RCM), FOR THE SANDVIK UNDERGROUND DRILLING EQUIPMENT DD321-40 OF THE SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER SAS*

AUTHOR: DANIEL OJEDA**

KEY WORDS: Reliability, Reliability Centered Maintenance, Key Performance Indicator, development drill, Management of Maintenance.

DESCRIPTION OR CONTENT:

This work demonstrates the implementation of the methodology of (RCM) as initial tool of the management of the maintenance in the equipment's of underground perforation of the Project Soto-Norte the Sociedad Minera de Santander, applied in the period of initial operation of the equipment's and considered as the stage of infant mortality.

Based on the Analysis Mode and Effect of the Fault AMEF, a complete analysis of systems, subsystems and components, which it manages establish the manners of fault more appellants and his criticality of affectation and periodicity that spoil the equipment, of equal form they propose the necessary activities of the maintenance with a few definite specialties entrusted to execute one stepwise to mitigate the consequences of fault more critiques.

It is possible to establish the periodic service routines that were activated according to the accumulation of the different hours of the equipment, describing the tasks and stepwise of the stages, generating this way a detailed and holding a permit list of activities defined with established times, with the intention of attending to a specific need, cataloguing and defining the supplies to using. The initial costs of the current maintenance are achieved to determine with the filed information, the services of maintenance are defined projected to two years considered in a normal operation of the equipment, for which can estimate the cost of the maintenance in every service and defining the behavior for the next years of operation, needing supplies, tools, third parties and workforce to using.

*Monograph

**Faculty of Engineering Physical-Mechanical. Specialization in Management Maintenance. Director: Juan Andrés Bernal Fino. Machanical Engineer. Máster in Business & Physical Asset Management.

INTRODUCCIÓN

La sociedad Minera de Santander, empresa del grupo inversionista Mubadala Development Company de los Emiratos Árabes Unidos, cuenta con uno de los grandes proyectos de minería en Colombia, estableciéndose en la región de Soto Norte en noviembre de 2015 para desarrollar la mina subterránea de oro más tecnológica en Colombia.

En la actualidad se encuentra en etapa de estudios técnicos, ambientales y exploración, preparándose para iniciar el proceso de su etapa productiva (explotación) con miras hacia el año 2021.

Con la misión de proteger el medio ambiente la Sociedad Minera de Santander utilizará lo último en equipos y tecnología, procesos con altos estándares ambientales y de seguridad de clase mundial, lo cual conlleva a utilizar estrategias de gestión de mantenimiento avanzadas.

Para este proyecto se cuenta con dos equipos de perforación DD321-40 de minería subterránea de última generación, diseñados y fabricados por la empresa SANDVIK MINING los cuales poseen sistemas complejos en la parte hidráulica, neumática, mecánica y eléctrica. Lo anterior expone un reto importante para el área de mantenimiento y requiere la aplicación de una estrategia de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) que incluya la identificación de los equipos críticos y el desarrollo de la política de mantenimiento óptimo en función de los datos identificando los modos de falla, garantizando la confiabilidad y anticipándose a los posibles problemas que pudiesen ocurrir en los equipos proyectando un plan de mantenimiento adecuado con la fiabilidad suficiente en los distintos elementos del equipo, y proyectando un presupuesto futuro de costes del mantenimiento.

En la actualidad los planes de mantenimiento y las rutinas que se generan para los distintos equipos no identifican las tareas, las etapas, las frecuencias y los recursos necesarios realizándose de forma manual apoyados con archivos ofimáticos, generando un proceso de programación y planeación poco confiable, simultáneamente dificultando las labores gerenciales y toma de decisiones al no obtener estadísticas de tasa de falla, reportes de costes e indicadores que garanticen la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos.

Este proyecto busca la aplicación de un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), en dos equipos de perforación iniciando como proceso piloto y posteriormente su implementación gradual al resto de la flota de explotación y del proceso de la compañía, proyectando las actividades de mantenimiento en la etapa productiva que se quieren para el año 2021. Tener un sistema de planeación y programación se hace indispensable por esto paralelamente se implementara como herramienta de gestión el módulo de mantenimiento del software TOTVs, denominado Protheus y que actualmente se encuentra implementado en la empresa para el área de almacén, compras, financiera, gestión de inventarios y activos fijos, con el cual se pretende coadyuvar en la gestión de la implementación e identificación de los modos de falla funcionales, sus efectos y posteriormente la identificación de las tareas de trabajo necesarias para que el proceso de planeación y mantenimiento sean óptimos y ejecutables para el área técnica.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER

Una empresa colombiana de minería de oro enfocada en el desarrollo del proyecto aurífero Soto Norte, ubicado en el departamento de Santander, Colombia. Nuestras acciones están respaldadas por los mejores estándares mundiales en seguridad, medio ambiente y operaciones.

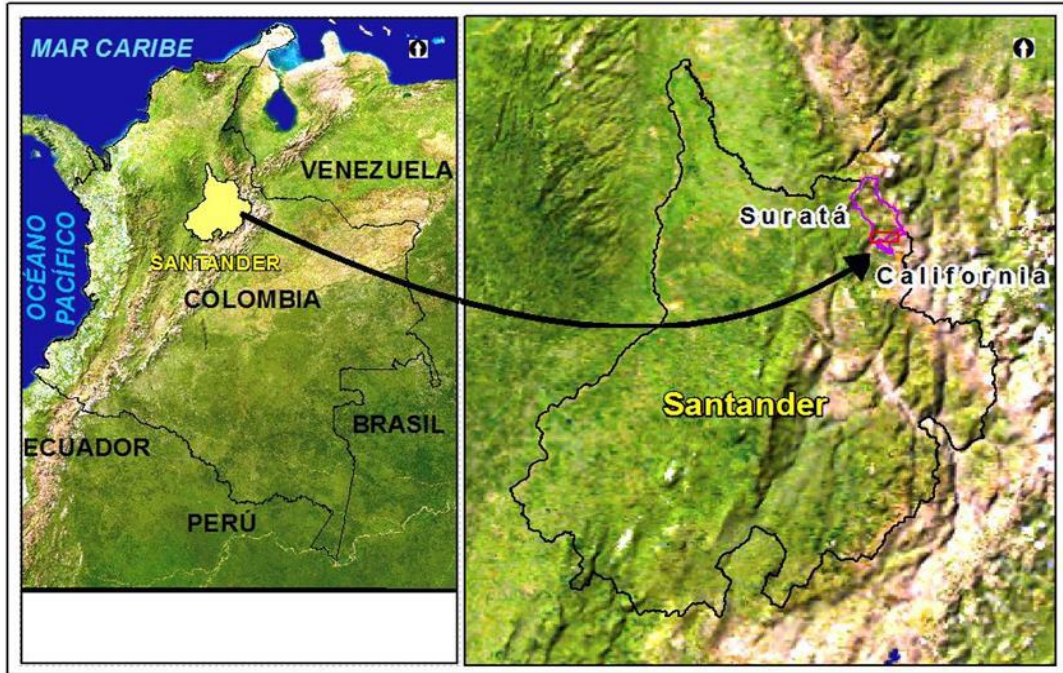
Para lograrlo, en Minesa contamos con el respaldo de Mubadala Development Company, grupo empresarial de inversión y desarrollo del gobierno de Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos, al cual pertenecemos.¹

1.1.1 Reseña Histórica. La Sociedad Minera de Santander (Minesa), fue adquirida en el año 2015 por Mubadala Development Company que anteriormente pertenecía al EBX Group bajo el nombre de AUX Colombia, quien lideraba una campaña de perforación exploratoria desde el año 2010 para identificar y caracterizar lo que hoy llamamos el Proyecto Aurífero Soto Norte.

1.1.2 Ubicación del Proyecto. El proyecto Soto Norte de la Sociedad Minera de Santander está localizado a 5km de la cabecera del municipio de California en el departamento de Santander (Colombia), fuera de los límites del Páramo de Santurbán.

¹ Disponible en internet URL: <http://www.minesa.com/quienes-somos/>

Figura 1. Ubicación Geográfica Proyecto Soto Norte de Minesa



Fuente. Capítulo 3 Descripción del Proyecto Soto Norte, Estudio de Impacto ambiental para el proyecto de explotación Subterránea de Minerales Auroargentíferos “Soto Norte” Sociedad Minera de Santander

1.1.3 Misión Corporativa

- 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.

1.1.4 Visión Corporativa

La compañía líder en minería de oro más admirada en Colombia.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Plantear y aplicar un modelo de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), en dos de los equipos de perforación Jumbo DD321-40 Sandvik de la Sociedad Minera de Santander, generando el costo actual del mantenimiento y proyectando el presupuesto anual de costes de años futuros.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) cumpliendo los requisitos básicos contemplados en la norma SAE JA1011.
- Identificar los modos y efectos de falla en todos los sistemas y subsistemas del Jumbo perforador DD321-40 Sandvik, mediante el documento Análisis, Modo y Efecto de Falla (AMEF).
- Elaborar el documento Estándar de Servicios, donde se incluyan las tareas, las etapas y las frecuencias del mantenimiento de los equipos guiando las actividades técnicas a desarrollar.
- Catalogar el stock de repuestos mínimo para la ejecución de los estándares de servicio, mediante el documento Listado de Partes según la frecuencia.

- Programar los Estándares de Servicio, generados según las frecuencias en el software TOTVs para la planeación y la administración futura de las ordenes de servicio del mantenimiento preventivo de las perforadoras.
- Digitalizar información de años anteriores en el software TOTVs, obteniendo las estadísticas en costos, Indicadores MTTR, MTTF y mano de obra, los cuales serán el punto de partida para el gerenciamiento y la toma de decisiones en el área de mantenimiento.
- Definir el estado de costos actual del mantenimiento, y proyectar mediante técnicas estadísticas adquiridas, el presupuesto anual de costes futuros del área de mantenimiento de la empresa.

3 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto se orienta a la aplicación de la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM, como metodología de análisis lógico y fundamentado, sistematizando y estructurando las tareas optimas del mantenimiento, para mitigar los riesgos generados durante la operación de los equipos perforadores de la empresa. Debido a que el concepto de confiabilidad se basa en hacer las cosas bien desde el principio, el área de mantenimiento eligió aplicar esta metodología en los jumbos de perforación subterránea considerándolos equipos críticos de la operación y aprovechando sus inicios de etapa de mortalidad infantil, dado que solo poseen un tiempo de trabajo promedio de 100 horas de operación.

Con la aplicación de esta metodología de mantenimiento se busca consolidar una estrategia de mantenimiento inicial que garantice mayores beneficios a la organización reflejados en los indicadores de la gestión del mantenimiento, concientizando, desarrollando y promoviendo una sostenibilidad junto a la mejora continua, alineándose con las metas de la compañía y brindando un enfoque centrado en las causas de los resultados, buscando un cambio en la actitud del personal técnico y la organización lo que se refleja en indicadores de seguridad, disponibilidad y reducción de costes en el mantenimiento.

Junto a la implementación de la metodología que busca generar actividades proactivas y las mejores prácticas e instrucciones para el área técnica, se gestionará la información que se genere en el módulo de mantenimiento Protheus con el propósito de generar herramientas de monitoreo y convertir el proceso en algo cuantificable en costos y lograr dar un enfoque gerencial optimizando los recursos del proceso de mantenimiento.

4 ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

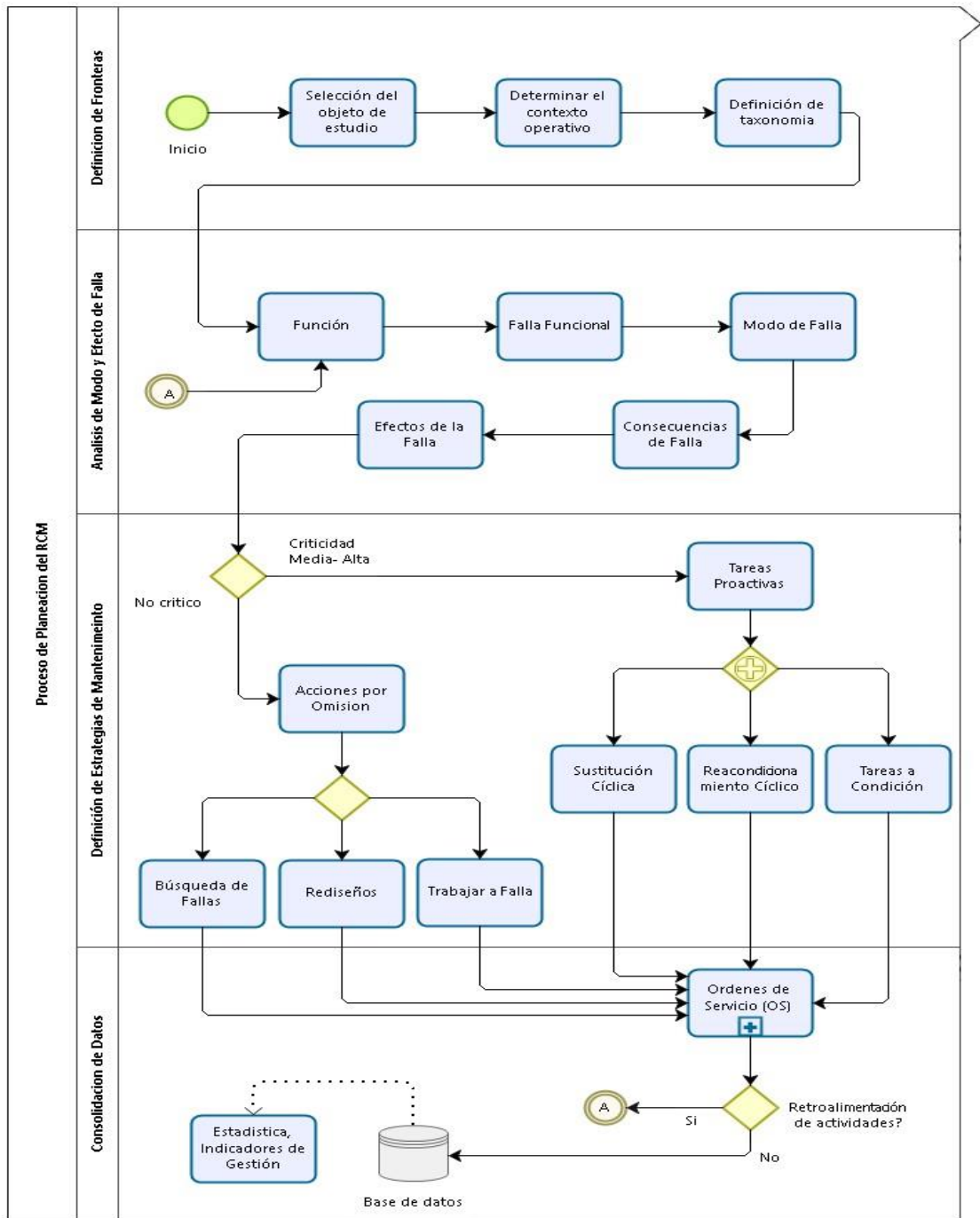
4.1 MARCO TEORICO

4.1.1 Reability Centered Maintenance. Se estructura como una metodología de análisis basado en las fallas funcionales, metódico y estructurado, que define las actividades de mantenimiento necesarias para eliminar los riesgos que pueden materializarse en fallas funcionales, que se pueden generar en los equipos y sistemas de la industria y sus consecuencias dentro del contexto operativo definiéndose bajo siete preguntas necesarias para identificar el entorno y las funciones del equipo.

4.1.1.1 Reseña Histórica. Sus inicios se dieron en los años sesenta para la industria aeronáutica norteamericana. Las aerolíneas habían encontrado que sus filosofías de mantenimiento eran costosas y peligrosas, su objetivo concreto fue mejorar la misión de vuelo del avión al máximo durante 15 horas. (Air Transport Association) en 1968 en Washington DC, EE. UU. Es conocida actualmente como MSG1 (“Maintenance Steering Group 1”).

United Airlines genero un documento comentando las relaciones entre el mantenimiento, la fiabilidad y la seguridad, realizando una labor inicial soportada al desarrollo del Boeing 747, este documento fue gestionado por Stanley Nowlan y Howard Heap. Le dieron el título “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad” (“Reliability Centred Maintenance”). Publicándose en 1978 como uno de los documentos más importantes en la historia de la gestión de activos.

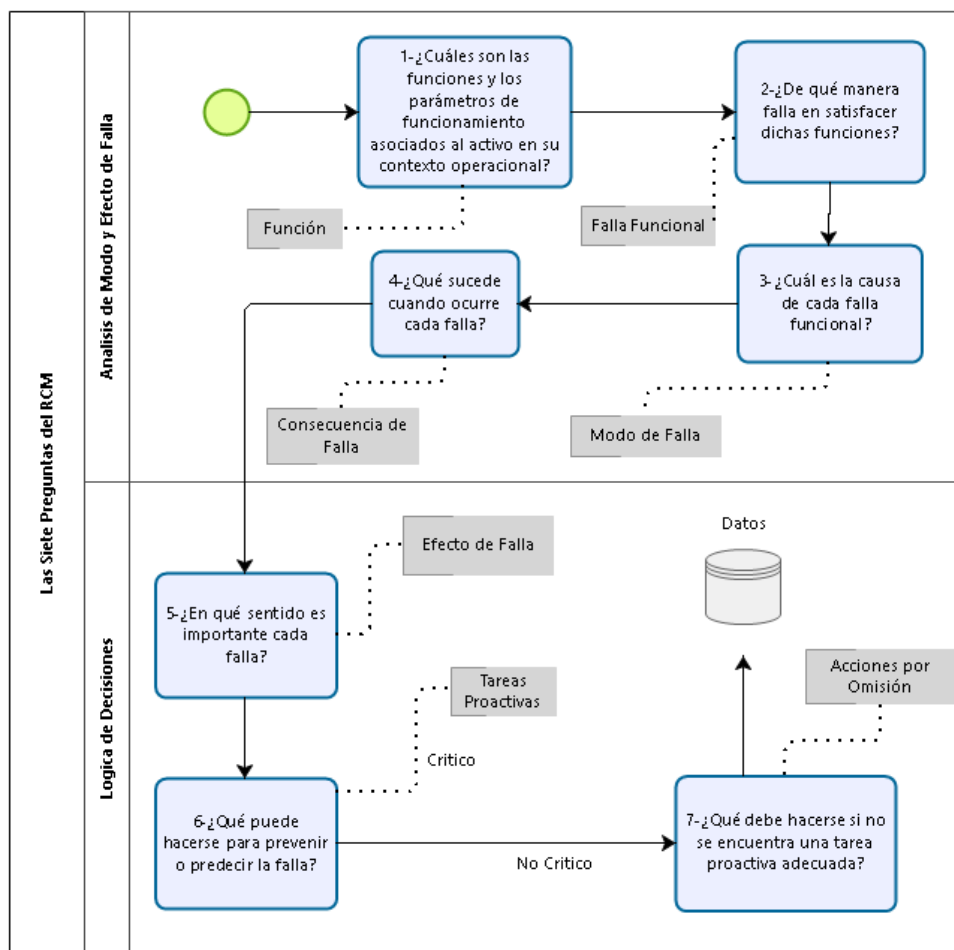
Figura 2. Flujo de desarrollo RCM



Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

4.1.1.2 Análisis de modo y efecto de falla (AMEF). Establecido dentro de la Norma SAE JA1011, se deben cumplir secuencialmente en la primera etapa del proceso del RCM, haciendo énfasis en las siete preguntas básicas para identificar cómo funciona el equipo y de cómo puede fallar a futuro en condiciones operacionales a las que está expuesto.

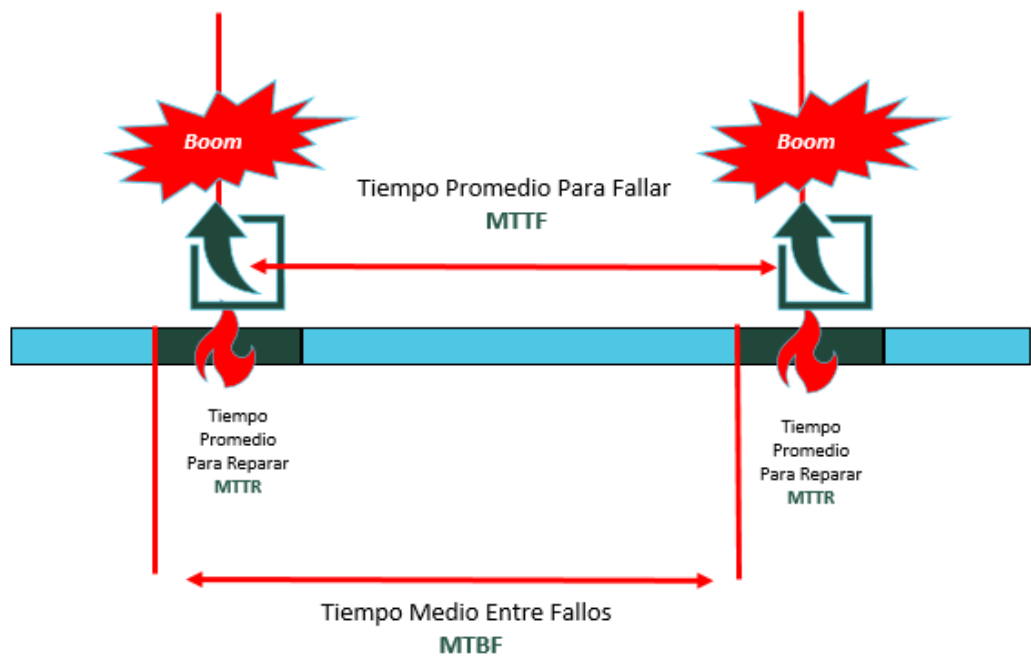
Figura 3. Las Siete Preguntas del RCM



Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

4.1.2 Key Performance Indicators (KPI). Considerados de suma importancia para las mediciones que realiza el proceso, esenciales en los procesos de gestión y que permiten tener diversos aspectos para la toma de decisión gerencial.

Figura 4. Indicadores de Mantenimiento KPI



Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

Estos indicadores de proceso se conectan con la misión y los objetivos de la compañía para demostrar la contribución a la efectividad de proceso estratégico en la gestión de confiabilidad del mantenimiento.

4.1.3 Mean time between failures (MTBF). Conocido como Tiempo Medio Entre Fallos (TMEF) o Intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo.²

$$TMEF = MTBF = \frac{\text{Horas Operativas}}{\text{Nº de Fallos}}$$

4.1.4 Mean Time Through Repair (MTTR). Este indicador mide la efectividad en devolver el equipo a condiciones óptimas de operación una vez que se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad.

$$TPPR = MTTR = \frac{\text{Nº de Horas de Fallos}}{\text{Nº de Fallos}}$$

4.1.5 Mean Time To Failure (MTTF). El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado "Tiempo Promedio Operativo" o "Tiempo Promedio hasta la Falla". El cual contempla la programación de labores del equipo y su cantidad de fallas en el periodo.

² (AMENDOLA, 2008)

$$TPPF = MTF = \frac{N^{\circ} \text{ de Horas Programadas (Operadas)}}{N^{\circ} \text{ de Fallos}}$$

4.1.6 Confiabilidad (R). Considerado como uno de los indicadores de efectividad más importante de un equipo o sistema, define la probabilidad de un equipo o sistema como desempeño satisfactorio en su función en condiciones operacionales normales.

$$Tasa \text{ de Fallos} = \lambda = \frac{Cantidad \text{ de Fallos}}{Cantidad \text{ de Horas Operadas}}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t}, t \geq 0$$

4.2 MARCO CONCEPTUAL

Las industrias productivas del siglo XXI buscan constantemente un mayor grado de seguridad en sus procesos de producción y operación, hacer esto confiable solo se hace realidad aplicando un enfoque de análisis de las funciones, identificando fallas puntuales en las cuales se puedan realizar actividades de mantenimiento específicas en equipos y sistemas.

El concepto de confiabilidad es aplicado a cualquier industria productiva o extractiva, en este caso el sector de minería subterránea no es ajena debido al contexto operacional en el cual se desempeñan las labores, en los últimos años las empresas de minería han aplicado esta técnica como proceso óptimo de planeación de actividades del mantenimiento.

Las Empresas Mineras como Drummond, Carbones de Cerrejón y Prodeco aparecen entre las primeras empresas a nivel nacional en rentabilidad económica. A pesar de verse afectadas por la baja en los precios del mercado minero energético a nivel internacional, la contribución económica de estas empresas mineras y las de base minera, siguen siendo una economía sólida lo cual asegura recursos importantes para la inversión social en educación, salud e infraestructura.

Debido a esta actividad de alto riesgo, los procesos de mantenimiento se vienen estableciendo como procesos confiables, los ingenieros de confiabilidad han aplicado sus conocimientos durante los últimos años logrando optimizaciones significativas en costes de mantenimiento, costes en accidentes relacionados con equipos defectuosos e impactos ambientales debido a falta de una buena gestión del mantenimiento. Por estos beneficios y otros se aplican en todo el mundo y en la mayoría de las industrias las bondades del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM.

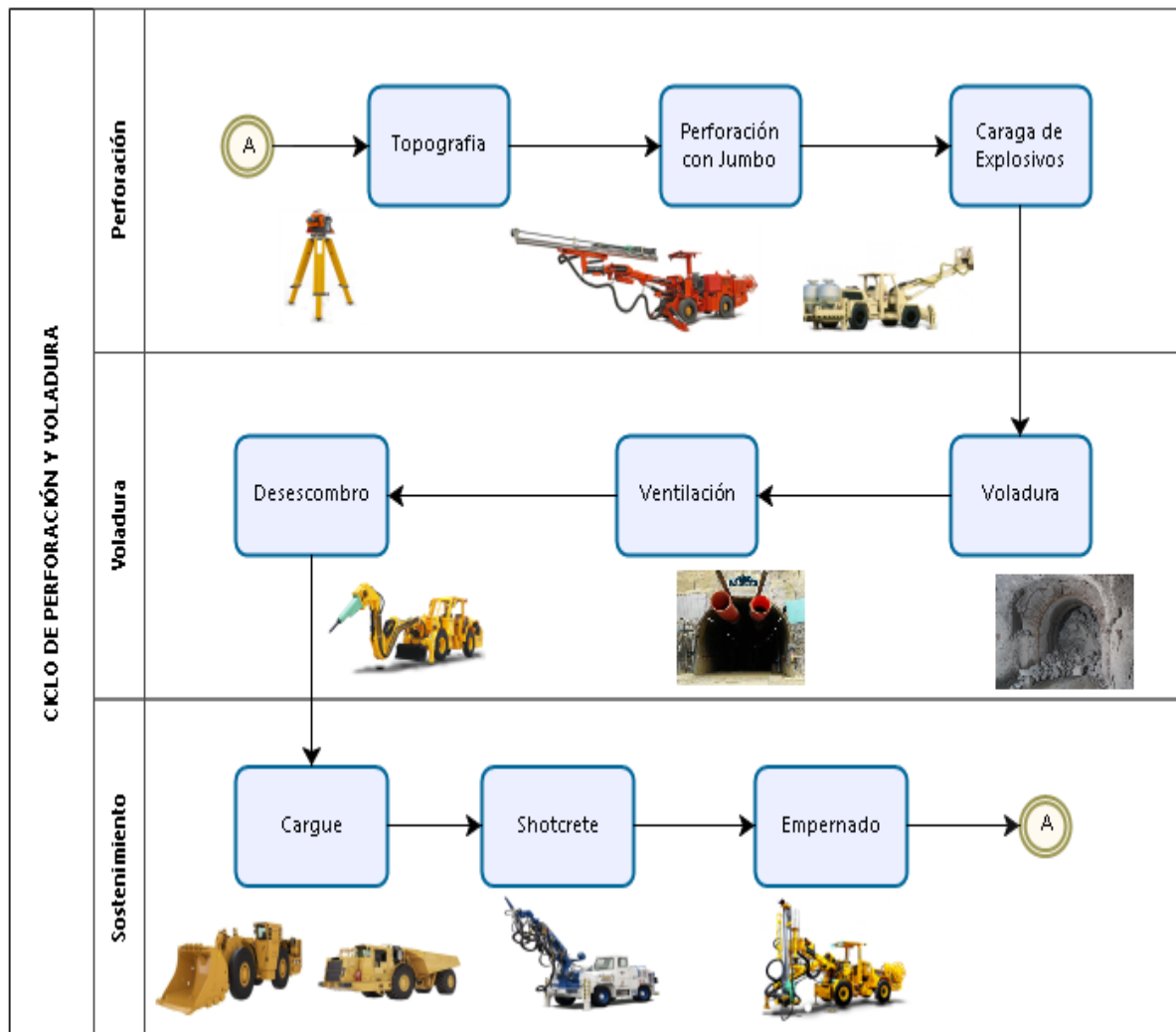
4.3 PERFORADORAS SUBTERRÁNEAS

Con la industria minera en auge durante el siglo XXI los múltiples equipos y tecnologías para el desarrollo de túneles y espacios subterráneos se hacen necesarios. Uno de estos son los jumbos de perforación o de avanzada, estos equipos generan el avance o el desarrollo horizontal, compuesto por un conjunto de martillos perforadores montados sobre brazos articulados de accionamiento hidráulico para la ejecución de trabajos de perforación en el frente.

Como evidenciamos en el Ciclo de Perforación y Voladura, es fundamental el Jumbo Perforador como iniciador del proceso productivo, por esto se requiere que

el equipo siempre se encuentre en buenas condiciones operacionales y una disponibilidad que permita darle valor al proceso de Voladura.

Figura 5. Ciclo Minero Subterráneo de Perforación y Voladura



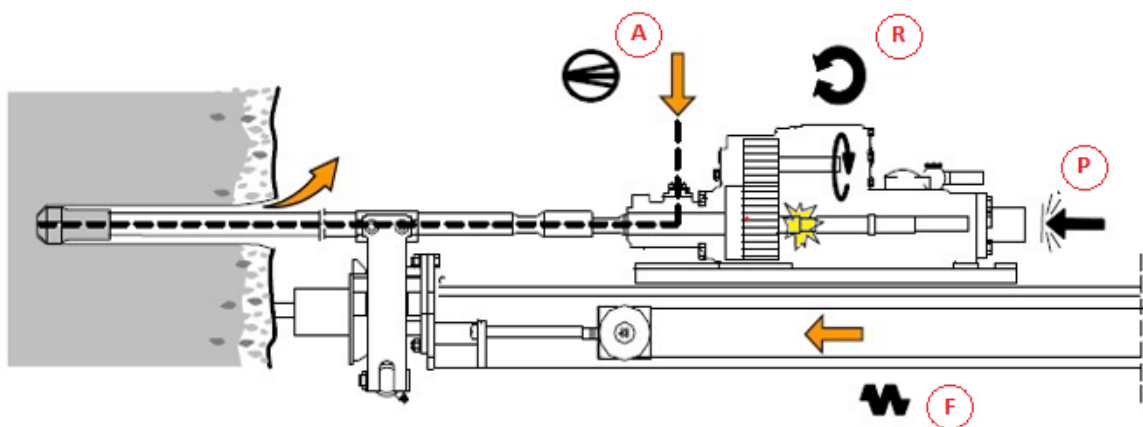
Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

4.3.1 Principios de la perforación por percusión. La perforación por percusión tiene cuatro funciones principales:

- Percusión (P): Hace que la broca instalada en el martillo de perforación penetre en la roca.
- Avance (F): Mantiene la boca del martillo de perforación en estrecho contacto con la broca.
- Rotación (R): Coloca la boca del martillo de perforación en una nueva posición antes de la siguiente percusión.
- Barrido (A): Limpia el residuo de roca y enfría el equipamiento de perforación.

La energía de percusión que genera el pistón del martillo de perforación se transfiere a la roca a través del equipamiento de perforación.

Figura 6. Diagrama de perforación.



Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction
ID: 553

4.4 JUMBO PERFORADOR SANDVIK DD321-40

Figura 7. Isométrico jumbo de perforación Sandvik DD321-40



Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction

ID: 553

Tabla 1. Especificaciones Hidráulicas y eléctricas del Jumbo DD321-40

Hydarulic System		Electrical System and* Options	
Filtration rate	20 micron (pressure) 10 micron (return)	Total input power	135KW
Oill cooling	Cooling capacity 30KW OW30 water cooler	Main switch	MSE20
Hydraulic oil tank	270 L	Standard Voltages	380-690 VAC
Tank filling	Electric pump	*Optional Voltage	1000 VAC
Powerpack	55 KW	Voltage fluctuation	10% +/-
Percussion pump	110cc (variable piston)	Automatic cable reel	TCR3E with spooling
Rotation pump	33cc gear	*Electric cable rubber or PUR	80m, 100m, or 150m depending on voltage
*Biodegradable oils	shell Naturelle HFE	*Star delta starting	380-690VAC only

Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction

ID: 553

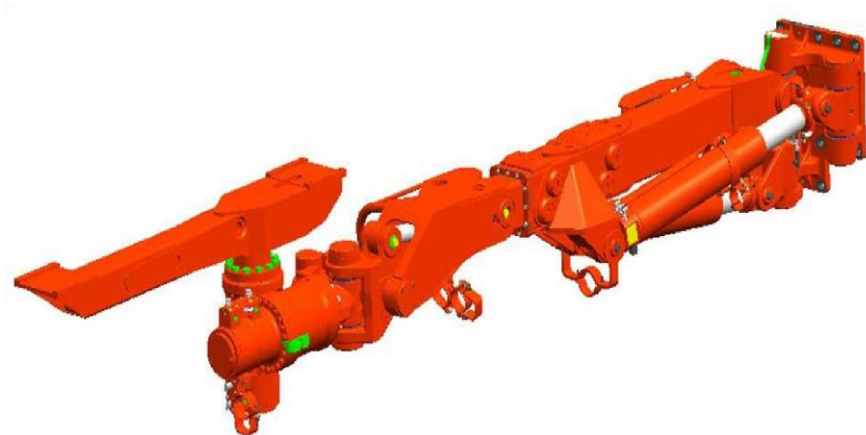
Tabla 2. Especificaciones del sistema de control y limpieza

Control system		Flushing system and *options	
Control system	THC 561	Flushing system	Water
Manual boom control	Direct control, fully proportional, hydraulic parallelism	Water pump	WBP2 (5,5KW 60HZ)
Drilling control	Feed/ percussion control, Feed/ percussion manual control	Water pump capacity	100 l/min (15 Bar/ 5 Bar inlet)
Automatic cycle	Stop and return automatics	Inlet pressure	2-7 bar (white drilling)
Adjustable parameters	Feed force, rotation speed, feed/ percussion ratio	Compressor	CT10 Gardner Denver (7,5KW)
Other functions from operator controls	Rattling, manual collaring, flushing selection, return automatics selection, fast feed	Compressor capacity	1 m3/min (7 bar)
Drilling supervision	Antijamming system, shank lubrication (oil and air flow) stabilizer pressure	*Water reel	THR2,5E
Onboard diagnostics	Warning display	*Water flushing with air cleaning of hole	External water/ air connection, external water and CT16 (11KW)

Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction
ID: 553

4.4.1 Brazos Articulados BOOMS SB40.

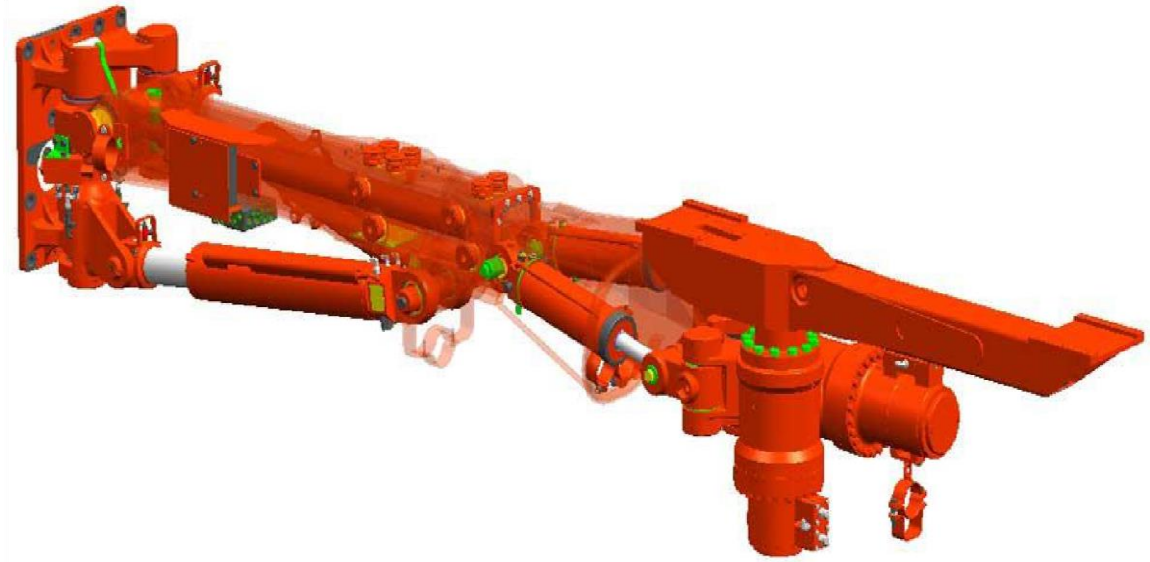
Figura 8. Brazo articulado exterior



Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction
ID: 553

Utilizados para la fácil ubicación de la bancada de perforación y la perforadora, tiene la capacidad de rotación de 358°, peso de 670kg y una extensión de 1050mm, este permite el control y la posición de la perforadora hacia el frente, siempre manteniendo posición robusta y anti vibrante.

Figura 9. Brazo articulado vista interior



Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction
ID: 553

4.4.2 Perforadoras HLX5. El jumbo de perforación cuenta con dos perforadoras hidráulicas con acumuladores de presión para los martillos, lubricado por vapor de aceite en la espiga de rotación, adicionalmente es refrigerada por agua y redirige por la espiga agua por medio del barreno hasta la broca, agua que se utiliza para barrido de residuos de roca.

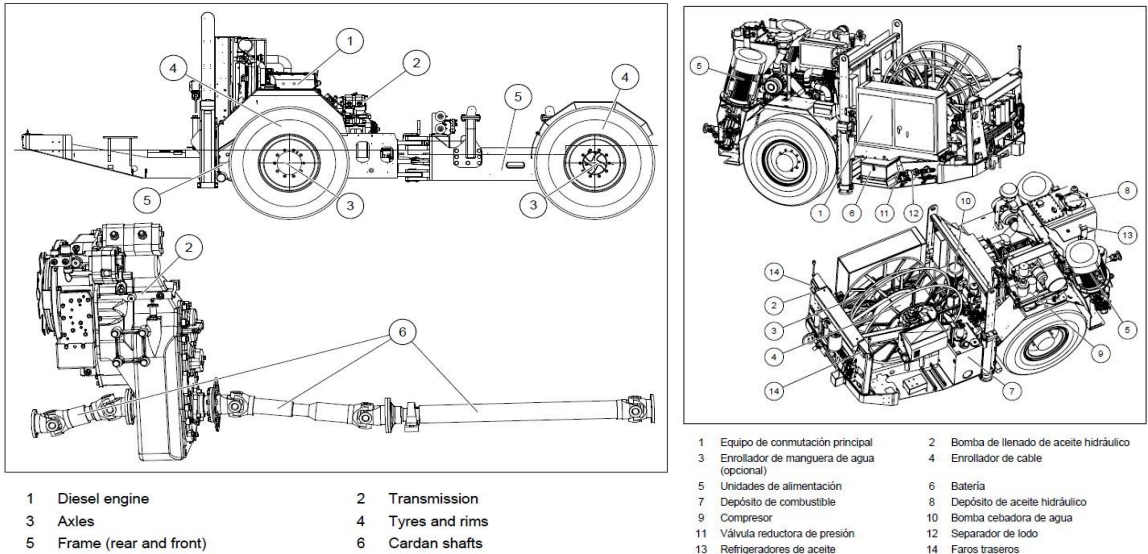
Figura 10. Perforadora hidráulica HLX5



4.4.3 Sistema de Traslación.

4.4.3.1 Carrier NC7N.

Figura 11. Carrier NC7

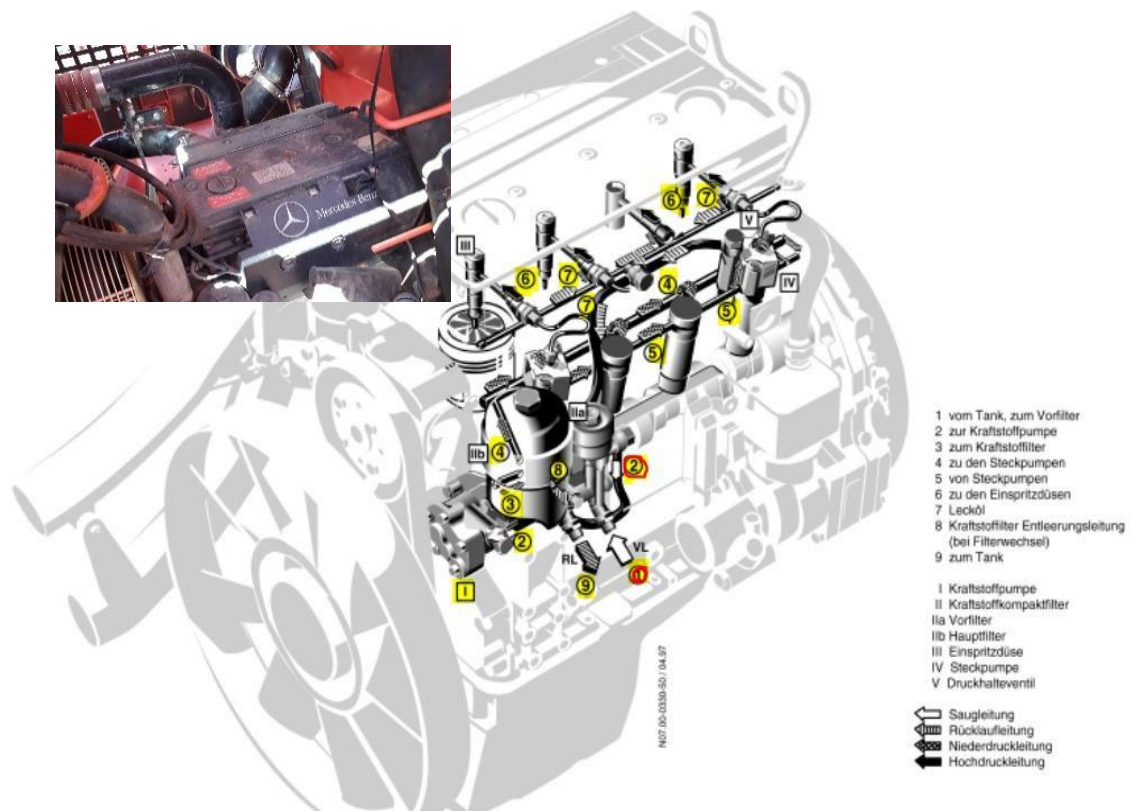


Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction

ID: 553

4.4.3.2 Motor Diesel y Transmisión Mercedes Benz 904LA. El equipo está dotado con un motor Diesel de 4 cilindros en línea y 4.25 Litros, de la familia BR 900 con potencia 170hp a 2300Rpm, con módulo de inyección directa PLD/MR EURO II que regula el caudal de arranque e impide el desgaste del motor en frío por operación errónea, acoplado a una servo-transmisión automática de 4 velocidades hacia adelante y hacia atrás, cuenta con un sistema de catalizador al escape para evitar gases dentro de la mina.

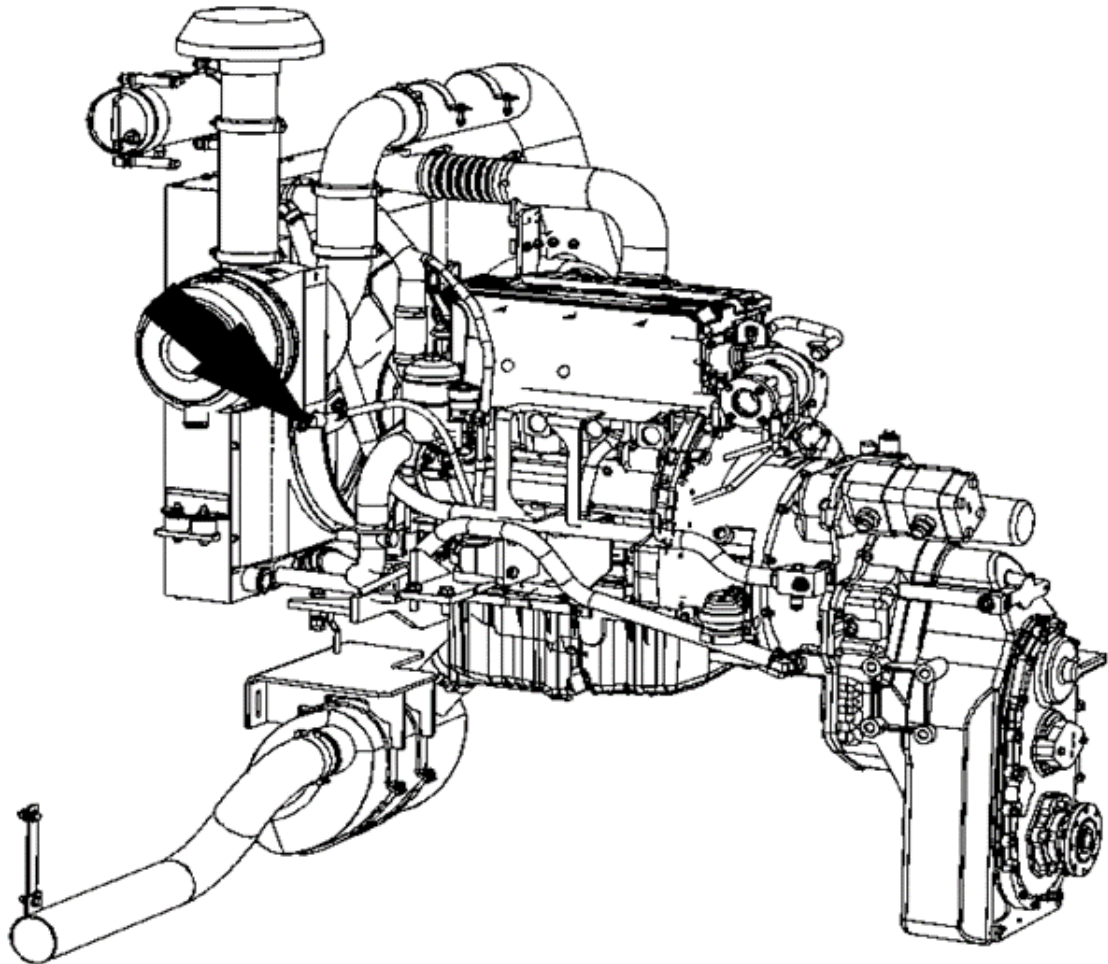
Figura 12. Sistema Inyección PLD/MR de MB 904LA



Fuente: Centro de entrenamiento Kaufmann, motores Mercedes Benz BR900.

La inyección se realiza a través del sistema Bomba-Línea-Inyector (PLD = Pumpe Leitung-Düse), En el sistema PLD, el combustible se envía a los inyectores por medio de bombas individuales, a través de tuberías cortas y rígidas de alta presión y mediante racores de tubos de presión atornillados a la culata. De esta forma, la conexión con el cilindro (integrada en la culata y desmontable) se obtiene por medio de la porta-inyectores situándolos fácilmente.

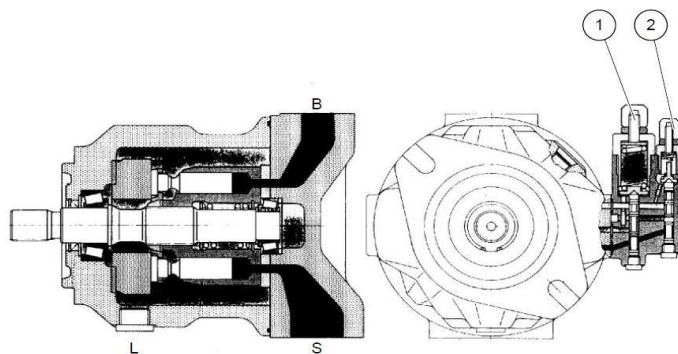
Figura 13. Ensamble Motor MB 904LA



Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction
ID: 553

4.4.4 Sistema Hidráulico. El sistema hidráulico del equipo se divide en tres bombas hidráulicas de caudal variable de pistón axial con unidades de regulación, la primera bomba auxiliar acoplada al motor Diesel, la cual se encarga de la manipulación de los brazos articulados y estabilizadores del equipo.

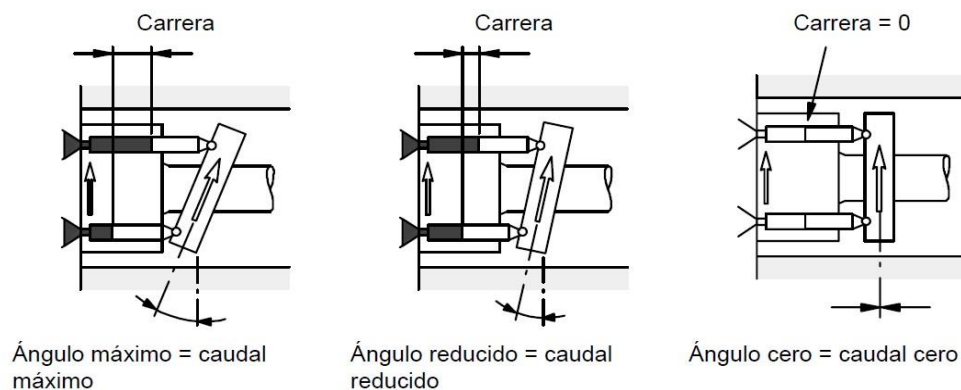
Figura 14. Bomba de pistón axial.



1) Controlador de presión 2) Controlador de caudal

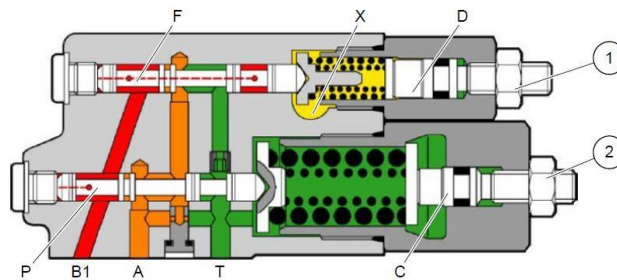
Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction
ID: 553

Figura 15. Funcionamiento de la bomba de pistón axial.



Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction
ID: 553

Figura 16. Unidad de regulación DRS

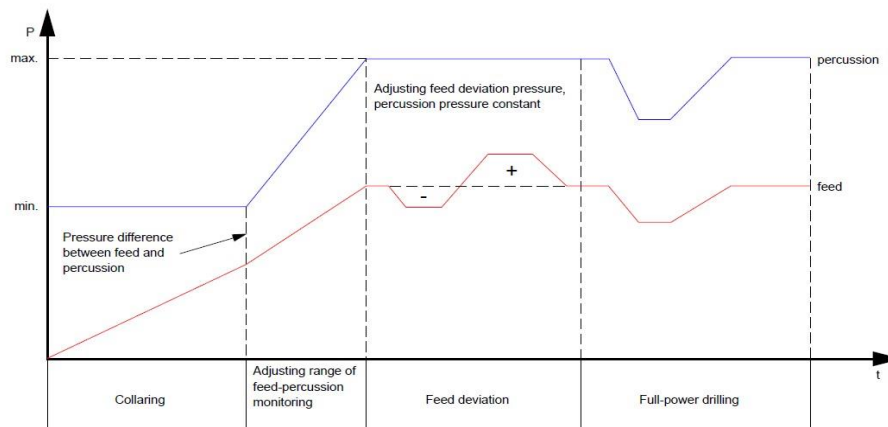


1) Controlador de caudal 2) Controlador por presión

Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction
ID: 553

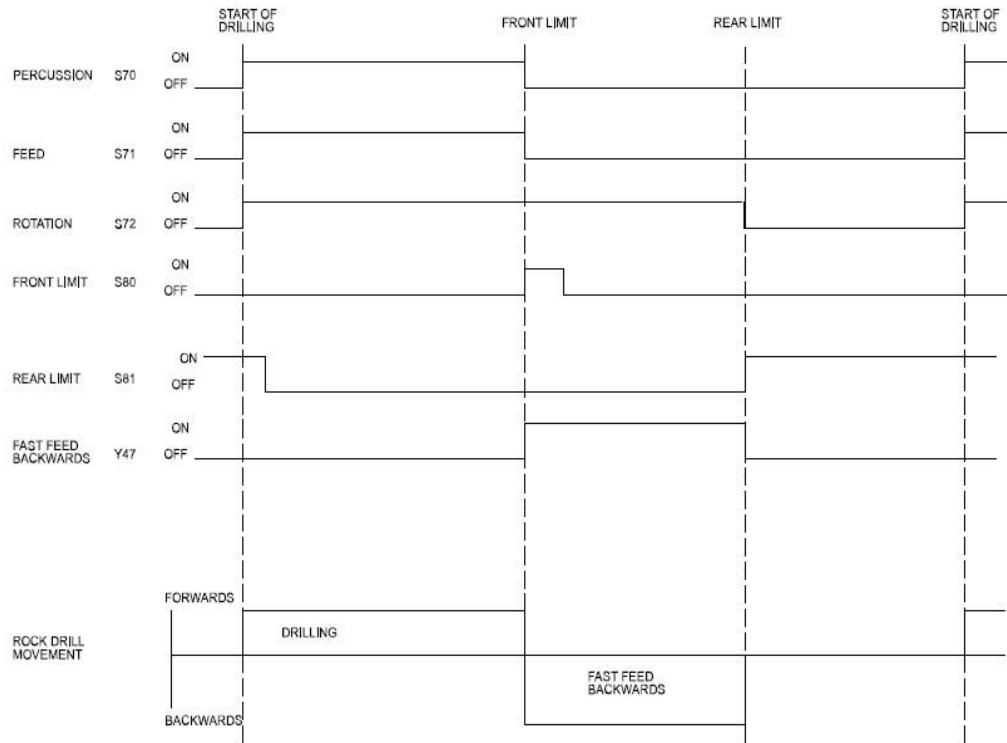
La segunda y tercera bomba hidráulica se acoplan a dos motores eléctricos de 75Hp y 440V que se encienden para generar presión, en la percusión de las perforadoras, avance y rotación, adicionalmente este circuito hidráulico posee una función de automatismo de retorno cuando al perforar se encuentran grietas.

Figura 17. Comportamiento de percusión.



Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction
ID: 553

Figura 18. Funcionamiento del automatismo de retorno



Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction
ID: 553

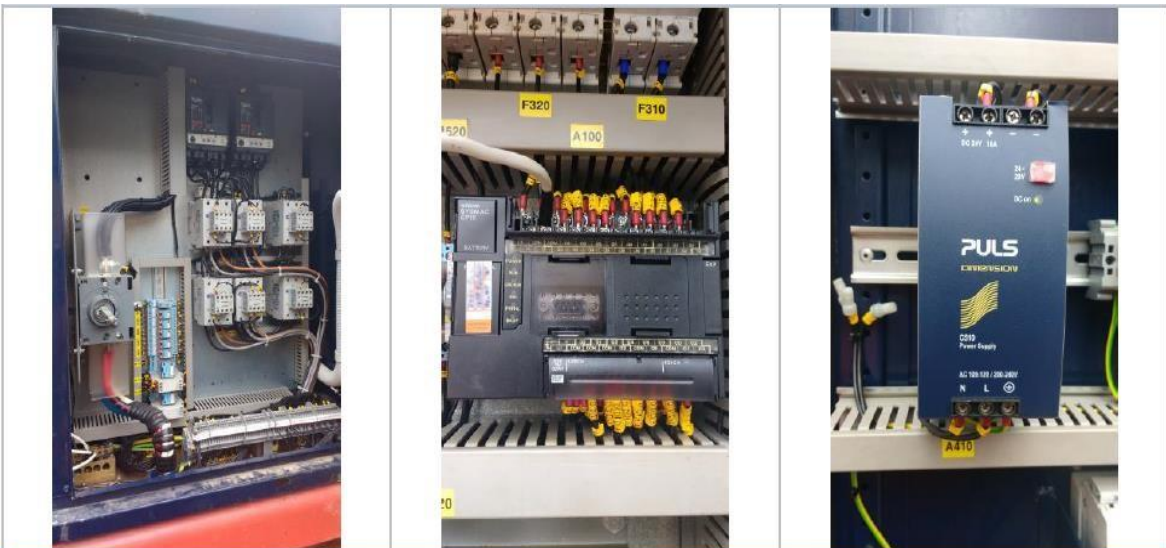
4.4.5 Sistema Eléctrico. El equipo posee un gabinete para el sistema eléctrico y electrónico, utilizado para el accionamiento de dos motores eléctricos de las bombas hidráulicas de percusión, compresor de aire, bomba de agua de flushim, accionamiento de electroválvulas y conectado a 440v.

Adicional a esto posee fuentes para reducción de voltaje de control a 24v, un control lógico programable (PLC).

Figura 19. Gabinete eléctrico general



Figura 20. Distribución de PLC, arrancadores y fuentes de voltaje



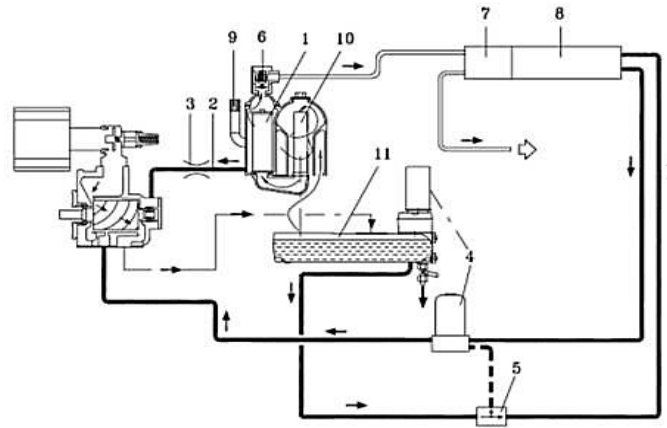
4.4.6 Sistema Aire y Agua.

4.4.6.1 Sistema Para Comprimir Aire. El aire se utiliza principalmente para la lubricación del adaptador del martillo perforador, limpia el orificio después de la perforación y se utiliza para comprimir el agua durante flushim o barrido, obteniéndose presión de 125psi desde un compresor de tornillo.

Figura 21. Compresor de Tornillo Gardner Denver



Figura 22. Ciclo de funcionamiento del compresor de tornillo



Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction
ID: 553

En el ciclo de funcionamiento del compresor de tornillo se tienen tres etapas, carga, descarga y trabajo en vacío, para lo cual los tornillos aspiran aire con lubricante, en la descarga se filtra por medio de dos filtros separadores de aceite y el aire comprimido a altas temperaturas es enfriado en un intercambiador de calor, se tienen sistemas auxiliares de control, como válvula de admisión, termostato y válvulas de seguridad para los dispositivos de carga.

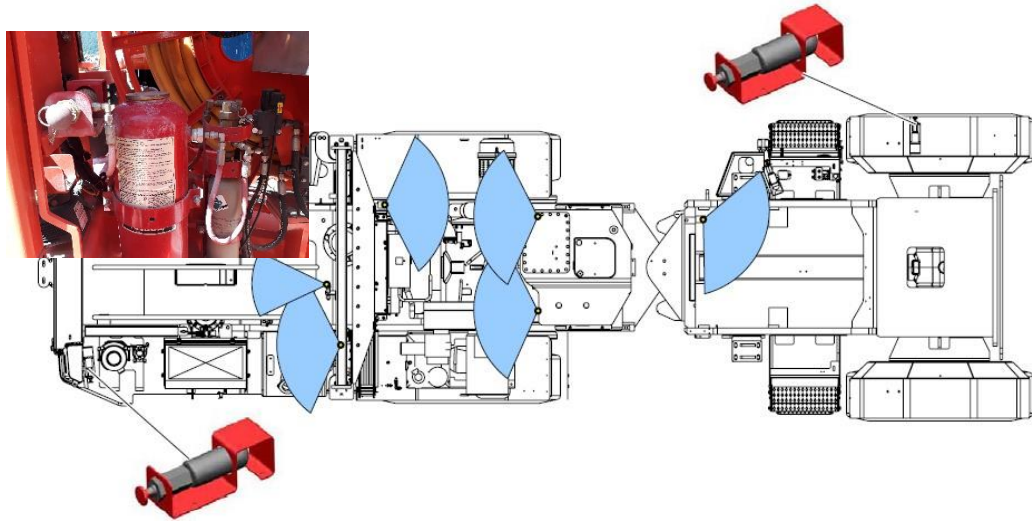
4.4.6.2 Sistema de Bombeo para Agua. El agua se usa en el equipo de perforación para dos finalidades principales, para el barrido del barreno y para diferentes operaciones de refrigeración. El agua se dirige a la parte inferior del orificio a través de la abertura de la varilla de perforación. A medida que fluye hacia arriba, junto con el agua de barrido arrastra los recortes mientras refrigera el equipo de perforación, el agua fluye a través del refrigerador de aceite, donde refrigera el aceite de perforación, para esto se utiliza una bomba multietapas GROUNDFOSS.

Figura 23. Sistema de Bombeo de Agua



4.4.7 Sistema de Extinción. La máquina posee un sistema de extinción por aire comprimido en botellas y polvo químico almacenado en tanques, el cual se acciona oprimiendo los hongos de emergencia y remotamente inyectaran el aire comprimido para mitigar los conatos en áreas críticas, como el compartimento eléctrico, motores eléctricos, motor Diesel, compresor de tornillo y bomba de agua flushim.

Figura 24. Diagrama de extinción ANSUL



Fuente: Manual de Mantenimiento Copyright © Sandvik Mining and Construction ID: 553

El sistema de supresión de incendios ANSUL es un conjunto de agentes combinados que ofrece protección en ambientes difíciles y peligrosos, convierte el combustible en inerte y corta el oxígeno para ayudar a prevenir fogonazos, este sistema actúa en temperaturas desde -40°C y 60°C .

4.5 MARCO LEGAL

El proyecto de monografía está enmarcado bajo normas internacionales del ámbito de la ingeniería, las cuales a través del tiempo se han actualizado gracias a las industrias del sector aeronáutico, petróleo y minería. Existen aspectos importantes en la normatividad que no se han implementado como normas a cumplir en Colombia, solo se toman como referencia a procedimientos a seguir en relación con el tema y que se encuentran como bases teóricas y conceptos de aplicación.

4.6 INSTITUCIONES Y NORMATIVIDAD

4.6.1 SAE International. Es la Sociedad Americana de Ingenieros dedicada al diseño, la fabricación, la operación y el mantenimiento de automóviles, aviones, vehículos espaciales, equipos todo terreno, camiones, autobuses, trenes, embarcaciones marinas, motores y vehículos autopropulsados. Es el organismo de fijación de normas automotrices y aeroespaciales más grande del mundo.

La norma **SAE JA1011** “Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance

Proceso que tiene como propósito recolectar conceptos de autores, publicaciones, artículos y empresas para poder describir los criterios mínimos para aplicar la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad.

La norma **SAE JA1012** “A Guide to Reability-Centered Maintenance”

4.6.2 Reglamento de Seguridad en Labores Mineras Subterráneas.

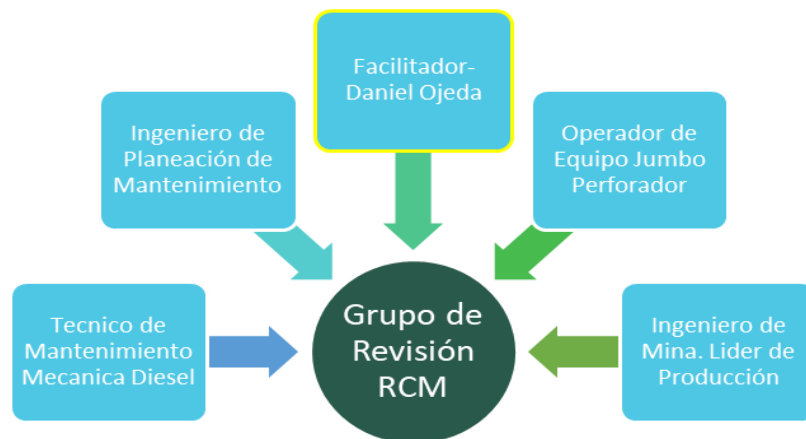
Conocido como el Decreto 1886 del 21 de septiembre de 2015, expedido por el Ministerio de Minas y Energía en Colombia, quien establece condiciones para la operación en minas subterráneas y concebidas en los Artículos 174, 175, 188, 191, 198 para los programas de mantenimiento a equipos, herramientas y sistemas eléctricos.

5 APLICANDO EL PROCESO RCM

5.1 DESCRIPCIÓN DEL GRUPO RCM

Antes de definir que activos fijos se requieren para la aplicación de la metodología del RCM dentro de la empresa, se conformó un grupo multidisciplinario en la parte operación y de mantenimiento, con el propósito de evaluar y definir la prioridad. Se realizan las siete preguntas del RCM como metodología de implementación, se aplica el análisis de criticidad a la flota de equipos mineros subterráneos y se logra establecer un consenso para dar prioridad al equipo Minero Jumbo Perforador SANDVIK DD321-40.

Figura 25. Grupo de Revisión de RCM



Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

Posterior a definir el equipo se procede con el análisis de modo y efecto de falla, se revisan las tareas y etapas de los servicios que se aplicaran como plan de mantenimiento del equipo.

5.1.1 Análisis de Criticidad de Flota Equipos Mineros. Todos los equipos no tienen la misma importancia dentro del proceso productivo de la empresa, su grado de importancia depende de varios factores, incluyendo los costos de reparación, impacto a la producción, a la seguridad y al medio ambiente. Con el análisis de la información disponible y verificando el ciclo de voladura dentro del cual se contempla el Jumbo de Perforación, se procede a realizar un análisis de criticidad de la flota de equipos mineros que se encuentran bajo tierra. Para lo cual se determina la siguiente tabla.

Tabla 3. Parámetro de Consecuencia Para Análisis de Criticidad

Descripción de los criterios	Cuantificación
FRECUENCIA DE FALLA(Falla que impacte produccion)	
Menos de 1 fallos/año	1
1 - 2 fallos/año	2
2 - 5 fallos/año	3
5 - 8 fallos/año	4
Mas de 10fallos/año	5
IMPACTO A PRODUCCION HORA	
0 - 10 TONELADAS	1
10 - 50 TONELADAS	2
50 - 100 TONELADAS	3
Más de 100 TONELADAS	4
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
COSTO DE REPARACION	
Menos de \$1,000,000.	1
Entre \$1,000,000 y \$10,000,000,	2
Entre \$10,00,000 y \$30,000,000	3
Entre \$30,000,000 y \$ 50,000,000	4
Entre \$50,000,000 y \$80,000,000	5
Mas de \$100,000,000	6
IMPACTO EN LA SEGURIDAD PERSONAL	
Incapacidad temporal	5
Discapacidad del 20%	8
Discapacidad del 50%	10
Fatalidad	15
IMPACTO AMBIENTAL	
Contaminacion del suelo	5
Contaminacion del aire	10
Contaminacion de Rios	20

Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del mantenimiento en Flota Minera basado en RCM. California: La compañía 2018.

Se define una matriz de criticidad con evaluación en consecuencias de fallas máximo hasta 50 puntos, la frecuencia de falla se pondera hasta más de 10 fallos al año consiguiendo una probabilidad final hasta de 250 puntos, mostrada en la figura 26.

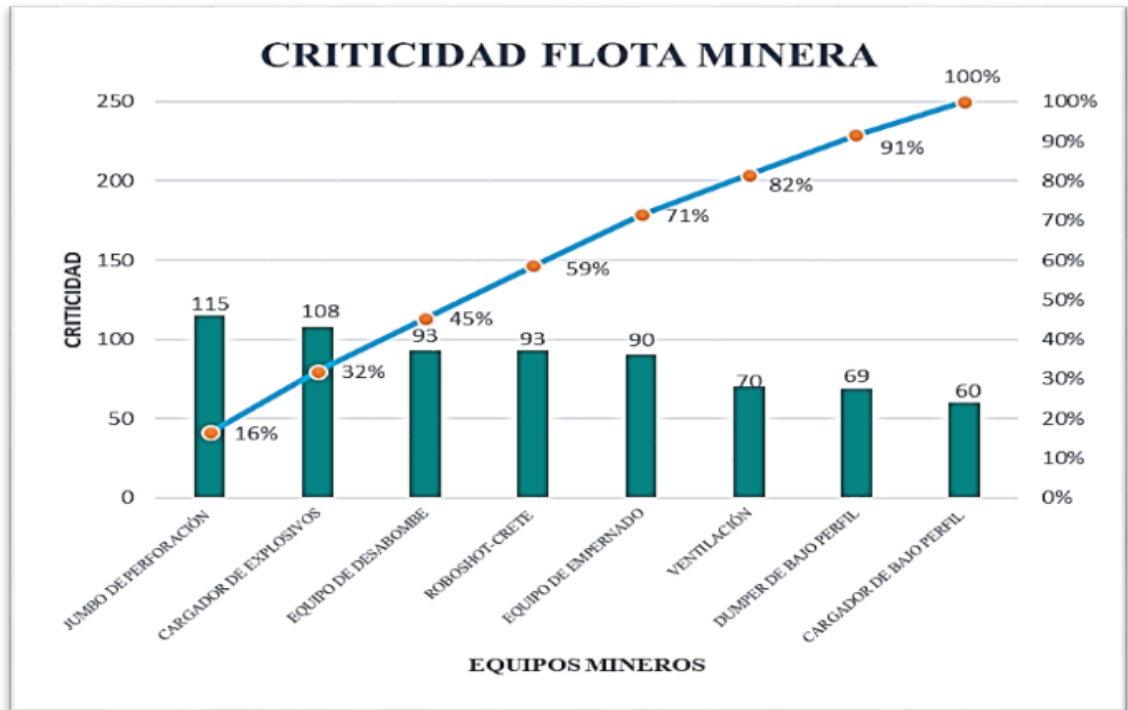
Figura 26. Matriz de Criticidad y Ponderación

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. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

Con el diagrama de Pareto se puede determinar que los Jumbos de perforación tienen una importancia del 16% dentro de la flota minera y una probabilidad en criticidad de hasta 115 puntos, una de las más altas evidenciadas. Esta evaluación inicial es la que nos promueve para realizar la aplicación de la Metodología del RCM inicial en este equipo.

Figura 27. Análisis de Criticidad

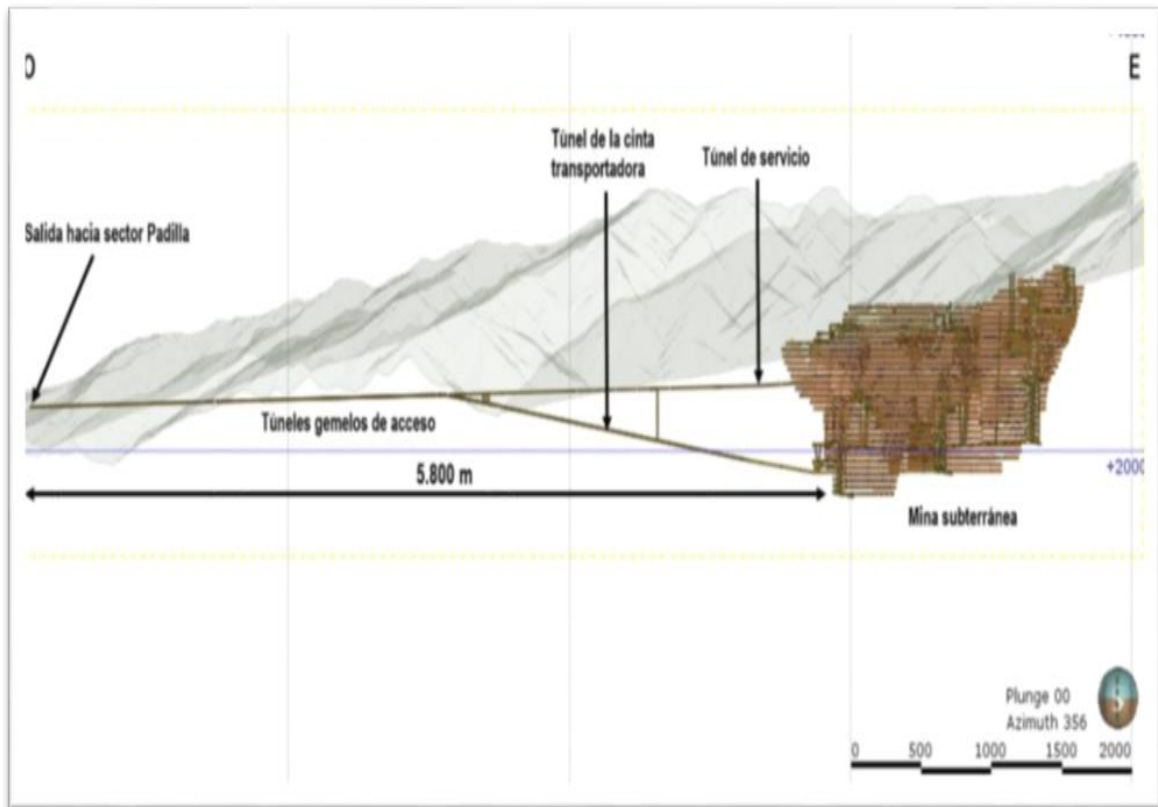


Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

5.1.2 Contexto Operacional del Jumbo SANDVIK DD321. El equipo perforador estará desempeñando todas sus labores de operación dentro de la mina subterránea considerada en la figura 29.

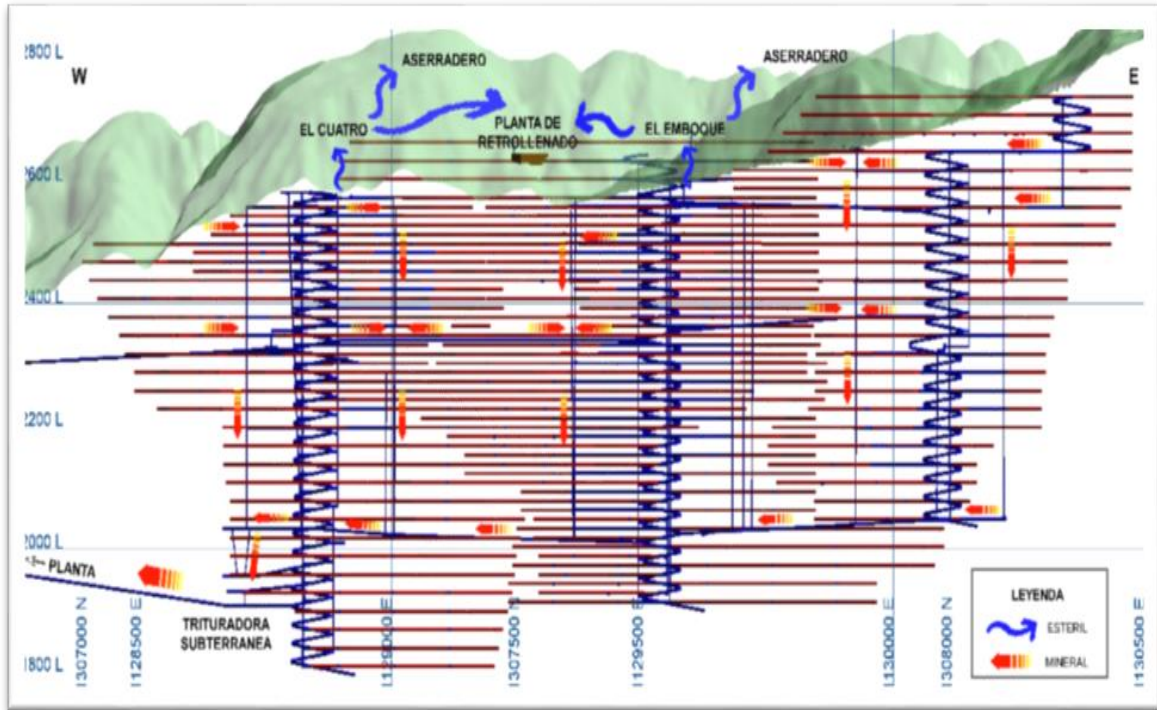
El diseño de mina del Proyecto Soto Norte tiene 2.000 m de longitud, 400 m - 900 m de influencia a lo ancho, 600 - 780 m de profundidad y 2460 m sobre el nivel del mar.

Figura 28. Sección Longitudinal del Túnel Planta - Mina del Modelo Generalizado de la Explotación



Fuente. Capítulo 3 Descripción del Proyecto Soto Norte, Estudio de Impacto ambiental para el proyecto de explotación Subterránea de Minerales Auroargentíferos "Soto Norte" Sociedad Minera de Santander

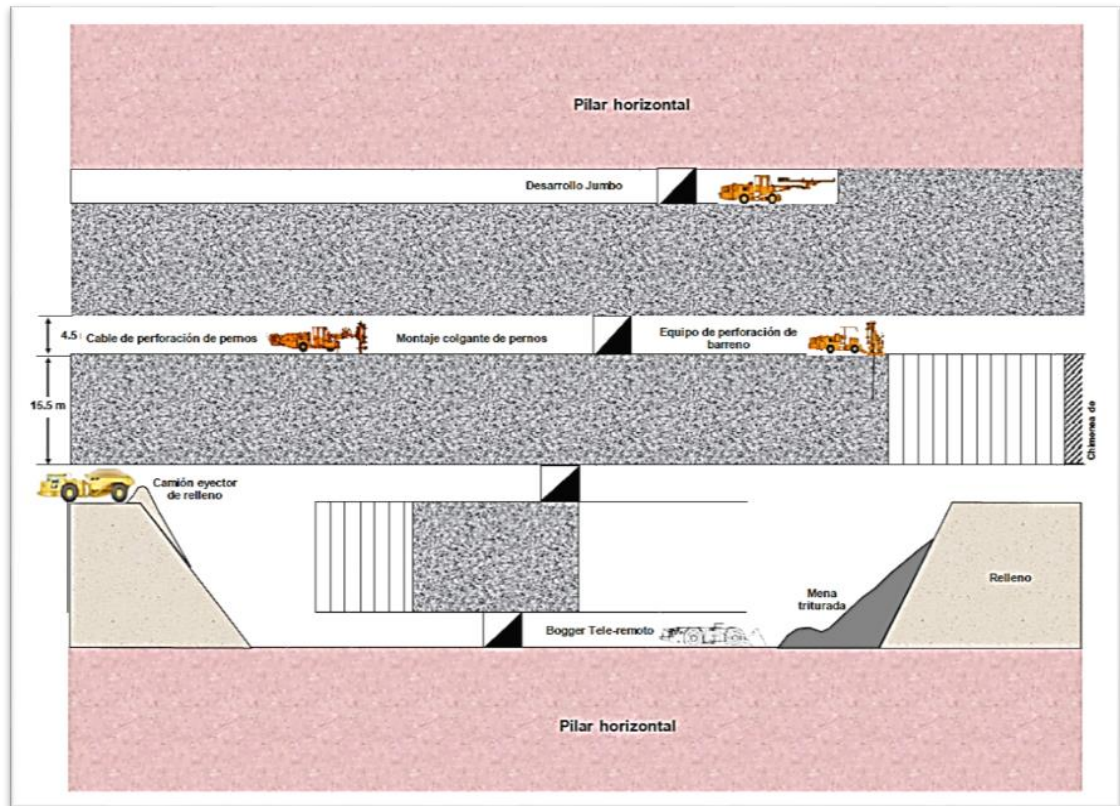
Figura 29. Movimiento de Material desde la Mina y en Superficie, Sector El Emboque - Sección Longitudinal.



Fuente. Capítulo 3 Descripción del Proyecto Soto Norte, Estudio de Impacto ambiental para el proyecto de explotación Subterránea de Minerales Auroargentíferos “Soto Norte” Sociedad Minera de Santander

El minado longitudinal de cámaras angostas con taladros largos y vetas de 3 a 5 m de ancho es uno de los métodos de minado que se implementarán en el proyecto Soto Norte para la extracción de cámaras por subniveles en retirada y el corte-relleno.

Figura 30. Esquema del Minado Longitudinal con Taladros Largos.

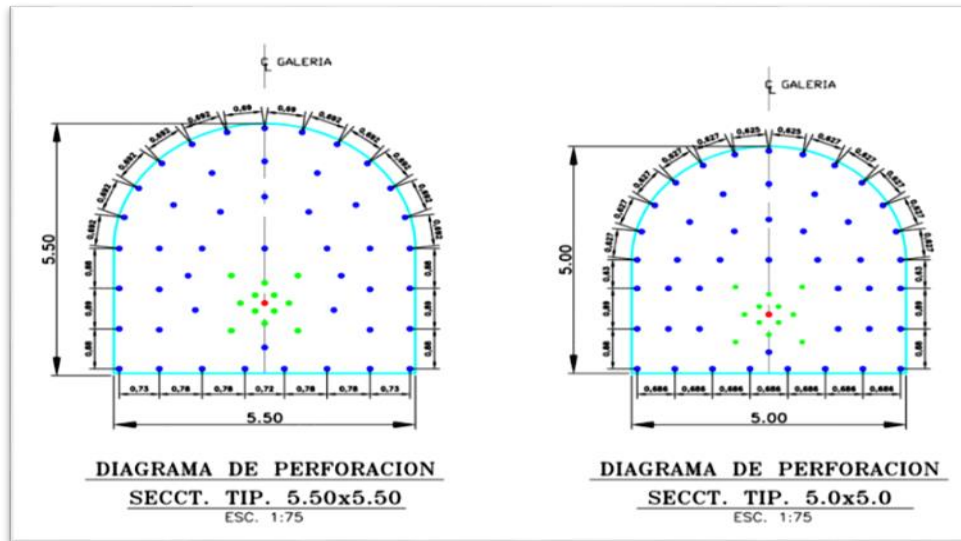


Fuente. Capítulo 3 Descripción del Proyecto Soto Norte, Estudio de Impacto ambiental para el proyecto de explotación Subterránea de Minerales Auroargentíferos “Soto Norte” Sociedad Minera de Santander

El proceso de minado comprende la preparación del frente, el cual consiste en la excavación y estabilización de las galerías de extracción (5 x 5 m) en la base y el techo de la cámara a extraer. Desde estas, se perforará el esquema de tiro en abanico y se carga la emulsión y detonadores. Los diámetros de las perforaciones están estandarizados en 76 y 89 mm dependiendo de si la cámara es amplia o angosta.³

³ Capítulo 3 Descripción del Proyecto Soto norte, estudio de Impacto ambiental, Página 174

Figura 31. Malla de Perforación (Abanico).



Fuente. Capítulo 3 Descripción del Proyecto Soto Norte, Estudio de Impacto ambiental para el proyecto de explotación Subterránea de Minerales Auroargentíferos “Soto Norte” Sociedad Minera de Santander

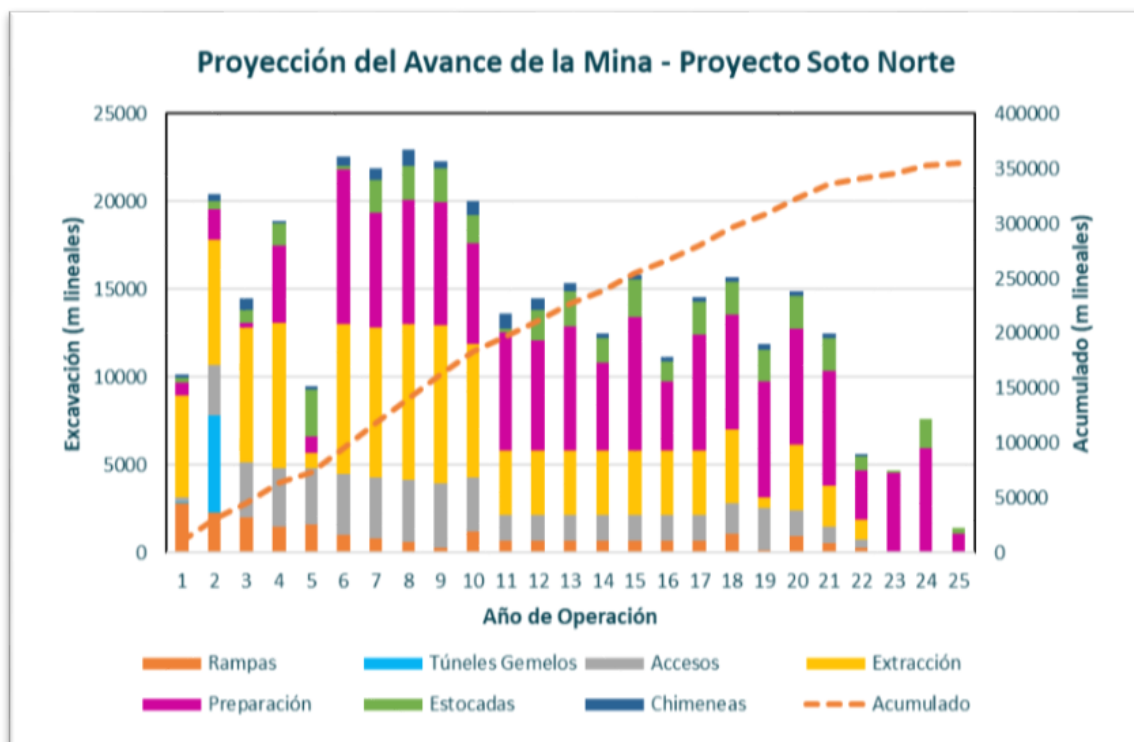
Figura 32. Perforaciones Laterales de Pernado



Como se requiere realizar perforaciones en el frente y de igual manera realizar el proceso de sostenimiento de túnel, la perforadora realizará operaciones laterales para instalación de pernos e inyección de pasta como se observa en la figura 32.

En promedio la perforadora tendrá que realizar 60 perforaciones por frente en un tiempo estimado de 2 horas, lo que se ejecutaría 2 veces por turno laboral 24 horas, 7 días a la semana.

Figura 33. Proyección del Avance de Desarrollo del Proyecto Soto Norte.



Fuente. Capítulo 3 Descripción del Proyecto Soto Norte, Estudio de Impacto ambiental para el proyecto de explotación Subterránea de Minerales Auroargentíferos “Soto Norte” Sociedad Minera de Santander

Como se evidencia en la proyección del avance de la mina el primer año de explotación se espera avanzar 10000 metros lineales en varios frentes, combinando, factores ambientales como temperaturas desde 18°C a 30°C, pendientes de rampas hasta del 17%, humedad relativa promedio de 40% y material particulado por tránsito de vehículos de carga y perforación.

5.1.3 Definición de la Estructura Funcional del Jumbo Perforador SANDVIK DD321. El equipo de perforación utiliza una estructura compuesta por subsistemas, para los cuales se hace referencia:

- **Subsistema Power-Pack HP555**, que comprende el motor eléctrico de 75Hp, el gabinete de conexionado eléctrico, la bomba hidráulica de pistones, denominado *Motor #1 y #2* en los horómetros.
- **Subsistema de Perforadoras**, incluyen los martillos perforadores y el sistema de percusión, denominado *Perforadora #1 y #2* en los horómetros.
- **Subsistema de Traslación**, comprende el motor Diesel, Servo-transmisión, bastidor y denominado en el horómetro como *Diesel*.
- **Subsistema de Aire/ Agua**, se comprende el compresor de tornillo Gardner Denver, Bomba multietapas Groundfos, conexionado de mangueras y flushim, denominado en el horómetro como *Compresor*.

Estos componentes descritos en la taxonomía poseen horómetros que permiten llevar el seguimiento y el control de la planeación del mantenimiento en el equipo, de forma global o separada.

Figura 34. Cuadro de Horómetros de Subsistemas



Se define una estructura de subsistema básica, que permite llevar el seguimiento de actividades para el mantenimiento según horómetros, los demás componentes no mencionados se registrarán con el horómetro principal del equipo o llamado Diesel en la figura 34.

Figura 35. Estructura de Subsistemas Jumbo Perforador.

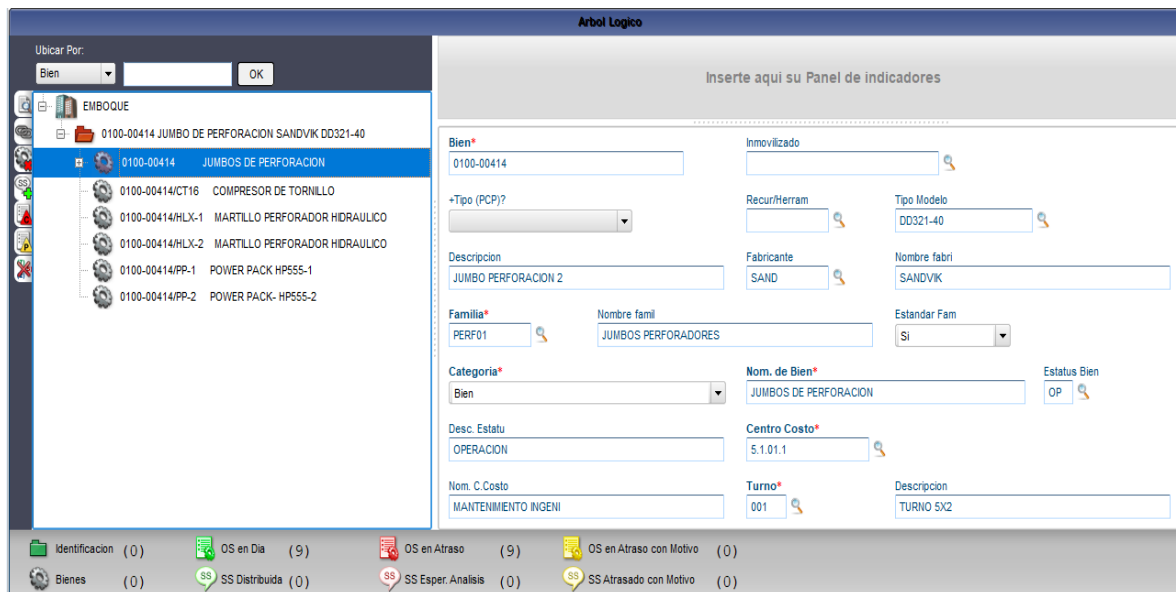
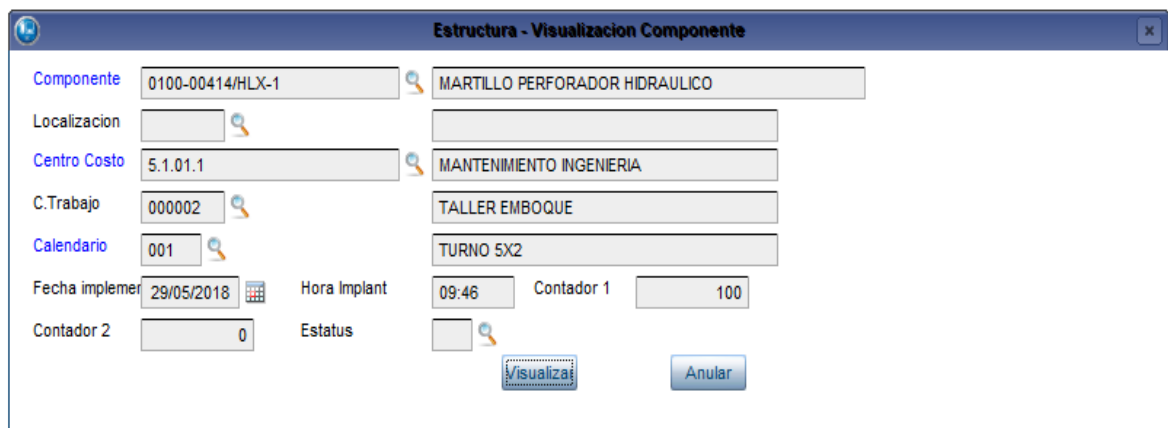


Figura 36. Información relevante para cada Subsistema



5.2 IMPLEMENTACIÓN DE LAS SIETE PREGUNTAS DE RCM

La implementación del Análisis de Modo y Efecto de Falla se realiza para los cuatro subsistemas nombrados según los horómetros que posee el equipo, en el numeral siguiente se describe las actividades desarrollados solo al sistema de perforación, los demás se incluirán en el apéndice.

5.2.1 Análisis de Modo y Efecto de Fallas Subsistema de Perforadoras HLX5.

El análisis de modo y efecto desarrollado para este subsistema requiere que se lleve hasta el nivel de componente, con esto se asegura una información detallada de posibles fallas funcionales, detallando las actividades específicas para cada componente.

Tabla 4. AMEF de Componente (A) cámara de barrido

SUBSISTEMA	C COMPONENTE	F OPERACIÓN O FUNCION	MF MODO DE FALLA	EF EFECTO DE FALLA	FREC DE FALLA	CAUSAS DE FALLA
MARTILLO PERFORADOR HIDRAULICO (HLXS)	Cámara de barrido (Carcasa de barrido central y delantera)	A Componente estructural del martillo perforador el cual se encarga de la hermeticidad en el aire y agua del sistema de perforación	1 Deficiencia estructural - desgaste excesivo en Cojinetes de barrido	Perdida de presión en el sistema debido a fugas de aire o aceite	3	Relacionadas a la operación: desgaste esperado del sistema
			2 Deficiencia estructural - desgaste excesivo en el buje de rotación	Perdida de la capacidad del martillo de rotar en la perforación	2	Relacionadas a la operación: roturas capilares o el extremo se ha desgastado más de 1 mm
			3 Reducción de carga - rotura de pernos en la carcasa de barrido	Deformaciones de la carcasa de barrido y pérdida de presión del sistema	2	Relacionadas a la operación: componente sometido a esfuerzo sobredimensionados
			4 Deficiencia estructural - desgaste superior a 1mm en casquillo portaherramientas	Aumento de ruidos extraños en la perforadora cuando es accionada la rotación	3	Relacionadas a la operación: el desgaste ha sobrepasado el surco indicador en el casquillo Relacionadas a la operación: Desgaste en la superficie o roturas capilares
			5 Deficiencia estructural - desgaste excesivo en el acoplamiento de rotación	Perdida de la capacidad del eje para la rotación en la barra perforadora	2	Relacionadas a la operación: desgaste presentado por el trabajo del sistema
			6 Fugas externas - fuga de aire o agua por la carcasa de barrido	Perdida de la hermeticidad en la cámara del martillo perforador	3	Relacionadas a la operación: desgaste en las juntas de la carcasa de barrido
			7 Deficiencia estructural - corrosión en las placas de las juntas	Perdida de hermeticidad y aumento de suciedad dentro de la carcasa afectando otros	1	Relacionadas a la operación: condiciones ambientales de operación del martillo
			8 Deficiencia estructural - desgaste en el adaptador	Aumento en las vibraciones del martillo y pérdida de capacidad de	2	Relacionadas a la operación: desgaste esperado del sistema

Tabla 5. AMEF de Componente (B) caja de engranajes

SUBSISTEMA	C COMPONENTE	F OPERACIÓN O FUNCION	MF MODO DE FALLA	EF EFECTO DE FALLA	FREC DE FALLA	CAUSAS DE FALLA
MARTILLO PERFORADOR HIDRAULICO (HLXS)	Caja de Engranajes	B Sistema que permite el accionamiento de la percusión y la rotación del martillo perforador por medio de engranajes que transmiten la potencia hacia el eje adaptador	1 Deficiencia estructural - desgaste excesivo en Cojinete interno	Aumento de ruido de contacto por el desgaste del elemento presenta deformaciones	2	Relacionadas a la operación: tiempo de uso del cojinete
			2 Rotura de los pernos tirantes	Perdida de presión en la caja de engranajes	2	Relacionadas a la operación: condiciones de trabajo o esfuerzos sobredimensionados
			3 Deficiencia estructural - desgaste en las placas de	daño en los engranajes de contacto debido a que la placa no	2	Relacionadas al material: desgaste por tiempo de trabajo
			4 Baja producción - abrasión o fracturas en los engranajes	Ruidos excesivos y contaminación del aceite con partículas de los dientes	3	Relacionadas al diseño y material: tiempo de trabajo cumplido para el engranaje
			5 Desgaste superior a 1mm en cabeza de contacto en espiga de rotación	Problemas en el acoplamiento de la espiga de rotación con el adaptador de la carcasa de barrido	2	Relacionadas al diseño y material: ya ha fallado por tiempo de uso y desgaste
			6 Deficiencia estructural - desgaste del casquillo interior de rotación caja de engranajes	Aumento de la temperatura de contacto entre las piezas y ruidos anormales	2	Relacionadas a la operación: desgaste interno en el casquillo

Tabla 6. AMEF de Componente (C) acumuladores de presión

SUBSISTEMA	C COMPONENTE	F OPERACIÓN O FUNCION	MF MODO DE FALLA	EF EFECTO DE FALLA	FREC DE FALLA	CAUSAS DE FALLA
MARTILLO PERFORADOR HIDRAULICO (HLXS)	Acumuladores de Presión	C Sistema encargado del control de la presión de aceite hidraulico que mantiene el sistema en operación	1 Baja producción -falta de presión en el acumulador de baja presión	Perdida de la presión del gas de carga del acumulador y operación erratica del martillo	3	Relacionadas al mantenimiento: ausencia de inspección de la presión del gas
			2 Falta de presión en el acumulador de alta presión	Ausencia de presión en el martillo para la percusión y rotación	3	Relacionadas al mantenimiento: niveles de presión en el acumulador bajos
			3 Deficiencia estructural - rotura de los pernos del acumulador	Perdida de hermeticidad y presión en el acumulador	1	Relacionadas a la operación: condiciones de operación del martillo
			4 Fuga externa - pérdida de hermeticidad de las juntas de los acumuladores	Baja presión de sistema dado que los acumuladores no cumplen la función	3	Relacionadas a las condiciones de operación de la máquina
			5 Fuga interna - pérdida de funcionalidad del diafragma	Baja producción en el acumulador de presión y pérdida de potencia	3	Relacionadas a la operación: desgaste del diafragma
			6 Baja producción - pérdida del gas en el acumulador	Baja presión en el sistema y pérdida de funcionamiento del acumulador	3	Relacionadas al mantenimiento: no se cargaron los acumuladores en in situ

Tabla 7. AMEF de Componente (D) motor de rotación

SUBSISTEMA	C COMPONENTE	F OPERACIÓN O FUNCION	MF MODO DE FALLA	EF EFECTO DE FALLA	FREC DE FALLA	CAUSAS DE FALLA
MARTILLO PERFORADOR HIDRAULICO (HLXS)	Motor de Rotacion	D Motor encargado de la rotación de la varilla que realiza la perforación con el martillo	1 Deficiencia estructural - desgaste excesivo en los rodamientos de bola	Aumento de ruido de trabajo en el motor	2	Relacionadas a la operación: desgaste de las partes mencionadas
			2 Daños materiales -desgaste en el distribuidor	Perdida de potencia en el motor de rotación	2	
			3 Daños materiales - Desgaste en el cojinete trasero	Desbalance en el eje de acoplamiento y ruidos anormales	2	
			4 Daños materiales - Daño en ruedas dentadas del motor hidraulico	Contaminación de aceite hidráulico y ruidos en la operación hidraulico	1	
			5 Daños materiales - Daño en los Oring del cojinete trasero y auxiliar	Perdida de hermeticidad en el motor de rotación	2	
			6 Daños materiales - Desgaste excesivo en el piston	Perdida de capacidad de rotación en la varilla de perforación	1	

5.2.2 Lógica de Decisiones. Para este paso es importante definir en qué sentido es importante la falla para cada componente identificado para el subsistema de la perforadora, adicional definir que se puede hacer para prevenir según la criticidad evaluada en cada modo de falla. Las actividades propuestas como método de acción se plasman luego en los servicios por horas clasificando el tiempo estimado para ejecución y el personal que requiere realizar la ejecución.

Tabla 8. Lógica de decisiones Componente (A) cámara de barrido

CONSECUENCIAS						TAREAS DE MANTENIMIENTO					
IMP A PRODUCCION	CAP DE RESPALDO	S DE REPARACION	IMP A SEGURIDAD	IMP AMBIENTAL	CRITICIDAD	A CONDICIÓN	REACONDICIONAMIENTO	SUSTITUCIÓN CÍCLICA	ACTIVIDAD PROPUESTA	FREC	REALIZAR CON
3	2	1	8	5	57			X	Sustituir los cojinetes de la carcasa de barrido del martillo de la perforadora	1000H	MECÁNICO
3	3	2	8	5	42			X	Cambiar el buje de rotación debido al desgaste de la abrazadera que se encuentra en el extremo/rayaduras o roturas	2000H	MECÁNICO
						X			Inspeccionar estado y par de apriete de los pernos de la carcasa del martillo perforador, que no presenten daños o deformaciones	500H	MECÁNICO
4	2	1	10	5	44	X			Comprobar el apriete de las varillas tirantes que se encuentran junto con los pernos de la carcasa de barrido del martillo perforador	500H	MECÁNICO
						X			Cambiar los pernos de la carcasa de barrido si están deformados o rotos	1000H	MECÁNICO
						X			Sustituir los casquillos de rotación del martillo perforador si este supera el limite indicador	1000H	MECÁNICO
3	2	1	8	5	57	X			Sustituir el manguito portaherramientas dentro del casquillo de rotación del martillo perforador si presenta desgaste o rayaduras	1000H	MECÁNICO
								X	Cambiar el acoplamiento de rotación del martillo perforador si presenta roturas o desgaste en los borde de los dientes	1000H	MECÁNICO
3	3	1	8	5	40		X		Inspeccionar estado del acoplamiento de rotación (desgaste de dientes o deformaciones)	500H	MECÁNICO
								X	Cambiar las juntas de la carcasa de barrido del martillo perforador si se presentan fugas de aire o agua	1000H	MECÁNICO
								X	Cambiar los anillos de guía de la junta de la carcasa del martillo perforador	1000H	MECÁNICO
1	1	2	8	5	17	X			Sustituir las placas de de la junta de la carcasa de barrido del martillo si hay presencia de corrosión	4000H	MECÁNICO
3	2	2	8	5	40			X	Cambiar el adaptador que se acopla al acoplamiento y la carcasa de barrido del martillo perforador	2000H	MECÁNICO

Tabla 9. Lógica de decisiones Componente (B) caja de engranajes

CONSECUENCIAS						TAREAS DE MANTENIMIENTO					
IMP A PRODUCCION	CAP DE RESPALDO	DE REPARACION	IMP A SEGURIDAD	IMP AMBIENTAL	CRITICIDAD	A CONDICIÓN	REACONDICIONAMIENTO	SUSTITUCIÓN CÍCLICA	ACTIVIDAD PROPUESTA	FREC	REALIZAR CON
2	1	1	8	5	34	X			Inspeccionar visualmente con la medida indicativa el desgaste del cojinete delantero y trasero de la caja de engranajes del martillo perforador	500H	MECÁNICO
								X	Cambiar los cojinetes de bola de la caja de engranajes del martillo perforador con el casquillo de cada uno	4000H	MECÁNICO
4	2	1	8	5	40	X			Cambiar los pernos de la caja de engranajes del martillo perforador que presenten roturas o deformaciones evidentes	1000H	MECÁNICO
2	3	1	8	5	38	X			Inspeccionar estado de las placas de deslizamiento de la caja de engranajes del martillo perforador	500H	MECÁNICO
								X	Cambiar las placas de deslizamiento de la caja de engranajes del martillo perforador	2000H	MECÁNICO
4	3	2	10	5	72	X			Inspeccionar estado del engranaje primario de la caja de engranajes del martillo perforador	500H	MECÁNICO
								X	Cambiar engranajes de la caja del martillo de rotación si presentan roturas capilares o están agarrotados	2000H	MECÁNICO
4	3	2	8	5	44	X			Inspeccionar con calibrador el desgaste de la espiga de rotación del martillo perforador	500H	MECÁNICO
								X	Cambiar la espiga de rotación del martillo perforador si superó los límites de contacto	2000H	MECÁNICO
2	2	1	8	5	36			X	Cambiar los casquillos internos de la caja de engranajes del martillo perforador	1000H	MECÁNICO

Tabla 10. Lógica de decisiones Componente (C) acumuladores de presión

CONSECUENCIAS						TAREAS DE MANTENIMIENTO					
IMP A PRODUCCION	CAP DE RESPALDO	DE REPARACION	IMP A SEGURIDAD	IMP AMBIENTAL	CRITICIDAD	A CONDICIÓN	REACONDICIONAMIENTO	SUSTITUCIÓN CÍCLICA	ACTIVIDAD PROPUESTA	FREC	REALIZAR CON
3	3	1	15	10	96		X		Comprobar la presión del gas de los acumuladores con un manómetro (0-10 Bar baja presión)	50H	ELECTROMECAÁNICO
3	3	1	15	10	96		X		Inspeccionar con un manómetro la presión de los acumuladores de alta presión (0-100 Bar)	50H	ELECTROMECAÁNICO
1	2	1	8	5	17	X			Inspeccionar estado y apriete de los pernos del acumulador de presión del martillo perforador (si hay daño cambiar)	500H	MECÁNICO
2	2	1	10	10	75	X			Inspeccionar visualmente estado de las juntas de los acumuladores de presión del martillo perforador	500H	MECÁNICO
								X	Cambiar el diafragma interno de los acumuladores de presión del martillo perforador	500H	MECÁNICO
3	2	2	5	10	66			X	Cambiar los anillos toricos/o-rings de los diafragmas de los acumuladores de presión del martillo perforador	500H	MECÁNICO
4	2	2	15	10	99		X		Recargar los acumuladores de presión del martillo perforador solo con Nitrogeno N2	2000H	ELECTROMECAÁNICO

Tabla 11. Lógica de decisiones Componente (D) motor de rotación

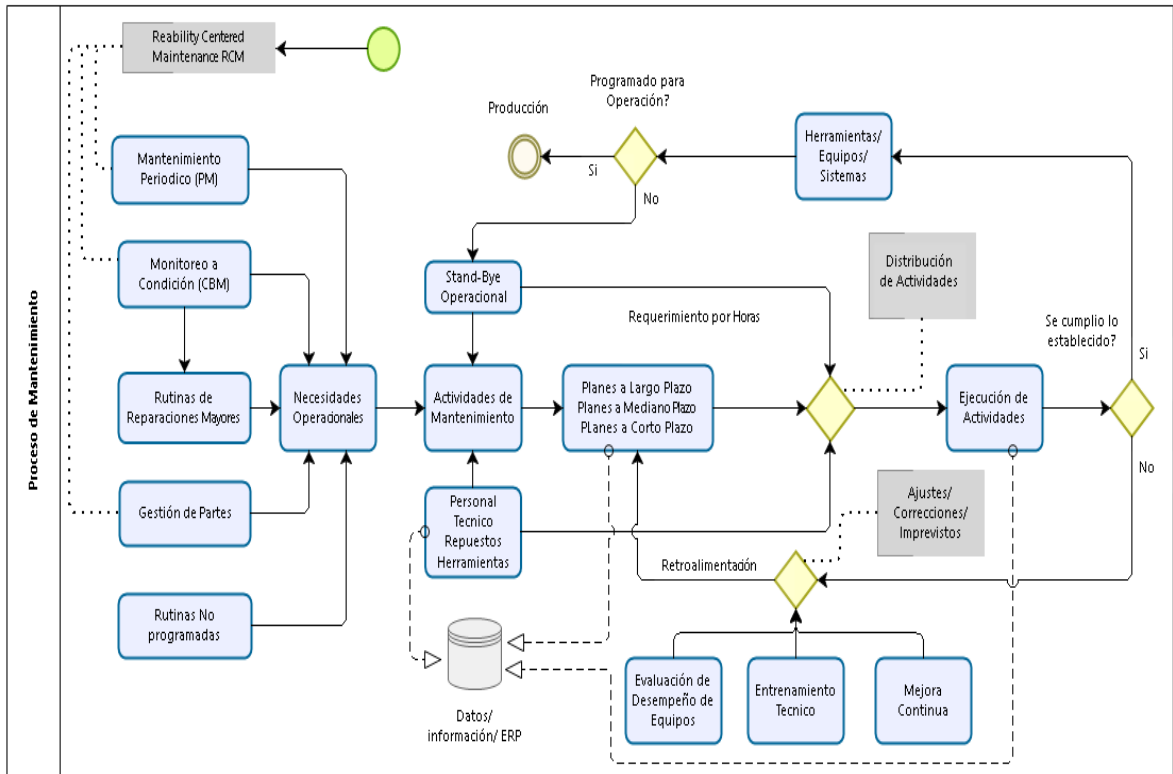
CONSECUENCIAS						TAREAS DE MANTENIMIENTO					
IMP A PRODUCCION	CAP DE RESPALDO	S DE REPARACION	IMP A SEGURIDAD	IMP AMBIENTAL	CRITICIDAD	A CONDICIÓN	REACONDICIONAMIENTO	SUSTITUCIÓN CÍCLICA	ACTIVIDAD PROPUESTA	FREC	REALIZAR CON
3	3	1	8	5	40			X	Sustituir los rodamientos de contactos traseros del motor hidráulico de rotación	4000H	MECÁNICO
2	2	1	8	5	36	X			Inspeccionar visualmete el estado del distribuidor del motor de rotación del martillo perforador (señales de roturas, marcas o arañazos superficiales)	500H	MECÁNICO
3	3	1	8	5	40			X	Sustituir el cojinete trasero del martillo perforador que se acopla al motor de rotación	4000H	MECÁNICO
4	2	2	8	10	26	X			Inspeccionar estado de los componentes internos del motor hidráulico del martillo perforador (grietas, fisuras o agarrotamiento)	500H	MECÁNICO
3	2	1	5	5	32		X		Cambiar los o-ring del los cojinetes acoplados al motor hidráulico del martillo perforador	4000H	MECÁNICO
4	2	2	8	10	26	X			Verificar presión del motor hidraulico de rotación del martillo perforador con el manometro del kit de herramientas de revisión	1000H	MECÁNICO

5.3 DEFINICIÓN DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO

Definir un proceso inicial para la gestión de los activos fijos de la empresa en general es una tarea de cuidado, actualmente se determinó a futuro probable de dos años una estrategia en la cual se incorporaron todas las fuentes de interacción del proceso con las demás áreas, se tuvieron en cuenta las entradas, las salidas y las posibles retroalimentaciones y modificaciones para que una metodología como la del RCM pudiese brindar como inicio los planes detallados del mantenimiento.

La metodología RCM, adicionalmente permite dar un enfoque inicial de las necesidades operacionales que en este caso el Jumbo de Perforación requiere constantemente, se puede destacar que las actividades de mantenimiento generadas partiendo de la metodología están ligadas a las entradas de personal, repuestos, herramientas y la disponibilidad para manutención del equipo en tiempos no operacionales.

Figura 37. Proceso del Mantenimiento en MINESA.

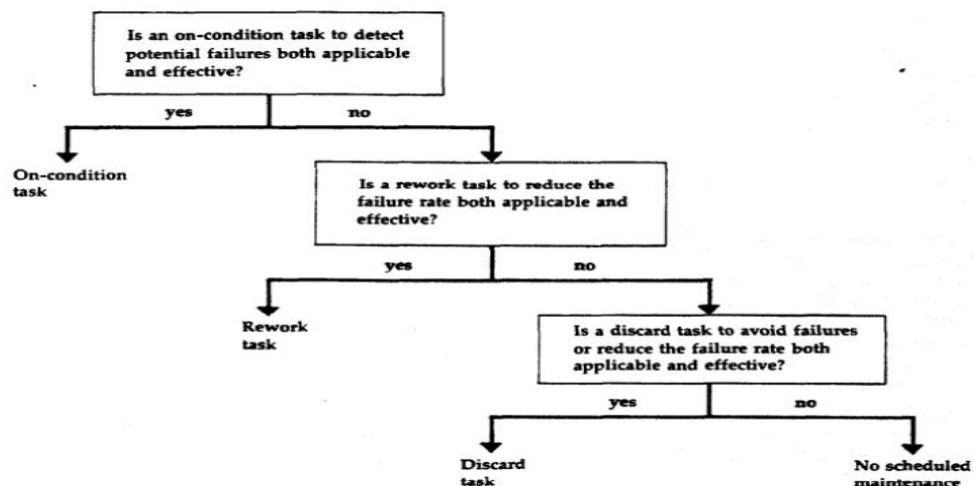


Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

Desde los planes de mantenimiento de largo, mediano y corto plazo se pueden ligar varias retroalimentaciones del proceso sujetas a mejora continua, evaluación de desempeño del equipo durante su turno, realizado por el operador quien puede reportar posibles síntomas durante su funcionamiento, el entrenamiento de personal técnico influye dado que al poseer unas competencias más específicas permitirán realizar tareas de monitoreo constante por medio de la obtención de datos para análisis y toma de decisiones gerenciales.

5.3.1 Elaboración del Árbol de Decisión. El enfoque proactivo que permite dar la implementación de la metodología RCM, se resume para este caso en tres tipos de tareas, las cuales podemos definirlas como tarea a condición, que buscan estar realizando inspecciones continuas por medio de revisiones visuales para que sea posible determinar una falla potencial y tener el tiempo suficiente para prevenirla. Para las tareas de reacondicionamiento, se busca estar ajustando, lubricando, calibrando, devolviendo a condiciones operacionales subsistemas o componentes que están sujetas a variaciones o desajustes sin que haya un desgaste que evite poner en condición normal de trabajo.

Figura 38. Árbol de decisión



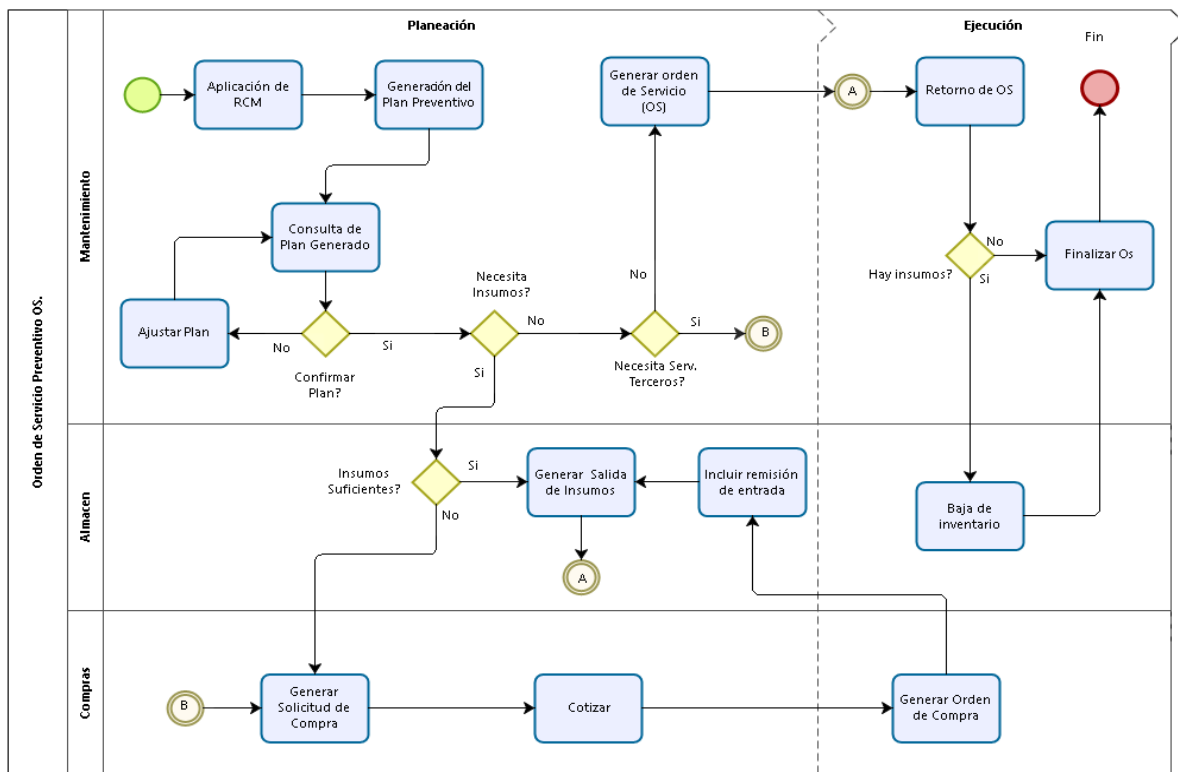
Fuente: B K N Rao. Handbook of Condition Monitoring. s.l. : Oxford/ Elsevier advanced Technology, 1996.

Y la última denominada como tarea de sustitución cíclica que me permite analizar según la experiencia del fabricante o Benchmarking que muchos de los componentes ya se deterioran por su trabajo normal de operación y no son susceptibles a ajustes, se requiere cambiar, como lo es el aceite de motor,

sistemas de filtración, rodamientos o todo lo que sufra desgaste mecánico constante.

5.3.2 Consolidación del proceso de la Orden de Servicio. Para las Ordenes de Servicio generadoras como preventivas, se inicia con la aplicación de la metodología RCM, consolidando la información necesaria para generar el plan de mantenimiento, evidenciando también la participación de almacén para suministro de repuestos y compras como aliado importante para la gestión de servicios a terceros y repuestos.

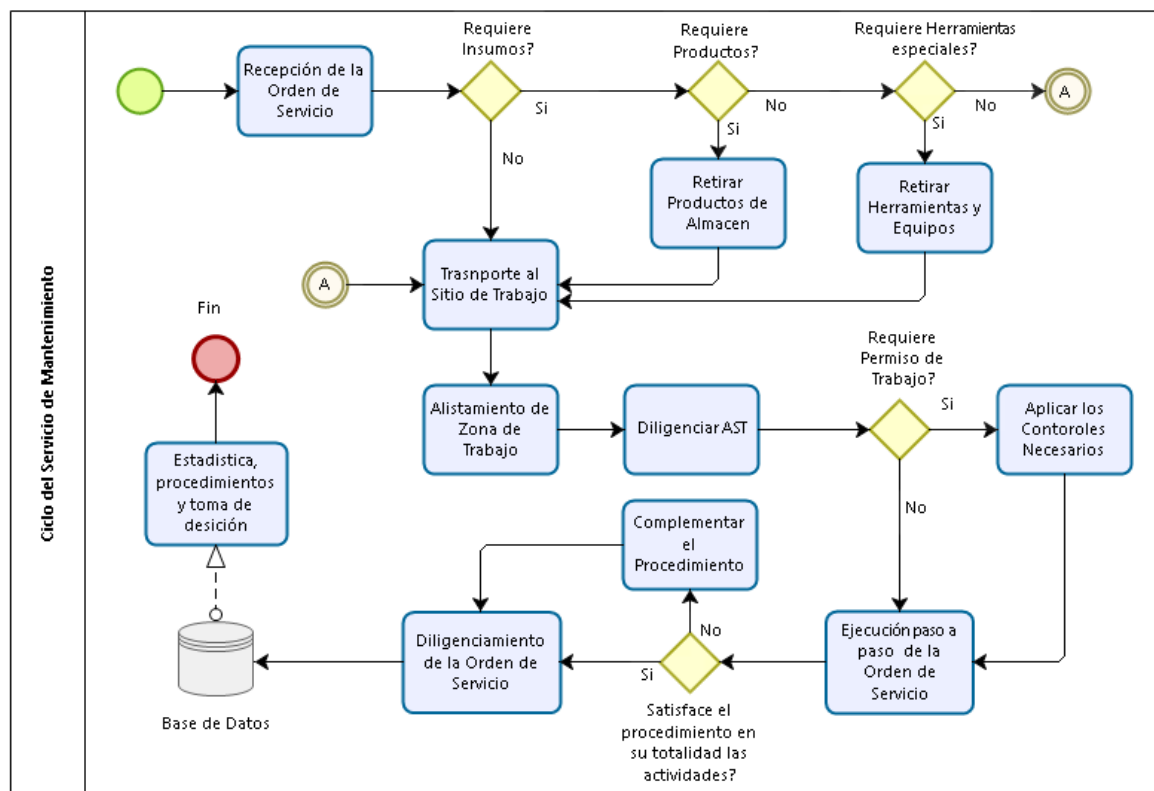
Figura 39. Proceso de la Orden de Servicio Preventiva en MINESA



Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

5.3.2.1 Ciclo del Servicio de Mantenimiento. En el ciclo de servicio se involucra la parte técnica, quienes son los que reciben la orden de servicio realizando la ejecución, cumpliendo con los procedimientos internos de seguridad industrial y garantizando el retorno de la información para la base de datos y análisis de información.

Figura 40. Ciclo del Servicio Técnico de Mantenimiento en MINESA.



Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

5.3.2.2 Estándares de Servicio. Se derivan de las actividades propuestas en lógica de decisiones, los servicios inicialmente se consideran por tiempos estimados de fabricante puesto que no se tienen estadísticas de mantenimiento que permitan dar un punto de partida para estimar los tiempos, se estiman y generan siete tareas genéricas que deben ser realizadas secuencialmente, se hace énfasis en que componente se debe trabajar y se hace una descripción de etapa simple, algunas requieren un procedimiento los cuales estarán adjuntos al momento de entregar las Ordenes de Servicio a la parte técnica operativa.

En este caso se relaciona el estándar de servicio de 1000 horas que se generó para el compresor Gardner Denver, el cual está relacionado en el subsistema de Aire/ Agua, las etapas describen claramente cuál es la actividad para ejecución dentro del estándar de servicio.

Tabla 12. Estándar de Servicio de 1000h para compresor Gardner Denver

SERVICIOS	TAREA	ETAPA	COMPONENT	DESCRIPCION ETAPA	CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCION	TIPO	TIEMPO DE EJECUCION [H]
1000H	INSPECCIÓN	JCI020	Compresor	Verificar la operación correcta de la válvula de presión de seguridad del compresor	Peligro de explosión	Inspeccionar	Predictivo	0,1
		JCI021	Agua	Verificar estado de los rodamientos del eje acoplados a la bomba de las perforadoras	Ruidos/vibraciones	Verificar	Predictivo	0,5
		JCI022	Agua	Inspeccionar el eje y la caracola de impulso de la bomba de agua de la perforadora	No hay bombeo de agua	Verificar	Predictivo	0,5
	SUSTITUCIÓN	JCS001	Compresor	Cambiar los sellos de la válvula de admisión del compresor	No entra aire al compresor	Cambiar	Preventivo	1,0
		JCS002	Compresor	Cambiar los sellos de la válvula de descarga del compresor	Perdida de presión del compresor	Cambiar	Preventivo	1,0
	CEPILLADO	JCC004	Compresor	Limpiar la entrada de aire al compresor	Acumulación de suciedad	Limpiar	Preventivo	0,2
		JCC005	Compresor	Limpiar los intercambiadores de calor del compresor	Acumulación de suciedad	Limpiar	Preventivo	0,3
		JCC006	Compresor	Limpiar las líneas de retorno del aceite del compresor	Líneas obstruidas	Limpiar	Preventivo	0,5
	PUESTA A PUNTO	JCP002	Compresor	Soldar cable de la termocupla si se ha soltado del control de temperatura del compresor	Item suelto/no indica temperatura	Soldar	Correctivo	0,8

5.3.2.3 Catalogación de Repuestos Críticos. Con el análisis de la información resultante de la lógica de decisión desarrollado, las actividades del mantenimiento que están ligadas a las tareas de sustitución cíclica se extraen en una lista para

catalogación de repuestos en almacén, se establecen los máximos y mínimos que deben tener en stock.

De igual manera en la programación de los servicios en el módulo Protheus, se agregan como recurso destinado para el cambio, esto se generan como reserva antes de la ejecución de cada servicio y permite contar con los repuestos antes de la ejecución de cada servicio de mantenimiento.

En la tabla siguiente se relaciona los repuestos que involucran la filtración de fluidos en el equipo, independiente del sistema donde estén instalados.

Tabla 13. Catalogación de repuestos críticos en filtración de aceites

Listado de Repuestos en Filtración					
Ítem	Producto	# Parte	Cantidad	Código Totvs	Subdivis
1	Filtro aceite motor	61507643	1	43915040000027	
2	Filtro combustible primario	61507642	1	43915070000074	
3	Filtro combustible secundario	61507641	1	43915070000016	
4	Filtro combustible separador agua	55051165	1	43915040000030	
5	Filtro aire primario	88601219	1	43915040000031	
6	Filtro aire secundario	88601349	1	43915040000032	
7	Filtro hidráulico retorno tanque	86727289	1	43915040000028	
8	Filtro hidráulico respiradero tanque	85079409	1	43915040000029	FILTROS
9	Filtro hidráulico de presión	81558479	2	43915040000033	
10	Filtro de la transmisión	4697505	1	43915040000034	
11	Filtro respiradero de la transmisión	81391249	1	43915040000035	
12	Filtro separador de aceite compresor	3582228	1	43915040000035	
13	Filtro aceite compresor	81649209	1	43915070000012	
14	Filtro de aire seguridad compresor	55071791	1	43915070000011	
15	Filtro aire compresor	55071773	1	43915040000036	

5.3.3 Gestión de la Información en el Módulo TOTVs Protheus. Actualmente se tiene información almacenada de actividades de mantenimiento correctivas que se realizaron a los dos equipos desde el año 2011 hasta año 2017, estos están catalogados como Jumbo Perforador código interno 0414 con un tiempo de operación de 300 horas y el Jumbo Perforador de código interno 0415 con un tiempo de operación de 100 horas.

5.3.4 Indicadores Gerenciales del Equipo. Durante los últimos 6 años los equipos de perforación han permanecido en Standby, por eso los tiempos de operación son bajos y la cantidad de Ordenes de Servicio que se han ejecutado a cada uno son proporcionales a su operación, en promedio se puede estimar que las intervenciones no superaban las 13 horas de intervención.

Tabla 14. Indicadores Gerenciales 2011-2017

Descripción	Jumbo Perforador 0414	Jumbo Perforador 0415
Horas de Operación	300	100
Cantidad de OS Ejecutadas	19	6
Tiempo Promedio de Reparación MTTR (Hora)	4,06	13,2
Tiempo Promedio Hasta la Falla MTTF (Hora)	165,55	230,3
Tiempo Promedio Entre Fallas MTBF (Hora)	2322,83	2305

Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

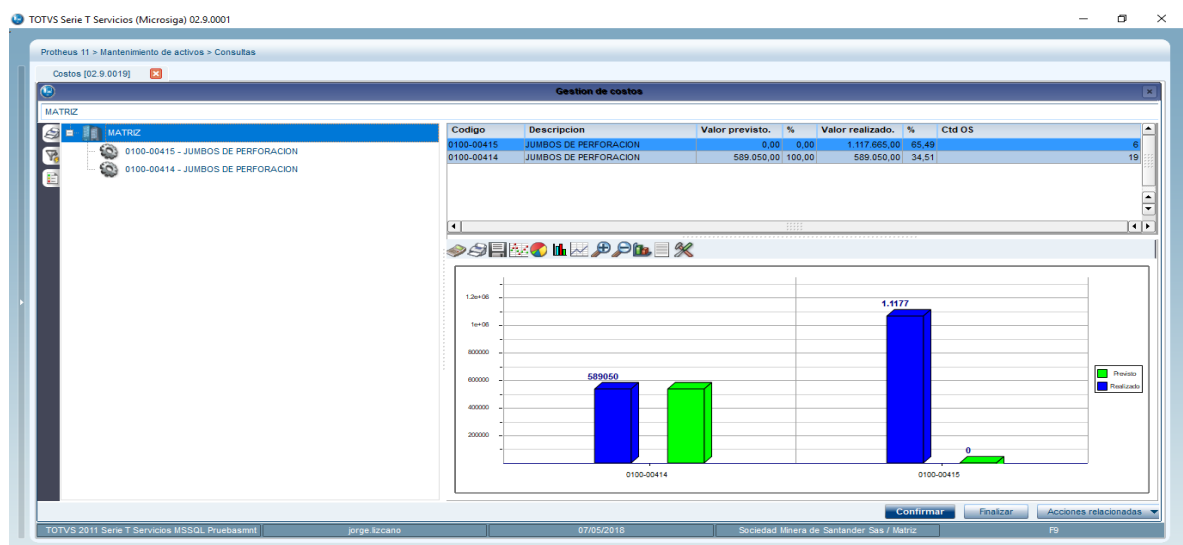
Los tiempos MTBF son bastante grandes dado que el tiempo fuera de operación es considerable y hacen referencia a las fallas observadas entre ellas durante su

funcionamiento, y los tiempos MTTR hacen costar que las fallas no han sido difíciles de reparar, consideradas más como inspección y lubricación, fallos menores.

5.4 COSTO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO DE LOS JUMBOS SANDVIK DD321

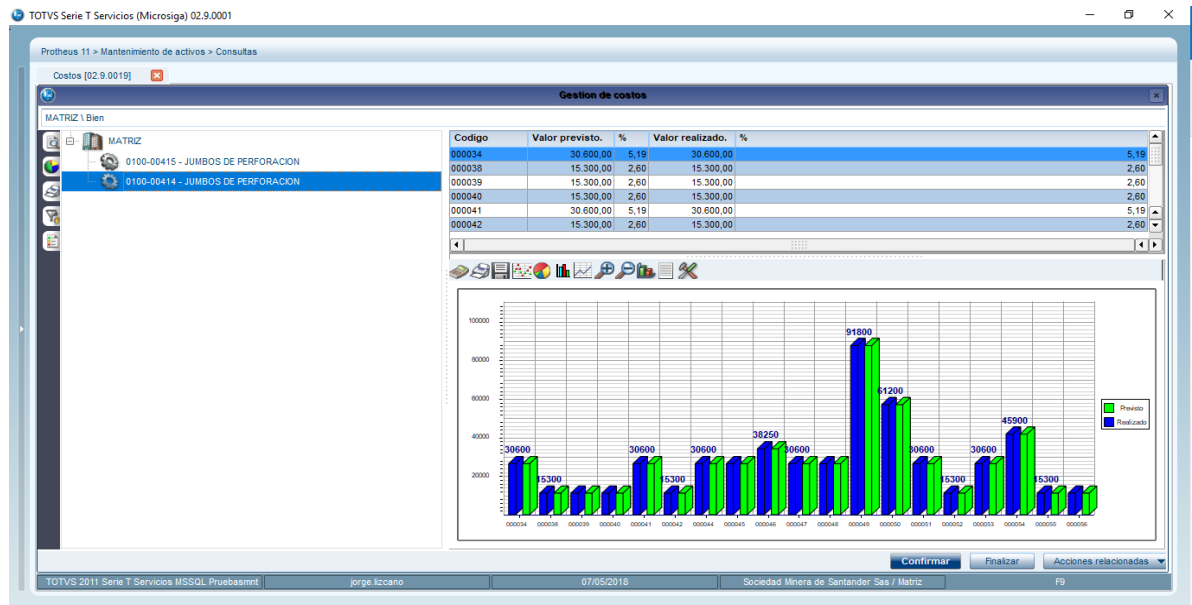
Para lograr estimar un costo promedio de mantenimiento actual, se parametrizaron los costos de hora hombre del personal Técnico en dólares y se tuvieron en cuenta que tipo de perfiles ejecutaron en su momento estas actividades. Con la información archivada y los tiempos de ejecución relacionadas, se logró estimar solo el costo de mano de obra del personal técnico, los costos de cambio de repuestos no tienen registro alguno. En la figura 41, se tiene información total del costo de la mano de obra, para lo cual podemos observar que el valor estimado de los dos equipos no supera los \$2000 US

Figura 41. Relación de Costo del Mantenimiento de los Jumbos Perforadores



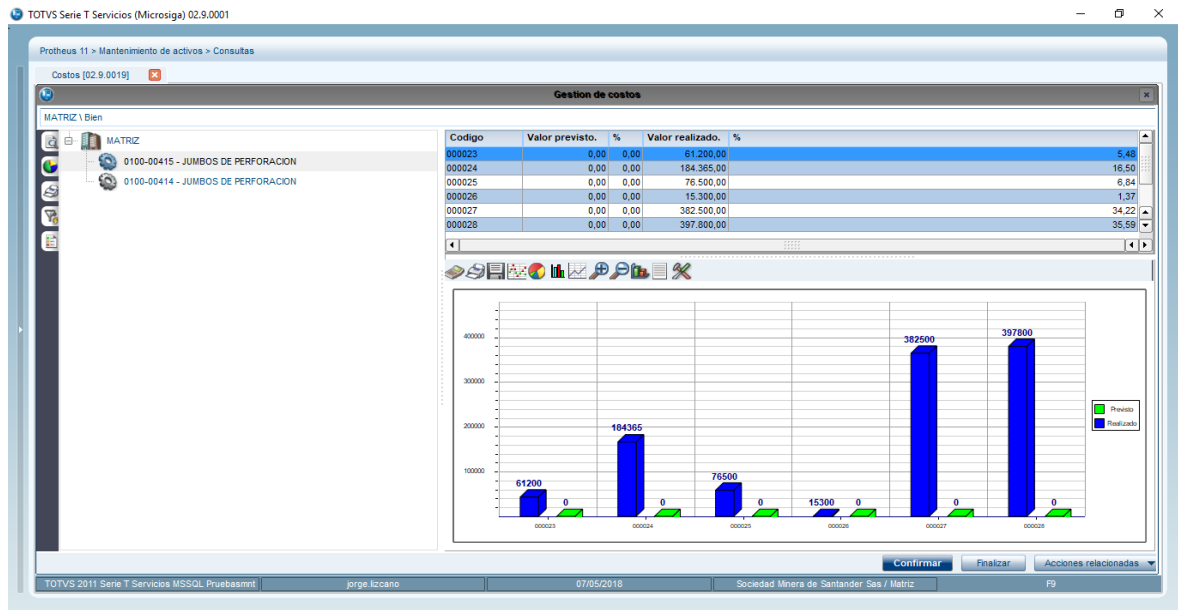
La figura 42, hace referencia al comportamiento del costo del Jumbo Perforador 0414 durante los últimos 6 años. Se debe tener en cuenta que durante este lapso el equipo ha tenido paradas operacionales extensas.

Figura 42. Costo Actual del Mantenimiento Jumbo 0414



En la figura 43, el costo de mantenimiento del Jumbo Perforador 0415 representa menos costos debido a sus 6 intervenciones y de poco tiempo.

Figura 43. Costo Actual de Mantenimiento del Jumbo 0415



5.5 PROYECCIÓN DEL COSTO ANUAL DEL MANTENIMIENTO JUMBO SANDVIK DD321

Con los estándares de servicios de mantenimiento definidos en cada sistema se puede determinar cuál es el costo de mantenimiento de mano de obra más repuestos a utilizar, para lo cual se relaciona la tabla 16, los subsistemas, con su correspondiente servicio, frecuencia de ejecución y el costo que relaciona la Mano de Obra y los repuestos establecidos en cada servicio.

En la figura 44, se realiza una proyección a dos años de servicio de operación normal, dentro de los cuales 28 estándares de Servicio previamente definidos para cada subsistema los cuales son controlados por horómetros.

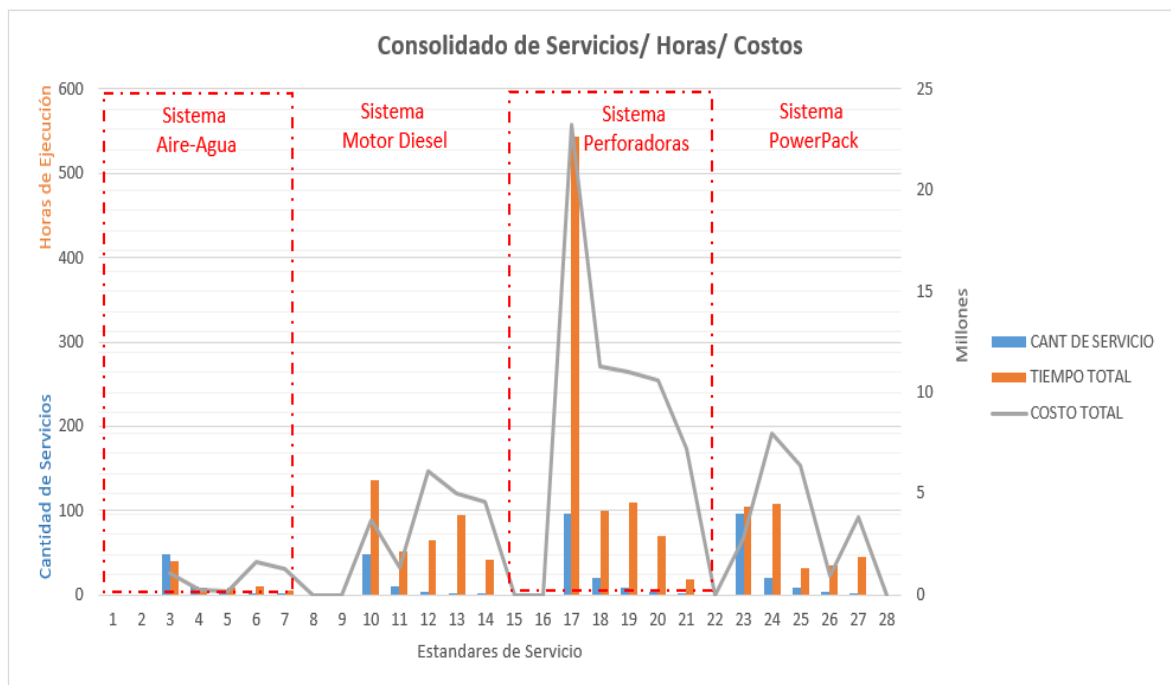
Tabla 15. Consolidado de Servicios de Mantenimiento

Sistemas Globales	Servicios	Horas de Ejecución	Costo Total MH+REP
SISTEMA AIRE-AGUA	PVO 50H	0,83	\$ 22.685
	PVO 250H	0,83	\$ 22.685
	PVO 500H	1,92	\$ 52.176
	PVO 1000H	4,75	\$ 829.306
	PVO 2000H	4,92	\$ 1.253.843
	PVO 4000H	5,33	\$ 1.395.185
	PVO 8000H	16,00	\$ 1.715.556
SISTEMA MOTOR DIESEL	PVO 50H	2,83	\$ 77.130
	PVO 250H	5,08	\$ 138.380
	PVO 500H	16,08	\$ 1.531.924
	PVO 1000H	47,25	\$ 2.511.250
	PVO 2000H	42,00	\$ 4.582.133
	PVO 4000H	52,92	\$ 3.430.509
	PVO 8000H	38,25	\$ 10.391.250
SISTEMA PERFORADORAS	PVO 50H	5,67	\$ 242.407
	PVO 250H	5,00	\$ 563.889
	PVO 500H	13,58	\$ 1.381.065
	PVO 1000H	17,42	\$ 2.643.046
	PVO 2000H	9,50	\$ 3.626.389
	PVO 4000H	58,50	\$ 9.037.500
SISTEMA POWERPACK	PVO 50H	1,08	\$ 29.491
	PVO 250H	5,42	\$ 397.454
	PVO 500H	4,00	\$ 798.889
	PVO 1000H	8,75	\$ 238.194
	PVO 2000H	22,00	\$ 1.908.889
	PVO 8000H	9,00	\$ 1.260.000

Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

En el estándar de servicio número 17 que hace referencia al preventivo (PVO) de 50 horas de la Perforadora, se estiman 544 horas de mano de obra dado que corresponden a las 2 perforadoras por equipo, generando un aumento de los costos considerables, el tiempo y la cantidad de servicios alcanza los 96 servicios durante la programación de 2018 a 2019.

Figura 44. Consolidado de Servicios 2018-2019



Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

5.5.1 Proyección de Tiempos en los Servicios de Mantenimiento. Para los diferentes servicios creados se logra estimar cuanto es el tiempo de ejecución de mano de obra, en este caso se evidencian que los tiempos se aumentan debido a la complejidad de cada servicio.

Figura 45. Proyección de Tiempos para los servicios del Sistema de Aire/ Agua

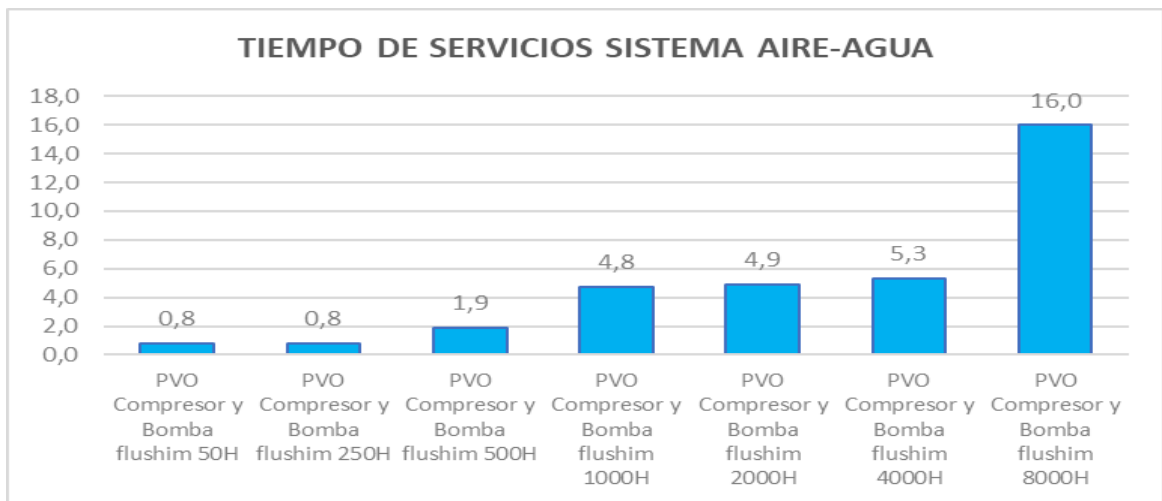


Figura 46. Proyección de Tiempos para los servicios del Sistema de Traslación

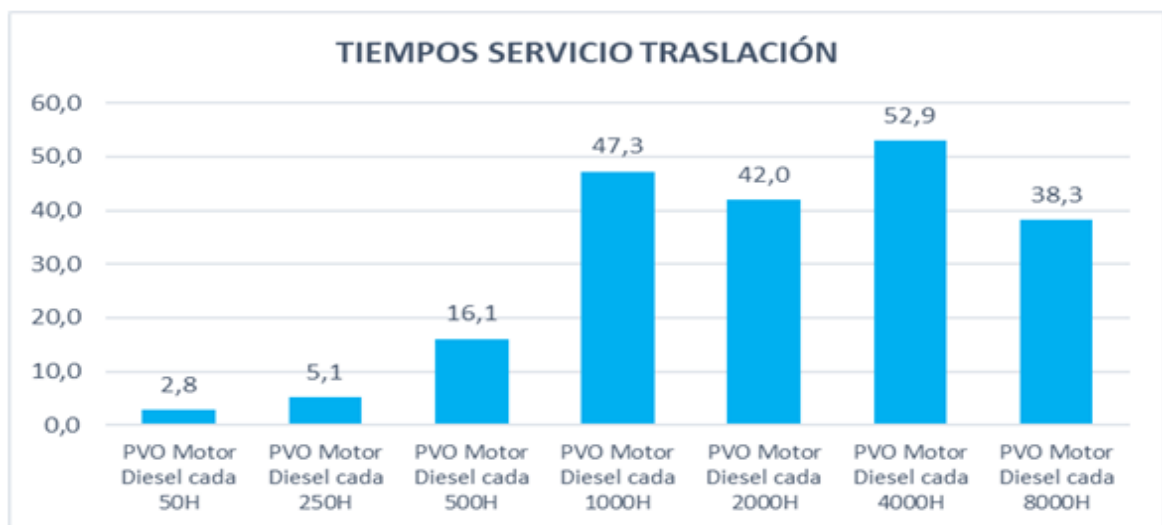


Figura 47. Proyección de Tiempos para los servicios del Sistema de Perforadoras

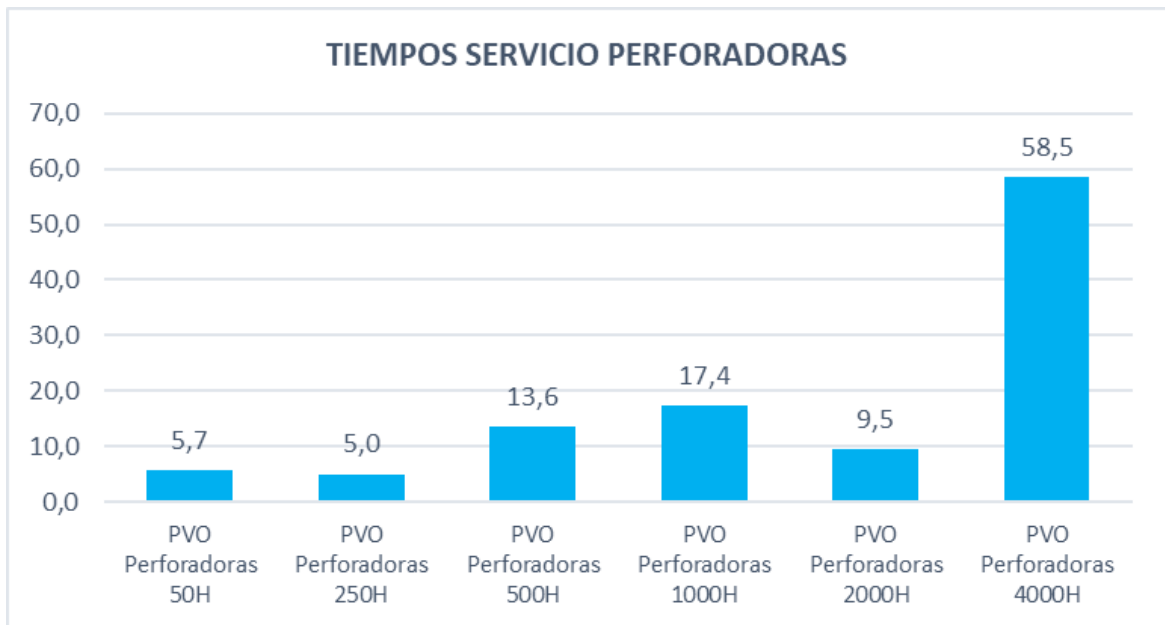
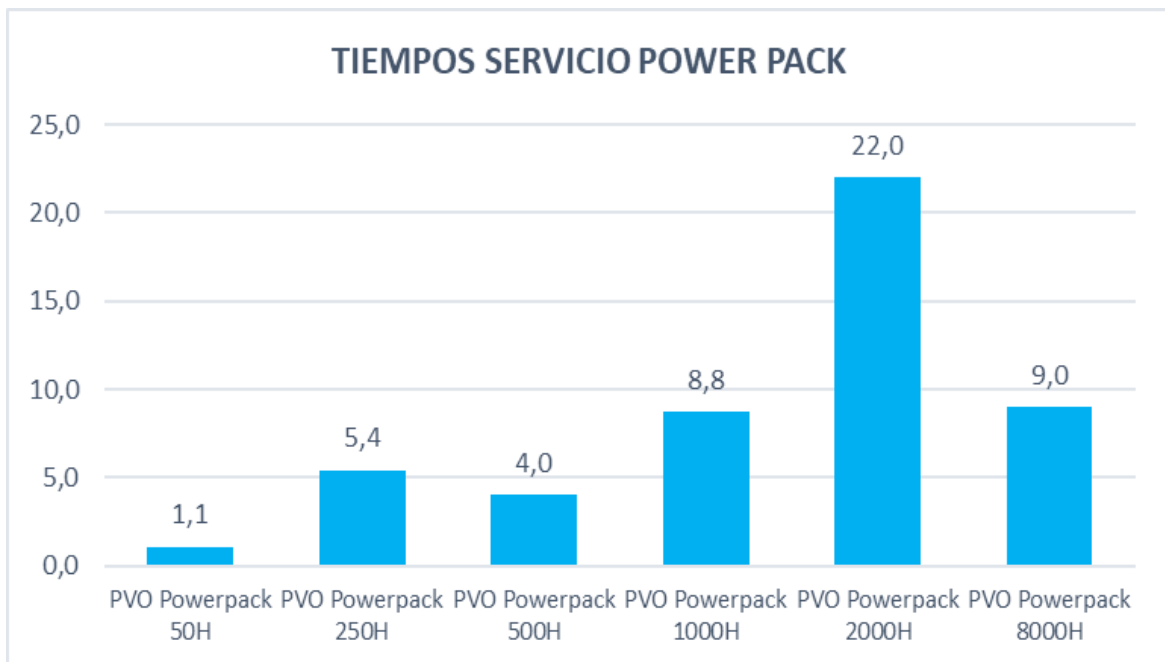


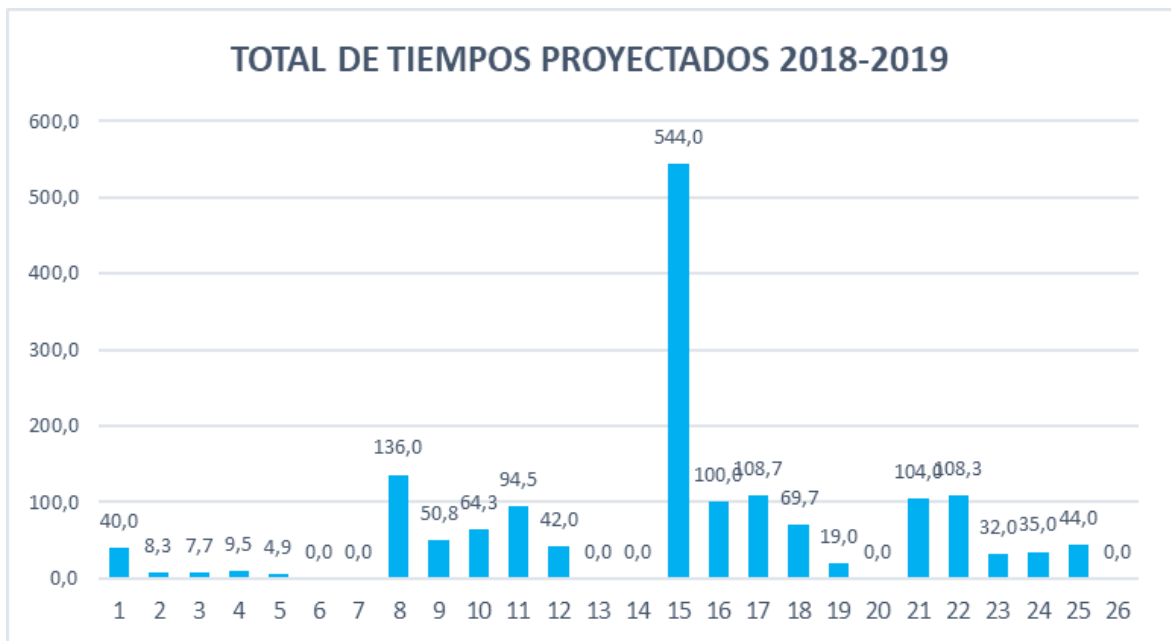
Figura 48.. Proyección de Tiempos para los servicios del Sistema PowerPack



5.5.2 Proyección de Tiempos de Mantenimiento de 2018 a 2019. Estimando que el equipo requiere realizar en promedio 4 horas de operación diaria, en turno 24/7 se proyecta un plan de mantenimiento a dos años desde el 2018 a 2019, en la figura 49 se evidencia que para el servicio 1, el cual se relaciona como preventivo (PVO) 50 Horas en el Sistema de Agua/ Aire tiene un acumulado de tiempos de servicio de 40 horas en estos dos años.

Los servicios como 6, 7, 13 y 14 aparecen en cero, porque son servicios de 4000 y 8000 horas que no alcanzaron a ejecutarse dado que el horómetro no excede las 2500 horas durante este periodo.

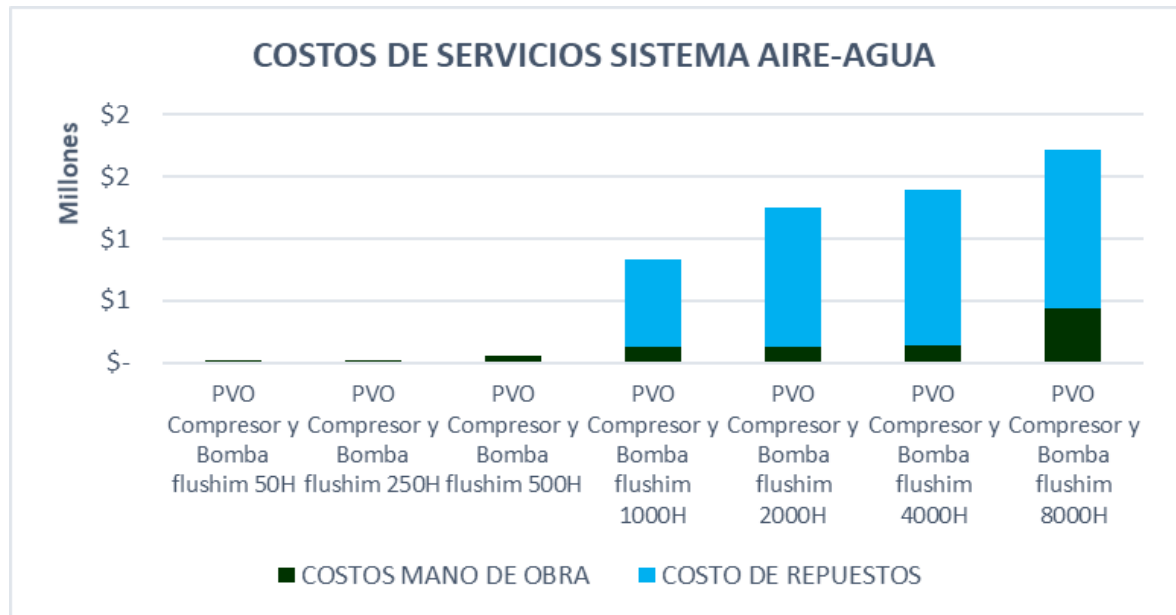
Figura 49. Proyección de tiempos de servicios de 2018 a 2019



Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

5.5.3 Proyección de Costos por Servicio de Mantenimiento. Con los tiempos de ejecución horas hombre y repuestos estimados en cada servicio se estima un costo total de cada servicio generado para el mantenimiento.

Figura 50. Proyección de Costos para el Preventivo del Sistema Aire/ Agua



Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

En los costos correspondientes para el servicio del sistema de traslación, se puede evidenciar que los costos de mano de obra van aumentando en cada servicio por los tiempos de ejecución, adicional los costos de los repuestos aumentan en relación con la cantidad de repuestos que se deben ir reemplazando.

Figura 51. Proyección de Costos para el Preventivo del Sistema de Traslación

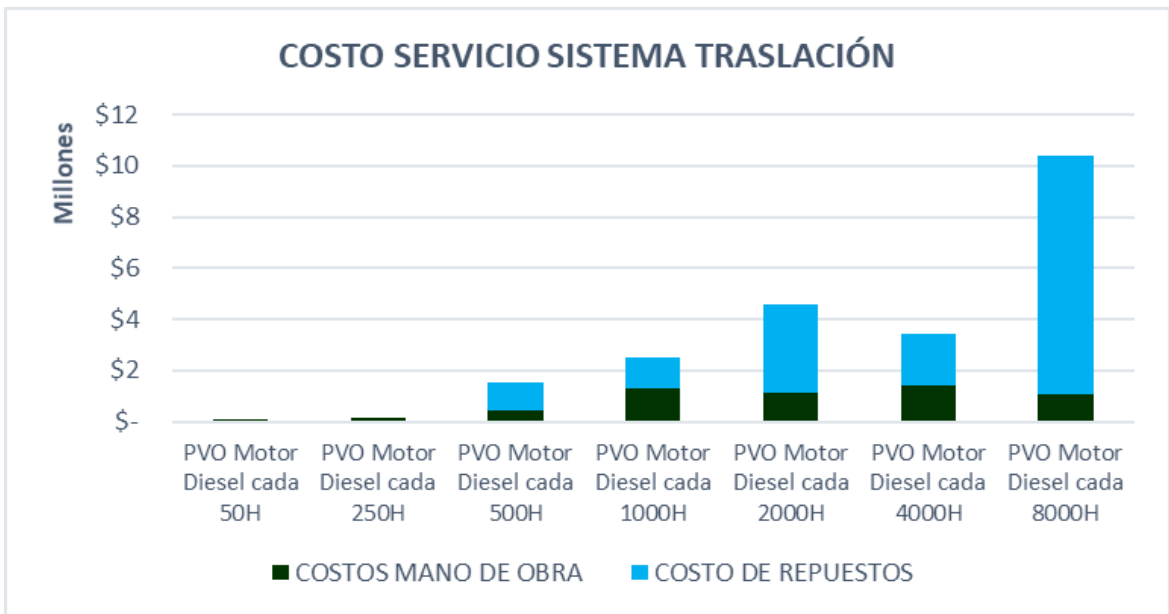
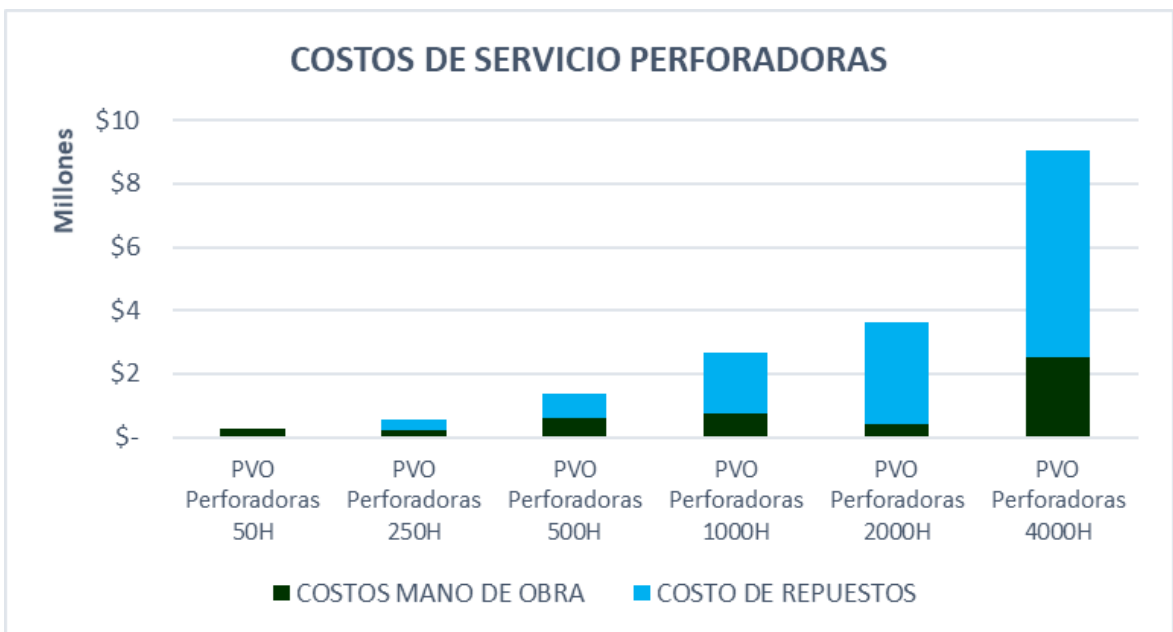
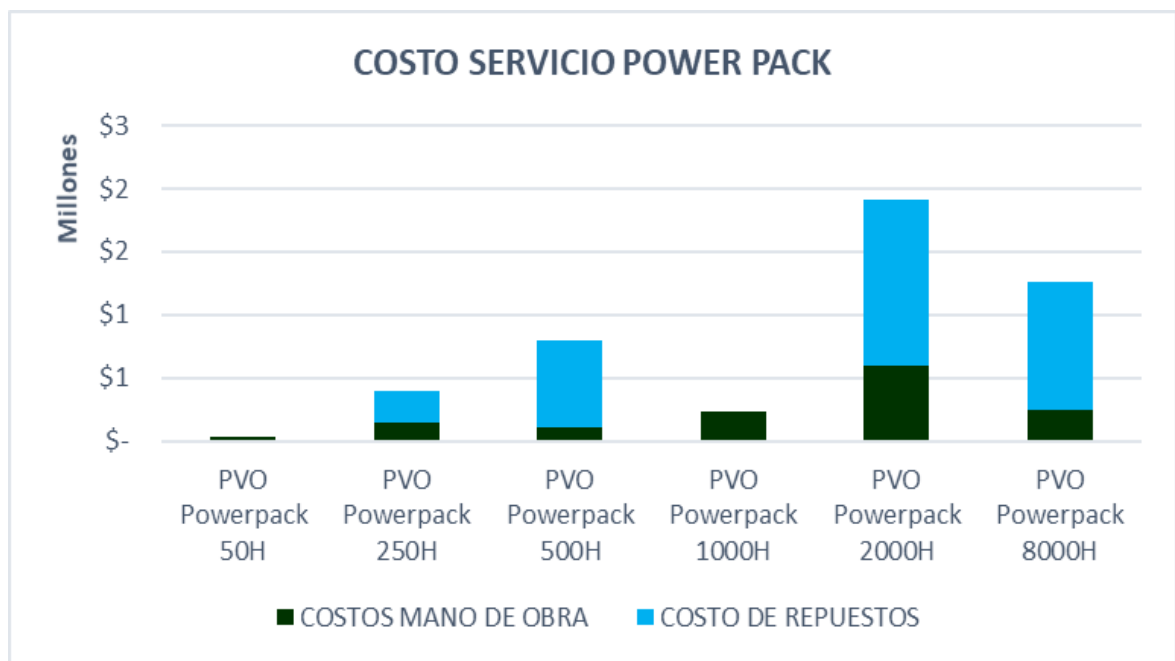


Figura 52. Proyección de Costos para el Preventivo del Sistema de Perforadoras



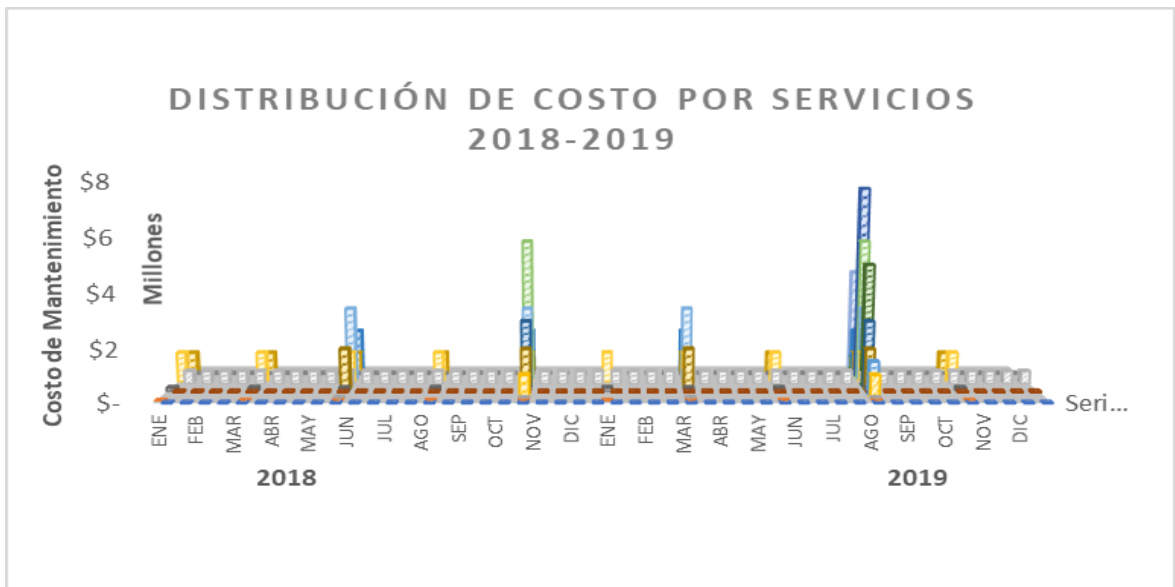
En los costos del servicio del Sistema Power-Pack, surgen cambios y el comportamiento gradual es distinto, para el preventivo (PVO) 1000 Horas no se requieren repuestos catalogados, dada la conformación del sistema, la mano de obra para el preventivo de 8000 Horas también se estima por debajo del anterior servicio.

Figura 53. Proyección de Costos para el Preventivo del Sistema PowerPack



5.5.4 Proyección de Costo del Mantenimiento en los años 2018 a 2019. La proyección generada desde al año 2018 a 2019, permite establecer cómo se comportarán los costos cada mes, estimados por tiempos de mano de obra y repuestos en cada uno, observando una acumulación de costos en el mes de agosto de 2019 dado que aquí se traslapan varios servicios como el de 50, 250, 500 y 100 horas reflejando un aumento considerable.

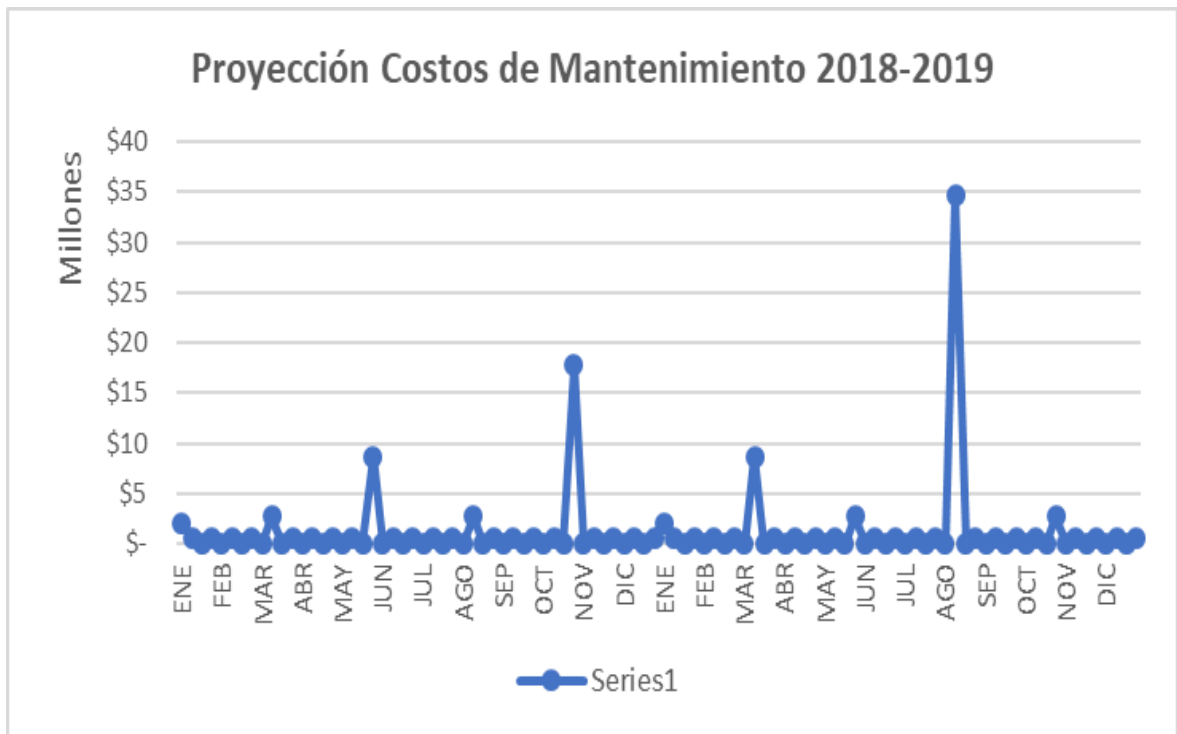
Figura 54. Distribución de costo por servicio 2018-2019



Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

En la figura 55, se puede ver el comportamiento general del estimado en costos de mano de obra y repuestos, dado un acumulado de \$120 millones aproximados, mostrando costos importantes en agosto de 2019.

Figura 55. Proyección Costo de Mantenimiento 2018-2019



Fuente. Sociedad Minera de Santander sas. Informe de Gestión del Mantenimiento basado en RCM para la Flota Minera. California: La compañía 2018.

6 CONCLUSIONES

- La norma SAE JA1011 como guía para la aplicación de las siete preguntas del RCM, cumple un papel importante de pauta inicial y metodológica, ya que garantiza que el proceso RCM se fundamente a base de preguntas lógicas y discutibles, con el Análisis, Modo y Efecto de Falla (AMEF), se logra establecer varias actividades que el Manual de Mantenimiento del equipo y generadas por fabricante no tiene presente o no presta importancia, conociendo las posibles fallas funcionales se puede generar actividades como herramientas para gestionar y evitar potenciales fallos en el equipo.
- Los Estándar de Servicios generados para el Jumbo Perforador se convierten en una guía metodológica que establece las tareas, las etapas y los tiempos que el Técnico de Mantenimiento debe realizar para cumplir con la viabilidad técnico-económica del área de mantenimiento siendo eficiente, confiable y seguro.
- La catalogación de repuesto para el stock cumple una misión de gestión y reducción de costes importantes que minimiza el rubro que se debe tener disponible en almacén identificando solo lo necesario para la ejecución de los estándares de servicio programados a corto y mediano plazo.
- Al programar los Estándares de Servicio que se generaron para los 28 Planes de Mantenimiento en el software Protheus, estos se irán ejecutando dependiendo del movimiento de los cuatro horómetros que tienen los distintos sistemas, sabiendo también que los tiempos proyectados son ideales y no se moverán de igual forma, algunos como el sistema de

traslación tendrá menos aumento en el horómetro dado que la maquina se trasladará muy poco.

- La información obtenida de los años anteriores en el software Protheus, partiendo de la información almacenada, es poco confiable dado que, los tiempos de Standby de la máquina han sido demasiado largos y los Indicadores como el MTTR es en promedio de 5 horas, el tiempo de ejecución de la mano de obra se convierte en el punto de partida para el definir un estándar de tiempo en la ejecución de servicios básicos como el PVO de 50 horas.
- Se logra determinar el costo actual del mantenimiento y como se esperaba, representa un rubro que mano de obra que no superó los \$2000 USD por lo que se puede determinar que su intervención solo se ha destinado a inspección, conservándose como un equipo respectivamente nuevo.
- La proyección de costos de mantenimiento del equipo no fue difícil, dado que la implementación de la metodología RCM, como herramienta permite identificar tiempos estimados de hora hombre dada su nivel de detalle, adicional la catalogación e identificación de los repuestos críticos genera una visión del consumo de repuestos que por ende representa la mayoría del costo del mantenimiento global, en este caso la proyección fue a dos años en los cuales no se alcanzaron a lanzar todos los servicios por su poco turno de operación, pero también cabe aclarar que los horómetros para el lanzamiento de las ordenes de servicio fueron ideales, algunos pueden acumular más tiempo y esto ocasionaría un aumento en los costos proyectados, los cuales no se alcanzaron a estimar para este trabajo de investigación.

BIBLIOGRAFIA

AMENDOLA, L. (2008). INDICADORES DE CONFIABILIDAD PROPULSORES EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO. Obtenido de www.klaron.net

B K N Rao. 1996. Handbook of Condition Monitoring. s.l. : Oxford/ Elsevier advanced Technology, 1996.

F.STANLEY NOWLAN, H. F. (1978). Reability Centered Maintenance. San Francisco: Braun- Brumfield.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. (21 de Septiembre de 2015). Reglamento de Seguridad en Labores Mineras Subterranas. Decreto 1886. Bogota, Colombia.

MOUBRAY, J. (1991). Reability Centred Maintenance. En J. MOUBRAY, Reability Centred Maintenance (pág. 443). North Carolina: Aladon LIC.

SANDVIK MINING. (2012). Manual de Mantenimiento Jumbo DD321-40. Tampere, Finlandia.

SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER. (22 de 04 de 2018). Somos Minesa. Obtenido de <http://www.minesa.com/quienes-somos/>

SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER SAS. (2017). Cap 3. Estudio de Impacto Ambiental Para el Proyecto de Explotacion de Subterranea de Minerales Auroargentiferos Soto Norte. Bucaramanga.

SUPPORTABILITY, S. S.-1. (1999). Evaluation Criteria for Reliability centered maintenance. En S. S.-1. SUPPORTABILITY, Evaluation Criteria for Reliability centered maintenance (pág. 12). Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers.

ANEXOS


Anexo A. Análisis de Moby Efecto de Falla Subsistema Aire-Agua

GERENCIA DE OPERACIONES															Código: OP-MAN-RG04								
MANTENIMIENTO ELECTROMECÁNICO															Versión: 01								
FORMATO ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS															Fecha Creación: 10/04/2018								
JUMBO DE PERFORACIÓN SANDVIK DD321															Fecha Act: 10/04/2018								
0354-0355															X Debe realizarse el cambio								
EMBOQUE																							
OBSERVACIONES																							
TAREAS DE MANTENIMIENTO																							
SISTEMA	C	COMPONENTE	F	OPERACIÓN O FUNCION	MP	MODOS DE FALLA	EF	EFECTO DE FALLA	FREC DE FALLA	CAUSAS DE FALLA	IMPACTO A PRODUCCIÓN	CAPACIDAD DE RESPALDO	COSTO DE REPARACIÓN	IMPACTO A SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	CRITICIDAD	ACCIÓN	REACONDICIONAMIENTO	SUSTITUCIÓN ÚTIL	ACTIVIDAD PROPUESTA	FREC	REALIZAR CON	
1	COMPRESOR GARDENER DENVER CT10-16	Unidad Compresora de Tornillos	A	Succiona mezcla de Aire y Aceite comprimiendo a 120Psi	1	Falta de lubricación en la unidad compresora	1	Termostato detecta sobrecalentamiento y apaga compresor	3	Relacionadas al mantenimiento: consumo de aceite del material	4	5	2	8	10	87	X			Inspeccionar el nivel de aceite del compresor	50H	MECÁNICO	
						Deficiencia estructural-fractura del tornillo	2	Contaminación del aceite y pérdida de compresión	1	Relacionadas a la operación: ruptura flexible que no causa una parada esporádica	4	5	3	8	5	25	X			Verificar que no existan fugas de aceite en el compresor	500H	MECÁNICO	
						Vibración anormal en los rodamientos de los tornillos	3	Daño en los tornillos de la unidad compresora	2	Relacionadas a la operación: tiempo de uso de los rodamientos cumplido	2	5	1	5	10	46		X		Cambiar el kit de sellos del eje de la unidad compresora	8000H	MECÁNICO	
						Fugas externas de la unidad compresora	4	Pérdida de presión en el sistema del compresor	2	Relacionadas al material: desgaste por tiempo de uso	3	5	2	10	10	60		X		Cambiar el sello de aire de la unidad compresora	12000H	MECÁNICO	
		Tanque Separador	B	Separa el aceite del aire a Temperatura de 100°C y 125Psi	1	Taponamiento del filtro separador	1	Paso de aceite hacia los conductos de aire comprimido	3	Relacionadas a la operación: necesidad de cambio del filtro separador	4	5	2	15	10	108		X			Cambiar los cartuchos separadores de aceite del compresor	1000H	MECÁNICO
					2	Sobrecalentamiento en las líneas	2	Parada del compresor por los sensores de temperatura	2	Relacionadas a la operación: condiciones operativas erróneas	2	3	1	10	10	52	X			Inspeccionar la correcta temperatura de funcionamiento de salida del tanque separador del compresor (70-90 °C)	50H	MECÁNICO	
					3	Baja producción por la poca entrada de aire	3	No es posible suministrar la suficiente cantidad de aire	2	Relacionadas al mantenimiento: obstrucción en el filtro de aire	4	5	1	8	10	56		X		Cambiar el filtro de aire del compresor	1000H	MECÁNICO	
					4	Contaminación del tanque separador	4	Contaminación del aceite y del aire comprimido, así como daños en los tornillos	4	Relacionadas al mantenimiento: no se ha drenado los condensados del tanque	2	3	1	10	10	104		X		Comprobar el funcionamiento del desague de condensador del tanque separador del compresor	500H	MECÁNICO	
					5	Taponamiento o restricción de flujo de aceite lubricación	5	Bajo aceite de lubricación	2	Relacionadas al mantenimiento: no se verificó estado del filtro de aceite de lubricación	4	5	1	10	10	60		X		Cambiar el filtro de aceite de lubricación de la unidad compresora	2000H	MECÁNICO	
					6	Operación errática por mala calidad del aceite	6	El compresor opera erráticamente por pérdida de presión de compresión	3	Relacionadas al mantenimiento: aceite de mala calidad	4	5	1	10	5	75		X		Cambiar el aceite del compresor (5,5 Gal)	2000H	MECÁNICO	
	Valvula de Termostato	C	Evita que el aceite frío entre al intercambiador	1	Parada inesperada - no funciona adecuadamente	1	No se conoce la temperatura de trabajo del aceite/sobretemperatura	2	Relacionadas al mantenimiento: falta de inspección de la válvula	4	5	1	8	5	46		X			Cambiar el termostato del aceite del compresor	4000H	MECÁNICO	
				2	Deficiencia estructural-ruptura de los sellos de la válvula	2	Daño en el motor y ruptura de las correas de transmisión	1	Relacionadas al material: desgaste de los sellos por cumplimiento de vida útil	3	3	1	8	10	25		X		Cambiar los sellos de la válvula de admisión del compresor	1000H	MECÁNICO		
				3	Operación errática - no abre ni cierra	3	Daño en la unidad compresora, no comprime aire	3	Relacionadas a la operación: el control no funciona	4	5	1	10	10	90	X			Verificar funcionamiento del sistema de control eléctrico y accionadores del compresor	250H	MECÁNICO		
				4	Taponamiento en la válvula por contaminantes	4	No abre ni cierra correctamente	2	Relacionadas al mantenimiento: acumulación de suciedades	3	5	1	8	10	54		X		Limpieza de la entrada de aire al compresor	1000H	MECÁNICO		
	Valvula de Admisión	D	Controla el aire que entra a la unidad compresora	1	Parada inesperada	1	Daño en el motor y en la unidad compresora	1	Relacionadas al material: tiempo de vida útil cumplido	4	5	2	8	10	29		X			Cambiar la válvula de admisión de aire al compresor	4000H	MECÁNICO	
				2	Deficiencia estructural-daño en los sellos	2	Fugas de aire sin control de la unidad compresora	2	Relacionadas al material: desgaste de los sellos por cumplimiento de vida útil	3	4	1	10	5	46		X		Cambiar los sellos de la válvula de descarga del compresor	1000H	MECÁNICO		
	Valvula de Descarga	E	Mantiene una presión mínima en el sistema de recirculación para no descargarlo	1	Deficiencia estructural-daño en los sellos	1	Fugas de aire sin control de la unidad compresora	2	Relacionadas al material: desgaste de los sellos por cumplimiento de vida útil	3	4	1	10	5	46		X			Cambiar los sellos de la válvula de descarga del compresor	1000H	MECÁNICO	
				2	No abre a la presión de tarado	2	Sobrepresión en el sistema causando el daño del compresor	4	Relacionadas al mantenimiento: Disco adherido al asiento o daño en las superficies deslizantes	4	5	6	15	10	160	X			Verificar la operación correcta de la válvula de presión de seguridad	1000H	MECÁNICO		
				3	Apertura prematura por presión inferior	3	Pérdida de presión por escape en la válvula de seguridad	3	Relacionadas al mantenimiento: pérdida de tensión del resorte o tuerca de ajuste suelta	4	5	6	15	10	120		X		Calibración externa de la válvula de seguridad del compresor	2000H	MECÁNICO		
				4	No cierra después de la apertura	4	Relacionadas al material: desgaste del resorte	2	3	1	15	5	104										
				5	Fugas externas por el asiento de la válvula	5	Escape de presión por la válvula de seguridad	4	Relacionadas al mantenimiento: tuerca de ajuste suelta	2	3	1	15	5	104								
	Intercambiador de Aceite y Aire	G	Enfría el aceite que recircula en la unidad manteniendo a 60°C Enfría el aire que es enviado a los diferentes actuadores de la máquina	1	Deficiencia estructural-perforaciones en el radiador	1	Aumento de la temperatura del aceite y del aire	1	Relacionadas al ambiente: corrosión por las condiciones operacionales	3	3	2	8	5	21	X				Inspeccionar las aletas y conductos de los intercambiadores de calor de aire y aceite del compresor	500H	MECÁNICO	
				2	Sobrecalentamiento del aceite y del aire	2	Daño en los componentes accionados por el aire y aumento de temperatura en la unidad compresora	2	Relacionadas al mantenimiento: parada no contemplada del ventilador de los radiadores	4	5	2	15	10	72	X				Inspeccionar el ventilador de los intercambiadores de calor del compresor	50H	MECÁNICO	
				3	Fractura de las aspas del ventilador	3	Ventilación defectuosa de los intercambiadores de calor	1	Relacionadas al material: fatiga por vibración o desbalanceo del ventilador	2	1	1	10	10	24		X			Cambiar las aspas del ventilador del intercambiador de calor del compresor que presenten grietas o fracturas	8000H	MECÁNICO	
				4	Taponamiento de las aletas de disipación de calor	4	Aumento de temperatura en el sistema	4	Relacionadas a la operación: condiciones ambientales de trabajo	1	3	1	15	5	100		X			Limpieza de los intercambiadores de calor del compresor	1000H	MECÁNICO	
	Correas de Transmisión	H	Transmite el giro del motor eléctrico a la unidad compresora	1	Deficiencia estructural-ruptura de la correa	1	Se apaga el motor eléctrico y no se acciona el compresor	1	Relacionadas a la operación: desgaste excesivo en las correas	4	5	1	15	5	30	X				Cambiar las correas de transmisión de potencia en el compresor	1000H	MECÁNICO	
				2	Vibración anormal en la polea del motor	2	Ruido excesivo en las correas y desgaste anormal	2	Relacionadas a la operación: desgaste por sobrecarga	2	3	2	10	5	44	X				Cambiar la polea del motor del compresor y el motor eléctrico de seguridad	2000H	MECÁNICO	
	Termocuplas	I	Verifican la temperatura de trabajo de la unidad compresora	1	Problemas menores de servicio - cable desajustado	1	Compresor no operada para prevenir sobretemperatura	1	Relacionadas a la operación: vibración excesiva por las condiciones de trabajo y ambientales	3	5	1	8	5	22		X			Soldar cable de la termocupla si se ha soldado del control de temperatura del compresor	1000H	MECÁNICO	
				2	Parada inesperada - no funciona la termocupla	2	Compresor no operada para prevenir sobretemperatura	1	Relacionadas a la operación: vibración excesiva por las condiciones de trabajo y ambientales	3	5	1	8	5	22		X			Cambiar la termocupla que sensa la temperatura de lubricación del compresor	4000H	MECÁNICO	
	Líneas y Mangueras	J	Conductos de aire y aceite del sistema del compresor	1	Taponamiento en las mangueras	1	Falla de suministro de aire comprimido o aceite de retorno de lubricación	2	Relacionadas al mantenimiento: falta de inspección en las líneas	3	3	1	8	10	50		X			Limpieza de las líneas de retorno del aceite del compresor	1000H	MECÁNICO	
2				Deficiencia estructural-Abrasión	2	Fugas de aire o de aceite en el compresor	3	Relacionadas a la operación: condiciones ambientales de trabajo	3	5	2	10	10	90		X			Cambiar las mangueras de aceite del compresor si presentan abrasión excesiva	8000H	MECÁNICO		
Purificador de aire	K	Limpiar el aire que sale hacia las cámaras de barrido	1	Taponamiento en el purificador	1	aire contaminado hacia las cámaras de barrido y taponamiento de válvulas	1	Relacionadas al mantenimiento: falta de limpieza	2	2	1	8	10	23		X			Limpiar el purificador de aire del compresor drenando las impurezas y agua acumulada	250H	MECÁNICO		
			2	Alta producción-sobrecarga del motor	2	Ruptura de las correas de transmisión de potencia	2	Relacionadas a la gestión: mal suministro de energía, falla interna, sobrecarga	4	5	2	8	5	48		X			Ajustar los cables del motor eléctrico del compresor	500H	MECÁNICO		
Motor Eléctrico	L	Transmite Energía Mecánica a 1800RPM	1	Falla eléctrica en el contactor	1	Compresor no operada debido a que no hay accionamiento en el motor	1	Relacionadas a la fabricación: falla interna	2	3	1	5	5	16	X				Inspeccionar detalladamente el sistema eléctrico de alimentación del compresor en búsqueda de sobrecargas o cortos	500H	MECÁNICO		
			2	Sobrecalentamiento en el motor eléctrico	2	Daño en el interior del motor accionado eléctrico del compresor y no funciona	2	Relacionadas al mantenimiento: daño en el ventilador del motor eléctrico	4	5	2	10	5	52	X				Inspeccionar estado del ventilador del motor eléctrico	500H	MECÁNICO		
			3	Sobrecalentamiento en el motor eléctrico	3	Daño en el interior del motor accionado eléctrico del compresor y no funciona	2	Relacionadas al mantenimiento: daño en el ventilador del motor eléctrico	4	5	2	10	5	52		X			Lubricar el eje de potencia del motor eléctrico del compresor	500H	MECÁNICO		
2	BOMBA DE AGUA MULTIETAPAS	Motor Eléctrico	A	Motor eléctrico que suministra la potencia mecánica a la bomba	1	Parada inesperada - la bomba no arranca	1	No hay suministro de agua a las perforadoras	2	Relacionadas a la operación: no hay corriente o se ha producido avería en el circuito de control	3	5	1	8	5	44	X				Inspeccionar funcionamiento correcto del motor de la bomba centrífuga de las perforadoras	500H	MECÁNICO
					2	Baja producción - el motor se salta	2	La bomba no tiene movimiento mecánico del motor	1	Relacionadas al mantenimiento: la bomba se ha bloqueado mecánicamente	2	5	1	10	5	23	X				Verificar estado de los rodamientos del eje acoplados a la bomba de las perforadoras	1000H	MECÁNICO
					3	Sobrecalentamiento en el motor eléctrico de la bomba	3	Daño interno en el motor y no hay bombeo de agua	1	Relacionadas al mantenimiento: parada del ventilador del motor	3	5	2	15	10	35	X				Inspeccionar estado del eje central del motor de la bomba de agua y el ventilador	500H	MECÁNICO
		1	Alta producción - caudal alto	1	Vibraciones excesivas en la bomba	3	Relacionadas a la operación: falla en el controlador de presión del sistema	3	5	1	15	5	87		X			Verificar presión de salida de agua de la bomba de las perforadoras	250H	MECÁNICO			
		2	Baja producción - no hay flujo de agua	2	No hay lubricación en las varillas de las perforadoras	3	Relacionadas al mantenimiento: no fue cebada ande de prenderla, eje quebrado	4	5	1	15	5	90	X				Inspeccionar el eje y la carcasa de impulso de la bomba de agua de la perforadora	1000H	MECÁNICO			
	Bomba cebadora de agua	B	Sistema de bombeo de agua a las unidades de perforación	3	Consumo excesivo de potencia	3	Desgaste de los elementos de la bomba	2	Relacionadas a la operación: desgaste excesivo de los rodamientos	2	3	1	8	5	38		X			Cambiar los rodamientos de la bomba de agua de las perforadoras	8000H	MECÁNICO	
				4	Vibración - la bomba vibra excesivamente	4	Desalineamiento del eje de la bomba y daño de los soportes	2	Relacionadas al mantenimiento: filtro de succión tapado	2	5	2	8	10	54		X			Limpieza del filtro de succión de la bomba de agua de las perforadoras	250H	MECÁNICO	
	Válvula de purga	C	Válvula de purga de la bomba para evitar arranques en seco	1	Deficiencia estructural-no se puede cebar	1	Posible arranque en vacío de la bomba y daño de componentes	2	Relacionadas al mantenimiento: daño del tapo de cebado de la bomba	4	5	1	10	5	50		X			Inspeccionar el sistema de cebado de la bomba de agua de las perforadoras	250H	MECÁNICO	
				1	Taponamiento - separador de lodos	1	Falla en el sistema de barrido y en la refrigeración	5	Relacionadas al mantenimiento: falta de drenaje de lodos del separador	1	5	1	10	5	110		X			Limpiar el separador de lodos del sistema de agua de las perforadoras	50H	MECÁNICO	
	Válvula reductora de presión	E	Válvula de taraje de presión del suministro de agua	1	Atascamiento en la válvula reductora	1	Sobrepresión en el sistema de lubricación de la varilla de perforación	4	Relacionadas a la operación: la válvula se ha obstruido y no controla la presión	4	5	2	15	5	124	X				Inspeccionar que la válvula reductora de presión del sistema de agua funciona correctamente	250H	MECÁNICO	
1				Válvula de control de flujo hacia la cámara de barrido	1	Atascamiento en la válvula	2	Relacionadas a la operación: la válvula se ha obstruido y no controla la presión	4	5	1	10	5	50	X				Inspeccionar por el conducto de desbordamiento que no haya flujo cuando la válvula del sistema de agua esté cerrada	250H	MECÁNICO		


Anexo E. Servicio de 50H del Subsistema Aire-Agua

		ESTÁNDAR DE SERVICIO						
		Código:		OP-MAN-RG04				
		Versión:		2				
		Fecha Creación:		12/04/2018				
EQUIPO:	JUMBO DE PERFORACIÓN DD321	Observaciones:		REALIZAR LA EJECUCION DE TAREAS EN ORDEN DE SECUENCIA POR MAQUINA				
SISTEMA:	COMPRESOR Y AGUA			TIEMPO ESTIMADO DE EJECUCIÓN DE SERVICIO EN HORAS				
PLACA:	0108-0109			0,8				
MARCA:	SANDVIK			Estandar de servicio para maquinaria minera cada 50H				
UBICACIÓN:	EMBOQUE							
SERVICIOS	TAREA	ETAPA	COMPONENTE	DESCRIPCION ETAPA	CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO	TIEMPO DE EJECUCION [H]
50H	INSPECCIÓN	JCI001	Compresor	Inspeccionar el nivel de aceite del compresor	Bajo/alto nivel de aceite	Inspeccionar	Predictivo	0,1
		JCI002	Compresor	Inspeccionar la correcta temperatura de funcionamiento de salida del tanque separador del compresor (70-90 °C)	Alta temperatura de salida	Verificar	Preventivo	0,2
		JCI003	Compresor	Inspeccionar el ventilador de los intercambiadores de calor del compresor	No prenden los ventiladores	Inspeccionar	Predictivo	0,1
		JCI004	Agua	Comprobar el funcionamiento de la válvula de agua	No hay paso de agua a la perforación	Verificar	Preventivo	0,2
		JCI005	Compresor	Comprobar el funcionamiento de la válvula de aire	No hay presión de aire	Verificar	Preventivo	0,2
		JCI006	Compresor	Comprobar el funcionamiento de interruptor de presión del sistema de aire	Indicado por manual	Inspeccionar	Predictivo	0,1
	CEPILLADO	JCC001	Agua	Limpiar el separador de lodos del sistema de agua de las perforadoras	Acumulación de suciedades	Limpiar	Preventivo	0,1


Anexo F. Servicio de 50H del Subsistema de Traslación

		ESTÁNDAR DE SERVICIO						
		Código:		OP-MAN-RG04				
		Versión:		2				
		Fecha Creación:		11/04/2018				
EQUIPO:	JUMBO DE PERFORACIÓN DD321	Observaciones:		REALIZAR LA EJECUCION DE TAREAS EN ORDEN DE SECUENCIA POR MAQUINA				
SISTEMA:	MOTOR DIESEL			TIEMPO ESTIMADO DE EJECUCIÓN DE SERVICIO EN HORAS				
PLACA:	0108-0109			2,8				
MARCA:	SANDVIK			Estandar de servicio Motor Diesel cada 50H				
UBICACIÓN:	EMBOQUE							
SERVICIOS	TAREA	ETAPA	COMPONENTE	DESCRIPCION ETAPA	CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO	TIEMPO DE EJECUCION [H]
50H	INSPECCIÓN	JMI001	Traslación	Verificar el nivel de aceite del diferencial	Indicado por manual	Inspeccionar	Predictivo	0,1
		JMI002	Traslación	Inspeccionar el nivel de aceite de los engranajes planetarios	Indicado por manual	Inspeccionar	Predictivo	0,2
		JMI003	Electrico	Comprobar el nivel de electrolitos de la batería	Indicado por manual	Inspeccionar	Predictivo	0,2
		JMI004	Traslación	Comprobar la presión de los neumaticos y el desgaste que tengan en el perfil de la capa de tejido	Desgaste por ambiente de trabajo	Verificar	Preventivo	0,1
		JMI005	Frenos	Inspeccionar estado de pedal y palanca de accionamiento de freno de servicio en cabina	Accionamiento de freno inadecuado	Comprobar	Preventivo	0,1
		JMI006	Frenos	Inspeccionar botón de activación manual de freno de emergencia que funcione y active la alarma	Verificar la seguridad del equipo	Verificar	Preventivo	0,1
		JMI007	Portador	Verificar que los estabilizadores de la máquina permanezcan extendidos bajo carga	El equipo no se estabiliza	Comprobar	Predictivo	0,1
	CEPILLADO	JMC001	Motor	Realizar limpieza de la purga del compartimiento de filtración de aire	Acumulación de contaminantes en el compartimiento filtro aire	Limpiar con trapo humedo	Mejorativo	0,1
		JMC002	Motor	Purgar el tanque de combustible evacuando residuos contaminantes	Acumulación de contaminantes en el deposito de combustible	Abrir el desague	Preventivo	0,2
		JMC003	Cabina	Limpiar el panel de control de perforación (especial cuidado con los contactos)	Contaminantes de material minero	Limpiar	Preventivo	0,1
		JMC004	Cabina	Limpiar bandejas de acumulación de material minero ubicadas en la parte inferior de la cabina	Acumulación de material minero	Limpiar con agua a presión	Mejorativo	0,3
	LUBRICACIÓN	JML001	Motor	Aplicar grasa los puntos de engrase del equipo	Indicado por manual	Lubricar puntos de engrase	Preventivo	0,5
	PUESTA A PUNTO	JMP001	Traslación	Ajustar los esparragos (torque de apriete 650Nm)	Si hay juego en los ejes y neumaticos	Ajustar	Mejorativo	1,0

Anexo G. Servicio de 50H del Subsistema de Perforadoras

		ESTÁNDAR DE SERVICIO							
		Código:			OP-MAN-RG04				
		Versión:			2				
		Fecha Creación:			12/04/2018				
EQUIPO:	JUMBO DE PERFORACIÓN DD321	Observaciones:		REALIZAR LA EJECUCION DE TAREAS EN ORDEN DE SECUENCIA POR MAQUINA					
SISTEMA:	PERFORADORAS			TIEMPO ESTIMADO DE EJECUCIÓN DE SERVICIO EN HORAS					
PLACA:	0108-0109			5,7					
MARCA:	SANDVIK			Estandar de servicio para maquinaria minera cada 50H					
UBICACIÓN:	EMBOQUE								
SERVICIOS	TAREA	ETAPA	COMPONENTE	DESCRIPCION ETAPA	CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO	TIEMPO DE EJECUCION [H]	
50H	INSPECCIÓN	JMI001	Martillo	Comprobar la presión del gas de los acumuladores con un manometro (0-10 Bar baja presión)	Baja presión	Verificar	Preventivo	0,3	
		JMI002	Martillo	Inspeccionar con un manometro la presion de los acumuladores de alta presión (0-100 Bar)	Baja/alta presión	Verificar	Preventivo	0,3	
		JMI003	Martillo	Inspeccionar estado estructural del carro deslizante en busqueda de corrosión o fracturas	Daño estructural	Inspeccionar	Preventivo	0,2	
		JMI004	Martillo	Comprobar los componentes del extremo delantero del martillo de perforación	Indicado por manual	Verificar	Preventivo	0,2	
		JMI005	Martillo	Comprobar el apriete de los pernos del martillo perforador	Indicado por manual	Verificar	Preventivo	0,3	
		JMI006	Avance	Verificar que la viga de avance no tiene rocas sueltas o esquirlas de material perforado (retirar en caso de ser necesario)	Acumulación material minero	Verificar	Preventivo	0,3	
		JMI007	SLU	Comprobar el nivel de aceite del deposito de lubricación automatica	Mala lubricación	Inspeccionar	Preventivo	0,1	
		JMI008	Brazo	Comprobar el apriete de los pernos y tuercas del brazo de perforación	Indicado por manual	Inspeccionar	Preventivo	0,5	
		JMI009	Brazo	Comprobar los casquillos de los cojinetes y los pasadores del eje del brazo de perforación	Indicado por manual	Verificar	Preventivo	0,5	
		JMI010	Brazo	Comprobar las placas de deslizamiento y las piezas de deslizamiento del brazo de perforación	Indicado por manual	Verificar	Preventivo	0,5	
		JMI011	Avance	Comprobar el apriete de los pernos y tuercas de la viga de avance del brazo perforador	Indicado por manual	Inspeccionar	Preventivo	0,3	
		JMI012	Avance	Comprobar el estado y montaje de los cilindros de impulso de la viga del brazo de perforación	Indicado por manual	Inspeccionar	Preventivo	0,3	
		JMI013	Avance	Inspeccionar estado del tope de goma de la viga de avance del brazo de perforación	Indicado por manual	Inspeccionar	Preventivo	0,1	
		JMI014	Avance	Comprobar el ajuste de las piezas deslizantes de la viga de avance del brazo de perforación	Indicado por manual	Inspeccionar/ajustar	Preventivo	0,3	
		JMI015	Avance	Comprobar la tensión y estado de los cables de tracción de la viga de avance	Indicado por manual	Verificar	Preventivo	0,2	
		JMI016	Avance	Verificar la tensión de las mangueras del martillo de perforación y la viga de avance	Indicado por manual	Inspeccionar	Preventivo	0,2	
		CEPILLADO	JMC001	Avance	Limpiar con agua limpia a presión toda la viga de avance	Acumulación material minero	Limpiar	Preventivo	0,3
		LUBRICACIÓN	JML001	Martillo	Lubricar la espiga por donde se desplaza el carro deslizante del martillo de perforación	Ruidos/atascamientos	Lubricar	Preventivo	0,5
			JML002	Brazo	Lubricar los puntos de engrase del brazo de perforación	Indicado por manual	Lubricar	Preventivo	0,5
			JML003	Avance	Lubricar el enrollador de manguera de la viga de avance del martillo perforador	Indicado por manual	Lubricar	Preventivo	0,3
	PUESTA A PUNTO	JMP001	SLU	Drenar el agua condensada en el deposito de lubricación automatica	Acumulación de contaminantes	Drenar	Preventivo	0,1	

Anexo H. Servicio de 50H del Subsistema Power-Pack

		ESTÁNDAR DE SERVICIO						
		Código:	OP-MAN-RG04					
EQUIPO:		Versión:		2				
SISTEMA:		Fecha Creación:		12/04/2018				
PLACA:		Observaciones:		REALIZAR LA EJECUCION DE TAREAS EN ORDEN DE SECUENCIA POR MAQUINA				
MARCA:				TIEMPO ESTIMADO DE EJECUCIÓN DE SERVICIO EN HORAS				
UBICACIÓN:				1,1				
				Estandar de servicio para maquinaria minera cada 50H				
SERVICIOS	TAREA	ETAPA	COMPONENTE	DESCRIPCION ETAPA	CONDICIÓN PARA GENERACION DE NUEVA OT	ACCIÓN	MANTENIMIENTO	TIEMPO DE EJECUCION [H]
50H	INSPECCIÓN	JPI001	Cable de alimentación	Comprobar la sujeción del cable al carrete enrollador del sistema de alimentación al powerpack	Item suelto	Verificar	Preventivo	0,3
		JPI002	Cable de alimentación	Comprobar los rodillos guía del enrollador de cable de alimentación	Items fuera de posición	Verificar	Preventivo	0,2
	CEPILLADO	JPC001	Cable de alimentación	Limpiar la unidad de control externa del carrete enrollador del cable de alimentación del power pack	Control sucio	Limpiar	Preventivo	0,2
	LUBRICACIÓN	JPL002	Cable de alimentación	Lubricar sistema de bobinado del cable	Falta de lubricante	Lubricar	Preventivo	0,5