

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN CONFIABILIDAD
(RCM) PARA CARGADOR BAJO PERFIL LHD DERUI WJ-2 DE LA EMPRESA
FRONTIER COAL.

JOHON ADRIÁN HERRERA LUCAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2021

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN CONFIABILIDAD
(RCM) PARA CARGADOR BAJO PERFIL LHD DERUI WJ-2 DE LA EMPRESA
FRONTIER COAL.

JOHON ADRIÁN HERRERA LUCAS

Monografía de grado para optar al título de Especialista en Gerencia de
Mantenimiento

Director

John Faber Archila Díaz

Doctor en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2021

DEDICATORIA

JOHON ADRIÁN HERRERA LUCAS

A mi esposa

Adriana Quiroga Carrero

Hijos Cristopher y Mia Isabella

A mis padres,

Nelcy Lucas Hernández

Javier Herrera Villota

por su apoyo incondicional

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia quiero agradecer a Dios por darme fuerza y sabiduría en el proceso de la Especialización de gerencia en mantenimiento de la Universidad Industrial de Santander UIS,

En segunda instancia agradecerle a mi madre Nelcy Lucas, a mi tío Raúl Benítez, a mi esposa Adriana Lizeth e hijos (Christopher y Mia Isabella) que fueron los pilares donde me brindaron apoyo incondicional para graduarme en esta etapa de mi vida. En tercera instancia agradecerle a mi Director John Faber Archila por guiarme en el proceso de la realización de esta monografía.

En cuarta instancia a cada uno de los docentes de la Universidad Industrial de Santander UIS que con su sabiduría transmitieron sus enseñanzas a cada uno de los estudiantes de la Cohorte XVI

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	166
1. MARCO ORGANIZACIONAL.....	188
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	188
1.2 MISIÓN	222
1.3 VISIÓN.....	222
1.4 POLÍTICA DEPARTAMENTO DE SGI.....	222
1.5 RED DE PROCESOS	244
1.6 ORGANIGRAMA OPERACIÓN MINA LA GITANA	255
1.6.1 Descripción del Organigrama Minería.....	266
1.6.2 Descripción del Organigrama Mantenimiento.	277
1.7 FLOTA DE EQUIPOS.....	288
1.8 DISPONIBILIDAD	377
1.9 PROCESO PRODUCTIVO	388
1.9.1 Planeación y exploración	388
1.9.2 Perforación y voladura	399
1.9.3 Sostenimiento	422
1.9.4 Cargue y transporte.....	433
1.9.5 Clasificación y acopio del material	477
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	499
3. OBJETIVOS.....	50
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	50
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	50

4.	JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO	511
5.	MARCO TEÓRICO	522
5.1	HISTORIA DEL MANTENIMIENTO.....	522
5.2	MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM).....	566
5.3	DEFINICIÓN DE RCM.....	577
5.4	METODOLOGÍA DE RCM	588
5.4.1	Funciones.....	60
5.4.2	Falla Funcionales	60
5.4.3	Modos de Fallas	60
5.1.1	Efectos de Fallas.....	611
5.1.2	Consecuencias de las Fallas.....	611
5.1.3	Tareas de Mantenimiento Preventivo y Predictivo	622
5.2	INDICADORES GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EQUIPO MINERO...	633
5.2.1	Tiempo Promedio entre Paradas (MTBF)	644
5.2.2	Tiempo Promedio para Reparar (MTTR).....	655
5.2.3	Disponibilidad	655
6.	CARGADOR BAJO PERFIL DERUI WJ-2	666
6.1	GENERALIDADES DEL EQUIPO CARGADOR DERUI.....	666
6.2	COMPOSICIÓN EQUIPO CARGADOR SUBTERRÁNEO WJ-2.....	688
6.2.1	Sistema de transmisión	70
6.2.2	Sistemas hidráulicos	1033
6.2.3	Estructura.....	1077
6.2.4	Sistema Eléctrico.....	11010
6.2.5	Seguridad.....	1111

6.2.6	Comandos.....	1111
7.	PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM	1133
7.1	TAXONOMÍA DEL EQUIPO	1133
7.2	DEFINICIÓN DE SISTEMAS Y SUBSISTEMAS	1144
7.3	FUNCIONES DEL SISTEMA Y FALLAS FUNCIONALES.....	1155
7.4	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTOS A CARGADORES DERUI WJ-2.....	1199
7.5	ANÁLISIS CONSECUENCIAS DEL CARGADOR DERUI WJ-2.	1333
7.6	MATRIZ DE RIESGOS Y DIAGRAMA DE DECISIÓN.....	1344
7.7	ANÁLISIS DE CRITICIDAD	1355
7.8	PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL CARGADOR DERUI WJ-2	1366
7.9	INVENTARIO DE REPUESTOS A USAR EN EL CARGADOR DERUI WJ-2	1422
	CONCLUSIONES	1433
	BIBLIOGRAFIA.....	1455
	ANEXOS.....	1488

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Equipos relevantes de la operación.	288
Tabla 2. Ficha Técnica del Equipo.	666
Tabla 3. Lista de Funciones.	1166
Tabla 4. Funciones y descripción de falla funcional más representativas.	1177
Tabla 5. Función, Falla Funcional y Modos de Falla en Cargador WJ-2.	1199
Tabla 6. Estadísticas Modos de Fallas en Cargadores WJ-2	120
Tabla 7. Estadísticas Modo de Falla en el Motor	1211
Tabla 8. Estadísticas Modo de Falla en la Transmisión.	1222
Tabla 9. Estadísticas Modo de Falla en la Dirección	123
Tabla 10. Estadísticas Modo de Falla en Sistema Hidráulico	124
Tabla 11. Análisis Modo de Falla en Motor y sus Efectos.	126
Tabla 12. Análisis Modo de falla en Sistema de Refrigeración y sus Efectos.	127
Tabla 13. Análisis Modo de Falla en Sistema de Dirección y sus Efectos.	127
Tabla 14. Análisis Modo de Falla en la Transmisión y sus Efectos.	128
Tabla 15. Análisis Modo de Falla en el Sistema Eléctrico y sus Efectos.	129
Tabla 16. Análisis Modo de Falla en el Sistema Cabina, diferencial, mandos, frenos y sus Efectos.	130
Tabla 17. Análisis Modo de Falla en Estructura del balde y Chasis y sus Efectos.	1311
Tabla 18. Análisis Modo de Falla en Sistemas Hidráulicos y sus Efectos.	132
Tabla 19. Análisis Consecuencias del Cargador Derui WJ-2.	133
Tabla 20. Matriz de Riesgos Implementada.	134
Tabla 21. Análisis de Criticidad.	136
Tabla 22. Plan Mantenimiento RCM, Sistema de Estudio Motor y Refrigeración.	138
Tabla 23. Plan Mantenimiento RCM, Sistema de estudio Dirección y Transmisión.	139

Tabla 24. Plan Mantenimiento RCM, Sistema de estudio Eléctrico, Cabina y Diferencial.....	14040
Tabla 25. Plan Mantenimiento RCM, Sistema de estudio Mandos, Frenos, Estructura balde y chasis, hidráulica.....	141
Tabla 26. Check-List Diario de los Equipos	148
Tabla 27. Orden de trabajo de mantenimiento.....	1498
Tabla 28. Repuestos a Usar para el Mantenimiento del Cargador DERUI WJ-2	15049

LISTA DE ANEXOS

<u>ANEXO A. FICHAS DE MANTENIMIENTO</u>	1488
<u>ANEXO B. TABLA DE INVENTARIOS</u>	150

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización Mina la Gitana. Vereda Cerro la Vieja, Municipio Sardinata, Norte de Santander.....	188
Figura 2. Proyecto Mina la Gitana.....	199
Figura 3. Localización de Sardinata en el departamento Norte de Santander.....	20
Figura 4. Red de Procesos.	244
Figura 5. Organigrama Dirección Operación Mina La Gitana.	255
Figura 6. Cargador Frontal Bajo Perfil Derui WJ-2.....	30
Figura 7. Retroexcavadora y/o Mucking Siton ZWY-80/45L.	30
Figura 8. Minicargador Bobcat S570.....	311
Figura 9. Compresor Kaeser CSD 100.	322
Figura 10. Cargador Frontal fabricante Liu-Gong 856H.....	322
Figura 11. Compresor Kaeser CSD 125.	333
Figura 12. Generador Olympian.....	333
Figura 13. Turbo fabricación Fuso.	344
Figura 14. Minicargador fabricante Caterpillar 236D.....	344
Figura 15. Retrocargador Caterpillar 420E.	355
Figura 16. Generador Caterpillar 3512 (Fuente de Autor)	366
Figura 17. Camioneta Chevrolet Dmax 4x4 (Fuente de Autor)	366
Figura 18. Esquema Proceso Extracción Mina Subterránea.	388
Figura 19. Proceso de Perforación sobre el manto.....	399
Figura 20. Proceso de Perforación sobre el manto.....	40
Figura 21. Instalar Explosivos con Tapones de Arcilla.....	40
Figura 22. Distribución de Detonadores Eléctricos en Frente de Trabajo (F. Autor)	411
Figura 23. Detonación en el Frente de Trabajo.....	411

Figura 24. Detonación en el Frente de Trabajo.....	422
Figura 25. Proceso de Sostenimiento.....	433
Figura 26. Proceso para el Cargue y Transporte.....	444
Figura 27. Cargue en la pala del LHD.....	455
Figura 28. Centro de Acopio en frente de la Retroexcavadora Eléctrica y/o Mucking	455
Figura 29. Alimentación Carbón a la Cadena de Cangilones.	46
Figura 30. Transporte de Carbón por Banda Transportadora.....	46
Figura 31. Banda Boskulver alimentación Planta de Beneficio.....	47
Figura 32. Planta de Beneficio.....	48
Figura 33. Planta de Beneficio.....	48
Figura 34. Evolución en el tiempo de la expectativa del mantenimiento.....	52
Figura 35. Evolución en el tiempo de los cambios en Patrones fallas de los equipos.	55
Figura 36. Evolución en el tiempo de los cambios en Técnicas de Mantenimiento.	56
Figura 37. Diagrama Implementación RCM.....	59
Figura 38. Diagrama de Decisión RCM.	63
Figura 39. Componente del Cargador Subterráneo WJ-2.....	699
Figura 40. Sistema Transmisión de Potencia Cargador LHD Derui - WJ-2.	71
Figura 41. Sistema de Transmisión Power Shift y/o Hidromecánico.....	72
Figura 42. Partes de un Motor Deutz.....	73
Figura 43. Composición de la Culata.....	74
Figura 44. Válvula de admisión y escape.....	75
Figura 45. Bloque del Motor.....	76
Figura 46. Camisa y Biela del Motor.....	77
Figura 47. Pistón del Motor.....	78
Figura 48. La refrigeración de los Pistones.....	79
Figura 49. Árbol de Levas.....	80
Figura 50. El cigüeñal.....	811

Figura 51. Tren de Engranajes.	821
Figura 52. Sistema de Lubricación.....	843
Figura 53. Sistema de Combustible.	855
Figura 54. Bomba de Inyección.	866
Figura 55. Sistema de Refrigeración.....	87
Figura 56. Sistema de Admisión de Aire.....	888
Figura 57. Impulsor y Turbina.	899
Figura 58. Elementos básicos de un Convertidor de Torque.	90
Figura 59. Convertidor de Par.....	91
Figura 60. Rodete, Turbina y Estator.	92
Figura 61. Función del Impeler, Estator y Turbinas.	94
Figura 62. Flujo del aceite en el Convertidor Par.	96
Figura 63. Caja de Transmisión.....	97
Figura 64. Parte Mecánica de la Transmisión.....	98
Figura 65. Esquema Convertidor y Caja de Transmisión.....	999
Figura 66. Esquema de un Eje Scoop.	100
Figura 67. Esquema del Diferencial Estándar.....	1011
Figura 68. Mandos Finales.	1022
Figura 69. Sistema Hidráulico de los Frenos.	106
Figura 70. Topes Oscilación del Eje.	109
Figura 71. Taxonomía Extracción de Carbón.....	1144
Figura 72. Diagrama de Pareto Fallas en Cargador WJ-2.	1211
Figura 73. Diagrama de Pareto Modos Fallas Motor	1222
Figura 74. Diagrama de Pareto Modo Falla en la Transmisión.....	1233
Figura 75. Diagrama de Pareto Modo Falla en el Sistema Dirección.....	1244
Figura 76. Diagrama de Pareto Modo Falla en el Sistema Hidráulico.....	1255
Figura 77. Diagrama de decisión RCM2.	1355

RESUMEN

TÍTULO: PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA CARGADOR BAJO PERFIL LHD DERUI WJ-2 DE LA EMPRESA FRONTIER COAL*

AUTORES: HERRERA LUCAS, JOHON ADRIÁN **.

PALABRAS CLAVES: Mantenimiento, RCM, Indicadores de Gestión, Cargador Bajo Perfil LHD Derui WJ-2.

DESCRIPCIÓN:

Con el desarrollo de este proyecto se busca aportar una solución a la empresa Frontier Coal SAS que tiene como objetivo realizar una explotación mecanizada de carbón térmico a nivel nacional a partir de su equipo crítico CARGADOR BAJO PERFIL LHD DERUI WJ-2, por medio de un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad RCM para identificar cada una de sus fallas presentes en la extracción de carbón y de esta forma garantizar mediante rutinas de mantenimiento periódica una disponibilidad de dicho equipo. Adicionalmente, la actual monografía busca mejorar la baja confiabilidad y disponibilidad que registrar el equipo al momento de realizar la actividad en el interior de la mina para lograr una producción de 15.000 Toneladas al mes esperada por la gerencia, situación que nos conlleva en primera instancia a estudiar sus funciones primarias y secundarias, así como los modos de fallas con sus efectos y consecuencias para identificar las tareas de mantenimiento mínima que debe ejecutar el técnico sobre el equipo para que cumpla con su función básica. Igualmente, el área de mantenimiento junto con el área de producción se logró trabajar de la mano para conocer que componente del equipo mostro más fallas significativas dentro de un periodo de seis (6) meses sin descuidar los demás sistemas que lo conforman para su normal funcionamiento.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, especialización en gerencia de mantenimiento. Director: John Faber Archila Díaz PhD. Ingeniería Mecánica.

ABSTRACT

TÍTULO: RELIABILITY BASED PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN FOR LHD DERUI WJ-2 LOW PROFILE CHARGER FROM FRONTIER COAL COMPANY *

AUTHOR: HERRERA LUCAS, JOHON ADRIÁN**.

KEYWORDS: Maintenance, RCM, management indicators, Derui WJ-2 Low Profile LHD Charger.

DESCRIPTION:

With the development of this project, we seek to provide a solution to the company Frontier Coal SAS, which aims to carry out a mechanized exploitation of thermal coal nationwide from its critical equipment CHARGER LOW PROFILE LHD DERUI WJ-2, by means of a maintenance Plan Preventive Reliability Focused RCM to identify each of your faults present in the extraction of coal and thus guarantee through periodic maintenance routines an availability of such equipment. In addition, the current monograph seeks to improve the low reliability and availability to register the equipment at the time of carrying out the activity inside the mine to achieve a production of 15,000 Tons per month expected by the management, a situation that leads us in the first instance to study their primary and secondary functions, as well as the failure modes with their effects and consequences to identify the minimum maintenance tasks that the technician must perform on the equipment to fulfill its basic function. Likewise, the maintenance area, together with the production area, was able to work hand in hand to know which component of the equipment showed the most significant failures within a period of six (6) months without neglecting the other systems that make it up for normal operation.

* Degree Work

** Faculty of Engineering Physical and Mechanics, Specialization in Maintenance Management.
Director: John Faber Archila Díaz PhD. Mechanical Engineering.

INTRODUCCIÓN

La minería Subterránea en Colombia siempre se ha caracterizado por ser bastante rudimentaria y utilizan técnicas que con el pasar del tiempo se ha dejado de usar, una de ellas es el uso de carretas para transportar el carbón del frente de trabajo hasta el punto donde es acopiado el material para luego ser alimentado por medio de trabajadores mineros a punta de pala y/o con la ayuda de un minicargador que llene cada uno de los vagones y/o coches que están unidos por medio de un mecanismo mecánico de acople tipo enganche que los une entre sí. La capacidad de los vagones y/o coches son de dos (2) toneladas que son movilizadas por medio de rieles y remolcado con la ayuda de una guaya de 1" de diámetro que es enrollada a través de un tambor tipo wincher y un freno de mano para de esta forma poder extraer el carbón hacia la superficie. Las empresas no adquieren un sentido de pertenencia para desarrollar una correcta actividad de minería en donde al realizar la extracción de carbón se generan altos índices de costos que son elevados, los tiempos muertos se presentan cuando ocurren riesgos de volcamientos y/o fallas de desacoples de algunos vagones y/o coches durante su trayecto, estos son algunos que se pueden registrar durante la operación de este oficio.

La Mina Gitana de propiedad de la empresa Frontier Coal S.A.S. se encuentra ubicada en la vereda cerro León jurisdicción del municipio de Sardinata Norte Santander. En ella se realiza la explotación de carbón con ayuda de cargadores bajo perfil frontales que transportan el carbón del frente de trabajo en explotación hacia el punto de acopio donde se encuentra un equipo llamado Mucking (Retroexcavadora Siton) quien alimenta las bandas transportadoras, estas recorren un trayecto de aproximadamente 2 kms desde el interior de la mina hacia la

superficie para poder transportar el carbón y llevarlo a la Plata de Beneficio donde es procesada y clasificada según el tamaño.

El presente proyecto busca presentar un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad (RCM) para los cargadores de bajo perfil Derui que posee la empresa Frontier Coal, pues durante el trayecto de su operación ha mostrado bajos índices de disponibilidad y confiabilidad hasta el punto de que no se ha podido contar con los cargadores para la extracción de carbón. A partir de esta condición, se estudiará las funciones que necesiten que los equipos realicen para sus usuarios, las fallas funcionales y los modos de fallas asociados a las fallas funcionales utilizando la metodología de análisis de modos de fallas y sus efectos. Por otra parte, el uso de un diagrama lógico nos ayudara a definir las tareas básicas, la frecuencia y los repuestos e insumos a utilizar en el marco del mantenimiento preventivo que son necesario para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de estos equipos.

1. MARCO ORGANIZACIONAL

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

“Es una empresa colombiana que fue fundada en el año 2003, cuya labor principal corresponde en la operación y comercialización de carbón térmico. La empresa hace uso de un sistema mecanizado para la explotación de carbón, con responsabilidad al medio ambiente y altamente transformadora cumpliendo con los estándares internacionales de operación minera. El Carbón explotado en la región de Norte Santander es comercializado en el mercado colombiano y exportados a los países de Brasil, Perú, Centroamérica y las islas del Caribe”¹. “El área de explotación donde se localiza la mina la Gitana (Figura 1), corresponde a la cuenca de Maracaibo y se encuentra en el costado NE de la zona la Vieja, que es una estructura de 16 kms. El yacimiento económicamente explotable corresponde a la formación los cuervos TPC”².

Figura 1. Localización Mina la Gitana. Vereda Cerro la Vieja, Municipio Sardinata, Norte de Santander.



¹ FRONTIERCOAL. [Sitio web]. ¿Quiénes somos? [Consulta: 20 de agosto 2020]. Disponible en: <https://frontiercoal.com/frontier-coal-nosotros.html>

² FLOREZ, Camilo. “Informe de práctica sostenimiento de minas; Mina la Gitana”. Universidad Francisco de Paula Santander. 2017.

A la mina se llega por la vía que va desde Cúcuta hacia Sardinata, más precisamente en el trayecto 42 kms de la carretera pavimentada, se registra una desviación hacia una vía destapada que durante su recorrido de aproximadamente 12 kms nos lleva al proyecto mina la Gitana (Figura 2).

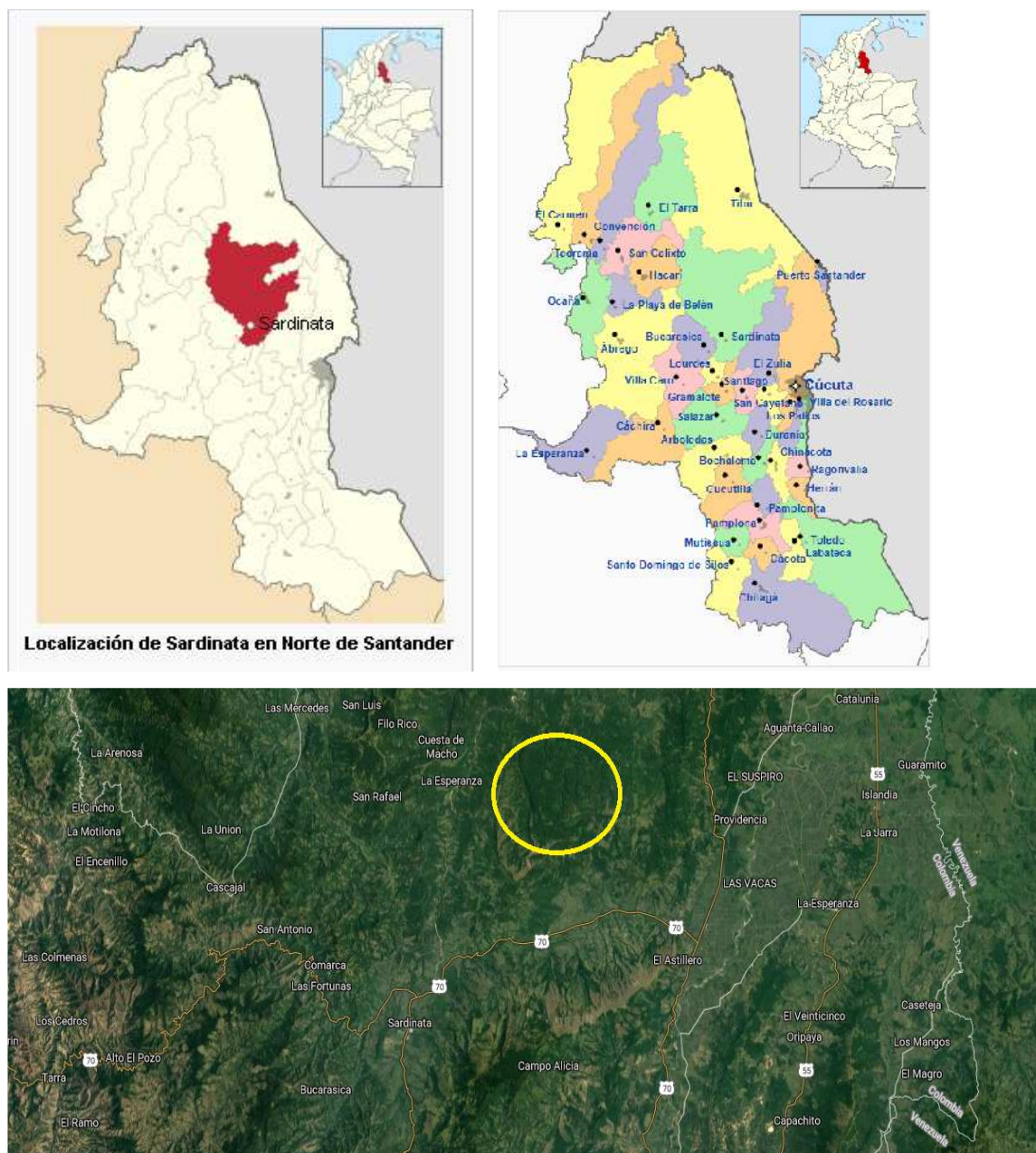
Figura 2. Proyecto Mina la Gitana.



Fuente: Frontiercoal.

El proyecto se encuentra en la zona nororiental del país (departamento colombiano Norte de Santander) con la frontera de Venezuela que hace parte de la región Andina. Sardinata es un municipio de Norte Santander – Colombia (Figura 3), que fue fundado en el año 1876, con una superficie de 1260 kms, ubicado a 300 mts sobre el nivel del mar, aunque el punto más alto se halla en el cerro banderas a 1850 msnm. Sardinata presenta una distancia de 78 km con respecto a Cúcuta capital del departamento y lo bañan los ríos Sardinata y San Miguel. Sardinata se destaca por sus minas de Carbón.

Figura 3. Localización de Sardinata en el departamento Norte de Santander



Fuente: Municipios de Norte de Santander³.

³ WIKIPEDIA. [Sitio web]. Municipios de Santander. [Consulta: 20 de agosto 2020]. Disponible en: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Colombia_-_Norte_de_Santander_-_Sardinata.svg

Para la extracción del carbón en el proyecto Mina La Gitana, se usa mano de obra calificada y no calificada con aproximadamente 150 hombres distribuidos en dos turnos, uno diurno y uno nocturno, para de esta forma cumplir con la meta de producción establecida mensualmente por la gerencia de producción.

Con base en lo anterior, la producción necesita de la siguiente Logística de maquinaria para poder cumplir con la meta establecida por la Gerencia; tres (3) Cargadores Frontales de Bajo Perfil Derui, un (1) retrocargador Caterpillar 425D, un (1) minicargador Cat 236D, un (1) minicargador Bobcat S570, una (1) planta de Beneficio, un (1) Cargador Liug- Gong 835H, un(1) Compresor Kaeser CSD 100, un (1) Compresor Kaeser CSD 125, una (1) Planta Generadora de Energía Caterpillar 3512, dos (2) retroexcavadora Siton, una (1) Planta Generadora Olympia GEP-110, dos (2) Camionetas Dmax, un (1) Turbo Fuso y herramientas menores: motobombas, guadañas, motosierra, Stropper YSP45K, Yackleys T29 y martillos neumáticos MB37, cada uno de ellos presenta una labor importante en la extracción de carbón y son objetos para que el departamento de mantenimiento garantice su disponibilidad y eficiencia en el campo laboral.

El grupo de personas que conforman el área de mantenimiento es de 6 Mecánicos, 3 electricistas, 6 Ayudantes, 1 Llantero, 3 Banderos, 3 Soldadores y un planeador de mantenimiento, quienes deben cubrir un turno completo de 24 Horas por siete días rotativos, es decir dos grupos laboran y uno descansa para garantizar la producción en la extracción de carbón. Se cuenta con un Taller en bocamina donde se realizan trabajos de mecánica, trabajos en caliente y trabajos de alto riesgo en alturas.

El mantenimiento preventivo como correctivo de los equipos debe realizarse en dos periodos programados: en el turno día de 6:00 a.m. hasta las 11:00 p.m. y en el turno noche de 08:00 p.m. hasta 09:00 p.m. para no afectar la normal producción

en la extracción de carbón, y de esta manera darle un acompañamiento durante el turno con un vehículo para atender cualquier eventualidad que se presentara durante la producción del turno día como del turno de la noche.

Con este documento busca encontrar una solución al problema que está presentando la empresa Frontier Coal, basando sus esfuerzos en hallar y establecer una forma más apropiada de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, ejecutando rutinas de mantenimientos periódicos que garanticen la disponibilidad de los equipos.

1.2 MISIÓN

“Ofrecer productos y servicios de calidad a los clientes, a través de procesos eficientes y un alto desempeño de nuestros colaboradores, generando bienestar a nuestra gente y valorar a la sociedad y accionistas” (Coal, 2016).

1.3 VISIÓN

“En 2023 Empresa productora, transformadora y comercializadora de minerales, reconocida por sus altos estándares de calidad e innovación, responsable y confiable con nuestros grupos de intereses” (Coal, 2016).

1.4 POLÍTICA DEPARTAMENTO DE SGI

“Es una empresa especializada en la operación y comercialización de carbón térmico, realizando una explotación mecanizada, responsable con el medio ambiente y altamente innovadora cumpliendo con los estándares internacionales de operación” (Coal, 2016), se comprometen a:

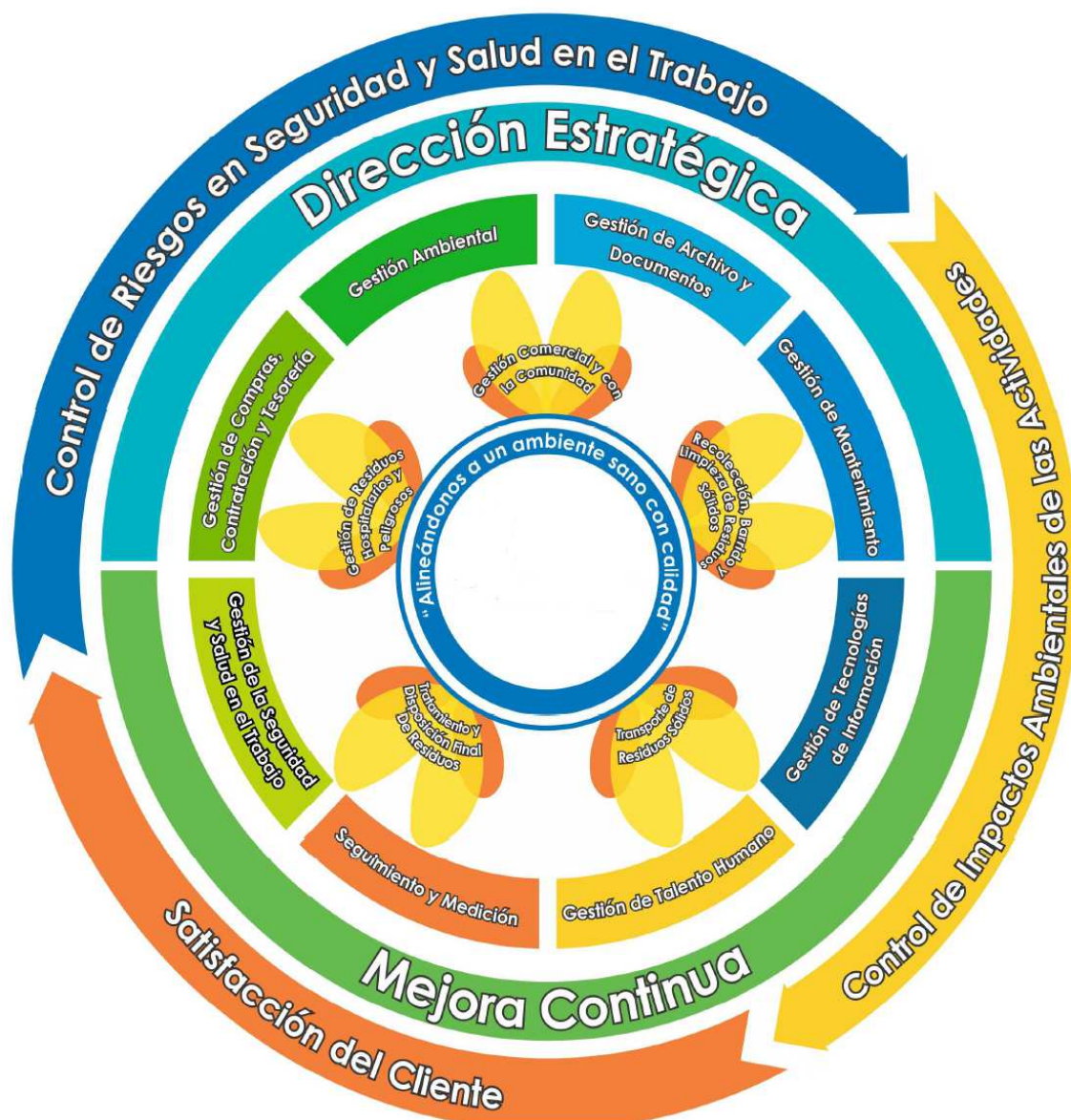
- Integridad: Cumplir lo que se promete. Actuar de manera apropiada y auténtica, ser responsables de nuestras decisiones y actos.

- Trabajo en Equipo: trabajar como un solo equipo, valorar el trabajo de los demás mediante el respeto, confianza y trabajar en forma coordinada, complementaria y comprometida.
- Búsqueda de la Excelencia: Crear un ambiente apropiado donde surjan ideas y métodos innovadores que mejoren los procesos internos, mediante la proactividad, Iniciativa, aceptando el desafío de la mejora continua para lograr eficiencia y efectividad en el trabajo.
- Desarrollo Talento: Buscar siempre el crecimiento y desarrollo de los equipos a nivel individual y colectivo, para generar impacto en nuestra gente en el progreso constante de la comunicación, liderazgo y participación en todos los procesos.
- El mejoramiento continuo del desempeño y eficacia del sistema de gestión es compromiso y visión positiva de cada uno de los miembros de la organización, es por esta situación que se rinden cuentas de acuerdo con cada una de las responsabilidades.
- La presente política de gestión tiene alcance en todos los centros de trabajo de la organización, en los trabajadores independientes que presenten contratación o vinculación con la empresa, incluyendo contratista y subcontratista, le debe ser comunicada y socializada la política a todos los miembros de su organización y de las partes interesadas para de esta forma lograr nuestro desempeño.

1.5 RED DE PROCESOS

El Esquema de representación de los procesos del sistema de gestión institucional se detalla en la figura 4.

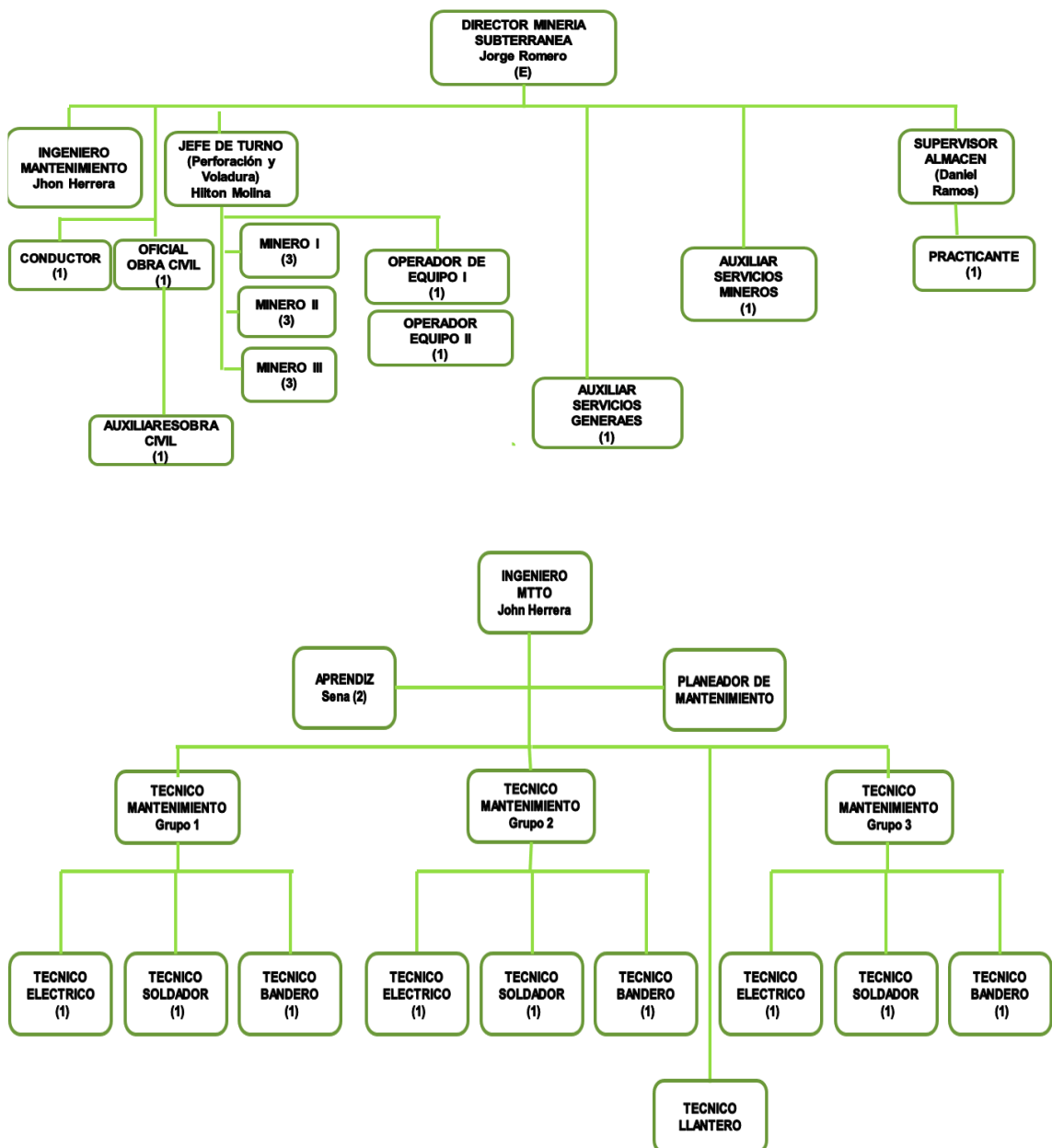
Figura 4. Red de Procesos.



1.6 ORGANIGRAMA OPERACIÓN MINA LA GITANA

La figura 5. Presenta el organigrama del área de mantenimiento en la empresa.

Figura 5. Organigrama Dirección Operación Mina La Gitana.



1.6.1 Descripción del Organigrama Minería.

- **Director de Mantenimiento:** Es la persona encargada de planear, programar, administrar y controlar las actividades de producción en la mina.
- **Jefe de Turno:** Es la persona encargada de supervisar las labores de producción y sostenimiento en el interior de la mina.
- **Supervisor de Almacén:** Es la persona de organizar, inventariar y cargar los repuestos que se le aplica a los equipos y los materiales usados en la labor de la minería.
- **Auxiliar Servicios Mineros:** Es la persona de instalar las electrobombas para la evacuación de agua en el interior de la mina al igual que la irrigación de las vías. Persona de apoyo en las instalaciones de canastas de madera para sostenimiento de los techos.
- **Auxiliar Servicios Generales:** Es la persona de amasar las arcillas de barro para el tema de explosión y controlar la entrega de auto rescatadores que se ubican en la mampostería.
- **Oficial de Obra Civil:** Es la persona de realizar las obras civiles que se presente en la mina.
- **Auxiliar de Obra Civil:** Es la persona de apoyar en las labores de obras civiles que necesite el oficial de obra.
- **Conductor:** Es la persona de transportar el personal y material al interior de la mina que se necesita para la extracción de carbón.
- **Minero:** Es la persona encargada de desarrollar la actividad de pernado en el techo, borrado de los hastiales y voladura en el interior de la mina.
- **Operador de Equipo:** Es la persona encargada de inspeccionar, operar y reportar los daños y/o averías de los equipos. Igualmente, es la persona de transportar el material del frente de obra hasta el centro de acopio que queda al frente del Mucking.

1.6.2 Descripción del Organigrama Mantenimiento.

- **Ingeniero de Mantenimiento:** Es la persona encargada de planear, programar, desarrollar, administrar, controlar y supervisar las actividades que se desarrollan dentro del marco legal de mantenimiento para preservar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos.
- **Planeador de Mantenimiento:** Es la persona de apoyo del Ingeniero de Mantenimiento para planear y programar los mantenimientos preventivos y correctivos programados durante el desarrollo de la actividad de los equipos.
- **Aprendiz Sena:** Son las personas de apoyo para el aprendizaje de las labores de mantenimiento: archivo de las ordenes de trabajo, actividades de desarme y arme de los componentes supervisado por el técnico mantenimiento, ejecutar orden y aseo del taller.
- **Técnico de Mantenimiento:** Es la persona encargada de ejecutar actividades de reparación en el sistema hidráulico, sistema mecánico y motor de los equipos para que sean eficientes y efectivos en la labor de la operación.
- **Técnico Electricista:** Es la persona encargada de la revisión y corrección de las conexiones eléctricas de media tensión que se presenta en el interior de la mina, al igual que los sistemas eléctricos que hace parte de los equipos para que pueda cumplir con la labor de la operación.
- **Técnico Soldador:** Es la persona encargada de inspeccionar y corregir las grietas presentes en el balde y chasis de los equipos, así mismo construir pórticos y fabricación de cintas que ayude para el sostenimiento en el interior de la mina.
- **Técnico Banderero:** Es la persona encargada de la revisión de los rodillos, bandas y artesas que hace parte de las bandas transportadoras. Lubricar las chumaceras y rodamientos que hace parte de los cabezotes y colas de las bandas transportadoras.

- **Técnico Llantero:** Es la persona encargada de inspeccionar, rotación y reparación de las llantas de los equipos.

1.7 FLOTA DE EQUIPOS

La empresa Frontier Coal cuenta con los siguientes equipos para la explotación de carbón que se presenta en su operación.

Tabla 1. Equipos relevantes de la operación.

Código	Equipos	Marca	Modelo
EOK-847	Camioneta	Chevrolet Dmax	2019
EOK-885	Camioneta	Chevrolet Dmax	2019
GET-335	Camión	Turbo Fuso	2019
MCB01	Minicargador	Bobcat	S100
MCB00	Minicargador	Bobcat	S 570
MCB01	Minicargador	Bobcat	S 570
MCB02	Minicargador	Bobcat	S 570
MCC00	Minicargador	Caterpillar	236D
MCC01	Minicargador	Caterpillar	236D
MCC02	Minicargador	Caterpillar	236D
MCC03	Minicargador	Caterpillar	236D
CFL01	Cargador Frontal	Liu-Gong	CLG 856H
CFL02	Cargador Frontal	Liu-Gong	CLG 856H
RES01	Retroexcavadora	Siton	ZWY-80/45L
RES02	Retroexcavadora	Siton	ZWY-80/45L
CBD01	Cargador Bajo Perfil	Derui	WJ-2
CBD02	Cargador Bajo Perfil	Derui	WJ-2
CBD03	Cargador Bajo Perfil	Derui	WJ-2
RCC01	Retrocargador	Caterpillar	420E

Código	Equipos	Marca	Modelo
CEK01	Compresor de aire Estático	Kaeser	CSD100
CEK02	Compresor de aire Estático	Kaeser	CSD125
GEC02	Generador Eléctrico	Caterpillar	3512
GEP110-2	Generador Eléctrico	Olympian	GEP-110
GEP33-3	Generador Eléctrico	Olympian	GEP-33

Imágenes de los equipos relevantes en la producción:

Cargador Frontal Bajo Perfil: “Son maquinas usadas en minería subterránea altamente complejos con alturas limitadas, como minas de cámara y pilar de bajo perfil. En un negocio donde las mejoras de productividad pueden medirse en segundos, los cargadores y camiones subterráneos en una mina pueden marcar una diferencia significativa en sus costos por tonelada”⁴.

“Motores diésel potentes, altas fuerzas de arranque y el llenado del cucharón rápido maximizan la producción. Los cargadores de bajo perfil están diseñados para tener una durabilidad prolongada, un mantenimiento y servicio simplificados y costos operativos reducidos. Estos cargadores son herramientas de producción valiosas en su búsqueda por aumentar la seguridad, mejorar la confiabilidad, la productividad y reducir los costos en la operación del cargador bajo perfil”⁵ (Figura 6).

⁴ SANDVIK. [Sitio web]. Cargadores de bajo perfil. [Consulta: 01 de septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.rocktechnology.sandvik/es-la/productos/cargadores-y-camiones-subterr%C3%A1neos/bajo-perfil/>

⁵ Ibid.

Figura 6. Cargador Frontal Bajo Perfil Derui WJ-2.



La retroexcavadora y/o Mucking : Es un equipo diseñado para la extracción de mineral con alta eficiencia de producción continua, utilizado principalmente para la excavación de roca de mina y calzadas de roca de semi-carbón. También puede ser usado para operaciones de carga en túneles de desvío, construcción de túneles ferroviarios y construcción de cavernas de defensa nacional. Se puede utilizar junto con los camiones de perforación de minas hidráulicos producidos por nuestra empresa para realizar la mecanización de la excavación de la mina y aumentar considerablemente la velocidad de excavación.

Figura 7. Retroexcavadora y/o Mucking Siton ZWY-80/45L.



Puede usar el brazo de trabajo para lograr el riesgo de carga de roca de sección completa cara a cara, sin dejar callejones sin salida, sin limpieza manual de la superficie de trabajo (Figura 7).

Minicargador Bobcat S570: Es un equipo que tiene una cabina cómoda con una potencia y un rendimiento hidráulico que le ayuda a realizar el trabajo mejor y más rápido. Son muy útiles para recoger y transportar el carbón que se ubica sobre la vía (Figura 8).

Figura 8. Minicargador Bobcat S570.



Compresor Kaeser CSD 100: Son equipos diseñados para favorecer el flujo de la corriente de aire, mejorar la potencia específica, posee motores IE3 que contribuye a reducir el consumo de energía⁶ (Figura 9).

⁶ KAESER. "Compresores de tornillo". Kaeser compresores de Argentina S.R.L. Disponible en: <https://ar.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:42-5928>

Figura 9. Compresor Kaeser CSD 100.



Cargador Frontal Liu-Gong 856H: Es un Equipo que ofrece rendimiento a sus clientes en cuanto al manejo de materiales y preparación de agregados. El asiento presenta un joystick que fue diseñado ergonómicamente para mejorar más comodidad al operador y aumenta la productividad total. Los amortiguadores de aceite a base de silicona mejoran la calidad de marcha en los terrenos más difíciles y ayudan a evitar derramamiento de material. El cargador Lui-Gong 856H es una maquina compatible con las emisiones de gases al moverse en la mina⁷.

Figura 10. Cargador Frontal fabricante Liu-Gong 856H.



⁷ MERCADOVIAL. [Sitio web]. "6 nuevas máquinas se unen a la línea de 20 máquinas de LiuGong, cubriendo cada aplicación principal". [Consulta: 06 de septiembre 2020]. Disponible en: <https://mercadoval.tv/2019/04/22/6-nuevas-maquinas-se-unen-a-la-linea-de-20-maquinas-de-liugong-cubriendo-cada-aplicacion-principal/>

Compresor Kaeser CSD 125: Son equipos diseñados para favorecer el flujo de la corriente de aire, mejorar la potencia específica, posee motores IE3 que contribuye a reducir el consumo de energía (Kaeser, 2009). (Figura 11)

Figura 11. Compresor Kaeser CSD 125.



Generador Olympian GEP 110-2: Es un equipo electrógeno conformado por un motor diésel Perkins y un generador Olympian, que esta montado sobre una bancada metálica que incorpora un filtro de aire tipo modular de cartucho y un tanque con capacidad de 250 litros (GEP110-2, 2013). (Figura 12)

Figura 12. Generador Olympian.



Camión Turbo Fuso: Es un camión liviano con eje trasero de llanta sencilla. El motor tiene una potencia de 125 HP y con un torque de 30 K-M. Cuenta con una cabina de mayor espacio y confort para sus ocupantes. El camión Fuso tiene una capacidad de carga de dos (2) toneladas (Figura 13).

Figura 13. Turbo fabricación Fuso.



Minicargador Cat 236D: El equipo presenta una cabina de comodidad para el operador. El piso amplio y despejado, así como el interior espacioso, permite trabajar de forma cómoda y productiva. El equipo cuenta con un motor C3.3B que proporciona alta potencia y par de fuerza. Además, su sistema hidráulico incorpora máxima potencia y fiabilidad para realizar el trabajo con mayor rapidez (Figura 14).

Figura 14. Minicargador fabricante Caterpillar 236D.



Retrocargador Cat 420E: El equipo ofrece diversas formas de trabajo en excavación, apertura de zanjas, relleno y manipulación de materiales. Igualmente, el equipo puede utilizarse en numerosas aplicaciones, tales como construcción general, demolición y excavaciones, paisajismo, rotura de asfalto y pavimentación⁸ (Figura 15).

Figura 15. Retrocargador Caterpillar 420E.



Generador Cat 3512: Es un equipo electrógeno conformado por un motor diésel Caterpillar modelo 3512B-HD DITA y un generador Caterpillar modelo SR5 que esta montado sobre una bancada metálica con dos (2) filtros de aire modulares tipo seco⁹ (Figura 16).

⁸ CATERPILLAR. [Sitio web]. "Retroexcavadoras cargadoras". [Consulta: 06 de septiembre 2020]. Disponible en: https://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/backhoe-loaders.html

⁹ CATERPILLAR. "Caterpillar 3512 PKG Servicio de Emergencia 1750 kVA". Disponible en: http://www.finanzauto.es/images/documentos/productos/soluciones_energeticas_propulsion/diesel/EMST_1750_V09-16_-_3512_PGEI_175050E05.pdf

Figura 16. Generador Caterpillar 3512 (Fuente de Autor)



Camioneta Chevrolet Dmax: La camioneta cuenta con un motor diésel de 2.5 cc turbocargador que genera 130 HP y se equilibra con un gran torque de 320 Nm haciendo que el carro no sea pesado ni lento en ningún momento (Figura 17).

Figura 17. Camioneta Chevrolet Dmax 4x4 (Fuente de Autor)



1.8 DISPONIBILIDAD

La labor de explotación de carbón que desempeña la empresa en la zona requiere de una disponibilidad de los equipos a partir del día lunes y finaliza el día domingo, condición que es de vital importancia para lograr la producción esperada por la gerencia , pues de presentarse una falla en uno de los equipos durante la operación, se debe tener por lo menos uno en back up en el Taller para ser remplazado durante las dos (2) horas siguiente de trabajo y poder lograr la producción de 250 toneladas por turno en su ritmo habitual.

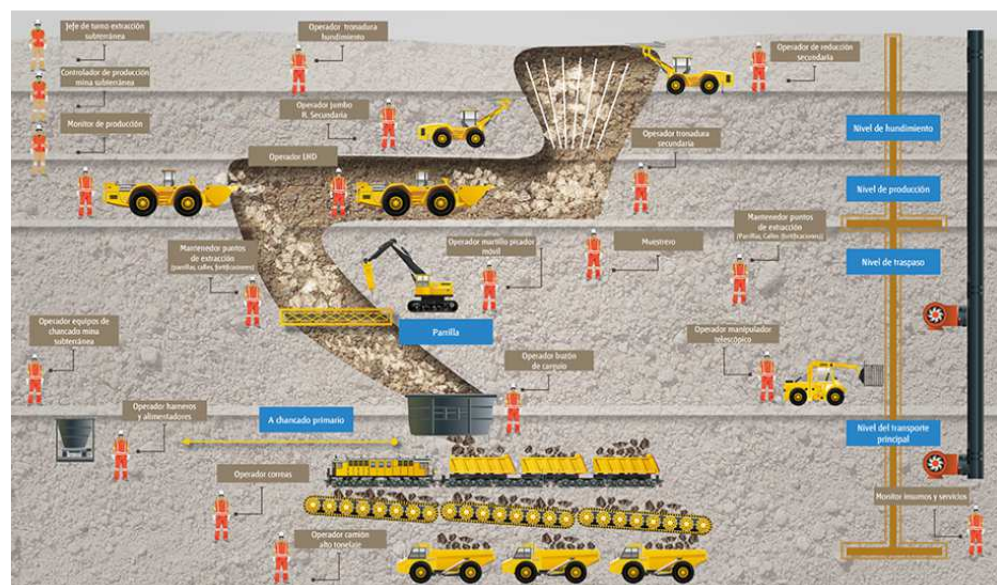
Los equipos deben desarrollar una rutina periódica de 18 horas diarias repartidas en dos turnos de 9 horas que son distribuidas de la siguiente manera; De 11:00 am hasta las 8:00 pm y de 9:00 pm a 6:00 am de lunes a domingos.

1.9 PROCESO PRODUCTIVO

La empresa Frontier Coal desarrolla en su proceso los siguientes cinco (5) pasos que se enuncia a continuación para la extracción de carbón subterránea (Figura 18):

1.9.1 Planeación y exploración. La empresa contrata estudio con personal externo de Geotécnica, geológicos y de ingeniería para identificar la ubicación, inclinación, espesor y calidad del manto de carbón, pues en algunas zonas de exploración por grupo minero se han encontrado con material estéril que retrasa el proceso de explotación de carbón. Adicionalmente, durante este proceso se identifica la cantidad de personal que se va a necesitar para la voladura, el sostenimiento del techo, así como la maquinaria para la realización de vías y movimiento de material que se necesita en el frente de obra.

Figura 18. Esquema Proceso Extracción Mina Subterránea.



Fuente: Consejo de Competencias Mineras (CCM)¹⁰.

¹⁰ CCM. [Sitio web]. "Proceso Extracción Mina Subterránea". [Consulta: 10 de septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.ccm.cl/proceso-extraccion-mina-subterranea/>

1.9.2 Perforación y voladura. El personal de La Empresa Frontier Coal en mina La Gitana realiza un esquema tipo abanico de catorce (14) barrenos con perforación horizontal sobre el manto (Figura 19 y 20), para luego instalar en los agujeros explosivos con tapones de arcilla (Figura 21) que son accionados con detonadores eléctricos por personal especializado. El esquema abanico se realiza en dirección del manto lisos con el fin de aprovechar la voladura. Durante la labor de la perforación y voladura se cuenta con el acompañamiento del personal de HSE para mitigar los riesgos de caída de material, medición de gases en la zona y acordonamiento del área al momento de generar la voladura.

Figura 19. Proceso de Perforación sobre el manto.



Fuente: Frontiercoal¹¹.

¹¹ FRONTIERCOAL. [Sitio web]. ¿Quiénes somos? [Consulta: 20 de agosto 2020]. Disponible en: <https://frontiercoal.com/frontier-coal-nosotros.html>

Figura 20. Proceso de Perforación sobre el manto.



Figura 21. Instalar Explosivos con Tapones de Arcilla.



Los parámetros que se usan en la perforación y voladura son los siguientes:

- Longitud del Barreno: 2 y 3 mts.
- Longitud de la Varilla: 2, 2.40 y 3 mts.
- Diámetro de Perforación: 38 mm.
- Sección Promedio: 6 x 3 mts en preparació.

- Explosivo: Indugel Plus Permisible.
- Detonadores Eléctricos: N° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8.

La Secuencia y distribución de los detonadores eléctrico (Figura 22) depende del estado del techo, iniciando por la parte de arriba y finalizando por la parte de abajo como se muestra en el esquema a continuación:

Figura 22. Distribución de Detonadores Eléctricos en Frente de Trabajo (F. Autor)

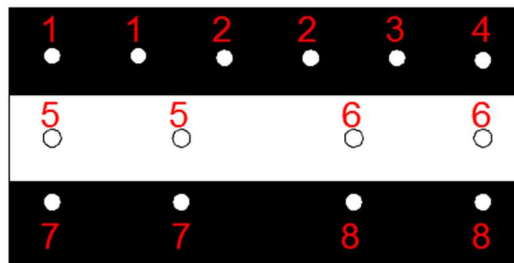


Figura 23. Detonación en el Frente de Trabajo.



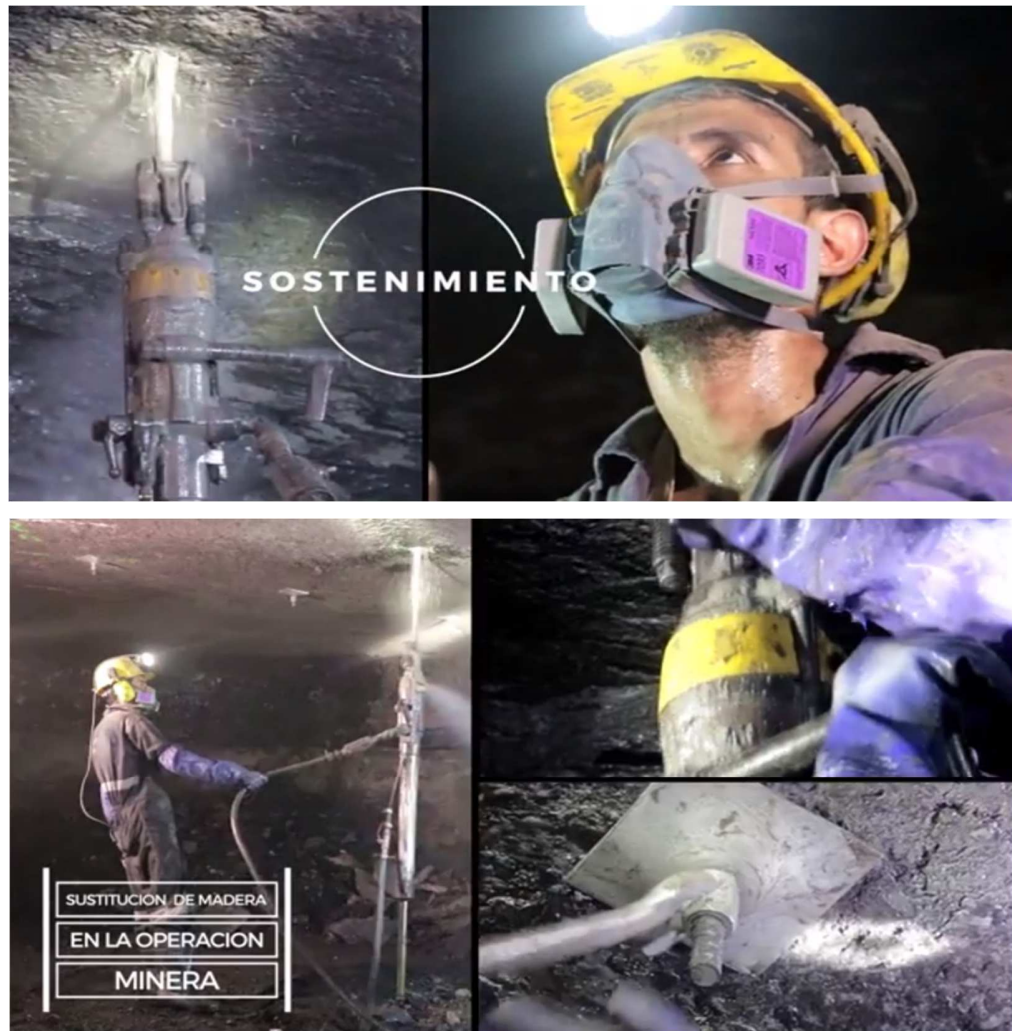
Figura 24. Detonación en el Frente de Trabajo.



Una vez realizada la detonación en el frente de trabajo (Figura 23 y 24) se espera de 15 a 20 minutos para la evacuación de gases. Luego, ingresa personal frente llamados picadores, quienes utiliza unos martillos neumáticos para perfilar el frente con el fin de prepararlo para la siguiente voladura.

1.9.3 Sostenimiento. Durante este proceso de Sostenimiento (Figura 25) se desarrolla la labor con tres (3) parejas de peradores para perforar el techo con ayuda del Stopper YSP45k, luego usan el Yackley T-29 para ingresar una varilla roscada con resina en donde uno de sus extremos de la varilla lleva una lámina con tuerca para la sujeción del techo. La separación entre agujeros debe ser de 1.50 mts para evitar agrietamiento en el techo de la roca.

Figura 25. Proceso de Sostenimiento.



1.9.4 Cargue y transporte. El proceso que usa la empresa para el cargue y transporte (Figura 26) es realizado de una forma discontinua mecanizada, en donde después de realizada la voladura en el frente de trabajo ingresa el LHD y/o Scoop para remover el cargue de carbón y roca que es el resultado de la fragmentación por la voladura. Luego, el material es llevado en la pala del LHD (Figura 27) y descargado en el centro de acopio que está ubicado en frente de la retroexcavadora

eléctrica y/o Mucking (Figura 28) en donde por medio de un balde es alimentado a la Panzer que hace parte del mismo equipo, el cual presenta una cadena en forma de cangilones (Figura 29) para de esta forma arroja el material al shut de la banda transportadora. Desde el Mucking hasta la superficie se hace un recorrido de cinco (5) bandas transportadoras enlazadas entre sí denominadas estaciones en donde el material que lleva la cabeza de una banda transportadora es descargado en el shut de la cola de la otra banda transportadora y así sucesivamente (Figura 30).

La secuencia actual inicia con banda N°4, luego pasa a la banda N°3, luego a la banda N°2, luego a la banda N°1 y por último es descargada en la banda Boskulver. (Figura 31) Esta última alimenta a la Planta de Beneficio.

Figura 26. Proceso para el Cargue y Transporte.



Figura 27. Cargue en la pala del LHD.



Figura 28. Centro de Acopio en frente de la Retroexcavadora Eléctrica y/o Mucking



Figura 29. Alimentación Carbón a la Cadena de Cangilones.



Figura 30. Transporte de Carbón por Banda Transportadora.



1.9.5 Clasificación y acopio del material. La empresa se encuentra equipada con una Planta de Beneficio cuya condición principal es clasificar el material por medio de una zaranda con mallas de diversos calibres en donde el material rocoso grueso es desviado hacia un extremo de una de la banda transportadora, el restante de material es ingresado a la Planta, una vez ingresa el material es encausado hacia un Ventilador -Soplador, es ahí donde lo direcciona en diversos ductos para la clasifica los diversos tamaños (Figura 32 y Figura 33). El cargador frontal Liu-Gong 856H recoge el material que se presenta en cada una de las bandas transportadoras en su salida para ser acopiado en el patio dependiendo de su granulometría. Luego, el material con ayuda del cargador frontal Liu-Gong 856H alimenta a cada una de las volquetas, quienes transportan el carbón hacia un centro de acopio ubicado en la Y del Norte de Santander.

Figura 31. Banda Boskulver alimentación Planta de Beneficio.



Figura 32. Planta de Beneficio.



Figura 33. Planta de Beneficio.



Fuente. Moubray, John¹².

¹² MOUBRAY, John. "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II". Aladon LLC. 1-97. 2004.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Frontier Coal S.A.S. se dedica a la extracción de carbón, en su labor de explotación de carbón ha presentado baja producción con base en la meta establecida por la Gerencia debido a que durante sus procesos internos los cargadores de bajo Perfil Derui WJ-2 han registrados fallas recurrentes en la operación hasta el punto que se ha visto involucrada su baja disponibilidad por debajo del 50% y su confiabilidad (MTBS tiempo promedio entre paradas) por debajo de las 18 horas diarias, condición que ha afectado de manera directa la labor que desarrolla el personal de minería, pues no ha podido avanzar en los frentes de trabajo debido a que hay carbón almacenado, lo cual dificulta de sobremanera el acceso en la zona. Con base en expuesto anteriormente, se hace necesario aplicar una nueva estrategia de mantenimiento normalizada por la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) con el fin de mejorar su disponibilidad y confiabilidad de dichos equipos.

El presente proyecto busca poner una solución al problema que está presentando la Empresa Frontier Coal S.A.S, basando en encontrar y establecer una forma más apropiada de mantenimiento basado en la confiabilidad, proponiendo un plan de mantenimiento basado RCM donde se identifiquen rutinas de mantenimiento periódicas que logren garantizar la disponibilidad de los equipos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un plan de mantenimiento basado en un Modelo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para la flota de equipos de Cargadores Bajo Perfil Derui WJ-2 de la Empresa Frontier Coal S.A.S.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar en cada uno de los sistemas la criticidad de los componentes que afecten de alguna forma el normal funcionamiento de las partes que conforma el equipo.
- Realizar un análisis de las fallas funcionales del cargador bajo perfil partiendo del historial del equipo, de la descripción de las funciones de los sistemas, los requerimientos básicos para la operación del sistema y las diversas fallas que puedan presentarse durante la operación del equipo.
- Realizar una recopilación de datos con base en la operación y disponibilidad que se presentara durante lo transcurrido del tiempo para analizar los diversos modos de fallas y sus efectos a que haya lugar en el equipo, haciendo uso de la técnica AMFE (Análisis del Modo y Efectos de Fallas).
- Elaborar un inventario de las partes mínimas que debe contar el almacén para atender las necesidades de los mantenimientos periódicos que se presentara durante la ejecución de la producción, con el fin de aumentar la disponibilidad del equipo.
- Proponer un modelo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la línea de equipos cargadores bajo perfil subterráneo.
- Identificar las tareas que son efectivas y se ajustan a la labor del activo.

4. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO

El departamento de Mantenimiento es el área encargada de realizar el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo a los Cargadores de Bajo Perfil Derui WJ-2, pero se ha encontrado envuelta en una baja confiabilidad (<18 horas) y disponibilidad (<50%), esto se debe a que el área de producción no ha respetado los tiempos establecidos de seis (6) horas diarias para realizarle un alistamiento a los equipos, ya que al momento de finalizar un turno el área de producción le informa al área de mantenimiento que cuenta con un tiempo de dos (2) horas diarias para ejecutar una inspección general a los equipos e ingresarlo nuevamente a la operación. Esta labor se volvió repetitiva hasta el punto que el mantenimiento que se le realizaba a los equipos se tornó de muy baja calidad, por tal motivo, el mantenimiento paso de ser preventivo a reactivo en los equipos para poder atender las fallas que se presentaba en campo, sumado a esta labor del tiempo de respuesta se volvió muy bajo porque el lugar donde quedaba inoperativo el equipo se tornaba de difícil acceso debido a condiciones circundantes externas como es la iluminación, aire, lodo y polución que se registraba en ese momento. Por esta situación es necesario el desarrollo de una nueva estrategia de mantenimiento normalizada por la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para lograr una confiabilidad estable durante la operación y aprovechar al máximo el recurso presente en el área de mantenimiento.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO

“El mantenimiento surge a partir de las situaciones que se le ha presentado al hombre en el tiempo por mantener sus equipos llámese herramientas, maquinaria, y/o plantas de trabajo en condiciones óptimas en el transcurso de su vida útil. A partir del año 1930, se incursiona el concepto de mantenimiento y la evolución que ha presentado en la sociedad en el transcurso de los años. En la siguiente figura se muestra un resumen de las tres (3) fases de generaciones, en donde se puede apreciar las diversas formas que ha avanzado el mantenimiento y sus diseños más complejos”¹³. (Figura 34).

Figura 34. Evolución en el tiempo de la expectativa del mantenimiento.



Fuente: Moubray, John.

• LA PRIMERA GENERACIÓN

“La primera generación cubre el periodo que se presenta hasta la Segunda Guerra Mundial. En esos días la industria no contaba con mecanismos altamente avanzados en temas de producción, por lo que la prevención de las fallas en los

¹³ MOUBRAY, John. "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II". Aladon LLC. 1-97. 2004.

equipos no era de mucho interés en el ámbito de la gerencia. Los equipos estaban conformados de una manera simple y muy sobredimensionado, esto los hacía confiable y fácil de reparar, el mantenimiento en ese momento no era muy complejo y no necesitaba cualidades mayores. Además, no se requería de un mantenimiento sistemático para la ejecución de algunas actividades rutinarias simples en el marco de la operación”¹⁴.

- LA SEGUNDA GENERACIÓN

“En el año 1950, se presentó un incremento en todo tipo de máquinas en cuanto al número y complejidad, debido a esta situación la industria empezó a depender marcadamente de ellas y es allí en donde se le presta mayor atención a las fallas de los equipos que debían ser prevenidas en el tiempo, introduciendo en ese momento el concepto de mantenimiento preventivo (PM)”¹⁵.

“En el año 1960, los equipos son estudiados de una manera perfeccionada en intervalos fijos de operación, lo que generó un aumento en los costos de mantenimiento en comparación con otros costos de trabajo, esta condición llevó a realizar una planeación en el mantenimiento de los equipos y en los programas de control con el fin de poder disminuir los costos y maximizar la vida de los equipos”¹⁶.

- LA TERCERA GENERACIÓN

“La tercera generación se presenta a partir de la mitad del año 1970, en donde la industria generó cambios en un momento de la historia, que se describen a partir de nuevas expectativas, técnicas e investigaciones”¹⁷.

¹⁴ MOUBRAY, John. "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II". Aladon LLC. 1-97. 2004.

¹⁵ Ibid.

¹⁶ Ibid.

¹⁷ Ibid

- NUEVAS EXPECTATIVAS

“Al presentarse un aumento en la automatización de cada uno de los procesos y la mecanización en el trabajo, trajeron consigo fallas que de alguna manera afectaron la capacidad de mantener los patrones elevados en el servicio prestado por las industrias y la calidad de los productos, hasta tal punto que una pequeña falla detuviera el proceso de la operación de la Planta, a partir de ese momento cobraron fuerza importante la confiabilidad y la disponibilidad para contrarrestar situaciones importantes en el campo laboral, que le dieron un impulso a la organización de la industria para garantizar el cuidado del medio ambiente y la seguridad en la sociedad. Adicionalmente, las dependencias de bienes fijos presentaron un incremento en la industria, que hicieron subir los costos por mantenerlos y por operar estos mismos, con el fin de que se dé una retribución al máximo de la inversión inicial, para esto se necesita que los equipos trabajen eficientemente durante el tiempo de su vida útil y al igual tener mayor control efectivo en los costos que se generan durante el mantenimiento”¹⁸.

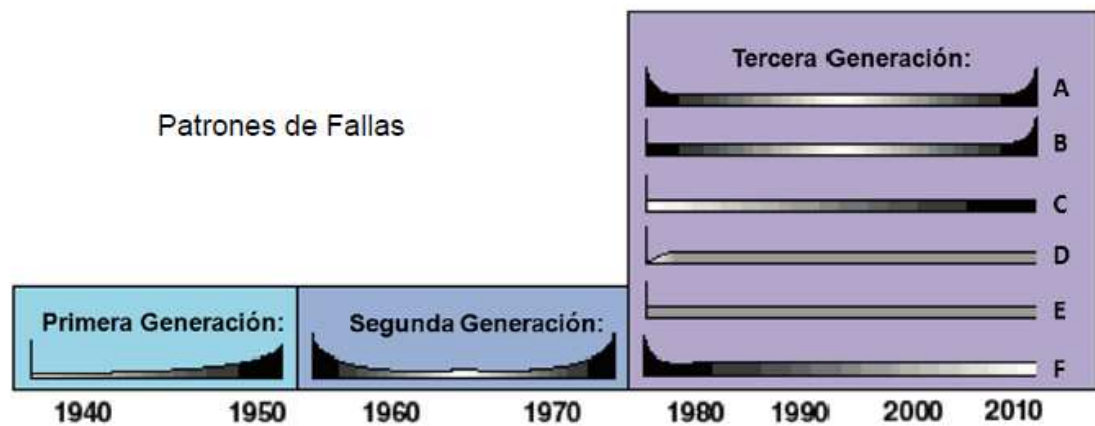
- NUEVAS INVESTIGACIONES

“Las nuevas investigaciones, presentaron diversos patrones de fallas en donde existía cada vez menos conexión entre la edad de funcionamiento de la mayoría de los equipos y la probabilidad de falla con la edad operativa, en la primera generación, muestra una situación que a medida que los componentes envejecía, este tenía mayor probabilidad de falla, por otra parte, en la segunda generación basa su concepto en la curva de la bañera y en la tercera generación se mostraron seis (6) situaciones de falla pueden ocurrir durante la operación de los equipos”¹⁹. Ver la siguiente figura. Ver Figura 35.

¹⁸ MOUBRAY, John. "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II". Aladon LLC. 1-97. 2004.

¹⁹ Ibid.

Figura 35. Evolución en el tiempo de los cambios en Patrones fallas de los equipos.



Fuente: Moubray, John.

“Sin embargo, el estudio me establece que, con solo realizar las actividades de planeación del mantenimiento, no son suficientes para alcanza el resultado, ya que se encontró un número enorme de operaciones básicas que no ayudan a prevenir las fallas, en cambio hay otras operaciones que son contraproducentes y peligrosas para la sociedad y el medio ambiente, lo anterior demuestra que muchas acciones son realizadas en el plan de mantenimiento preventivo”²⁰.

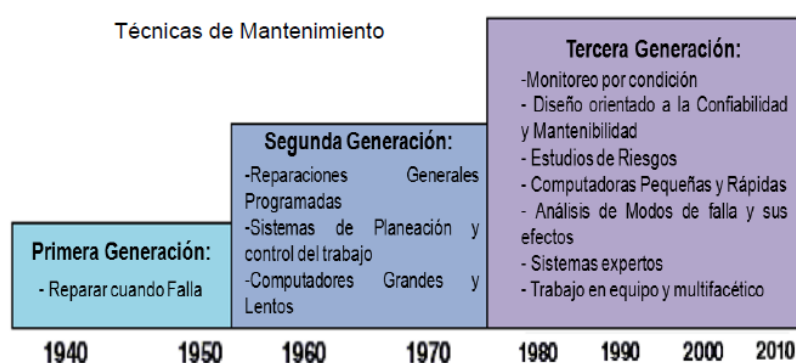
- NUEVAS TÉCNICAS

“Con el pasar del tiempo se ha mostrado varios avances en diversos campos, uno de ellos es que hubo un crecimiento explosivo en los nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento, que contiene herramientas para la toma de decisiones (estudios de riesgo, estudios de diversos tipos de fallas y análisis de los efectos y sistemas especializados), nuevas técnicas de mantenimiento (monitoreo de situación), diseño de equipos con gran énfasis en confiabilidad y mantenibilidad, adicionalmente, se

²⁰ MOUBRAY, John. "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II". Aladon LLC. 1-97. 2004.

alcanzó de manera positiva un pensamiento organizacional lógico que se presentaba a través de la participación, el trabajo grupal y la flexibilidad, que ayudo al personal de mantenimiento a tomar decisiones acertadas para seleccionar una técnica adecuada que mejorara el rendimiento de sus activos a un bajo costo”²¹ (Figura 36).

Figura 36. Evolución en el tiempo de los cambios en Técnicas de Mantenimiento.



Fuente: Moubray, John.

5.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

“El concepto de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) da sus primeras apariciones en el año de 1960 cuando el gobierno de EEUU reúne a un grupo de trabajadores de la Agencia Federal de la Aviación y las Aerolíneas para que realicen un estudio sobre las capacidades del mantenimiento preventivo, es ahí en ese momento que surge RCM (*Reability Centred Maintenance*) comandados por los señores Stanley Nowlan y Howar Heap que traducido al idioma español es el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y fue el título que se le dio al informe para desarrollar los programas de mantenimiento aplicado en aeronaves”²².

²¹ MOUBRAY, John. "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II". Aladon LLC. 1-97. 2004.

²² Ibid.

“En el año de 1980 la Técnica de RCM es implementada en el ámbito de la industria en general. John Moubray y sus asociados fueron los precursores en elaborar una rigurosa metodología para ser aplicada en la Industrias, iniciaron sus trabajos en el campo de la minería y la manufactura. John Moubray realizo una leve modificación con base a los diagramas de Nowlan y Heap dando lugar a la aparición de RCM II”²³.

5.3 DEFINICIÓN DE RCM

Con base en la definición expuesta en el libro de RCM II de John Moubray el autor nos informa que: “RCM es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”²⁴.

En cuanto a La Norma SAE JA1011 define a RCM como: “RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de fallas que pueden causar fallas funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional”²⁵.

Estas dos definiciones expuestas anteriormente nos llevan a concluir que RCM no es más que un proceso en el que se deben desarrollar unas tareas mínimas dentro de los programas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo para manejar los diversos modos de fallas que se presente dentro de su labor y se cumpla con el propósito de que un activo siga realizando su actividad en el campo operacional.

²³ MOUBRAY, John. "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II". Aladon LLC. 1-97. 2004.

²⁴ Ibid.

²⁵ Ibid.

5.4 METODOLOGÍA DE RCM

“El proceso de RCM, se basa en siete (7) preguntas primordiales acerca del funcionamiento del activo o sistemas que se quieren revisar, estos son de suma importancia para desarrollar y completar la metodología”²⁶.

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados a la operación del equipo?
- ¿En qué condición puede fallar para no ejecutar dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué debo hacer para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué puedo hacer si no logro prevenir una falla y/o no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

La metodología de RCM se resume en cinco (5) únicos pasos:

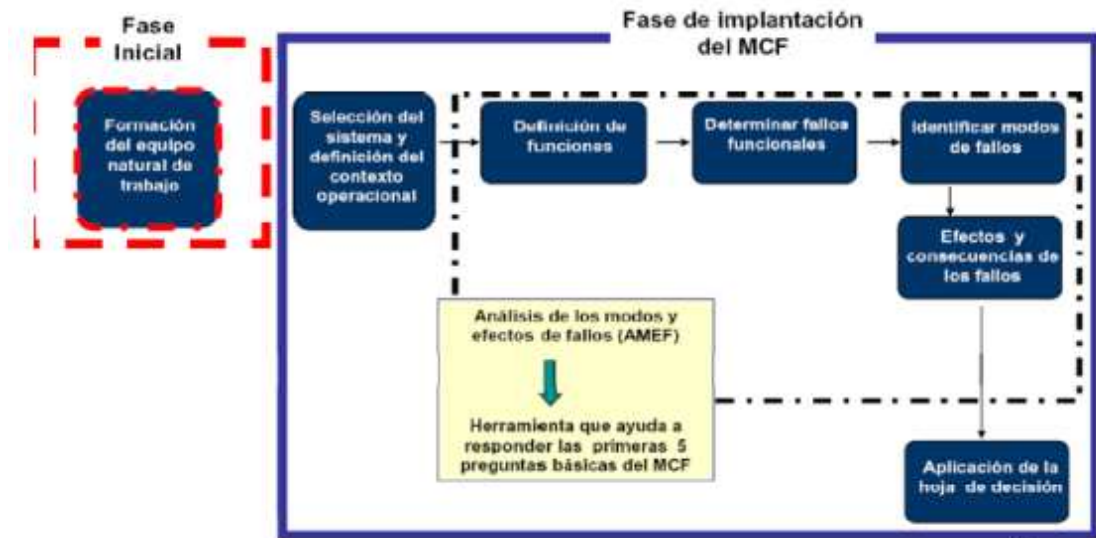
1. Mantener las Funciones del activo.
2. Reconocer los diversos Modos de Falla que puedan Entorpecer la Función
3. Analizar los probables modos de fallas y sus consecuencias.
4. Dar prioridad a las funciones que desarrolla cada activo.
5. En el programa de Mantenimiento se debe identificar las tareas que son efectivas y se ajustan a la labor del activo²⁷.

Para la implementación del RCM en la industria y/u otro campo debe seguir los siguientes pasos que se describe en el flujograma de la figura y se detallan a continuación (Figura 37):

²⁶ MOUBRAY, John. "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II". Aladon LLC. 1-97. 2004.

²⁷ Ibid.

Figura 37. Diagrama Implementación RCM



Fuente: Sánchez de puerta²⁸.

La metodología de RCM ha sido incluida satisfactoriamente en sistemas de alto nivel y los beneficios que se atribuyen son:

- El desarrollo y la alta calidad del mantenimiento de las plantas en menor tiempo y bajo costos.
- La habilidad para que los históricos de mantenimiento de cada sistema estén enlazadas con la experiencia específica de sus partes, sus modos de fallas críticas.
- La garantía que el mantenimiento de las partes importantes y que los modos de falla críticos sean considerados para el desarrollo del plan de mantenimiento.

²⁸ SÁNCHEZ DE PUERTA, Alberto. "Diseño de un Plan de mantenimiento metodológica RCM para una línea de valorización de PEBD". Julio 2016.

- Las rutinas básicas en línea intercambian información con el grupo de ingeniería y gerencia incluso en una organización macro²⁹.

5.4.1 Funciones. La base principal de RCM es desglosar las funciones que debe ejecutar cada parte de un activo en su contexto operacional, es decir todo cliente persigue que un activo realice y sea capaz de desarrollar una labor deseada, las funciones se dividen en dos categorías:

Funciones Primaria, es la justificación por la que se adquirió un activo y/o para que se compró un activo.

Funciones Secundaria, son las funciones que además de realizar las funciones primarias también pueda presentar un valor adicional en el activo, como es el caso del confort, la seguridad, control, las regulaciones ambientales, la apariencia, etc³⁰.

5.4.2 Falla Funcionales. Son momentos de fallas que afecta las funciones básicas primarias, secundarias y parámetros de un activo para que continúe desarrollando su labor en la operación y pueda ser considerado como aceptable por el usuario³¹.

5.4.3 Modos de Fallas. Es analizar e identificar razonablemente sin perder el tiempo los diversos hechos que de alguna manera contribuyeron y/o causaron los diferentes estados de fallas, dentro de este grupo se pueden mencionar las fallas producidas por deterioro o desgaste, por errores humanos (Operadores y Personal de Mantenimiento) y errores de diseño. Los modos de falla se clasifican en tres (3) grupos:

- Cuando al iniciar la labor el activo físico no logra hacer lo que se aspira.

²⁹ MOUBRAY, John. "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II". Aladon LLC. 1-97. 2004.

³⁰ Ibid.

³¹ Ibid.

- Cuando el funcionamiento de un activo cae por debajo de su capacidad, estas pueden ser por deterioro, fallas de lubricación, desarme, errores humanos, polvo y/o suciedad.
- Cuando el funcionamiento de un activo está por encima de capacidad inicial, esta se da porque hay sobrecarga deliberada constante sobre un activo y sobrecarga no intencional constante o repentina³².

5.1.1 Efectos de Fallas. Enunciar una descripción breve de cada uno de los estados de modos de fallas que contribuyan con el análisis y evaluación de porque se presentó la falla. Al momento de describir un efecto de falla se debe constatar lo siguiente:

- Presentar una evidencia de que si sucedió una falla.
- La manera en que la falla pueda ser una amenaza para la seguridad y/o el medio ambiente.
- En qué situación afecta a la producción y/o la operación.
- Daños físicos causados por la falla.
- Que debe hacerse para reparar la falla³³.

5.1.2 Consecuencias de las Fallas. “Las fallas traen consigo consecuencias que puedan afectar de alguna manera las operaciones, la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad y/o el medio ambiente, por lo tanto, la función principal de un mantenimiento proactivo es reducir y/o evitar que se presenten las consecuencias de la falla. Las consecuencias se clasifican en cuatro grupos; consecuencias por fallas ocultas, consecuencias ambientales y para la seguridad, consecuencias operacionales y no operacionales”³⁴.

³² MOUBRAY, John. "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II". Aladon LLC. 1-97. 2004.

³³ Ibid.

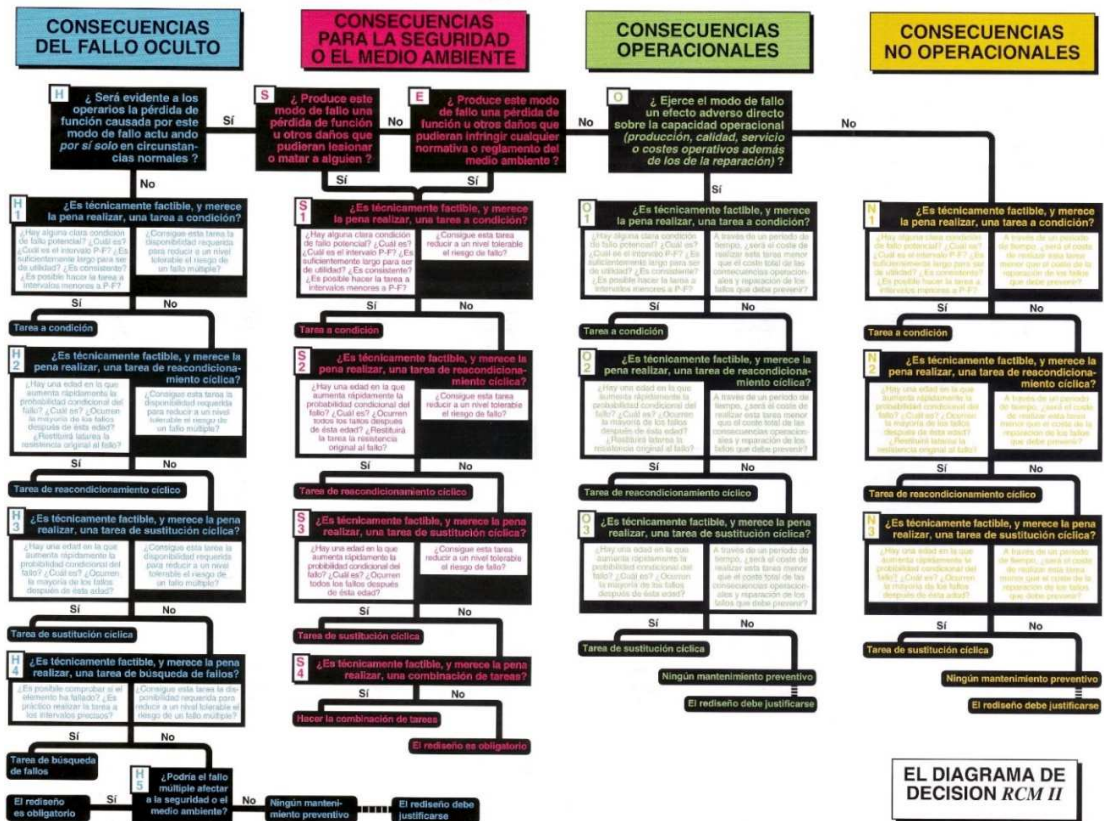
³⁴ Ibid.

5.1.3 Tareas de Mantenimiento Preventivo y Predictivo. El principal tema para tratar en este punto tiene que ver cómo se puede manejar una falla en vez de prevenirla. La técnica del manejo de la falla se puede dividirse en dos (2) categorías: Tareas Proactivas y/o Acciones a falta de. Las primeras se presentan cuando se busca una tarea en el activo para prevenir que ocurra y/o llegue al estado de falla, esto se logra con la inspección, revisión y/o detección de fallas que se generen durante los mantenimientos predictivos y/o preventivo. La tarea de Acción a falta de ocurren cuando no es posible detectar un estado de falla durante las Tareas Proactivas, es ahí donde las tareas de acción a falta de abarcan procedimientos de investigación de fallas, rediseño y mantenimiento a rotura. Es importante analizar si una tarea de las anteriormente enunciadas es técnicamente factible desarrollarla, ya que la definición de la factibilidad técnica de una tarea es *“Una tarea es técnicamente factible si físicamente permite reducir o realizar una acción que reduzca las consecuencias del modo de falla asociado, aun nivel que sea aceptable al dueño o usuario del activo”*.

Adicionalmente, al estudiar anteriormente los diversos modos, efectos y consecuencias de fallas que puede presentar un activo, en ese momento se puede decir si dicha falla merece ser tratada de manera preventiva, realizar un rediseño para corregir la falla y/o una intervención para anticipar la falla. El diagrama y/o árbol lógico de decisiones RCM que se muestra en la figura 38 a continuación es una herramienta que nos brinda una ayuda para identificar que tareas son apropiadas y que programa de mantenimiento se debe hacer a los activos fijos³⁵.

³⁵ MOUBRAY, John. "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II". Aladon LLC. 1-97. 2004.

Figura 38. Diagrama de Decisión RCM.



Fuente: Moubray, John.

5.2 INDICADORES GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EQUIPO MINERO

Los Cargadores de bajo perfil fueron diseñados por el fabricante para ser operados bajo ciertas condiciones de trabajo, para que se le dé una aplicación especial en la labor y para ejecutar un esquema de mantenimiento que preserve la vida útil del equipo. A partir de ese momento la gerencia aplica rutinas de mantenimiento recomendada por el diseñador que se presenta de una forma a groso modo y/o superficial para una situación especial de trabajo, pero con el pasar del tiempo se generan modificaciones a dichas rutinas en el equipo, ya que las inspecciones

rutinarias y controles de funcionamiento que presenta el equipo en campo día a día hace que la gerencia tome decisiones de modificar dichas ruinas y las adapte a las nuevas condiciones de trabajo que se están presentando en el interior de la mina. A medida que se va avanzando en el interior de la mina, las condiciones de trabajo se vuelven cada vez más agreste para los equipos, a partir de ese momento la gerencia de mantenimiento analiza los parámetros de rendimiento con que es usado el equipo en la mina para cuantificar su desempeño en la operación, sin la medición de dichos parámetros por parte de la gerencia no se podría tomar decisiones futuras en el equipo y se vería de una forma más intuitiva. Las mediciones que se le realizan a los cargadores de bajo perfil son los siguientes; Tiempo Promedio entre Paradas (Mean Time Between Shutdowns MTBF), Tiempo Promedio para Reparar (Mean Time to Repair MTTR) y Disponibilidad (Availability A), sin el uso de estos indicadores la gerencia no podría mejorar el proceso de mantenimiento.

5.2.1 Tiempo Promedio entre Paradas (MTBF): Es uno de los parámetros más relevantes que lleva la gerencia de mantenimiento en un periodo de tiempo dado, pues me ayuda a conocer el comportamiento del equipo minero. Este parámetro mide el tiempo promedio de parada de un equipo expresado en horas. Su formulación se obtiene al dividir el total de horas laboradas sobre el número de paradas que se ha intervenido el equipo. Durante la operación minera los cargadores de bajo perfil han registrados MTBF bajos que se debe al mayor número de intervenciones que ha tenido con relación a las horas laboradas. El MTBF es una mezcla entre la medida de la disponibilidad de los equipos y la efectividad en que el departamento de mantenimiento corrige una falla. La fórmula Matemática para hallar el MTBF es la siguiente:

$$\text{MTBF (Horas)} = \frac{\text{Horas Operadas}}{\text{Número de Paradas}}$$

La variable hora de los equipos se toma con base a la información registrada en el Check-list por parte del operador al inicio y final de cada jornada laboral, al igual en el mismo documento se registran el número de eventos que ha presentado el equipo en el interior de la mina.

5.2.2 Tiempo Promedio para Reparar (MTTR): Es un parámetro de medición en horas donde se cuantifica el tiempo de reacción que el departamento de mantenimiento presenta ante una parada del equipo con relación al número de paradas que registra el equipo en un periodo dado, es decir que si el MTTR es alto se está en un caso donde la sustitución del equipo es viable con relación a la reparación que se presenta en ese momento. Las reparaciones programadas, la administración del activo y la ejecución oportuna del mantenimiento correctivo ante una falla son factores de vital interés en la reducción de las paradas de una maquina y/o Equipo. El MTTR es una mezcla entre la mantenibilidad del equipo y la efectividad en que el departamento de mantenimiento reacciona ante una falla.

$$\text{MTTR (Horas)} = \frac{\text{Total Tiempo de Paradas}}{\text{Número de Paradas}}$$

5.2.3 Disponibilidad (A): Es la relación entre el MTBF (Frecuencia Promedio de Paradas) y el producto de la suma de MTBF y MTTR (Duración Promedio de Paradas). Es un parámetro de medición en % y se calcula por la siguiente formula:

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

6. CARGADOR BAJO PERFIL DERUI WJ-2

6.1 GENERALIDADES DEL EQUIPO CARGADOR DERUI

El Cargador Bajo Perfil Derui WJ-2 fue fabricado por la empresa NANCHANG KAMA CO LTD, quien a su vez es el proveedor profesional de maquinaria minera en China. El cargador subterráneo LHD WJ-2 es un equipo de carga y transporte más versátil en el mundo de la minería, presenta una capacidad volumétrica en la pala de 2 m³ y su capacidad de carga nominal es de 3800 a 4200 Kg. La altura máxima que descarga este cargador subterráneo LHD es de 1700 mm. En la Mina la Gitana se cuentan con tres (3) equipos de estas características para el cargue y transporte de carbón minero en el interior después de realizada la voladura por personal especializado. El Cargador Bajo Perfil está equipado con un motor alemán Deutz tipo BF6L914, una transmisión hidráulica marca DANA de fabricación americana, un dispositivo de oxidación catalítica y un silenciador canadiense que asegura un rendimiento confiable. El cargador es capaz de mover desde el frente de trabajo hasta el punto de acopio 30 Ton/H en 15 tantos ciclos. (Tabla 2).

Tabla 2. Ficha Técnica del Equipo.

Item		Unidad de medida	Cargador diesel subterráneo LHD
			WJ-2
Volumen de carga nominal		m ³	2
Capacidad de carga nominal		kg	3800~4200
Fuerza máxima de la pala		kN	110
Fuerza máxima de tracción		kN	110
Altura máxima de descarga		mm	1700
Velocidad de desplazamiento (Hacia adelante y en reversa)	Cambio I	km/h	0~2.9
	Cambio II	km/h	0~6.0
	Cambio III	km/h	0~10.2
	Método de		Motor diesel

Potencia	conducción		
	Modelo		BF6L914/Deutz
	Potencia nominal	kW	112/2300
	Método de purificación de escape		Oxidación catalítica + Silenciador
Sistema de transmisión	Tipo		Hidráulico + Mecánico
	Bomba variable		C270/DANA
	Motor variable		R32000/DANA
	Eje motriz		CY-2JD/E /Chino
Tipo de frenado	Cuando conduce		Freno multidisco mojado
	Cuando estaciona		Pedal de frenado/ Freno multidisco mojado
Dirección			Dirección hidráulica
Código de neumático numerado			12.00-24
Operación en masa		kg	15000
Radio de giro	Interior	mm	3355
	Exterior	mm	5800
Dimensión Externa	Longitud	mm	7760
	Ancho	mm	1960
	Altura	mm	2250

Fuente: Kamach, loader.

6.2 COMPOSICIÓN EQUIPO CARGADOR SUBTERRÁNEO WJ-2

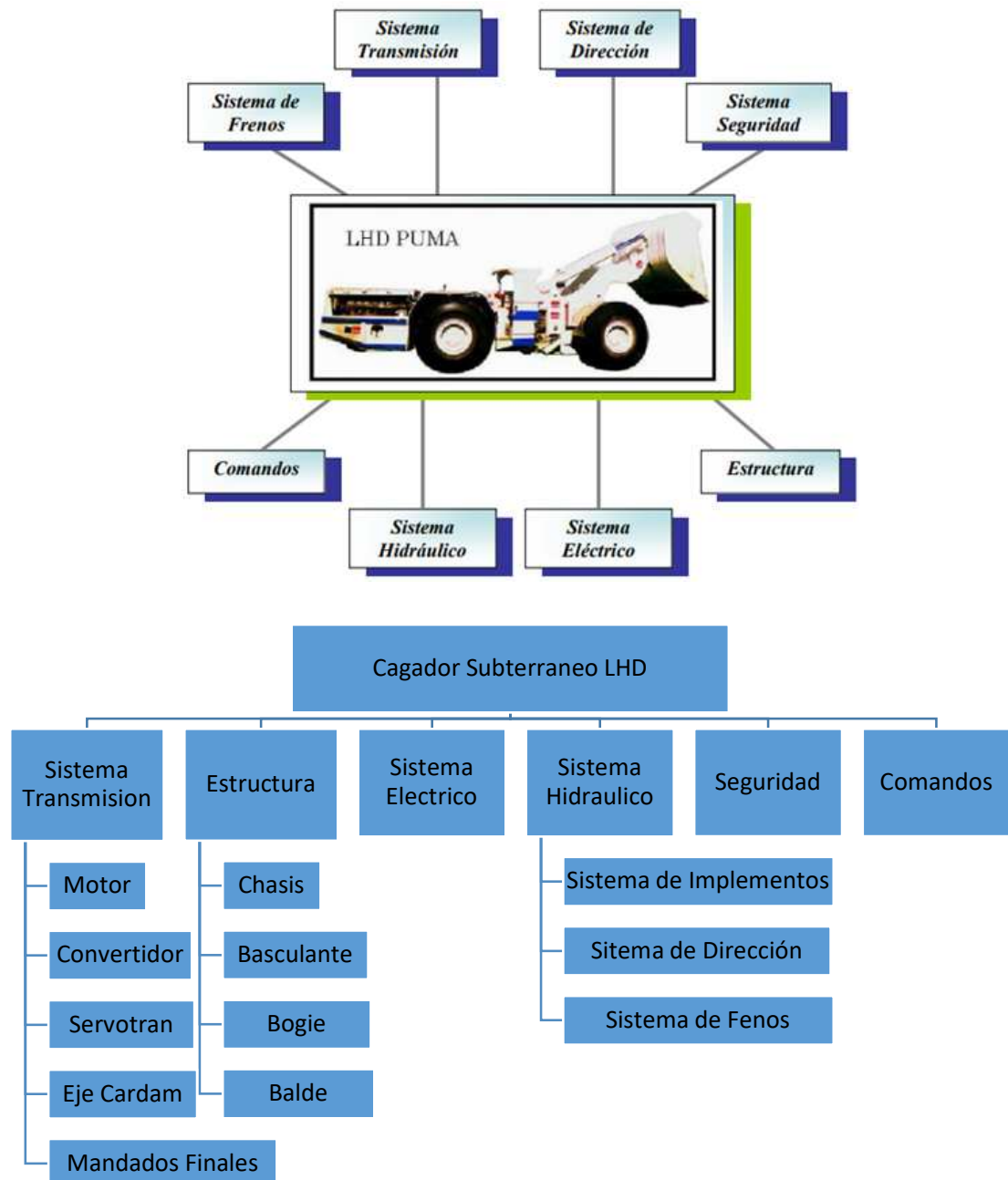
El Cargador subterráneo WJ-2 presenta un perfil singular que es muy bajo, angosto, largo, con articulación en el centro del equipo y con una ubicación del operador en posición perpendicular al eje longitudinal del equipo. El LHD presenta una apariencia a lo largo que le permite soportar gran capacidad de carga, además el LHD registra un bajo centro de gravedad que le ayuda a dar estabilidad al equipo y su diseño articulado le permite moverse sin problemas en las angostas galerías de la mina subterránea³⁶.

El cargador subterráneo WJ-2 lo conforman una serie de componente que se describen a continuación (Figura 39):

- Sistema de Frenos.
- Sistema de Transmisión.
- Sistema de Dirección.
- Estructura: Chasis, Basculante, Boom, Bogie y/o Balde.
- Sistema Eléctrico.
- Sistema Hidráulico.
- Sistema de Seguridad.
- Comandos.

³⁶ SARIOGO, Pedro. "Rediseño conceptual e ingeniería de detalle de cargador frontal de bajo perfil para la minería subterránea". Departamento de Mecánica, Universidad Técnica Federico Santa María. 2005.

Figura 39. Componente del Cargador Subterráneo WJ-2.



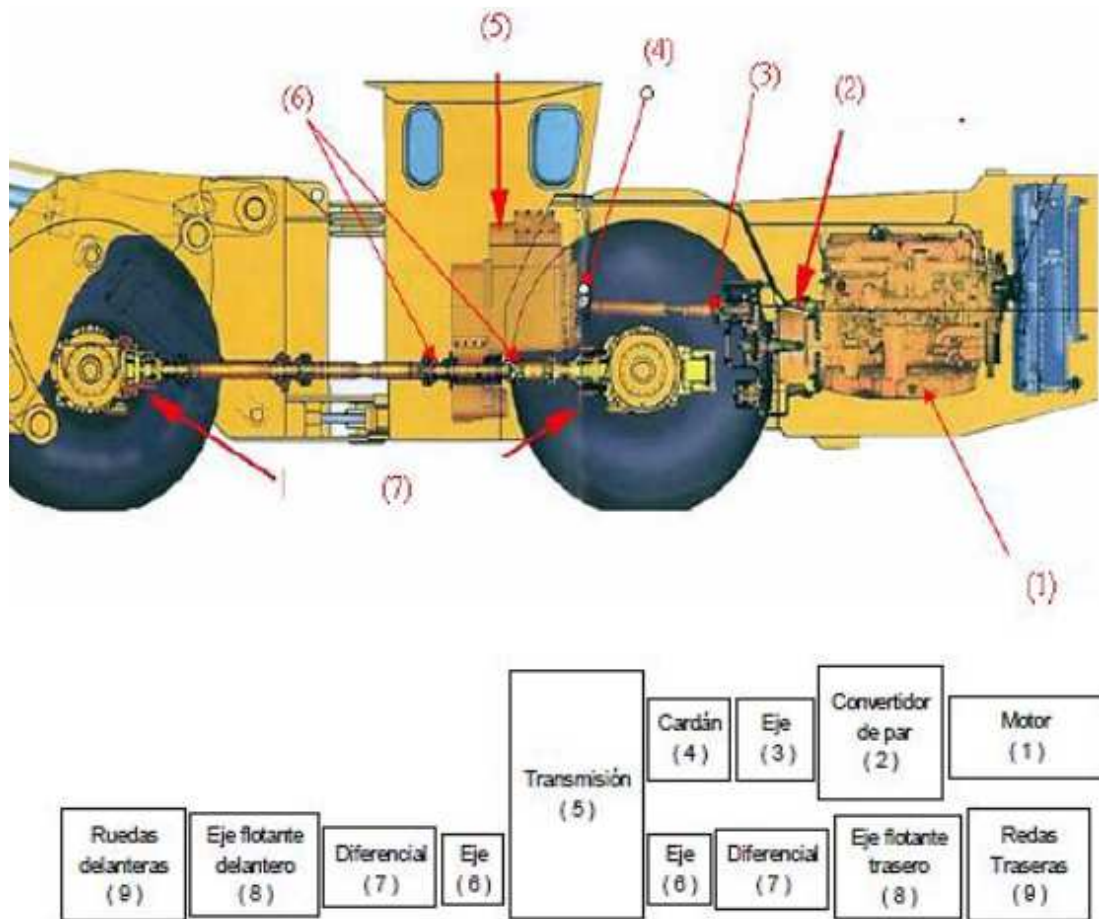
Fuente: Sariego, Pedro³⁷.

³⁷ SARIOGO, Pedro. "Rediseño conceptual e ingeniería de detalle de cargador frontal de bajo perfil para la minería subterránea". Departamento de Mecánica, Universidad Técnica Federico Santa María. 2005.

6.2.1 Sistema de transmisión. El sistema de Transmisión está conformado por un conjunto de componentes que trabajan en sincronización para transmitir la potencia del motor hasta los mandos finales. La primera transmisión se da entre el motor y convertidor, los cuales los une un conjunto de aletas y eje ranurado entre la volanta del motor y el impulsor del convertidor que hace la transferencia del par de giro proveniente del motor. El convertidor par multiplica la potencia del eje motriz principal por medio de la turbina, el estator y el conjunto de engranajes, este eje motriz principal transfiere a su vez la potencia del convertidor hacia la transmisión. La transmisión presenta cuatro velocidades hacia adelante y dos velocidades hacia atrás. El operador controla la transmisión de forma manual por medio de unas palancas de acuerdo con la posición de marcha de la velocidad y el sentido que necesita operar el equipo. Cuando el operador acciona una posición del control de velocidad y un sentido de avance y/o retroceso según sea el caso, la transmisión transfiere la potencia a través de los ejes cardan hacia los diferenciales delantero y trasero, que, a su vez por medio de la corona, el speed, los planetarios y semi ejes interiores trasmiten la potencia a los diferentes mandos finales. Estos últimos a su vez, envían una reducción de doble acción con ayuda de los planetarios y corona internos para hacer girar las ruedas motrices y de esta forma vencer la inercia del equipo³⁸ (Figura 40).

³⁸ MAQUINARIAS PESADAS. “Sistemas de transmisión. Teoría de funcionamiento”. Material Sistema de Transmisión del Scooptram - Estructura y Componentes, Maquinaria Pesada. 2010. Disponible en: <https://www.maquinariaspesadas.org/blog/2750-material-sistema-transmision-scooptram-estructura-componentes>

Figura 40. Sistema Transmisión de Potencia Cargador LHD Derui - WJ-2.



Fuente: Alva, Ismael³⁹.

El sistema de transmisión Power Shift y/o Hidromecánico funciona a través del principio de acoplamiento de los discos de embrague que se presenta dentro de la caja de transmisión por medio de un fluido en movimiento (pero a baja presión) y los engranajes que transfiere la potencia (Figura 41)⁴⁰.

³⁹ ALVA, Ismael. "Estudio de Optimización de Costos de Operación de una Flota de Scooptrams en una Mina Subterránea". Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Mecánica. Lima-Peru. 2009

⁴⁰ CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

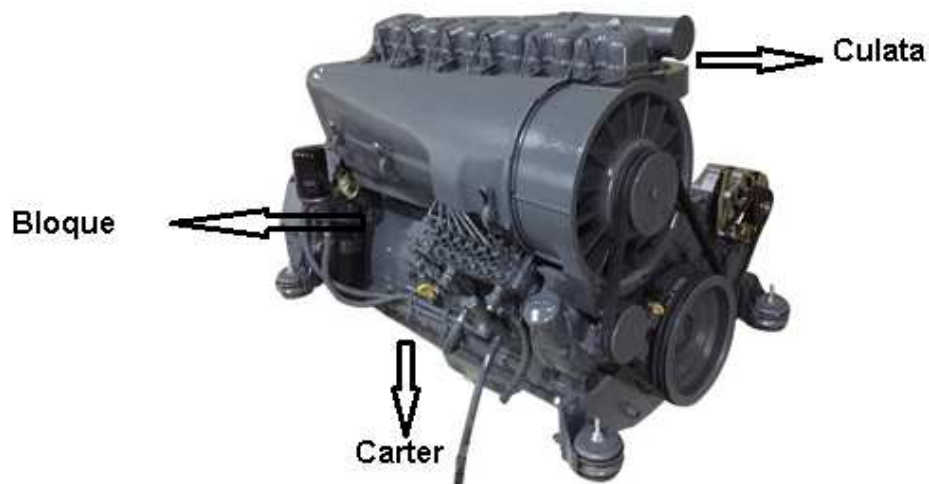
TREN DE POTENCIA : CAJA POWER SHIFT- CONTRAEJE,
Marca CLARK Modelo R: (Equipo: SCOOP)

MOTOR DIESEL: CONVER TIDOR CAJA DE TRANSMISION

EJE POSTERIOR EJE DELANTERO

debe presentar un alto rendimiento sin que se sacrifique potencia o productividad. El motor se constituye en tres (3) partes principales fácilmente de diferenciar por su construcción: culata, bloque y cárter (Figura 42)⁴².

Figura 42. Partes de un Motor Deutz.



Fuente. Alibaba.com⁴³.

El motor lo podemos encontrar de diferentes tipos:

- Aspiración Natural.
- Turbo Alimentado.
- Turbo Alimentado y Pos Enfriado.
- Con control electrónico de inyección.

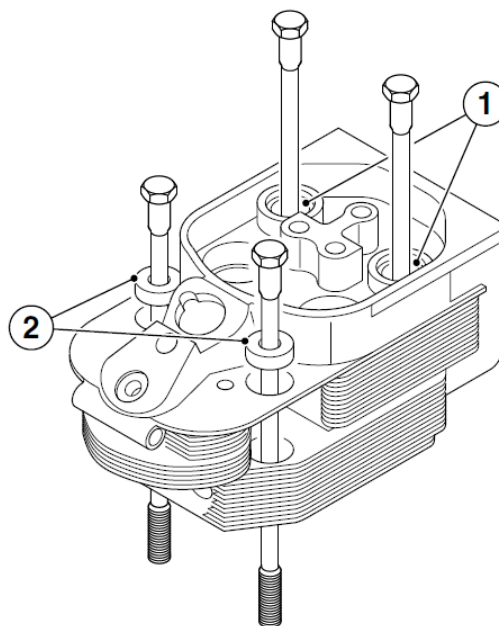
⁴² CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWlhVy1ZdEE/edit>

⁴³ ALIBABA. [Sitio web]. Detalle de producto Motor Deutz. [Consulta: 24 de octubre 2020]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/150hp-deutz-engine-bf6l914-for-forklift-60413220405.html>

- **La Culata.**

Las culatas son fabricadas en una aleación de aluminio y de bloques independientes, su constitución al ser fundidos lleva un refuerzo en los puentes entre las válvulas de admisión y escape. Los tornillos de culata que están ubicados al lado del inyector presentan un equipamiento con arandelas de calce (2). En el lado de salida de aire, las arandelas de calce (1) están insertadas en la culata (Figura 43)⁴⁴.

Figura 43. Composición de la Culata.



Fuente: Deutz, AG, 2002.

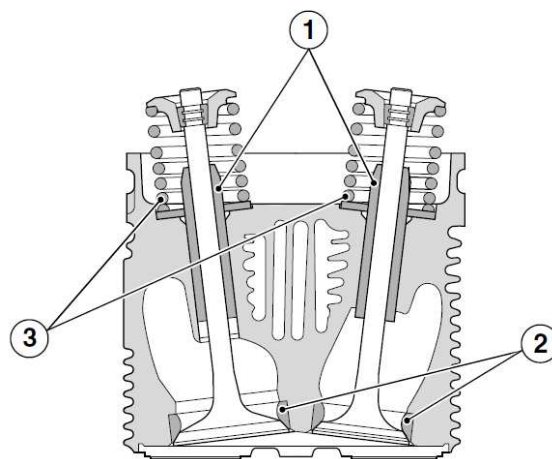
⁴⁴ DEUTZ, AG. "Ingeniería de motores por productos. Serie de motores DEUTZ 914". Deutz, Service Training. Training Center Köln. 2002. Disponible en: <https://idoc.pub/documents/motores-deutz-curso-capacitacion-serie-914-51431wxz7gnj>

Los motores muestran una constitución en cada cilindro por una válvula de admisión y otra de escape. El montaje de las guías de válvulas (1) y los asientos postizos de válvulas (2) son fundidos en caliente sobre la culata.

Las válvulas alcanzan su giro por medio de los resortes de válvula y conos abrazadores (media chaveta) sin cierre de fuerza (3 ranuras).

La lubricación de los balancines y el suministro de aceite se efectúa a través de los empujadores o taqués y varillas de empuje (Figura 44).

Figura 44. Válvula de admisión y escape.



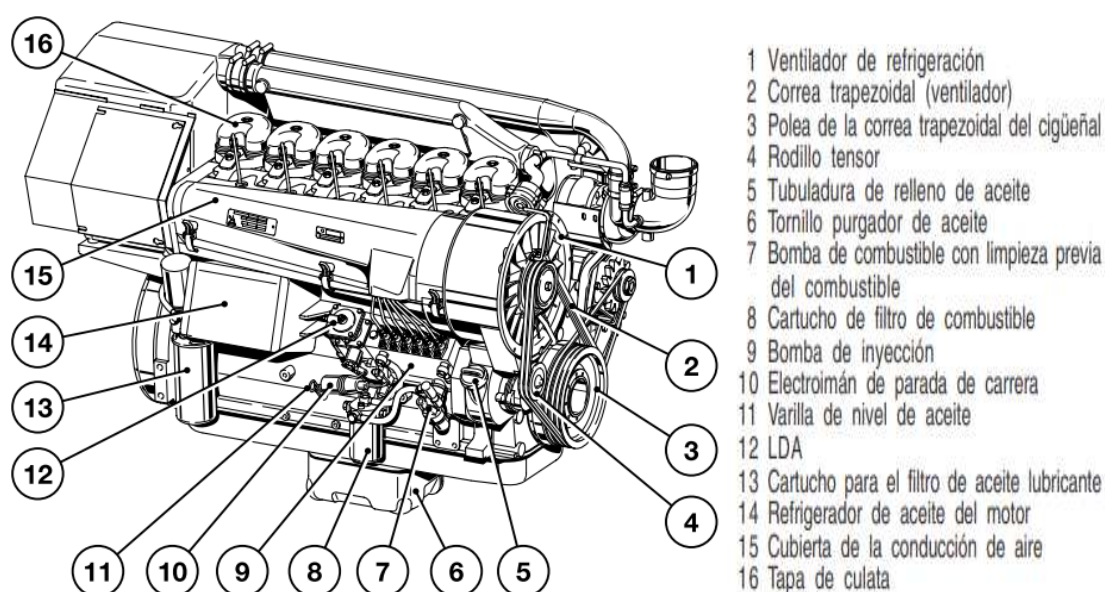
Fuente: Deutz, AG

- **El bloque**

El bloque de cilindros es fabricado en hierro fundido y con alojamiento de camisas secas, es decir cada camisa presenta aletas que hacen que se disipe el calor, de tal manera que la deformación terminal sea reducida y se mejore el control de consumo de aceite lubricante bajo las condiciones severas de uso. Las camisas del cilindro son fáciles de remover del bloque para una futura reparación del motor.

La estructura del bloque de cilindros incorpora varios componentes y garantiza alta durabilidad, baja propagación del ruido, además de incorporar varios componentes. En el interior del bloque se aloja cilindros, bomba de aceite, bomba refrigerante y el enfriador de aceite. El filtro de aceite se encuentra instalado en la tapa del refrigerador de aceite (Figura 45)⁴⁵.

Figura 45. Bloque del Motor.



Fuente: Deutz AG, 2002.

- **Pistones, camisas y bielas**

Los cilindros y/o Camisas son de fundición gris aleada y poseen una superficie de roce mandrinados con precisión, luego son bruñidas y lapeadas. Los motores con potencia mayor son refrigerados por el aire de admisión (BFCL).

⁴⁵ SANDVIK. [Sitio web]. Cargadores de bajo perfil. [Consulta: 01 de septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.rocktechnology.sandvik/es-la/productos/cargadores-y-camiones-subterr%C3%A1neos/bajo-perfil/>

Los motores de aspiración natural y turboalimentados presentan bielas similares en sus dimensiones exteriores, pero registran diferencia en el tratamiento superficial. Los motores turboalimentados reciben un vertimiento de bolas metálicas o granallado.

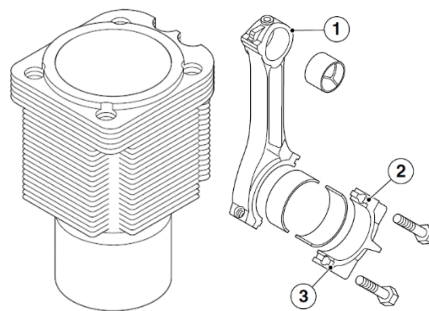
El ajuste de lengüeta (2) y ranura (3) de la tapa biela se efectúa por la fijación de espárragos.

La biela es fundida en acero con material de reserva en ambos extremos para compensar el peso y el centro de gravedad⁴⁶. El uso de un nuevo pistón con apoyo trapezoidal requiere de una nueva biela. La biela con modificación diversa en sus partes presenta una zona de alojamiento para el bulón en forma de trapecoide achaflanada (1). (Figura 46).

Los pistones están realizados en una aleación de aluminio. El eje central del pistón tiene una autentica excentricidad con respecto a la cámara de combustión (1).

Para impedir que se desgaste por elevadas cargas la ranura del primer aro de pistón se le suministra una porta aro (2), que es una constitución para los motores BF.⁴⁷ (Figura 47).

Figura 46. Camisa y Biela del Motor.

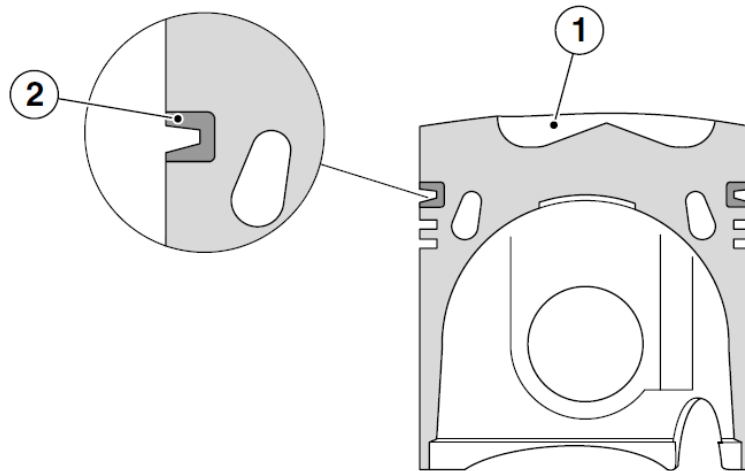


Fuente: Deutz AG, 2002.

⁴⁶ DEUTZ, AG. "Ingeniería de motores por productos. Serie de motores DEUTZ 914". Deutz, Service Training. Training Center Köln. 2002. Disponible en: <https://idoc.pub/documents/motores-deutz-curso-capacitacion-serie-914-51431wxz7gnj>

⁴⁷ Ibid

Figura 47. Pistón del Motor.



Fuente: Deutz AG, 2002.

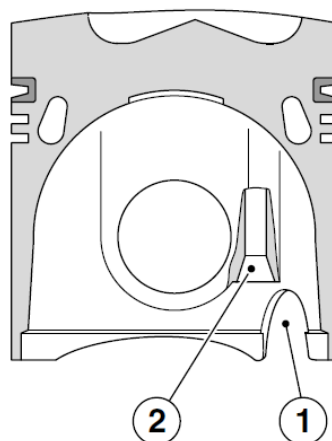
El bloque motor presenta unas toberas insertadas horizontalmente y fijada con pasador estriado con espiga cilíndrica para ayudar a la refrigeración de los pistones. Los motores turboalimentados poseen un conducto de refrigeración donde la tobera penetra con su punta a través de la escotadura (1) hasta el interior del pistón, lanzando el aceite al interior del conducto de refrigeración (2) (Figura 48).

El aro superior (1) de doble cuña o trapezoidal es fabricado en hierro fundido y muestra un recubrimiento para mejorar las propiedades de roce.

En los motores turboalimentados, el segundo aro (2) es de sección rectangular con bisel y doble cuña.

El tercer aro (3) también conocido como aro rascador de aceite esta constituido de un aro achaflanado con resorte⁴⁸.

Figura 48. La refrigeración de los Pistones.



Fuente: Deutz AG, 2002.

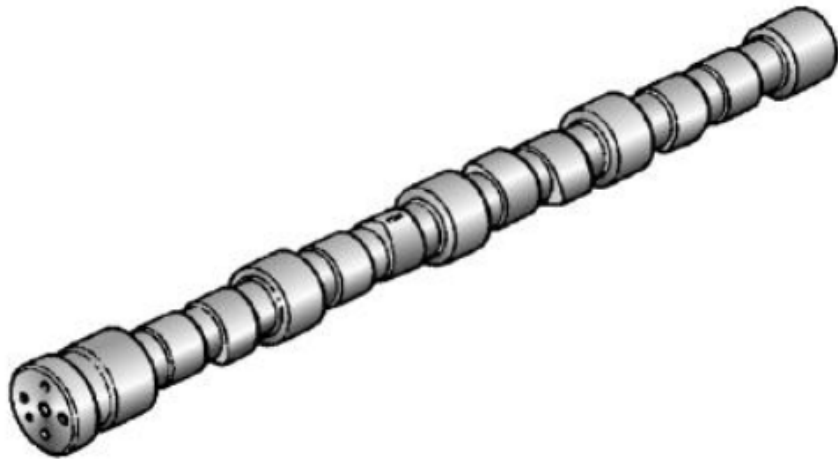
- **El árbol de levas**

El árbol de levas está constituido con acero forjado y va montado en el bloque cilindros con apoyo de siete cojinetes. Dicho árbol se opera a través del mecanismo de los engranajes de distribución. En el bloque cilindros están ubicadas las varillas de levantamiento de las válvulas mecánicas. Las válvulas de escape y admisión son accionadas por los impulsadores y balancines que empuja cada válvula. Las válvulas se levantan por medio de dos resortes. Cada válvula registra una punta de manguito que es endurecida por tratamiento templado para resistir el uso⁴⁹ (Figura 49).

⁴⁸ DEUTZ, AG. "Ingeniería de motores por productos. Serie de motores DEUTZ 914". Deutz, Service Training. Training Center Köln. 2002. Disponible en: <https://idoc.pub/documents/motores-deutz-curso-capacitacion-serie-914-51431wxz7gnj>

⁴⁹ MAQUINARIAS PESADAS. "Sistemas de transmisión. Teoría de funcionamiento". Material Sistema de Transmisión del Scooptram - Estructura y Componentes, Maquinaria Pesada. 2011.

Figura 49. Árbol de Levas.



Fuente: CETEMIN, 2011.

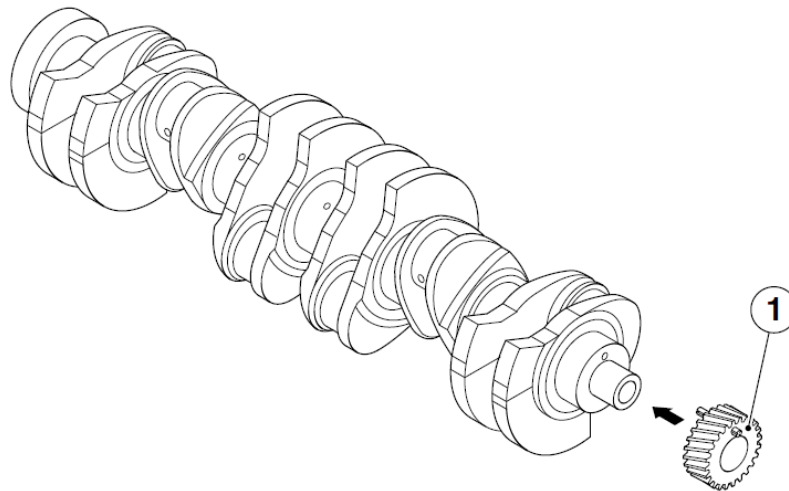
- **El cigüeñal**

El cigüeñal es de fundición esferoidal o nodular. Un motor de 6 cilindros posee siete apoyos para apoyar el cigüeñal. En un extremo del cigüeñal se ubica un engranaje (1) que comanda el tren de engranajes de distribución. Dicho engranaje es posicionado por medio de un pasador estriado y es apretando a la polea acanalada mediante un tornillo central⁵⁰ (Figura 50).

Disponible en: <https://www.maquinariaspesadas.org/blog/2750-material-sistema-transmision-scooptram-estructura-componentes>

⁵⁰ DEUTZ, AG. "Ingeniería de motores por productos. Serie de motores DEUTZ 914". Deutz, Service Training. Training Center Köln. 2002. Disponible en: <https://idoc.pub/documents/motores-deutz-curso-capacitacion-serie-914-51431wxz7gnj>

Figura 50. El cigüeñal.



Fuente: Deutz AG, 2002.

- **Tren de Engranajes**

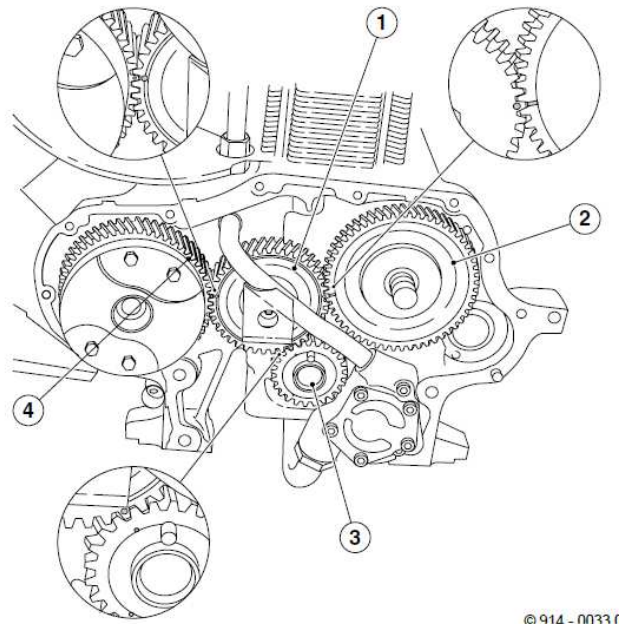
Los motores de la serie 914 poseen un tren de engranajes que es ubicado al lado opuesto de la volante con el fin de reducir el ruido de marcha, Los engranajes poseen los dientes con flancos rectificadas para mejor asentamiento.

El tren de engranajes está comprendido en:

- 1 – El engranaje de la bomba de inyección
- 2 – El engranaje del cigüeñal
- 3 – El engranaje del árbol de levas.
- 4 – El engranaje Intermedio.

Las marcas registradas en el cuerpo de los engranajes de mando sirven para dar ajuste a las cotas de reglaje. (Figura 51).

Figura 51. Tren de Engranajes.



Fuente: Deutz AG, 2002.

- **Sistema de Lubricación**

El sistema de lubricación se encuentra conformado por la bomba de aceite, el cárter de aceite, el refrigerador de aceite, la cañería de la succión y el filtro de aceite. En principio el aceite es enviado a través de un conducto principal que lo distribuye a las partes móviles del motor. A partir de la galería principal el aceite lubricante también es enviado hacia el compresor de aire, la bomba de inyección de combustible y el turbocompresor. El filtro es de flujo total, en otras palabras, todo

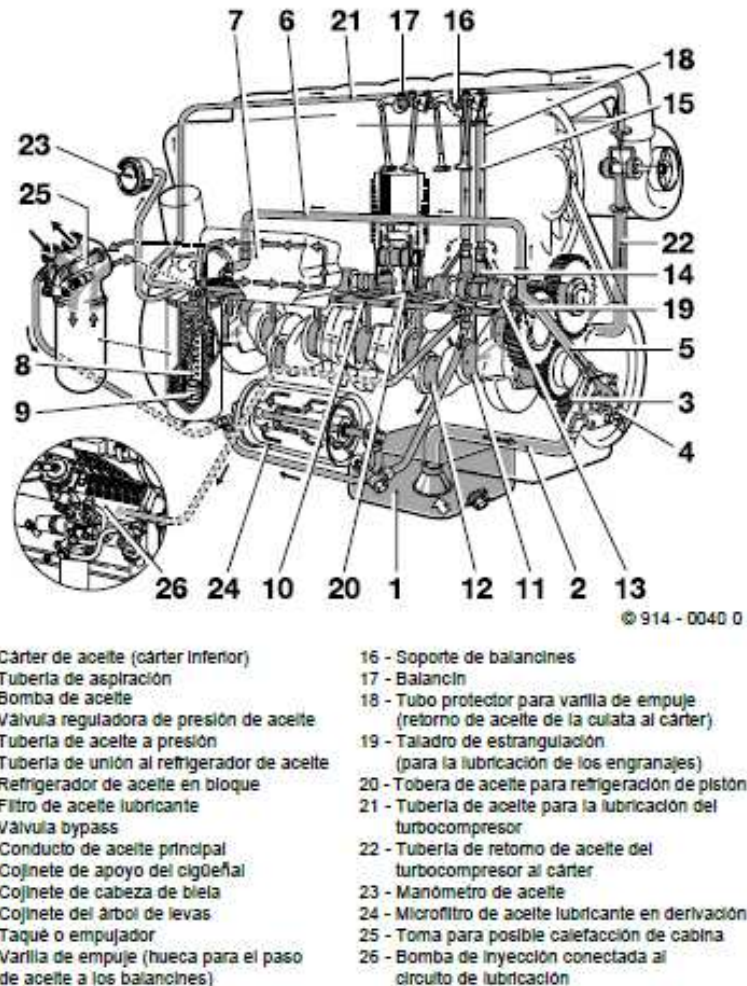
aceite lubricante es bombeado para que circule por el filtro. La velocidad de trabajo y la presión del aceite es de 4.5 bar (653 PSI)⁵¹.

La lubricación es realizada por la bomba para que se presente la circulación del aceite en las galerías. Todo inicia con la bomba de aceite (3), quien aspira el aceite del Carter (1) por el tubo de aspiración (2) y lo hace conducir al refrigerador de aceite (5, 6 y 7) y después pasa al filtro de aceite (8). Luego, el aceite circula por medio de los conductos (10) del bloque cilindros y se reparte para varios puntos de lubricación del motor. Adicionalmente, del conducto principal, fluye el aceite para lubricar los cojinetes principales (11), los cojinetes de cabeza de biela (12) y las toberas de aceite para refrigeración de pistón (20), en ese momento el aceite es vertido por medio de fuentes a la superficie interna más baja de los pistones. Esto hace que el aceite fluye por los ductos hacia los cojinetes del árbol de levas (13) y también logra lubricar las varillas de empuje (15). En ese momento, el aceite asciende por el canal central de las varillas hasta los balancines (17) y a los límites de los manguitos de las válvulas. Del conducto principal se conecta una tubería externa para lubricar la bomba de inyección de combustible (26) y el turbocompresor (21). El aceite retorna al cárter por medio de los conductos de retorno internos⁵². (Figura 52).

⁵¹ CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWlhVy1ZdEE/edit>

⁵² Ibid.

Figura 52. Sistema de Lubricación.



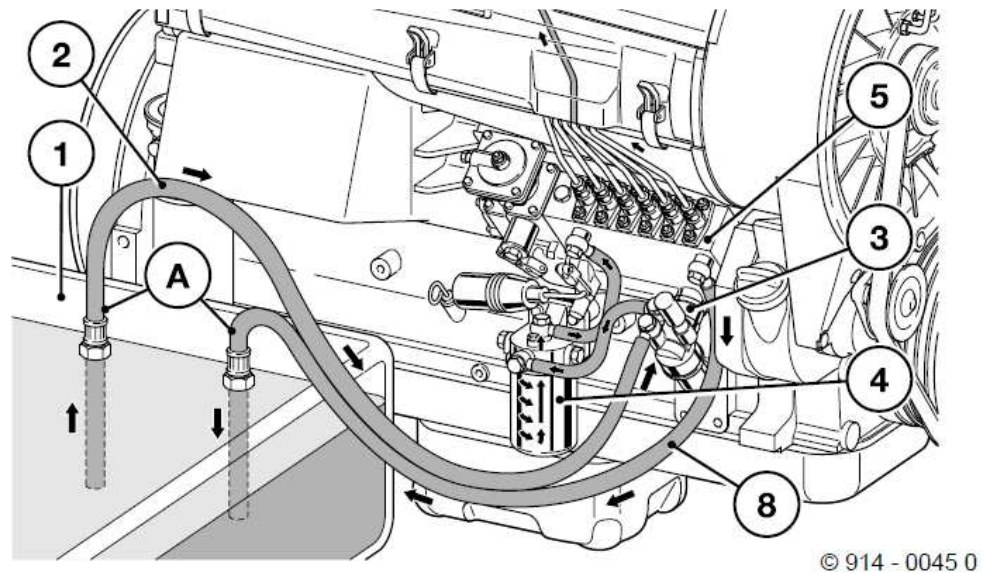
Fuente: Deutz AG, 2002.

- **Sistema de Combustible**

El proceso inicia con la bomba alimentadora que es accionada por el acople de la bomba de inyección de combustible y quien absorbe el combustible del tanque. La bomba alimentadora hace fluir el combustible por el filtro hacia la parte más baja de la presión del sistema de la bomba de inyección de combustible.

La bomba de inyección es del tipo lineal y está ubicado en el lado “frio” del motor para que le proporcione un funcionamiento más estable. La bomba inyección de combustible es la que obliga al combustible a hacer presión en cada uno de los inyectores. La presión de trabajo de las boquillas de inyección es de $285 + 8 / - 0$ bar. El combustible sobrante que no fue inyectado regresa al tanque por la línea retorno⁵³. (Figura 53).

Figura 53. Sistema de Combustible.



- 1 - Depósito de combustible
- 2 - Tubería de combustible del depósito a la bomba de alimentación de combustible
- 3 - Bomba de alimentación de combustible
- 4 - Filtro de combustible cambiante
- 5 - Bomba de inyección
- 6 - Tubería de inyección
- 7 - Inyector
- 8 - Tubería de rebose de combustible

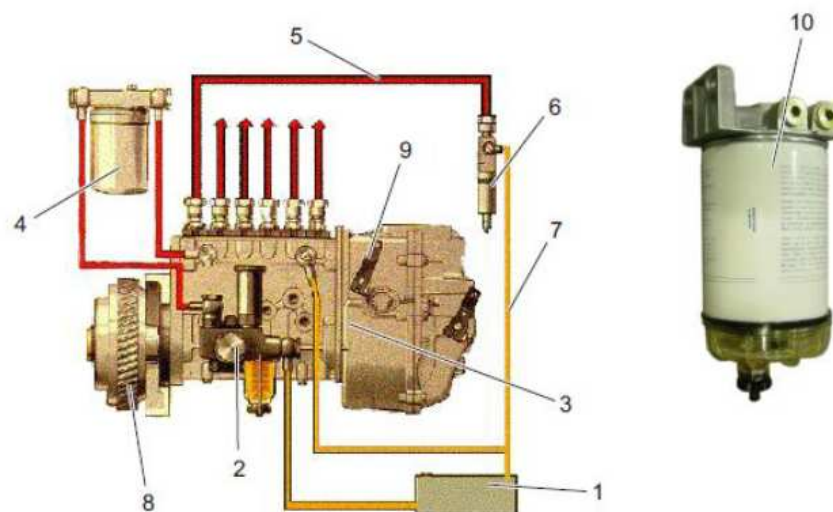
Fuente: Deutz AG, 2002.

⁵³ CETEMIN. “Sistemas de SCOOP”. Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

- **Bomba de Inyección**

La bomba de inyección utilizada son de la casa Motorpal. Las bombas de inyección tipo lineal lo constituye unos elementos (Cilindro y Pistón) para bombear combustible a cada inyector. La longitud de recorrido que golpea el pistón no es insegura, por lo tanto, las orillas en los pistones se desgastan con el pasar del tiempo que son la base de control para suministrar la cantidad de combustible inyectado.

Figura 54. Bomba de Inyección.



- 1 - El tanque de combustible 6 - El inyector
- 2 - La bomba alimentadora 7 - La cañería del retorno
- 3 - La bomba de inyección 8 - El engranaje con ajuste de inyección
- 4 - El filtro de combustible 9 - La palanca de parada del motor
- 5 - Las cañerías de alta presión 10 - El filtro Racor (filtro separador de agua)

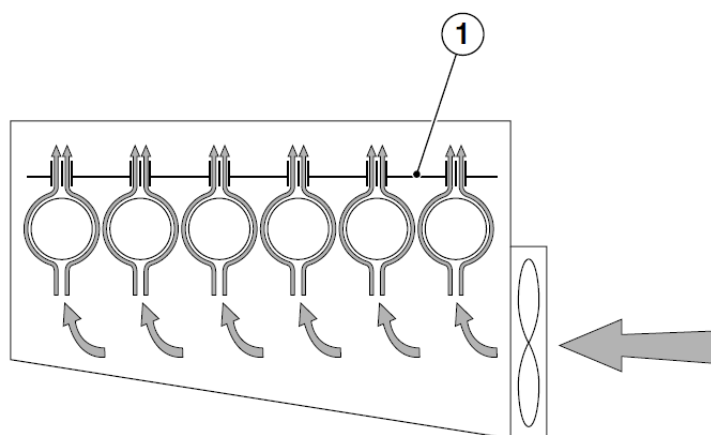
Fuente: CETEMIN, 2011.

El volumen de combustible esperado se obtiene por medio de la posición rotatorio de los pistones y el manguito móvil (cremallera) que es manejado a través del pedal de aceleración. El control de la bomba de inyección de combustible es realizado por medio de un gobernador mecánico. El sistema cuenta con una palanca de parada, para cortar el suministro de combustible al motor. Dicha palanca es maniobrada por un solenoide eléctrico de la parada del motor. Cada vez que se reemplace el filtro de combustible se debe limpiar el filtro de la bomba alimentadora⁵⁴. (Figura 54)

- **Sistema de Refrigeración**

El aire refrigerante pasa alrededor de los cilindros, culatas, enfriador de aceite y enfriador de aire de admisión por la succión generada de la turbina de refrigeración. Una chapa guía (1) va montado en el lado de salida de aire para que la corriente de aire de refrigeración circule totalmente alrededor de los cilindros⁵⁵ (Figura 55).

Figura 55. Sistema de Refrigeración.



Fuente: Deutz AG, 2002.

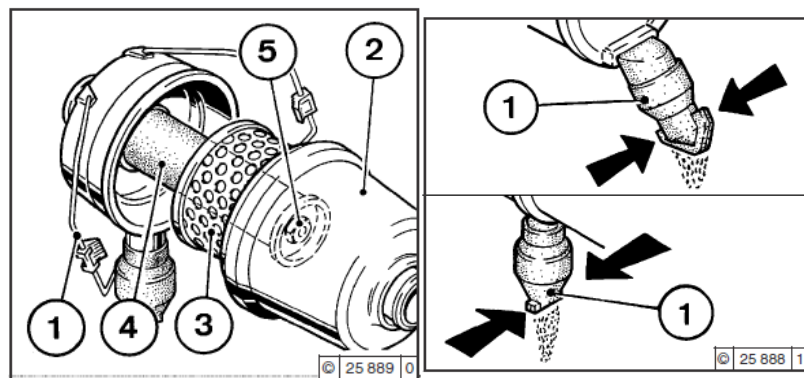
⁵⁴ CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWlhVy1ZdEE/edit>

⁵⁵ DEUTZ, AG. "Ingeniería de motores por productos. Serie de motores DEUTZ 914". Deutz, Service Training. Training Center Köln. 2002. Disponible en: <https://idoc.pub/documents/motores-deutz-curso-capacitacion-serie-914-51431wxz7gnj>

- **Sistema de admisión del aire**

El sistema de admisión del aire tiene la función de suministrar aire limpio para el proceso de combustión interna en el motor. El proceso inicia con la entrada del aire que está en el ambiente y es fluida a través de un filtro de aire; por este filtro, circula aire limpio al motor. El filtro de aire comprende de un elemento filtrante y una carcasa. El elemento filtrante es diseñado con papel filtrante cubierto con una protección hecha de hoja de metal perforada⁵⁶ (Figura 56).

Figura 56. Sistema de Admisión de Aire.



Fuente: Deutz AG, 2002.

6.2.1.2 Convertidor. El Convertidor es un componente que transfiere potencia y movimiento del motor, por medio de aceite de transmisión, hacia la caja de transmisión.

Un convertidor par es un acoplamiento hidráulico del impulsor, la turbina y el estator, en donde se transmite la potencia necesaria para mover la máquina. El convertidor par acopla el motor con la caja de transmisión (Figura 57).

⁵⁶ CETEMIN. “Sistemas de SCOOP”. Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWlhVy1ZdEE/edit>

El convertidor multiplica el par del motor haciendo uso del acoplamiento hidráulico y a la vez aumenta el par a la transmisión. El convertidor par hace uso de un estator que dirige de nuevo el fluido del aceite hacia el rodete, quien presenta un mismo sentido de rotación. El estator envía una fuerza del aceite hacia el rodete, quien a su vez trasfiere movimiento a la turbina para de esta forma incrementar y multiplica el par de fuerza.

Los componentes básicos del convertidor par son: la turbina, una caja de rotación, el eje de salida y el estator⁵⁷.

Figura 57. Impulsor y Turbina.



Fuente: CETEMIN, 2011.

Hay dos tipos de Convertidores que se usan en un LHD:

1. El Convertidor Par Estándar y/o Convertidor Par Clarck.
2. El Convertidor con embrague a la Turbina y/o Embrague de Traba.

⁵⁷ CETEMIN. “Sistemas de SCOOP”. Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

En el impulsor se convierte la energía mecánica del motor en energía hidráulica y la turbina toma esta energía hidráulica para convertirla en energía mecánica otra vez para de esta forma accionar el eje de salida del convertidor.

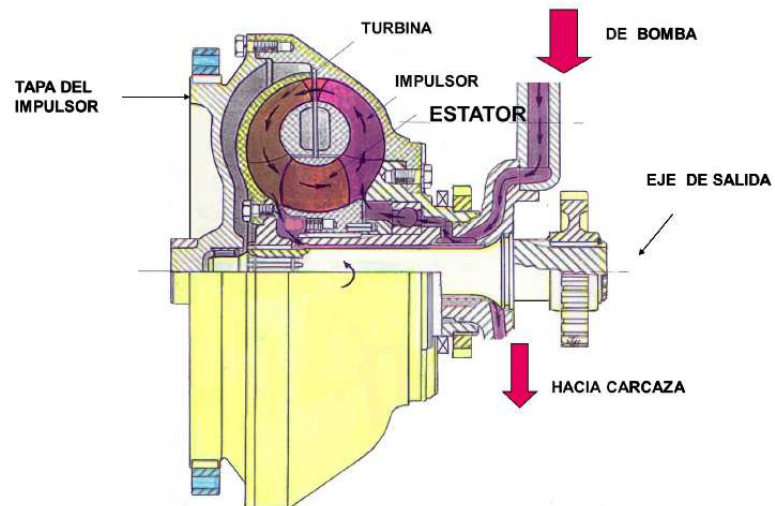
Elementos básicos de un convertidor de torque (Figura 58).

- a. **El impulsor o Rodete:** Es un elemento que da vueltas a una velocidad igual que la del motor Diesel y recibe el aceite de la bomba de carga y lo remite a alta velocidad hacia los alabes de la turbina.
- b. **La Turbina:** Recibe el aceite a alta velocidad impartida por el impulsor y este aceite agita a los alabes de la turbina para luego mover el eje de salida. El montaje del rodete y la turbina se instalan muy cerca uno de la otra para obtener el rendimiento requerido.
- c. **Alabes de Estator:** Tiene como función reenviar el aceite que ha salido de los alabes de la turbina para que reingrese al siguiente alabe del impulsor.
- d. **La bomba de carga transmisión y las bombas hidráulicas:** Giran a igual velocidad que la volante del motor. Estas bombas son accionadas por un tren de engranajes conectadas a la caja del impulsor⁵⁸.

⁵⁸ CETEMIN. “Sistemas de SCOOP”. Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

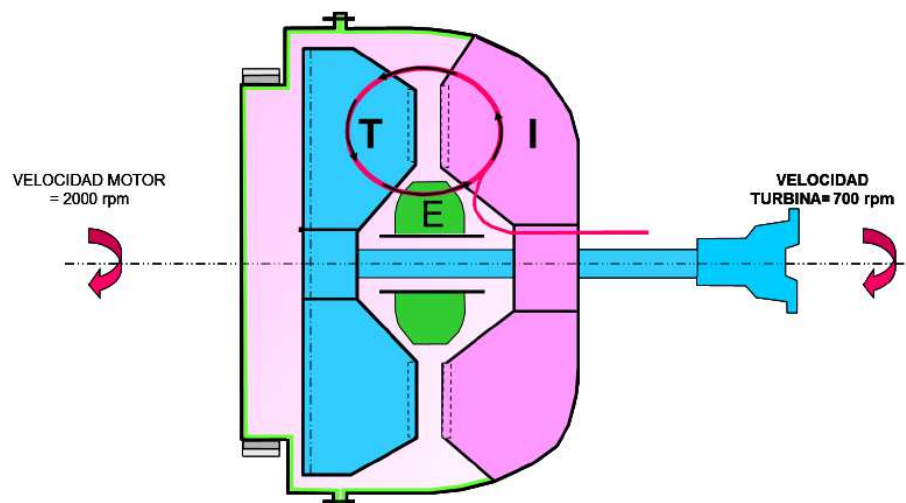
- **Convertidor Standard o Convencional.**

Figura 58. Elementos básicos de un Convertidor de Torque.



Fuente: CETEMIN, 2011.

Figura 59. Convertidor de Par.



Fuente: CETEMIN, 2011.

El convertidor par es un acoplamiento hidráulico al que se ha añadido un estator para ensamblar el motor con la transmisión y poder de esta forma transmitir la potencia necesaria para mover la máquina. (Figura 59).

El convertidor realiza un acoplamiento hidráulico y multiplica el par de giro del motor para aumentar el par de la transmisión. Adicionalmente, el convertidor par utiliza un estator para dirigir de nuevo el fluido a las aspas del rodete en el mismo sentido de rotación. El estator aumenta el par que transmite el rodete a la turbina por medio de la fuerza de aceite y a su vez genera una multiplicación de par de fuerza para el desplazamiento. Los componentes básicos del convertidor par son el impulsor o rodete, una caja de rotación, el estator, la turbina y el eje de salida⁵⁹.

Figura 60. Rodete, Turbina y Estator.



Fuente: CETEMIN, 2011.

⁵⁹ CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

Con la volanta del motor giran la caja de rotación y el rodete (rojo), el estator (Verde) se mantiene fijo y estacionario por medio de la caja del convertidor de par, la turbina (azul) impulsa el eje de salida (Figura 60).

El proceso en el convertidor inicia con el rodete que hace circular el aceite hacia adelante para que pase alrededor del interior de la caja y desciende a la turbina. Luego de estar en la turbina, el aceite fluye de nuevo al estator que está alojado en el rodete. La caja de rotación se conecta al volante del motor y envuelve completamente el convertidor par. El convertidor par presenta una válvula de alivio de entrada y de salida para controlar la presión de aceite.

El rodete es el elemento impulsor del convertidor par, ya que envía con fuerza el aceite contra la turbina. El rodete se conecta por medio de estrías al volante y gira a las revoluciones del motor. El rodete posee álabes que lanza con fuerza el aceite contra los alabes de la turbina para que gire. De igual forma, el rodete “envía” el aceite hacia afuera al interior de la caja de rotación. Los álabes del rodete hacen que el aceite se mueva en el mismo sentido de rotación.

La turbina posee unos alabes que reciben el flujo de aceite proveniente del rodete y es un componente que es impulsado en el interior del convertidor par. La turbina gira por el impacto de aceite que lanza los alabes del rodete. La turbina hace girar el eje de salida (que está conectado con estrías a la turbina). El aceite gira en dirección opuesta a la rotación de la volanta del motor en el momento que sale de los álabes de la turbina.

El estator recoge el aceite de la turbina para dirigir el aceite nuevamente al rodete. El estator hace que el flujo de la turbina regrese al rodete y la reacción estacionaria de sus álabes multipliquen la fuerza. El estator tiene como intención cambiar el sentido de circulación del aceite entre el rodete y la turbina. El estator está acoplado

a la caja del convertidor par. El movimiento del aceite está en el mismo sentido del rodete. La condición de reacción del estator sucede al momento de golpear el aceite con la parte de atrás de los álabes del rodete para que gire.⁶⁰

En el interior del convertidor par el aceite circula continuamente entre los componentes, a partir de esa situación se genera un flujo de aceite que es entregado por el rodete con fuerza a los alrededores de la caja de la turbina. Dicho aceite hace impulsar la turbina y este a su vez genera un par de fuerza en el eje de salida para transmitir la potencia. En el momento que el aceite se va alejando de los álabes de la turbina, al mismo tiempo dicho aceite va golpeando al estator. El estator recoge el aceite de la turbina y lo envía en el sentido de rotación del rodete para que el flujo de aceite se mueva hacia la parte arriba para que entre nuevamente al rodete.

El eje de salida de la turbina transmite un par de fuerza al eje de entrada de la transmisión. El eje de salida está conectado a la transmisión mediante el engranaje de entrada de la transmisión⁶¹ (Figura 61).

Figura 61. Función del Impeler, Estator y Turbinas.



Fuente: Maquinarias Pesadas, 2010.

⁶⁰ CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWlhVy1ZdEE/edit>

⁶¹ Ibid.

El aceite de la bomba circula por la válvula de alivio del convertidor par. La presión máxima del aceite en el convertidor par es controlada por la válvula de alivio de entrada.

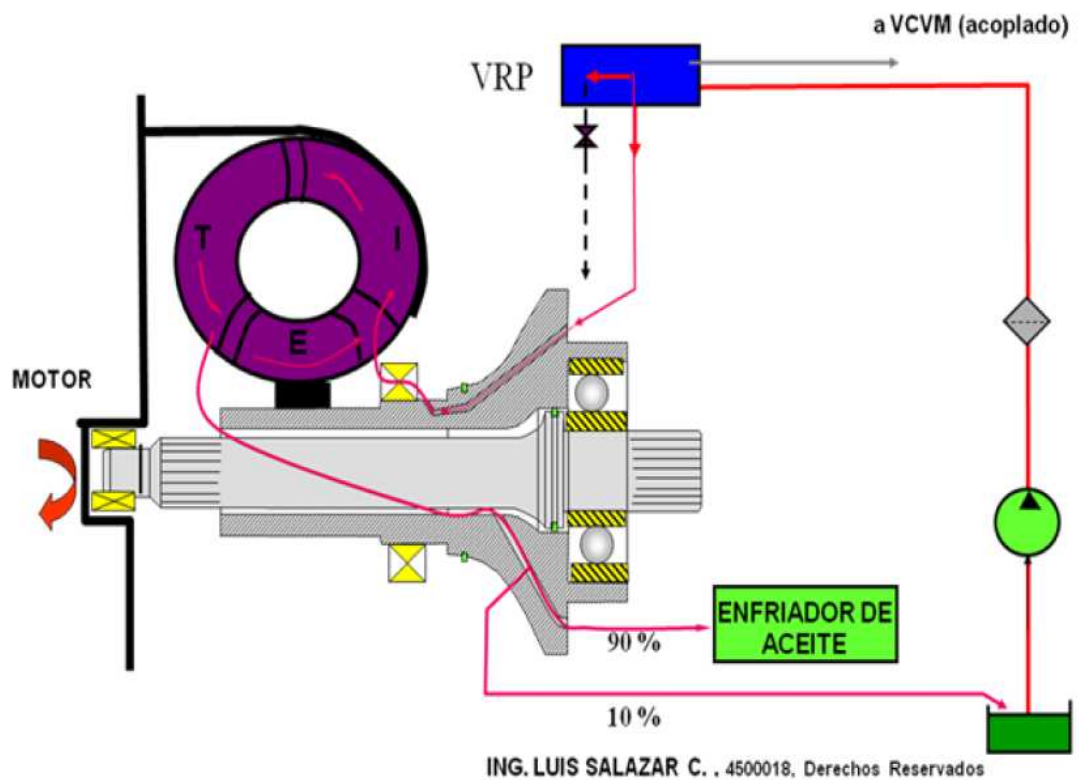
El aceite fluye a través del rodete y lubrica el cojinete de la maza. Luego el aceite circula en el convertidor par. El aceite que sale del convertidor par hace que fluya por la válvula de alivio de salida, en donde se controla la presión mínima del convertidor par. El aceite debe mantener presión en el convertidor par para así evitar la cavitación (formación de burbujas de vapor de aceite alrededor de los alabes), que reduce la eficiencia del convertidor. El principio del convertidor par es absorber las cargas de impacto. La excelente viscosidad del aceite en el convertidor par genera un buen medio para transmitir la potencia. La función del aceite es reducir la cavitación, llevar el calor hacia el exterior y lubricar los componentes del convertidor par (Figura 62).

El convertidor par se ajusta a la carga del equipo. A altas cargas el rodete gira más rápido que la turbina para aumentar el par de fuerza y reducir la velocidad. Con una pequeña carga en el equipo, el rodete y la turbina giran prácticamente a la misma velocidad, en ese caso la velocidad aumenta y el par disminuye. En condición de calado, la turbina permanece fija y el rodete queda girando. Se produce el máximo par de fuerza y se para la turbina.

El convertidor par duplica el par de fuerza cuando la carga lo necesita y ayuda a proteger el motor del calado durante las aplicaciones de carga alta. El convertidor par también logra que los sistemas hidráulicos de la máquina continúen funcionando y permite el uso de la servotransmisión⁶².

⁶² CETEMIN. “Sistemas de SCOOP”. Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

Figura 62. Flujo del aceite en el Convertidor Par.



Fuente: CETEMIN, 2011.

6.2.1.3 Transmisión. Las cajas de transmisión “Power Shift” son parecidas a una caja de cambios automáticas, en cuanto que los engranajes están constantemente engranados y la potencia procede de un convertidor de par. La caja de transmisión tiene dos partes claramente definidas⁶³ (Figura 63):

⁶³ CETEMIN. “Sistemas de SCOOP”. Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

Figura 63. Caja de Transmisión.



Fuente: CETEMIN, 2011.

Una bomba de engranajes hace que el aceite se despache hacia la válvula de control de velocidades, algunas veces denominada bomba de carga del convertidor (pero los embragues sólo trabajan correctamente cuando lo hacen dentro de un margen limitado de presión).

La válvula reguladora de presión esta constituida por una corredera de acero templado que se desplaza muy ajustada por un orificio. La bomba de carga hace fluir el aceite a la caja de cambios para luego pasar por la válvula reguladora de presión y de allí a la VCVM . Después de que salga de esta válvula, el aceite accionará un embrague de marcha y velocidad y ahí se frena. Al detenerse el flujo de aceite en el embrague hace que se aumente la presión y el aceite circule por un

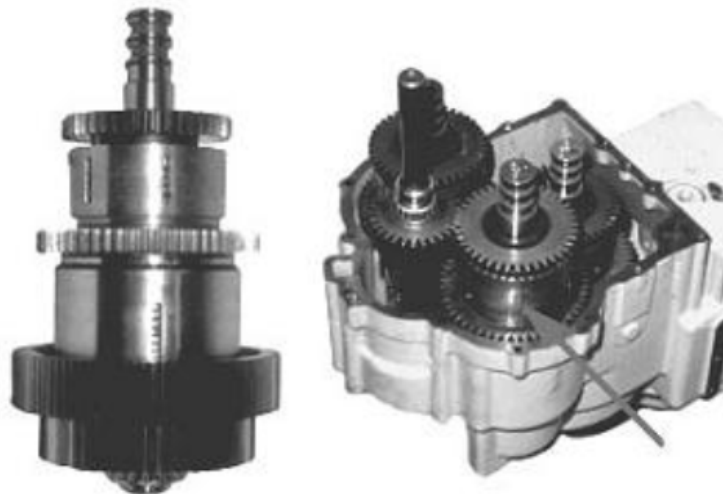
conducto que hay en la parte de atrás de la corredera, obligando a ésta a moverse contra el muelle. En la medida que la corredera se desplaza hacia un lado, va abriendo una ventana que permite que el exceso de aceite cargue al convertidor par. Todo esto ocurre en una fracción de segundo.

Cuando el aceite ingresa al tambor de embrague hace que se pueda transmitir la potencia de un engranaje hacia el otro engranaje de embrague seleccionado⁶⁴.

- **Parte Mecánica de la Transmisión**

Los embragues de la transmisión se conectan hidráulicamente y se separan debido a la fuerza del resorte. En el momento que el operador seleccione la velocidad y la dirección hace determinar qué embragues se conectarán. Los embragues se seleccionan para obtener la relación correcta de velocidad⁶⁵ (Figura 64).

Figura 64. Parte Mecánica de la Transmisión



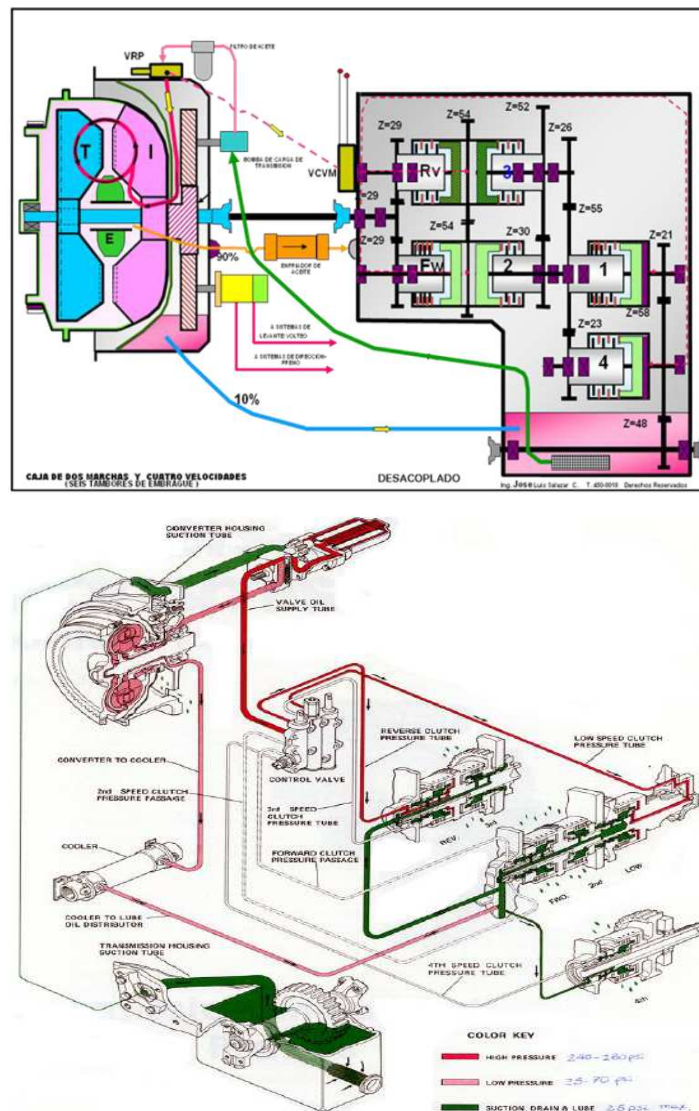
Fuente: CETEMIN, 2011.

⁶⁴ CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyHqSDhDOWlhVy1ZdEE/edit>

⁶⁵ Ibid.

Los embragues de la Caja de Transmisión poseen engranajes, la velocidad seleccionada por el operador va a depender de que engranajes están siendo seleccionados por el embrague respectivo⁶⁶ (Figura 65).

Figura 65. Esquema Convertidor y Caja de Transmisión.



Fuente: CETEMIN, 2011.

⁶⁶ CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

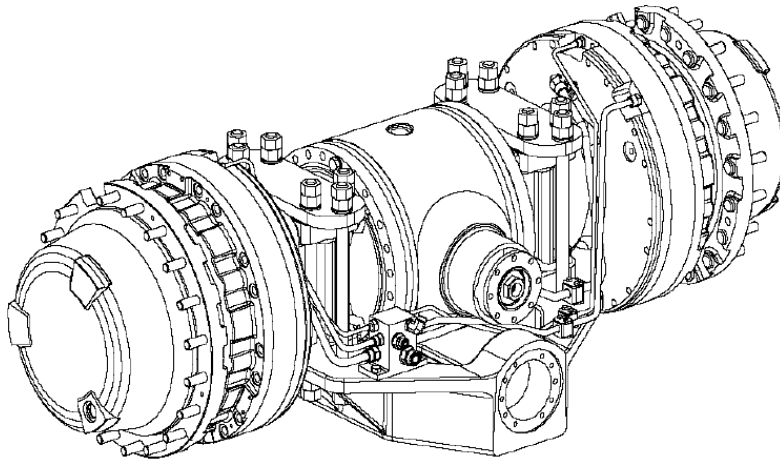
6.2.1.4 Eje Cardam. Es un mecanismo que acciona los neumáticos y se encuentra ubicado a la salida de la línea cardánica y posee las siguientes funciones:

1. Transmitir la potencia desde el eje cardán hacia los neumáticos, modificando la trayectoria de torque hacia los neumáticos delanteros y posterior.
2. Disminuir la velocidad e Incrementar el torque.
3. Utilizar el alojamiento para los frenos (dentro de la carcasa o de la funda).
4. Utilizar el alojamiento para los aros de los equipos que poseen neumáticos.

Eje compacto tiene diferencial, engranajes reductores, piñón-corona y frenos.

El eje acciona un par de ruedas, situados en lados opuestos. El eje interior se encuentra en la funda central con engranajes de reducción planetario y frenos⁶⁷ (Figura 66).

Figura 66. Esquema de un Eje Scoop.



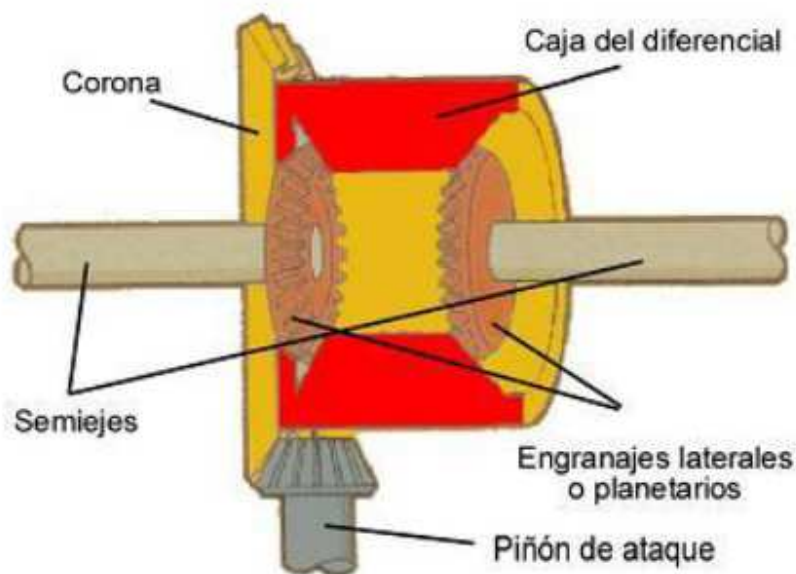
Fuente: CETEMIN, 2011.

⁶⁷ CETEMIN. “Sistemas de SCOOP”. Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

6.2.1.5 Diferencial. El objetivo de un diferencial es contar con igual potencia en ambas ruedas durante la operación normal y lograr que las ruedas giren a distinta velocidad cuando la maquina realice un giro. Además, el diferencial tiene como función redistribuir el torque en las ruedas cuando una de ellas pierde tracción.

Los LHD usan un diferencial Estándar que consiste en una corona de grupo cónico que no transfiere la potencia directamente sobre los semiejes, sino que estos semiejes tienen en uno de sus extremos dos piñones llamados planetarios y/o laterales que descansan sobre la caja del diferencial que va unida a la corona, tal como se muestra en la figura 67⁶⁸.

Figura 67. Esquema del Diferencial Estándar.



Fuente: CETEMIN, 2011.

⁶⁸ CETEMIN. “Sistemas de SCOOP”. Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

Como se puede apreciar en la figura anterior, el piñón de ataque no presenta transmisión alguna de movimiento sobre los semiejes. El flujo de potencia llega al piñón cónico, el cual transmite la potencia a la corona cónica del diferencial y está a su vez a los engranajes del diferencial que hacen mover a los engranajes reductores planetarios quienes transmiten la potencia a los semiejes de las ruedas. Este tipo de semiejes son de mayor diámetro y están soportados por rodamientos de rodillos cónicos que accionan los aros de los neumáticos⁶⁹.

6.2.1.6 Mandos finales. Los mandos finales reducen la velocidad en una proporción de 4 a 1 y aumenta el torque de 1 a 4. Consta de 3 engranajes del mismo diámetro que son accionados por el engranaje proveniente del eje, estos tres transmiten la potencia a un engranaje de dentadura interna que va acoplado a los neumáticos del equipo produciendo así la reducción de la velocidad y consiguen aumentar el torque⁷⁰ (Figura 68).

Figura 68. Mandos Finales.



Fuente: CETEMIN, 2011.

⁶⁹ CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWlhVy1ZdEE/edit>

⁷⁰ Ibid

6.2.2 Sistemas hidráulicos. El sistema hidráulico de los Cargadores de bajo perfil LHD Derui se componen de tres (3) sistemas totalmente hidráulicos:

- a. Sistema hidráulico de trabajo y/o de Implementos.
- b. Sistema hidráulico de Frenos.
- c. Sistema hidráulico de Dirección.

La necesidad de aumentar la productividad de la maquina se basa del resultado de diseño y uso de sistemas hidráulicos de alta presión y mayor caudal con sistemas automáticos de control y de mando que requieren un mínimo esfuerzo de operación, esto da como resultado unas máquinas de alta confiabilidad y eficiencia⁷¹.

6.2.2.1 *Sistemas hidráulicos de Implementos.* El sistema hidráulico es una de las formas más flexibles que ha inventado el hombre para transmitir energía. Los sistemas hidráulicos sencillamente, convierten de una forma a otra para desempeñar labores útiles. En las maquinas este se traduce en el uso de la energía de un motor diésel en potencia hidráulica.

El sistema hidráulico de trabajo y de dirección tiene dos bombas, unas para la elevación y el dumping y el otro para la dirección. Cuando no hay movimiento de dirección, el sistema de dirección y el sistema principal de trabajo son convergentes para aumentar velocidades de elevación y de dumping para así mejora la productividad⁷².

⁷¹ CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWlhVy1ZdEE/edit>

⁷² Ibid.

6.2.2.2 *Sistemas hidráulicos de Frenos.* Los sistemas de frenos son sin duda los únicos sistemas de equipo pesado que siempre están presurizados, segundo después que arranca el motor diésel, la bomba hidráulica de frenos envía aceite al sistema y los acumuladores presurizan el sistema, siempre los acumuladores van a estar cargados dentro de un rango de presiones llamadas presiones mínimas (P1) hasta unas presiones máximas (P2), es decir, que la presión de los acumuladores no va a ser menos ni más de estos límites.

El tiempo que demora en cargarse los acumuladores desde la presión mínima (P1) hasta una presión máxima (P2) se llama ciclo de carga que dura entre 6 a 12 segundos aproximadamente⁷³.

Las funciones del sistema de frenos son:

- a. Disminuir la velocidad (retardador)
- b. Detener un equipo.
- c. Parquear un equipo.
- d. Liberar las ruedas del equipo segundos después del arranque para que estos puedan ser accionados por la transmisión.

Todos los equipos están dotados de un sistema de frenos destinados a disminuir la velocidad o detenerlos por completo:

- a. Freno de Servicio: Es la disminución prevista de la velocidad o la parada del equipo en algún lugar determinada por el operador, y se realiza a través de la válvula de freno hidráulico y es ejecutado por el operador con el equipo en movimiento.
- b. Freno de Parqueo: El operador luego de aplicar el freno de servicio y para evitar el deslizamiento del equipo como consecuencia del terreno

⁷³ CETEMIN. “Sistemas de SCOOP”. Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

desnivelado aplica los frenos de parqueo utilizando un botón o *switch* manual, que activa una electroválvula la cual acciona el *Caliper* de parqueo o los frenos POSI STOP.

La fuerza de frenado creado por el freno generalmente no actúa directamente sobre la rueda sino sobre cualquier elemento acoplado a los aros o a los mandos finales, tal como discos⁷⁴.

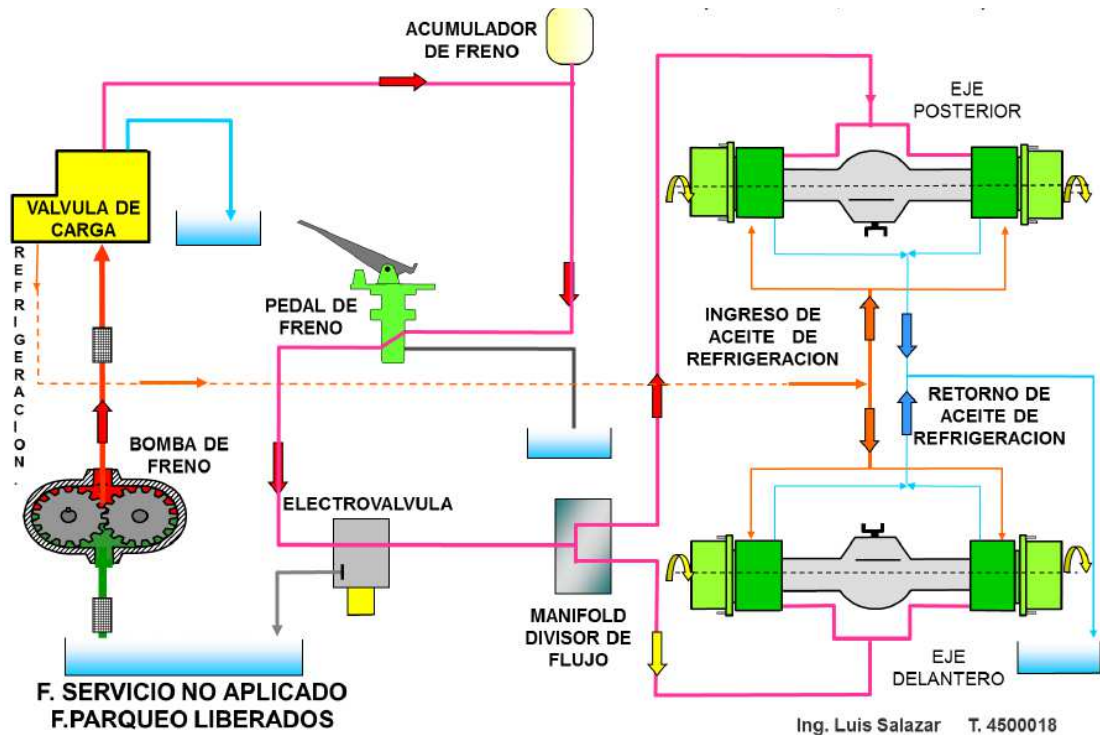
El proceso de frenado se realiza enviando o cortando el flujo de aceite desde la bomba hidráulica de freno hacia los actuadores de freno. Los actuadores de frenos utilizan freno multidisco activado por un resorte y liberado por un aceite, dentro de un tambor, llamado también de acción inversa o POSI STOP.

El sistema hidráulico de frenos incluye la bomba de freno Bosh, válvula de llenado previo de la descarga y la válvula de pie. Para mantener la reserva de presión del sistema y asegurar que la máquina pueda ser remolcada desde el sitio de trabajo en caso de mal funcionamiento del motor, el LHD posee tres (3) acumuladores, los cuales mantiene la presión por las válvulas de descarga y se regula de 12,5 hasta 15 MPa⁷⁵ (Figura 69).

⁷⁴ CETEMIN. “Sistemas de SCOOP”. Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWlhVy1ZdEE/edit>

⁷⁵ Ibid..

Figura 69. Sistema Hidráulico de los Frenos.



Fuente: CETEMIN, 2011.

6.2.2.3 Sistemas hidráulicos de Dirección. El sistema hidráulico de Dirección se compone principalmente de bomba de engranajes Park, una válvula de dirección, el filtro de aspiración de aceite, el filtro de retorno de aceite y el cilindro de dirección equipado con sellos. La válvula de dirección adopta cuerpo de la válvula puente. Cuando no hay movimiento de dirección, el aceite de presión enviada por la bomba puede ser convergente con el sistema de implementos para mejorar la productividad. La presión regulada es de 18MPa para la válvula de seguridad de la válvula de dirección y es de 20MPa para la válvula de sobrecarga⁷⁶.

⁷⁶ CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

6.2.3 Estructura. Es la parte visible del equipo, contiene y soporta todos los elementos internos como el motor, sistema de transmisión, válvulas actuadores, etc. El chasis va a soportar grandes esfuerzos y va a estar sometido a desgaste por ello la mayoría de los componentes se fabrica de plancha de acero o de acero fundido.

El chasis de los LHD es articulado (dos chasis unidos por articulación central) para el cargador frontal está formado por chasis posterior, chasis delantero, articulación central, aguilón o brazo, cucharón, eslabones, etc.⁷⁷.

Bastidor del extremo del motor. Es un bastidor completo de sección en la caja con plancha de enganches en el extremo delantero que proporciona una estructura fuerte y rígida que resiste las cargas de torsión e impacto. El montaje trasero de los contrapesos, la caja de la batería y la caja de herramientas están en la parte trasera del área del bastidor⁷⁸.

Diseño de enganche extendido. Proporciona una distribución de carga excelente y prolonga la duración de los cojinetes con planchas de enganches gruesas y una plancha de mariposa que soporta el enganche y aumenta la rigidez de torsión.

Bastidor del extremo opuesto al motor. Proporciona una base de montaje fuerte para el eje delantero, brazos de levantamiento, cilindros de levantamiento y cilindros de inclinación. Es una torre de carga de cuatro planchas fabricadas que absorbe grandes fuerzas de torsión, impacto y carga⁷⁹.

⁷⁷ CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWlhVy1ZdEE/edit>

⁷⁸ Ibid.

⁷⁹ Ibid.

Varillaje. Los brazos de levantamiento son de acero macizo y proporcionan una fuerza superior con un área de visión excelente del extremo delantero. El diseño demostrado ofrece un alcance y un espacio libre de descarga excelentes que permiten adaptarse de forma excepcional a los camiones de obra y a los transportes por carretera⁸⁰.

Cabina. La cabina es específicamente diseñada para cargadores de bajo perfil y lograr mayor fortaleza con la estructura. La estructura de la cabina brinda alta durabilidad y resistencia debido a una gran capacidad para absorber impactos⁸¹.

Topes. Los topes están diseñados para soportar el peso de la carga a transportar. Si se emplea una técnica de conducción inadecuada, o si los topes faltaran o estuvieran desgastados o inadecuadamente instalados, pueden producirse diversos problemas⁸²:

- Cierres destruidos o con fisuras.
- Fugas en la junta de los cilindros.
- Avería del cuerpo del cilindro.
- Fugas en las juntas de las válvulas.
- Fugas en las juntas de las válvulas de control principal.
- Daños estructurales.

Topes de dirección. Los topes de dirección o guía desempeñan la función de limitar la carrera de los cilindros de dirección a fin de impedir que toquen fondo en ambas direcciones. Así mismo evitan que el *boggie* y el chasis choquen entre si y se dañen⁸³.

⁸⁰ CETEMIN. “Sistemas de SCOOP”. Centro Tecnológico Minero. Oroscocatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWlhVy1ZdEE/edit>

⁸¹ Ibid.

⁸² Ibid..

⁸³ Ibid.

Topes de oscilación del eje. El tope del eje oscilante limita la oscilación del eje trasero en ambas direcciones⁸⁴ (Figura 70)

Figura 70. Topes Oscilación del Eje.



Fuente: CETEMIN, 2011.

Topes de retroceder. Su función es limitar la carrera del cilindro estabilizador y evitar que toque fondo. Ayudando al operador a evitar fatigas sobre las barras del brazo, que podrían causar grietas⁸⁵.

Topes de Volteo (Vaciado del Cucharón). La función de los topes de volteo del cucharón es limitar la carrera del cilindro evitando que sea excesiva. Los topes también evitan el agrietamiento de la barra del brazo como consecuencia de que el operador haga chocar el cucharón contra las barras.

⁸⁴ CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWlhVy1ZdEE/edit>

⁸⁵ Ibid.

Topes de cucharón. En la barra en Z hay una barra en amortiguador para que actúe como tope del cucharón. La función del amortiguador trasero del cucharón es evitar que los cilindros de vaciado toquen fondo cuando el cucharón se desciende completamente⁸⁶.

Topes de brazo. Su función es evitar que los cilindros del brazo toquen fondo el brazo cuando están completamente descendido. Además, protegen las barras del brazo y el bastidor de carga⁸⁷.

6.2.4 Sistema Eléctrico. El sistema eléctrico es el encargado de suministrar la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento normal del equipo. Una de las funciones básicas del sistema eléctrico es suministrar la energía desde las baterías hasta el motor de arranque para dar ignición al motor. El alternador mantiene la energía de las baterías para que estas se encuentren disponibles a la hora de encender las luces, mantener activo los indicadores del tableo de control y la electroválvula del freno de parqueo. Los componentes del sistema eléctrico son⁸⁸:

- a. *Switch* y sensores.
- b. Solenoides.
- c. Cables y Arnés.
- d. Baterías.
- e. Motor de arranque.
- f. Alternador.

⁸⁶ CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWlhVy1ZdEE/edit>

⁸⁷ Ibid.

⁸⁸ Ibid.

6.2.5 Seguridad. Practica algunas pautas de seguridad para evitar daños en los equipos (Pesadas M. , 2011):

- No limpie, abastezca de combustible y/o ajuste la máquina mientras esta en movimiento.
- No acceder a la cabina mantenimiento el joystick direccional aplicado.
- No fumar durante la operación del equipo.
- Mantenga todo el personal alejado de la zona de articulación.
- No hacer funcionar el cargador LHD por cualquier personal de la minería.
- Usar correctamente los elementos de protección personal antes de la operación.

6.2.6 Comandos. El equipo LHD cuenta con una serie de comandos en el tablero de control para que le indique al operador las funciones de trabajo que presenta cada sistema durante la operación en la extracción de carbón⁸⁹ como:

- Led indicador de funcionamiento del alternador. El led indicador se enciende cuando se encuentra fallas en el funcionamiento del alternador.
- Led de advertencia por la presión de aceite motor. La presión debe ser inferior a 0.08 Mpa durante el funcionamiento normal del motor.
- Manómetro de Temperatura en la cabeza del cilindro.
- Manómetro Voltímetro para medir la carga de envió por parte del alternador.
- Botón de Freno Parqueo.
- Led de advertencia en el freno. La luz del led se enciende cuando la presión del sistema de frenos es inferior a 11 Mpa e indica que presenta fallas en el sistema de frenos.
- Manómetro de temperatura en el aceite del par convertidor.
- Indicador nivel de combustible.

⁸⁹ CETEMIN. “Sistemas de SCOOP”. Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

- Manómetro presión de frenado. Indica la presión del sistema de frenos. El rango de presión normal es de 12 a 14 Mpa⁹⁰.

⁹⁰ CETEMIN. “Sistemas de SCOOP”. Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

7. PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM

Se aplica el concepto y un plan de mantenimiento mediante una metodología de RCM a los Cargadores Frontales de Bajo Perfil LHD Derui WJ-2 perteneciente a la Empresa Frontier Coal, cuyo interés es determinar las tareas básicas necesarias para que los equipos realicen las funciones primarias y poder de esta forma mantener una disponibilidad de los mismo.

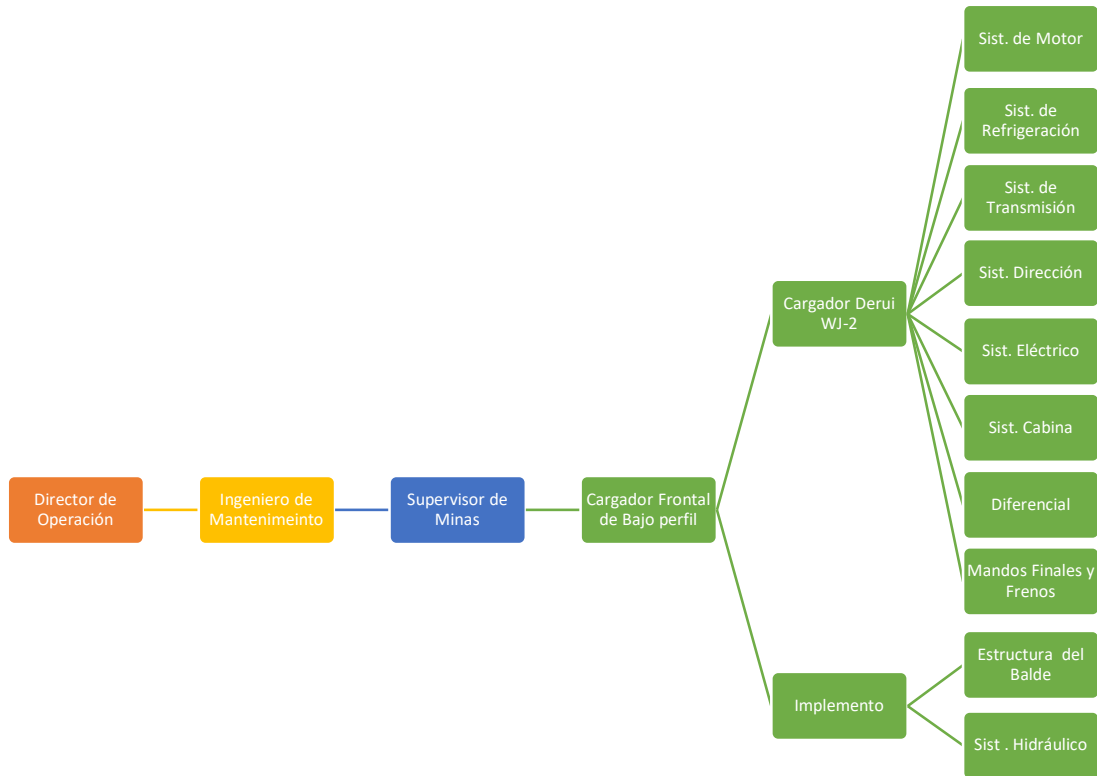
Debido a la dinámica que se está trabajando en la mina para la extracción de carbón, se hace necesario buscar una estrategia de tal forma que los equipos que ingresen al taller de forma programada para su alistamiento por parte del área de mantenimiento presenten una alta confiabilidad.

Los sistemas que hace parte de los equipos se le debe realizar una rutina de mantenimiento periódica programada para que sea ejecutada a cabalidad por el personal técnico de tal manera que se pueda abarcar la mayor intervención en cada uno de los sistemas en tiempos de paradas, esto con el fin de disminuir los tiempos muertos y poder garantizar una disponibilidad de los equipos.

7.1 TAXONOMÍA DEL EQUIPO

Antes de desarrollar el análisis de RCM, se inicia el estudio con revisar que partes se encuentran involucradas del sistema jerárquico en el proceso de la extracción del carbón en el interior de la mina, para esta situación se dividió en tres (3) niveles la Taxonomía en donde: El primer nivel jerárquico corresponde a la junta directiva que se reúne una vez por semana para lograr la extracción del material, el segundo nivel corresponde al estudio del equipo critico dentro de la operación en este caso el cargador frontal de bajo perfil Derui WJ-2 y el tercer nivel hace referencia al estudio de los sistema y funciones que debe desempeñar el equipo (Figura 71).

Figura 71. Taxonomía Extracción de Carbón.



7.2 DEFINICIÓN DE SISTEMAS Y SUBSISTEMAS

Para lograr la extracción de carbón en el interior de la mina se hace necesario desglosar los sistemas y subsistemas que componen al Cargador de Bajo Perfil Derui WJ-2, así como se encuentran relacionadas las entradas y salidas de cada uno de los sistemas.

Para el estudio en este caso del Cargador de Bajo Perfil Derui WJ-2 es necesario dividir en dos (2) los sistemas; El Cargador de Bajo Perfil Derui para realizar

movimiento de traslado en el interior de la mina y el implemento para el cargue y descargue del material.

Cargador Frontal de Bajo Perfil

Cargador Derui WJ-2

CD 01 Sist. de Motor.

CD 02 Sist. Refrigeración.

CD 03 Sist. de Transmisión.

CD 04 Sist. de Dirección.

CD 05 Sist. Eléctrico.

CD 06 Sist. Cabina.

CD 07 Diferencial.

CD 08 Mandos Finales y Frenos.

Implemento Equipo

IE 01 Estructura del Balde.

IE 02 Sist. Hidráulico.

7.3 FUNCIONES DEL SISTEMA Y FALLAS FUNCIONALES.

Con base en la información anteriormente enunciada se definen las funciones básicas que debe desarrollar el equipo para satisfacer los requerimientos en la extracción de carbón, así como también las fallas funcionales más relevantes y frecuentes que se presentan durante la operación que generan perdida en las funciones del sistema. A continuación, se presenta una tabla con la descripción de las funciones y las fallas funcionales. (Tabla 3 y 4)

Tabla 3. Lista de Funciones.

Componente en estudio	Código Función	Descripción
Sistema Motor	CF01 – F1	Transformación Energía Química en Energía mecánica para dar movimiento al equipo
	CF01 – F2	Transformación Energía Química en Energía mecánica para dar movimiento a la transmisión
Sistema Refrigeración	CF02 – F1	El motor debe mantener una temperatura de operación entre los 80°C (176°F) y 100°C (212°F)
	CF02 – F2	El ventilador debe mantener un flujo de aire dentro del conducto para refrigerar las camisas
Sistema Transmisión	CF03 – F1	Transmitir movimiento conservando una velocidad entre los 1000 y 1200 rpm del motor con un máximo torque de
	CF03 – F2	Transmitir movimiento desde el convertidor a la transmisión por medio de eje cardanico
Sistema Dirección	CF04 – F1	Direccionar el equipo en tiempo real usando un cilindro hidráulico de doble efecto de Diam. 150 mm y ángulo de Giro 40°
	CF04 – F2	Mantener una Presión en el sistema hidráulico de 16 MPa (160 Bar) para su normal funcionamiento.
	CF04 – F3	Mantener una presión en la válvula de descarga de 14 MPa (140 Bar)
	CF04 – F4	La Dirección no debe superar un Radio de Giro en el lado interno de 2500 mm
	CF04 – F5	La Dirección no debe superar un Radio de Giro en el lado exterior de 5400 mm
Sistema Eléctrico	CF05 – F1	Mantiene el voltaje y corriente de las baterías para el normal funcionamiento del panel de Control
	CF05 – F2	Dar giro a la volanta del motor para encenderlo al recibir la señal del Switch
	CF05 – F3	Brinda Seguridad y Control en el accionamiento de las luces y energización de la electroválvula del freno parqueo
	CF05 – F4	Mantiene las señales activas de los sensores para el correcto funcionamiento del equipo
Sistema Cabina	CF06 – F1	Ofrece la seguridad, el confort y la visualización de los instrumentos del panel de control al operador.
Diferencial	CF07 – F1	Transmite el Par de Fuerza a los mandos finales proveniente de la transmisión.
	CF07 – F2	Permitir que las ruedas giren a distintas velocidades cuando realicen un giro.
Mandos Finales y Frenos	CF08 – F1	Reduce la Velocidad y aumenta el torque en cada una de las ruedas.
	CF08 – F2	Reduce la velocidad paulatinamente por parte del operador oprimiendo la válvula del freno de pie
	CF08 – F3	Detener el equipo durante un tiempo determinado aplicando el freno de parqueo.
	CF08 – F4	Mantener el equipo estacionado cuando el operador lo indique
Estructura del balde	IE01 – F1	Cargar y soportar el peso extraído del carbón y del material estéril en los frentes de trabajo.
	IE01 – F2	Mantener en buenas condiciones el uso del dumping para descargar el material presente en el balde.
Sistema Hidráulico	IE02 – F1	Mantener la presión de trabajo en el sistema hidráulico de 16 MPa (160 bar) para levantar y bajar el balde, así como mover la pala del dumping para mejorar la productividad.
	IE02 – F2	Mantener la presión en la válvula de descarga 14 MPa (140 bar) para controlar sobrepresión en el sistema hidráulico.

Tabla 4. Funciones y descripción de falla funcional más representativas

Unidad	Sistema	Subsistema	Componente en estudio	Función	Cód.Func.	Descripción Falla Funcional	Cód FF.
TRANSPORTE Y CARGA DE MATERIAL	CARGADOR FRONTAL DE BAJO PERFIL	CARGADOR DERUI WJ-2	Sistema Motor	Transformación Energía Química en Energía mecánica para dar movimiento al equipo	CF01 – F1	Motor no supera el rango de las revoluciones por encima de las 1000 RPM	FF1
				Transformación Energía Química en Energía mecánica para dar movimiento a la transmisión	CF01 – F2	Motor Presenta Ruido en las culatas y Pérdida de fuerza	
			Sistema Refrigeración	El motor debe mantener una temperatura de operación entre los 80°C (176°F) y 100°C (212°F)	CF02 – F1	Motor apagado y bloqueado por ruptura de las correas del ventilador.	FF2
				El ventilador debe mantener un flujo de aire dentro del conducto para refrigerar las camisas	CF02 – F2	Ruido en la polea tensora del motor por ventilador frenado.	
			Sistema de Transmisión	Transmitir movimiento conservando una velocidad entre los 1000 y 1200 rpm del motor con un máximo torque de	CF03 – F1	Pérdida de fuerza en el equipo al realizar un movimiento sin carga de un lugar a otro.	FF3
				Transmitir movimiento desde el convertidor a la transmisión por medio de eje cardánico	CF03 – F2	Problemas, ruidos y recalentamiento al ingresar los cambios en la transmisión.	
			Sistema Dirección	Direccionar el equipo en tiempo real usando un cilindro hidráulico de doble efecto de Diam. 150 mm y ángulo de Giro 40°	CF04 – F1	Ruptura de vástago y/o fuga de aceite hidráulico por tapa del cilindro de dirección.	FF4
				Mantener una Presión en el sistema hidráulico de 16 MPa (160 Bar) para su normal funcionamiento.	CF04 – F2	No presenta ningún movimiento Y/o el movimiento del cilindro dirección es muy lento.	
				La Dirección no debe superar un Radio de Giro en el lado interno de 2500 mm	CF04 – F3	Desgaste y/o Pérdida de los Topes en el chasis para evitar superar el radio de giro interno.	
				Mantener una Presión en el sistema hidráulico de 16 MPa (160 Bar) para su normal funcionamiento.	CF04 – F2	La Presión piloto para la apertura y/o el recorrido del spool en la válvula de dirección es insuficiente.	
			Sistema Eléctrico	Mantiene el voltaje y corriente de las baterías para el normal funcionamiento del panel de Control	CF05 – F1	El alternador no envía carga suficiente para mantener la carga de las baterías.	FF5
				Dar giro a la volanta del motor para encenderlo al recibir la señal del Switch	CF05 – F2	Problemas en el switch y/o motor de arranque al hacer girar la llave en el tablero del panel de control.	

				Brinda Seguridad y Control en el accionamiento de las luces y energización de la electroválvula del freno parqueo	CF05 – F3	Problemas y/o sulfatación de conectores para el normal funcionamiento de las luces y de la electroválvula.	
			Sistema Cabina	Ofrece la seguridad, el confort y la visualización de los instrumentos del panel de control al operador.	CF06 – F1	Cabina presenta golpe en la parte superior por lo tanto no se encuentra apta para la operación del equipo.	FF6
			Diferencial	Transmite el Par de Fuerza a los mandos finales proveniente de la transmisión.	CF07 – F1	Eje Cardan gira con la mano los 360° sin restricción alguna.	FF7
			Mandos Finales y Frenos	Reduce la velocidad paulatinamente por parte del operador oprimiendo la válvula del freno de pie	CF08 – F2	No acciona la válvula de freno de pie para detener el equipo por daño en resortes internos.	FF8
				Detener el equipo durante un tiempo determinado aplicando el freno de parqueo.	CF08 – F3	La electroválvula no abre el circuito para liberar los paquetes de disco.	
		Implemento	Estructura del balde y Chasis	Cargar y soportar el peso extraído del carbón y del material estéril en los frentes de trabajo.	IE01 – F1	El balde presenta fisuras en las juntas y/o uniones que hacen parte estructural del mismo.	FF9
				Mantener en buenas condiciones el uso del dumping para descargar el material presente en el balde	IE01 – F2	La Pala del dumping se encuentra levantada hacia arriba lo que ocasiona que el material se acumule abajo.	
			Sistema Hidráulico	Mantener la presión de trabajo en el sistema hidráulico de 16 MPa (160 bar).	IE02 – F1	No presenta ningún accionamiento los cilindros del sistema hidráulico.	FF10
				Mantener la presión en la válvula de descarga 14 MPa (140 bar).	IE02 – F2	El cilindro de elevación del balde se vuelve lento y débil al momento de subir.	

7.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTOS A CARGADORES DERUI WJ-2.

Se determinó en conjunto con el área de producción y mantenimiento formar un grupo de personas entre ellas el operador, el supervisor de mina y los técnicos de mantenimiento recopilar la función y las fallas funcionales más representativas que presenta cada sistema del cargador LHD Derui WJ-2, esto con el fin de analizar y determinar que modos de fallas pueden ocasionar las fallas funcionales en un periodo dado. (Tabla 5)

Tabla 5. Función, Falla Funcional y Modos de Falla en Cargador WJ-2

Item	Función	Descripción Falla Funcional	Código Funcional	Modos de Fallas
1	Traslado Cargador bajo perfil de un lugar a otro a razón de 15 ciclos por turno con una disponibilidad mínima de 85%	No se puede trasladar el Cargador bajo perfil de un lugar a otro o lo puede hacer por debajo de 15 ciclos en un turno. La disponibilidad está por debajo del 85%	CF01	Falla Sistema Motor
			CF02	Falla Sistema de Refrigeración
			CF03	Falla Sistema de Transmisión
			CF04	Falla Sistema de Dirección
			CF05	Falla Sistema Eléctrico
			CF06	Falla Sistema Cabina
			CF07	Falla Diferencial
			CF08	Falla Mando Finales y Frenos
2	El cargador bajo perfil carga 30 Ton/H por turno	El cargador bajo perfil no es posible cargar o lo puede hacer por debajo de 30 Ton/H por turno	IE01	Falla Estructura del balde
			IE02	Falla Sistema Hidráulico

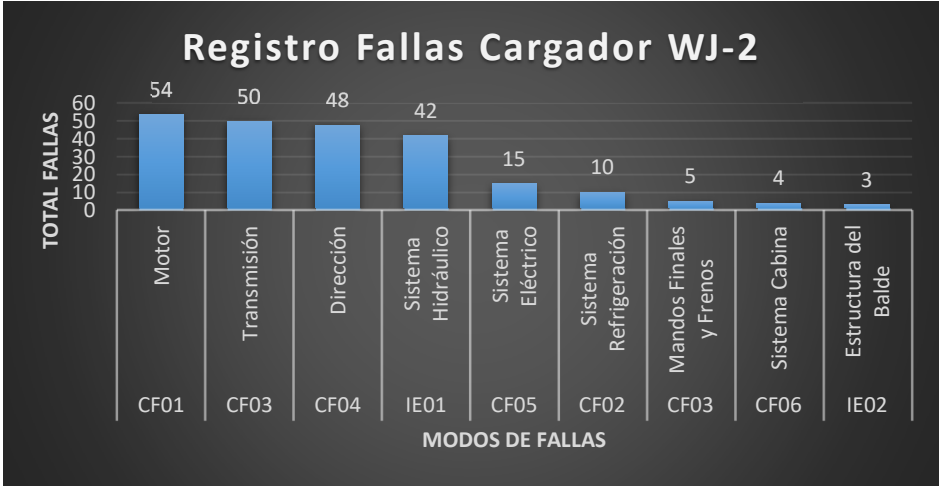
Al analizar y recopilar la información de mantenimiento de los Cargadores de Bajo Perfil Derui WJ-2 en un periodo desde junio hasta diciembre del 2019 se determinó que los modos de fallas que presenta más frecuencia y afecta directamente la disponibilidad y el tiempo medio (MTBS) entre falla de los equipos son: 231 fallas que se encuentra distribuida de la siguiente forma, 54 falla fueron de motor que corresponde al 23% del total de fallas. 50 falla fueron de la transmisión que corresponde al 22% del total de fallas. 21 falla fueron del sistema dirección que

corresponde al 21% del total de fallas. 18 falla fueron del sistema hidráulico que corresponde al 18%, por lo tanto, si se centra en corregir las cuatro (4) primeras fallas que se registra en la Tabla 6. Se podría aumentar la confiabilidad y disponibilidad de estos equipos. Continuando con el orden de prioridad los sistemas a analizar son el sistema eléctrico con un 6% del total de fallas, el sistema de refrigeración con un 4% del total de fallas, los mandos finales y frenos el 2% el total de fallas, sistema cabina el 1,7% del total de fallas y la estructura del balde el 1,2% de las fallas.

Tabla 6. Estadísticas Modos de Fallas en Cargadores WJ-2

Código Funcional	Modo de Fallas	Total Fallas	%
CF01	Motor	54	23%
CF03	Transmisión	50	22%
CF04	Dirección	48	21%
IE01	Sistema Hidráulico	42	18%
CF05	Sistema Eléctrico	15	6%
CF02	Sistema Refrigeración	10	4%
CF03	Mandos Finales y Frenos	5	2%
CF06	Sistema Cabina	4	1,7%
IE02	Estructura del Balde	3	1,2%
TOTAL		231	100%

Figura 72. Diagrama de Pareto Fallas en Cargador WJ-2.

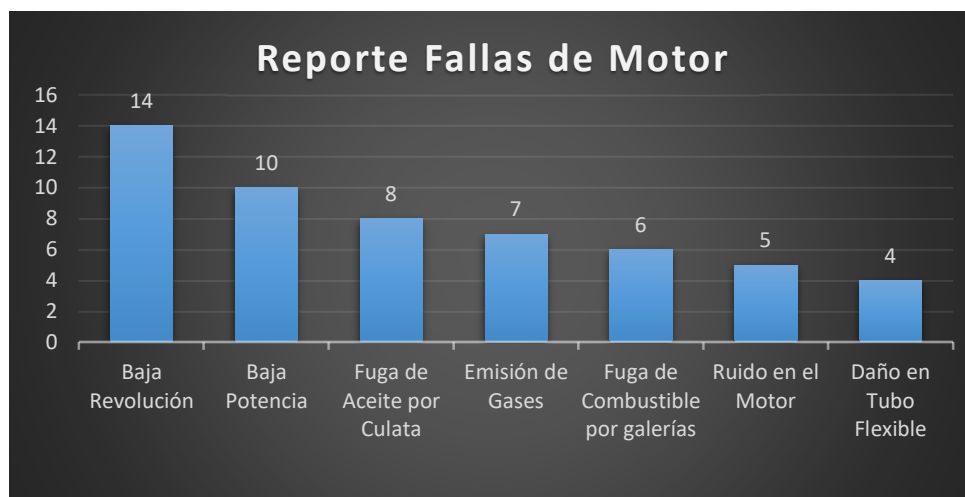


Con base en la figura 72. Se inicia un análisis profundo de cuáles fueron las causas más relevantes en las fallas del sistema motor dentro del periodo, encontrándose baja potencia con un porcentaje del 26% con relación al valor total, seguido alta temperatura con un porcentaje del 18% con relación al valor total y la fuga de aceite por la culata con un porcentaje del 15% con relación al valor total (Tabla 7) (Figura 73).

Tabla 7. Estadísticas Modo de Falla en el Motor

Reporte de Fallas en el Motor	Fallas	%
Baja Potencia	14	26%
Alta temperatura	10	18%
Fuga de Aceite por Tapa Válvula	8	15%
Emisión de Gases	7	13%
Fuga de Combustible por galerías	6	11%
Ruido en el Motor	5	9%
Daño en Tubo Flexible	4	7%
Total	54	100%

Figura 73. Diagrama de Pareto Modos Fallas Motor

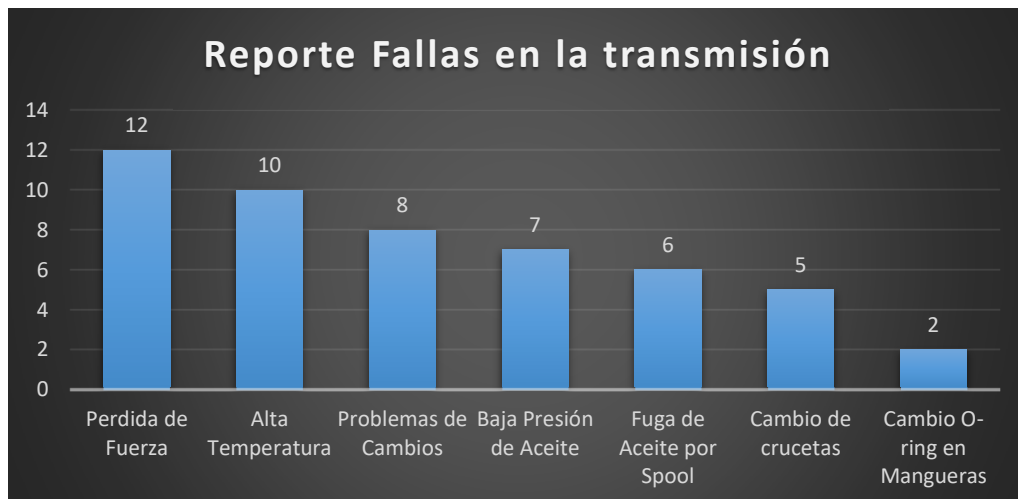


Las fallas más representativas que se presentaron en el sistema de transmisión en el periodo de junio a diciembre del 2019 en el cargador bajo perfil WJ-2 corresponden a Pérdida de Fuerza en un 24% y alta temperatura en un 20% con relación al valor Total (Tabla 8) (Figura 74).

Tabla 8. Estadísticas Modo de Falla en la Transmisión

Reporte Fallas en la Transmisión	Fallas	%
Pérdida de Fuerza	12	24%
Alta Temperatura	10	20%
Problemas de Cambios	8	16%
Baja Presión de Aceite	7	14%
Fuga de Aceite por Spool	6	12%
Cambio de crucetas	5	10%
Cambio O-ring en Mangueras	2	4%
Total	50	100%

Figura 74. Diagrama de Pareto Modo Falla en la Transmisión.

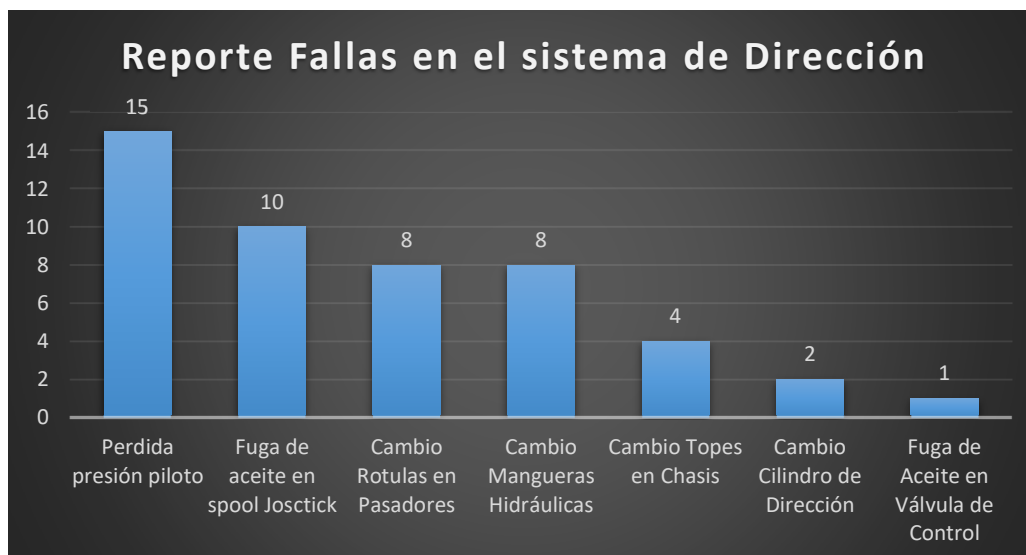


En el sistema de Dirección las fallas más representativas que se presentaron en el Cargador Frontal de Bajo Perfil fueron, perdida de presión piloto en un 31% y Fuga de aceite en spool Josctick en un 21% con relación al valor total. (Tabla 9) (Figura 75)

Tabla 9. Estadísticas Modo de Falla en la Dirección

Reporte Fallas en la Dirección	Fallas	%
Perdida presión piloto	15	31%
Fuga de aceite en <i>spool Josctick</i>	10	21%
Cambio Rotulas en Pasadores	8	17%
Cambio Mangueras Hidráulicas	8	17%
Cambio Topes en Chasis	4	8%
Cambio Cilindro de Dirección	2	4%
Fuga de Aceite en Válvula de Control	1	2%
Total	48	100%

Figura 75. Diagrama de Pareto Modo Falla en el Sistema Dirección

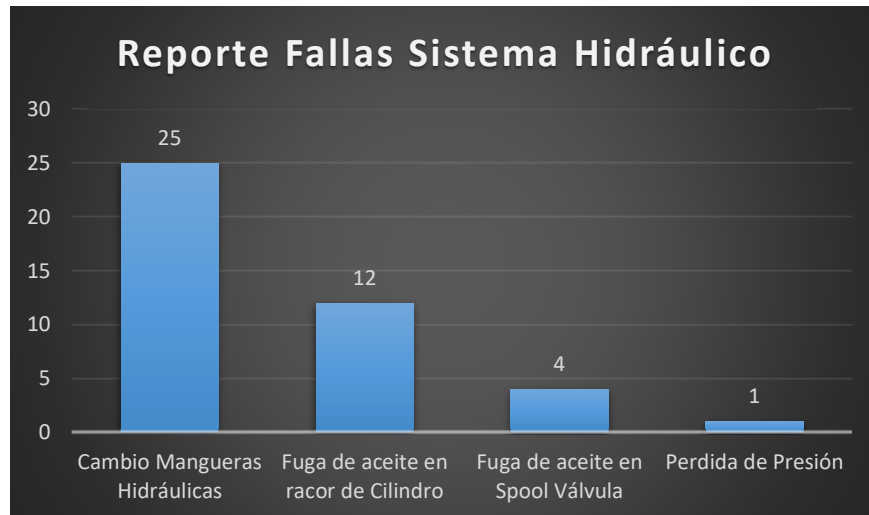


Las fallas más representativas que se presentaron en el sistema hidráulico del cargador bajo perfil WJ-2 son, el cambio de mangueras hidráulicas en un 60% y la fuga de aceite en racor de cilindros en un 29% con relación al valor total (Tabla 10) (Figura 76).

Tabla 10. Estadísticas Modo de Falla en Sistema Hidráulico

Reporte Fallas Sistema Hidráulico	Fallas	%
Cambio Mangueras Hidráulicas	25	60%
Fuga de aceite en racor de Cilindro	12	29%
Fuga de aceite en Spool Válvula	4	9%
Perdida de Presión	1	2%
Total	42	100%

Figura 76. Diagrama de Pareto Modo Falla en el Sistema Hidráulico



Para poder plasmar las labores del plan de mantenimiento que se debe ejecutar a cada uno de los sistemas que conforman al Cargador de Bajo Perfil Derui WJ-2 es necesario hacer un estudio más profundo de análisis para conocer la causa de las fallas, pues los modos de fallas enunciados anteriormente muestran una forma general de las cosas en RCM, por este motivo se realizara un estudio de análisis de fallas y sus efectos por cada sistema.

Tabla 11. Análisis Modo de Falla en Motor y sus Efectos.

Cod FF	Sistema en Falla	Cod FF1	Modo de Falla	Descripción Efecto
FF1	MOTOR	FF1001	Baja Potencia por filtro de aire obstruido	Las revoluciones del motor están por debajo de las 1000 RPM. El operador debe detener el equipo.
		FF1002	Baja Potencia por filtro combustible obstruido	
		FF1003	Baja Potencia por baja presión en combustible	
		FF1004	Baja Potencia por inyector defectuoso	
		FF1005	Baja Potencia por línea de combustible obstruido	
		FF1006	Baja Potencia por falla en turbocompresor	
		FF1007	Baja Potencia por falta de calibración en las válvulas	
		FF1008	Baja Potencia por fuga en gases escape	
		FF1009	Baja Potencia por fuga en gases de admisión	
		FF1010	Baja Potencia por desgaste en Cilindros y anillos	
		FF1011	Alta Temperatura por aletas del cilindro obstruida	Temperatura del motor sube por encima de los 100°C. Se enciende Testigo alarma de Motor. El operador debe detener el equipo
		FF1012	Alta Temperatura por ducto de aire en mal estado	
		FF1013	Alta Temperatura por aspas del ventilador averiadas	
		FF1014	Alta Temperatura por obstrucción en postenfriador	
		FF1015	Alta Temperatura filtro de aire obstruido	
		FF1016	Alta Temperatura por enfriador de aceite obstruido	
		FF1017	Alta Temperatura por tubo escape obstruido	
		FF1018	Baja Presión de aceite por bajo nivel de aceite	La presión de aceite motor está por debajo de los 30 PSI. El operador debe detener el equipo.
		FF1019	Baja Presión de aceite por fuga de aceite en Tapa llenado	
		FF1020	Baja Presión de aceite por fuga en enfriador de aceite	
		FF1021	Baja Presión de aceite por fuga de aceite en filtro	
		FF1022	Baja Presión de aceite por ductos de lubricación obstruido	
		FF1023	Baja Presión de aceite por falla en bomba de lubricación	
		FF1024	Fuga de gases escape por manifold suelto	El operador percibe ruido que sale del motor. El operador debe detener el equipo.
		FF1025	Fuga de gases escape por unión de tubos con abrazaderas	
		FF1026	Fuga de gases escape por tubo flexible.	
		FF1027	Fuga de gases escape por catalizador roto	
		FF1028	Contaminación aceite motor con aceite hydco al fallar sello de la bomba piloto	Cae presión de aceite motor por debajo 30 PSI.
		FF1029	Contaminación aceite motor con combustible al fallar inyector o Sello bomba	
		FF1030	Motor no enciende por presencia de aire en ductos de combustible	El operador no es posible encender el motor.
		FF1031	Motor no enciende por baja presión en líneas de combustible	
		FF1032	Motor no enciende por falla en inyectores	
		FF1033	Motor no enciende por falta de combustible	
		FF1034	Motor no enciende por falta en motor de arranque	
		FF1035	Motor no enciende por falta de voltaje provenientes de la Baterías	
		FF1036	Motor no enciende por baja compresión en los cilindros	
		FF1037	Motor presenta ruido interno por elementos sueltos.	El equipo debe ser ingresado al taller para reparación motor.
		FF1038	Motor tiene Cigüeñal frenado por falta de lubricación	
		FF1039	Cigüeñal del motor no gira por pistón adherido a las camisas.	

Tabla 12. Análisis Modo de falla en Sistema de Refrigeración y sus Efectos.

Cod FF	Sistema en Falla	Cod FF1	Modo de Falla	Descripción Efecto
FF2	Refrigeración	FF2001	Ventilador frenado por problemas en rodamientos	Ventilador averiado y ductos provocan elevación de la temperatura por encima de los 100°C
		FF2002	Ventilador no gira por ruptura de correas	
		FF2003	Ventilador presenta aspas rota por lo tanto no refrigera partes internas	
		FF2004	Ductos de ventilación averiados por lo tanto no refrigera partes internas	
		FF2005	Aletas del cilindro obstruido por contaminación de carbón	Posenfriador y aletas del cilindro obstruido provocan elevación de temperatura por encima de los 100°C
		FF2006	Posenfriador obstruido internamente	
		FF2007	Posenfriador obstruido externamente	

Tabla 13. Análisis Modo de Falla en Sistema de Dirección y sus Efectos.

Cod FF	Sistema en Falla	Cod FF1	Modo de Falla	Descripción Efecto
FF4	Dirección	FF4001	No presenta movimiento y/o el movimiento es lento en cilindro de dirección por presión insuficiente en bomba piloto.	El no contar con dirección el operador debe para el equipo.
		FF4002	No presenta movimiento y/o el movimiento es lento en cilindro de dirección por fuga de aceite en sellos del cilindro	
		FF4003	No presenta movimiento y/o el movimiento es lento en cilindro de dirección por falla en la válvula de seguridad.	
		FF4004	No presenta movimiento y/o el movimiento es lento en cilindro de dirección por daño en Bomba de aceite	
		FF4005	Problemas de dirección por bajo nivel de aceite	El operador al contar con problemas de dirección debe parar el equipo.
		FF4006	Problemas de dirección por obstrucción en líneas de aceite	
		FF4007	Problemas de dirección por daño en sellos internos del cilindro	
		FF4008	Problemas de dirección por fuga de aceite en válvula de control	
		FF4009	Problemas de dirección por daño en bomba de aceite	El operador debe para el equipo al observar que presenta baja presión en el indicador del sistema de dirección.
		FF4010	Baja presión de aceite en el sistema se debe a fallas en la bomba de dirección.	
		FF4011	Baja presión de aceite en el sistema se debe a problemas en la regulación de la válvula de seguridad	
		FF4012	Baja presión de aceite en el sistema se debe a problemas en la regulación de la válvula de sobrepresión.	
		FF4013	Baja presión de aceite en el sistema se debe a fuga de aceite en sello internos del cilindro.	

Tabla 14. Análisis Modo de Falla en la Transmisión y sus Efectos.

Cod FF	Sistema en Falla	Cod FF1	Modo de Falla	Descripción Efecto
FF3	Transmisión	FF3001	Bajo nivel de aceite hace que se neutralice los cambios	El equipo no puede ser movido por el operador
		FF3002	Varillaje de mandos suelto hace que se neutralice los cambios	
		FF3003	Entrada de aire en la manguera succión de la bomba hace que se neutralice los cambios	
		FF3004	Fallo en la Bomba de transmisión hace que se neutralice los cambios	
		FF3005	Válvula de Alivio desconfigurada hace que se neutralice los cambio	
		FF3006	Crucetas desarmadas y/o eje suelto hace que se neutralicen los cambios.	
		FF3007	No recibe el cambio de 1ra hacia adelante por daño en manguera hacia la válvula de alivio del convertidor	El operador no puede operar el equipo.
		FF3008	No recibe ningún cambio por daños en paquetes de discos internos en la transmisión	
		FF3009	Perdida potencia en el equipo y presenta ruido interno en el convertidor	
		FF3010	Ingresa cambios hacia adelante pero no ingresan cambios hacia atrás por problemas en graduación varillaje de marcha	
		FF3011	Fuga de aceite por Ruptura en Mangueras de la transmisión	Al presentarse una fuga de aceite en el sistema de la transmisión se baja el nivel de aceite lo que ocasiona neutralización de los cambios.
		FF3012	Fuga de aceite por base y/o ruptura filtro de la transmisión	
		FF3013	Fuga de aceite por válvula de alivio por sobre nivel de aceite en la transmisión	
		FF3014	Fuga de aceite por bomba de transmisión por ruptura de tornillos sujeción base.	
		FF3015	Fuga de aceite por daño en racor del enfriador de aceite	
		FF3016	Fuga de aceite por sello que une el convertidor con la volante del motor	
		FF3017	Sobrecalentamiento en transmisión por daño en ventilador enfriador de aceite	La alta temperatura en la transmisión conlleva a que sea detenido el equipo por parte del operador.
		FF3018	Sobrecalentamiento en transmisión presencia de aire en las tuberías de succión de aceite	
		FF3019	Sobrecalentamiento en transmisión por desgaste en bomba de aceite	
		FF3020	Sobrecalentamiento en transmisión por conexión incorrecta en las mangueras que llegan al enfriador de aceite	
		FF3021	Sobrecalentamiento en transmisión por fricción en paquetes de discos internos	
		FF3022	Sobrecalentamiento en transmisión por bajo nivel de aceite	
		FF3023	Presión baja de la salida del convertidor por daño en sellos	El equipo se vuelve lento y pierde fuerza por lo tanto el operador detiene el equipo.
		FF3024	Presión baja de la salida del convertidor por bomba de aceite	
		FF3025	Presión baja de la salida del convertidor por obstrucción en Válvula de Seguridad	

Tabla 15. Análisis Modo de Falla en el Sistema Eléctrico y sus Efectos.

Cod FF	Sistema en Falla	Cod FF1	Modo de Falla	Descripción Efecto
FF5	Eléctrico	FF5001	La volanta del motor no gira porque las baterías se encuentran descargadas.	Problemas de encendido del motor por lo que el operador no puede operarlo.
		FF5002	La volanta del motor no gira porque presenta daño el motor de arranque	
		FF5003	La volanta del motor no gira porque presenta daño el automático auxiliar	
		FF5004	La volanta del motor no gira porque la línea d alimentación y/o fusible se encuentra abierto para el paso de corriente al motor de arranque	
		FF5005	Las Baterías presenta bajo voltaje de 9 Voltios DC en el indicador del tablero porque las baterías no reciben carga y/o el alternador no está enviando cara a las baterías.	El operador para el equipo porque el tablero registra alarma de bajo voltaje.
		FF5006	Las Baterías presentan alto voltaje de 32 Voltios DC en el indicador del tablero porque el alternador no está regulando la carga.	El operador para el equipo porque el tablero registra alarma de alto voltaje.
		FF5007	No funcionan las luces de las lámparas por daño en arnés, switch de encendido, fusibles y/o en las propias luces.	El operador no puede operar el equipo por falta de visibilidad
		FF5008	No funciona pito de advertencia por corto en arnés, en switch y/o en Pito	El operador no debe operar el equipo por política de HSE.
		FF5009	No funciona la alarma de retroceso por corto en arnés, en microswitch y/o en alarma	
		FF5010	El tablero no registra ningún indicador en el tablero de control por corto en la portafusilera.	
		FF5011	Alta temperatura en motor, transmisión y/o Hidráulico por daño en sensor de temperatura.	El operador debe para el equipo por las alarmas presente en el tablero de control.
		FF5012	Alta temperatura en motor, transmisión y/o Hidráulico por daño en arnés que envía señal del sensor de temperatura.	
		FF5013	Alta temperatura en motor, transmisión y/o Hidráulico por daño en los indicadores de control.	

Tabla 16. Análisis Modo de Falla en el Sistema Cabina, diferencial, mandos, frenos y sus Efectos.

Cod FF	Sistema en Falla	Cod FF1	Modo de Falla	Descripción Efecto
FF6	Cabina	FF6001	Problemas de tapizado en silla	El operador para el equipo porque no se encuentra seguro y sin confort.
		FF6002	Cabina suelta y/o golpeada	
		FF6003	Tablero de control se encuentra suelta y/o cables desnudos	
		FF6004	Presenta fuga de aceite por mandos de Josctick	
		FF6005	Extintor vencido	
		FF6006	Resortes rotos en Pedales	
		FF6007	Tornillos rotos que asegura la estructura de la cabina	
FF7	Diferencial	FF7001	Neutralizado diferencial por dientes partidos de la corona y del speed	El operador no puede mover el equipo.
		FF7002	Ruido en Diferencial por Ruptura en tornillos que sujetan al housing	
FF8	Mandos Finales y Frenos	FF8001	Rueda del mando final derecho no presenta tracción debido a que tiene el eje partido y registra ruido	El operador no puede mover el equipo.
		FF8002	Rueda del mando final izquierda no presenta tracción debido a que tiene el eje partido y registra ruido	
		FF8003	Engranajes Planetarios del mando final se encuentra rotos por falta de lubricación	
		FF8004	Fuga de Aceite por tapón de drenaje – Rosca en mal estado	El operador no puede mover el equipo. La falta de aceite y/o la contaminación de los mandos con lleva a daños internos del sistema de engranaje
		FF8005	Fuga de Aceite por Sello Duo-Cone	
		FF8006	Fuga de Aceite por espárragos suelto que aseguran la carcasa del mando final	
		FF8007	Contaminación aceite de los mandos con aceite hidráulico por daño en sello paquete de frenos.	
		FF8008	El equipo no frena por Falla en los resortes interno de la válvula de freno de pie.	El operador no puede operar el equipo porque presenta falla en el sistema hidráulico
		FF8009	El equipo no frena por baja presión de 7.5Mpa en los acumuladores y/o daño en los mismos	
		FF8010	El equipo se encuentra frenado por falla en la electroválvula	

Tabla 17. Análisis Modo de Falla en Estructura del balde y Chasis y sus Efectos.

Cod FF	Sistema en Falla	Cod FF1	Modo de Falla	Descripción Efecto
FF9	Estructura del Balde y Chasis	FF9001	Presencia de Grietas en junta que aseguran el balde	El operador no puede operar el equipo por daño en Balde y Chasis.
		FF9002	Presencia de Grietas, ruptura y/o desgaste en bujes y/o pasadores que aseguran el balde	
		FF9003	Presencia de Grietas y/o ruptura de pasadores en estructura del Boom	
		FF9004	Presencia de Grietas y/o ruptura de base que asegura cilindro levante del Boom	
		FF9005	Desgaste de la cuchilla del balde	
		FF9006	Grietas en chasis.	
		FF9007	Desgaste Tope de chasis para la ecualización del equipo	
		FF9008	Desgaste en bujes de bronce en basculante del chasis por falta de lubricación	
		FF9009	Tapa protectora del catalizador suelta – Tornillos sueltos y/o rosca en mal estado	
		FF9010	Desgaste y/o juego en buje, rotulas, y/o pasadores de la articulación central del equipo por falta de lubricación	
		FF9011	Ruptura y/o sueltos Espárragos que aseguran U del chasis basculante.	

Tabla 18. Análisis Modo de Falla en Sistemas Hidráulicos y sus Efectos.

Cod FF	Sistema en Falla	Cod FF1	Modo de Falla	Descripción Efecto
FF10	Hidráulico	FF10001	No acciona los cilindros hidráulicos por bajo nivel en tanque	El operador no opera el equipo por falla en el sistema hidráulico
		FF10002	No acciona los cilindros hidráulicos por baja presión en Bomba piloto	
		FF10003	No acciona los cilindros hidráulicos por fuga en sellos internos	
		FF10004	No acciona los cilindros hidráulicos por baja presión en la Bomba Principal	
		FF10005	No acciona los cilindros hidráulicos por fuga interna en los spool de los Josstick	
		FF10006	No acciona los cilindros hidráulicos por falta de graduación en la válvula de descarga	
		FF10007	Alta temperatura de aceite hidráulico por bloqueo en filtro de aceite	Tablero registra alta temperatura en el sistema hidráulico por lo tanto el operador no puede continuando, operando el equipo.
		FF10008	Alta temperatura de aceite hidráulico por insuficiencia de aceite	
		FF10009	Alta temperatura de aceite hidráulico por presencia de aire en el sistema	
		FF10010	Alta temperatura por radiador obstruido	
		FF10011	Alta temperatura por aspas rota que refrigeran el radiador	
		FF10012	Alta temperatura por sobre nivel en aceite hidráulico	
		FF10013	Alta temperatura por obstrucción del sistema hidráulico	
		FF10014	Alta temperatura por el spool de la válvula de levante que se encuentra obstruida por suciedad	
		FF10015	Fuga de aceite por mirilla en tanque hidráulico	El equipo se queda sin aceite para mover los cilindros hidráulicos por lo tanto no se puede operar el equipo.
		FF10016	Fuga de aceite por mangueras hidráulicas desgrafadas y/o ruptura en cuerpo por roce	
		FF10017	Fuga de aceite por sellos en cilindros hidráulico	
		FF10018	Fuga de aceite por filtro obstrucción en filtro retorno	
		FF10019	Fuga de aceite por cuerpo en bomba de trabajo	
		FF10020	Fuga de aceite por radiador de aceite hidráulico	
		FF10021	Fuga de aceite por daño en racor en válvula principal	
		FF10022	Ruido y vibración en el sistema hidráulico por bajo nivel de aceite	El operador detiene el equipo por presencia de ruido en el sistema.
		FF10023	Ruido y vibración en el sistema hidráulico por obstrucción en tubería de succión	
		FF10024	Ruido y vibración en el sistema hidráulico por emulsificación y deteriorado del aceite	
		FF10025	Ruido y vibración en el sistema hidráulico por vibración en la Válvula de alivio	
		FF10026	Ruido y vibración en el sistema hidráulico por presencia de aire en el sistema	
		FF10027	Ruido y vibración en el sistema hidráulico por desgaste en las partes internas de la bomba de trabajo	

7.5 ANÁLISIS CONSECUENCIAS DEL CARGADOR DERUI WJ-2.

Después de analizar los diversos modos de fallas que presenta los componentes del equipo, se procede a determinar las consecuencias de estas fallas, su criticidad y la selección de las tareas que debe desarrollar los técnicos de mantenimiento para aumentar la disponibilidad y confiabilidad en los equipos (Tabla 19).

Tabla 19. Análisis Consecuencias del Cargador Derui WJ-2.

Tabla para determinar la Consecuencia			
Item	Variable de Estudio	Puntaje	Observación
Números de Fallas			
1	Frecuencia de Fallas	4	Mayor a 40 Fallas al año
		3	Entre 20 y 40 Fallas al año
		2	Entre 10 y 20 Fallas al año
		1	Menos de 10 Fallas al año
Afectación en la operación			
2	Impacto en la operación	10	Parada en toda la empresa
		8	Parada parcial en la empresa
		6	Afecta el costo operacional
		1	No afecta las operaciones
Flexibilidad del equipo			
3	Flexibilidad del equipo	4	No puede laborar el equipo
		1	El equipo puede terminar la labor en el turno
Gastos en Mantenimiento			
4	Costo de Mantenimiento	4	≥\$15.000.000
		3	Entre \$5.000.000 y \$15.000.000
		2	Entre \$1.200.000 y \$5.000.000
		1	≤ \$ 1.200.000
Seguridad Ambiental y Humana			
5	Impacto en Seguridad Ambiental y Humana	8	Fatalidad al personal de operación
		6	Efectos Irreversible en el medio ambiente
		2	Efecto Controlado en el medio ambiente
		1	No Impacto ambiental

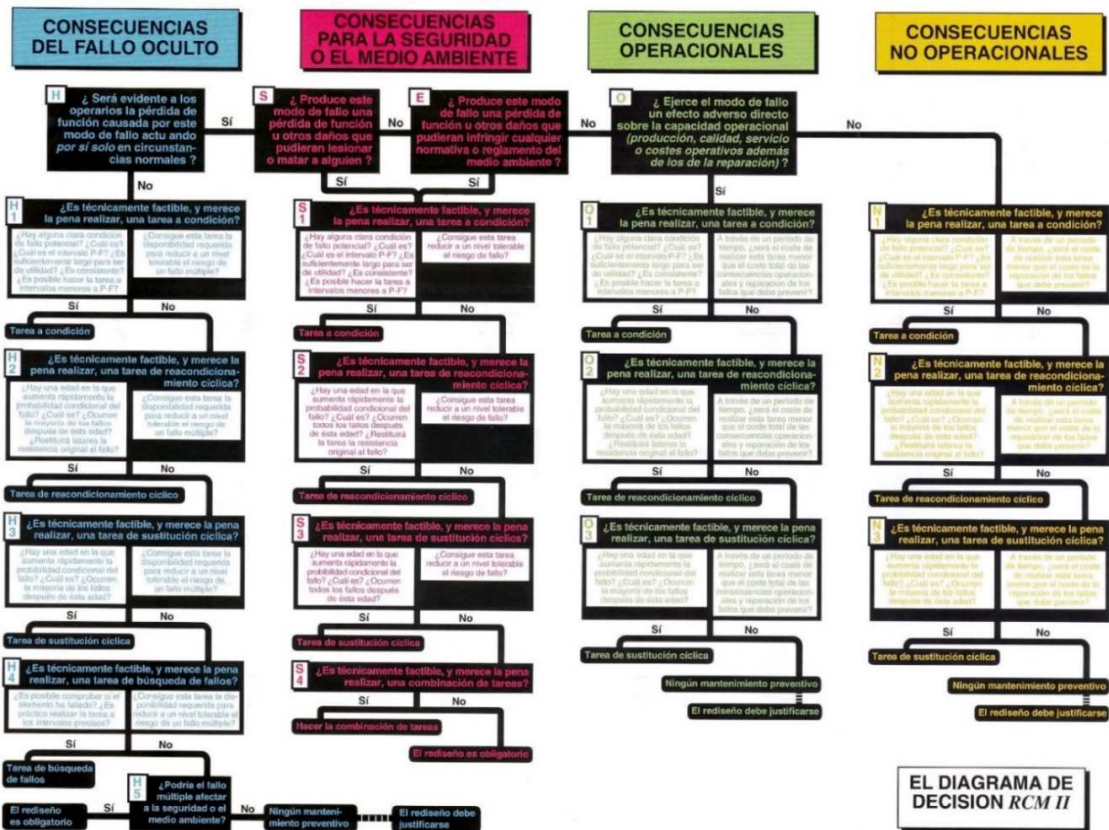
7.6 MATRIZ DE RIESGOS Y DIAGRAMA DE DECISIÓN

En la Tabla 20 a continuación se analiza la matriz de riesgo que puede darse en cada una de las fallas del sistema dividiéndola en cuatro (4) áreas de interés como la seguridad en ser humano y el medio ambiente, los costos causados en mantenimiento, la flexibilidad del equipo y el impacto operacional por causa de las fallas funciones primarias del Cargador de bajo perfil Derui en un espacio de tiempo en meses. Esta Tabla nos puede ayudar a seleccionar los mayores riesgos que puede darse en la operación de la Mina La Gitana.

Tabla 20. Matriz de Riesgos Implementada.

Criticidad					Frecuencia	Probabilidad			
Impacto Operacional	Flexibilidad del Equipo	Costos Mantenimiento	Seguridad Ambiental y Humana	Consecuencia		No Probable	Ocasional	Moderado	Frecuente
Parada en la Empresa	No Puede Laborar	≥\$15.000.000	Fatalidad al Personal	Critico	4	A4=4	B4=8	C4=12	D4=16
Parada Parcial Empresa	Medio	Entre \$5.000.000 y \$15.000.000	Efecto Irreversible	Importante	3	A3=3	B3=6	C3=9	D3=12
Afecta costo Operacional	Bajo	Entre \$1.200.000 y \$5.000.000	Efecto Controlado	Moderado	2	A2=2	B2=4	C2=6	D2=8
No afecta la Operación	Equipo Termina Labor	≤ \$ 10200.000	No Impacto	Opcional	1	A1=1	B1=2	C1=3	D1=4
						10	20	30	40
						Frecuencia			
						A	B	C	D

Figura 77. Diagrama de decisión RCM2.



Fuente: Moubray, 2004.

7.7 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Los resultados que se obtuvieron en el análisis de Criticidad en RCM arrojó un total de 624 tareas que corresponde a posibles fallas potenciales, de las cuales 92 son de tipo CRITICO que representa el 14,7% de la muestra, 80 y 84 de tipo IMPORTANTE que representa el 12,8% y 13,4%, 52, 40, 56 y 24 de tipo OPCIONAL que representa el 8,3%, 6,4%, 8,9% y 3,8% (Tabla 20).

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia (1)} * \text{Consecuencia (2+3+4+5)}$$

Tabla 21. Análisis de Criticidad.

Calculo Criticidad Modo de Fallas											
Item	Cod FF	Modo de Falla	Puntaje					Valor Total	%	Escala de Referencia	
			1	2	3	4	5				
1	FF1	Motor	4	10	4	3	6	92	14,7%	Crítico	
2	FF2	Refrigeración	4	6	4	1	2	52	8,3%	Opcional	
3	FF3	Transmisión	4	10	4	3	6	92	14,7%	Crítico	
4	FF4	Dirección	4	10	1	1	8	80	12,8%	Importante	
5	FF5	Eléctrico	4	6	1	1	2	40	6,4%	Opcional	
6	FF6	Cabina	4	6	1	1	2	40	6,4%	Opcional	
7	FF7	Diferencial	4	6	1	1	6	56	8,9%	Opcional	
8	FF8	Mandos y Frenos	4	6	1	1	8	64	10,2%	Moderado	
9	FF9	Balde y Chasis	2	6	1	3	2	24	3,8%	Opcional	
10	FF10	Hidráulico	4	10	4	1	6	84	13,4%	Importante	
Total								624			
RESUMEN			Escala de Referencia						Cantidad		
			CRITICO						2		
			IMPORTANTE						2		
			MODERADO						1		
			OPCIONAL						4		

7.8 PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL CARGADOR DERUI WJ-2

El Plan de mantenimiento se desarrolló con base en la información sugerida por el fabricante, al igual que la información extraída del ckeck-list (Anexo 1 – Tabla 26) del equipo reportada por el operador y de las ordenes de trabajo (Anexo 1 – Tabla 27) elaborada por los técnicos de mantenimiento.

Los diversos reportes trajeron consigo información de fallas funcionales, modos de fallas y riesgos que presento cada uno de los sistemas del Cargador Bajo Perfil

Derui WJ-2 durante el tiempo de la operación. En ese momento, se planearon tareas de monitoreo a cada uno de los sistemas que hace parte del equipo que deberían ser verificadas por el personal de producción y de mantenimiento para garantizar la no ocurrencia de fallas y actuar de manera oportuna en la prevención de esta.

Las diversas tablas (Tabla 22, 23, 24 y 25) que se describen a continuación traen consigo una serie de actividades con su frecuencia para ser desarrolla a cabalidad por los técnicos de mantenimiento, ya que con esto se logra disminuir el impacto y riesgos de fallas funcionales, así como la disminución de costos de mantenimiento y tiempos de parada.

Tabla 22. Plan Mantenimiento RCM, Sistema de Estudio Motor y Refrigeración.

Sistema	Descripción de la Tarea	Variable (Horas)	Frec.
CF01 MOTOR	Cambio Filtro de aire	Horas de Operación	30
	Cambio Filtro de Aceite	Horas de Operación	120
	Cambio Filtro de Combustible	Horas de Operación	120
	Cambio Filtro Separador de Combustible	Horas de Operación	120
	Tomar Muestra de Aceite (Análisis Partículas de Silicio, Cu, He,)	Horas de Operación	120
	Inspeccionar Estado de los cauchos y tornillos soporte motor	Horas de Operación	120
	Inspeccionar Tensión de la Correa Ventilador y/o Alternador	Horas de Operación	120
	Revisar Visualmente fuga de aceite motor	Horas de Operación	120
	Revisar Visualmente fuga de combustible por galerías	Horas de Operación	120
	Remover partículas de carbón que se adhiere en la zona del catalizador	Horas de Operación	120
	Medir Presión de Combustible / Revisar Visualmente B/B Transferencia	Horas de Operación	2000
	Calibración Válvulas de admisión y Escape	Horas de Operación	5000
	Cambio Filtro de Aceite	Horas de Operación	240
	Cambio Filtro de Combustible	Horas de Operación	240
	Cambio Filtro Separador de Combustible	Horas de Operación	240
	Tomar Muestra de Aceite (Análisis Partículas de Silicio,Cu,He)	Horas de Operación	240
	Ajustar Tapón de la Culata	Horas de Operación	240
	Revisar Juego Radial y Axial del Turbocompresor	Horas de Operación	240
	Inspeccionar Ductos de admisión por ruptura de manguera	Horas de Operación	240
	Inspeccionar Estado Carcaza Filtro de aire	Horas de Operación	240
	Limpieza Posenfriador para remover partículas de material adherido	Horas de Operación	240
	Limpieza Enfriador de aceite para remover partículas de carbón	Horas de Operación	240
	Inspeccionar estado guaya de aceleración	Horas de Operación	240
	Limpieza catalizador gases de escape para remover partículas de carbón	Horas de Operación	240
	Reparación de Motor	Horas de Operación	10000
	Inspeccionar estado de los espárragos que sujetan manifold gases escape	Días Calendario	1
	Monitorear Estado de los tubos de gases y abrazaderas de sujeción	Días Calendario	1
	Monitorear los niveles de aceite motor	Días Calendario	1
	Monitorear partículas de carbón en la zona de motor	Días Calendario	1
	Monitorear Tapas laterales del motor	Días Calendario	1
	Monitorear Visualmente Fuga de aceite alrededor del motor	Días Calendario	1
CF02 REFRIGERACIÓN	Inspeccionar estado y juego aspas del ventilador	Horas de Operación	120
	Limpieza ductos de refrigeración	Horas de Operación	120
	Inspeccionar estado de las correas de accionamiento del ventilador	Horas de Operación	120
	Inspeccionar estado de la polea del ventilador	Horas de Operación	120
	Limpieza aletas de los cilindros del motor	Horas de Operación	240
	Cambio rodamientos del ventilador	Horas de Operación	2000

Tabla 23. Plan Mantenimiento RCM, Sistema de estudio Dirección y Transmisión.

Sistema	Descripción de la Tarea	Variable (Horas)	Frec.
CF05 ELÉCTRICO	Limpieza conectores del arnés eléctrico	Horas de Operación	120
	Revisar nivel de agua destilada de las baterías	Horas de Operación	120
	Rotación de las Baterías	Horas de Operación	120
	Limpieza portafusibles y Portarelee	Horas de Operación	120
	Revisar recorrido y funcionamiento del microswitch alarma de retroceso	Horas de Operación	120
	Revisar cableado de energía que se encuentre en buen estado	Horas de Operación	120
	Revisar y limpieza conexiones del motor de arranque y alternador	Horas de Operación	240
	Revisar y limpieza conexiones bornes de la batería	Horas de Operación	240
	Monitorear conexión y funcionamiento a la electroválvula freno de parqueo	Horas de Operación	240
	Revisar continuidad del cable eléctrico	Horas de Operación	480
	Revisar funcionamiento automático auxiliar	Horas de Operación	240
	Desarme alternador para realizarle mantenimiento a las partes internas	Horas de Operación	1000
	Desarme motor de arranque para realizarle mantenimiento a la parte interna	Horas de Operación	1000
	Revisar Carga registrada en el voltímetro alimentada por el alternador	Días Calendario	1
	Inspeccionar funcionamiento luces estroboscópica	Días Calendario	1
	Inspeccionar funcionamiento alarma de reversa	Días Calendario	1
	Inspeccionar funcionamiento de luces y pito	Días Calendario	1
CF06 CABINA	Inspeccionar sujeción tablero de fusibles	Días Calendario	1
	Inspeccionar sujeción luces estroboscópica	Días Calendario	1
	Inspeccionar sujeciones exploradoras que se encuentran en la cabina	Días Calendario	1
	Inspeccionar sujeción del tablero de control	Días Calendario	1
	Inspeccionar Resorte del pedal de aceleración y frenos	Días Calendario	1
	Inspeccionar estado del cinturón de seguridad	Días Calendario	1
	Inspeccionar estado de los tornillos que sujetan a la cabina	Días Calendario	1
	Inspeccionar estado del extintor	Días Calendario	1
	Inspeccionar estado de la silla y si está en mal estado cambiarla	Días Calendario	1
	Inspeccionar Funcionamiento Manómetro del Tablero de Control	Días Calendario	1
	Inspeccionar sujeción switch de encendido	Días Calendario	1
	Inspeccionar sujeción freno de parqueo	Días Calendario	1
CF07 DIFERENCIAL	Cambio aceite diferencial	Horas de Operación	1000
	Revisar fuga de aceite por retenedor del speed	Días Calendario	1
	Revisar tornillos sujeción del diferencial	Horas de Operación	240
	Revisar nivel de aceite del diferencial	Horas de Operación	120
	Revisar y ajustar espárragos que sujetan el housing del diferencial	Horas de Operación	240
	Revisar juego del rodamiento presente en el speed	Horas de Operación	240
	Cambio Diferencial para ajuste y cambio de las partes internas	Horas de Operación	10000

Tabla 24. Plan Mantenimiento RCM, Sistema de estudio Eléctrico, Cabina y Diferencial.

Sistema	Descripción de la Tarea	Variable (Horas)	Frec.
CF03 DIRECCIÓN	Cambio Filtro aceite de la Bomba Piloto	Horas de Operación	1000
	Medir Presión del sistema de dirección	Horas de Operación	240
	Medir Presión en la válvula reguladora de seguridad	Horas de Operación	240
	Medir Presión de la válvula reguladora de sobrepresión	Horas de Operación	240
	Cambio aceite hidráulico de la dirección	Horas de Operación	2000
	Lubricación rotulas para articulación extremos del cilindro dirección	Días Calendario	1
	Inspeccionar Topes del Chasis para evitar mayor recorrido en articulación	Días Calendario	1
	Inspeccionar Tornillos que aseguran la base del Cilindro de dirección	Días Calendario	1
	Inspeccionar fuga de aceite en cuerpo de la bomba principal	Días Calendario	1
	Inspeccionar estado de las mangueras del sistema de dirección	Días Calendario	1
	Monitorear fuga de aceite en racores cilindro de dirección y B/B Piloto	Días Calendario	1
	Monitorear en el manómetro la presión que envía la Bomba Piloto	Días Calendario	1
	Monitorear fuga de aceite válvula de dirección	Días Calendario	1
	Monitorear fuga de aceite en cilindro de dirección	Días Calendario	1
	Monitorear fuga de aceite en joystick de mandos	Días Calendario	1
CF04 TRANSMISIÓN	Cambio Filtro aceite transmisión	Horas de Operación	240
	Cambio Aceite de la transmisión	Horas de Operación	240
	Tomar Muestra de Aceite (Análisis Partículas de Silicio,Cu,He, Pb)	Horas de Operación	240
	Medir Presión de la Bomba Lubricación del Convertidor y Transmisión	Horas de Operación	240
	Limpieza Enfriador de aceite de la transmisión para remover partícula	Horas de Operación	240
	Lubricación crucetas del eje de cardan	Horas de Operación	240
	Monitorear fuga de aceite por retenedor de la transmisión y convertidor	Horas de Operación	240
	Lubricar Chumacera del eje cardan	Horas de Operación	240
	Inspeccionar juego en chumaceras de mando de la transmisión	Horas de Operación	120
	Inspeccionar fuga de aceite en Transmisión y Convertidor	Días Calendario	1
	Inspeccionar fuga de aceite en Bomba Lubricación Convertidor	Días Calendario	1
	Inspeccionar Fuga de aceite por Spool de la Transmisión	Días Calendario	1
	Revisar varillaje de mando de los cambios de la Transmisión	Días Calendario	1
	Inspeccionar nivel de aceite de la transmisión	Días Calendario	1
	Inspeccionar tornillos sujeción carcasa de la transmisión y convertidor	Días Calendario	1
	Inspeccionar funcionamiento de los ventiladores enfriador de aceite	Días Calendario	1
	Inspeccionar fuga de aceite por válvula de alivio del convertidor	Días Calendario	1
	Inspeccionar en el manómetro la temperatura aceite de la transmisión	Días Calendario	1
	Inspeccionar presencia de aceite entre convertidor y motor	Días Calendario	3
	Inspeccionar tornillos sujeción del enfriador de aceite	Días Calendario	1
	Inspeccionar Enfocador de aire del enfriador de aceite	Días Calendario	1
	Inspeccionar fuga de aceite y/o roce en mangueras del sistema transmisión	Días Calendario	1
	Cambio Convertidor	Horas de Operación	1000
	Cambio Transmisión	Horas de Operación	1000
	Cambio Bomba de lubricación del convertidor	Horas de Operación	1000

Tabla 25. Plan Mantenimiento RCM, Sistema de estudio Mandos, Frenos, Estructura balde y chasis, hidráulica.

Sistema	Descripción de la Tarea	Variable (Horas)	Frec.
CF08 MANDOS FINALES Y FRENOS	Cambio aceite Mandos Finales	Horas de Operación	1000
	Inspección fuga de aceite por mandos finales	Días Calendario	1
	Revisar y Ajustar espárragos que sujetan las ruedas	Días Calendario	1
	Inspeccionar fuga de aceite por sello duo cone de la rueda	Días Calendario	1
	Revisa Presión de las ruedas	Días Calendario	1
	Revisar nivel de aceite Mandos Finales	Horas de Operación	240
	Revisar funcionamiento válvula de freno pie	Horas de Operación	240
	Cambio sello del paquete de frenos	Horas de Operación	5000
	Cambio Kit disco de frenos	Horas de Operación	10000
	Cambio Rodamientos mandos finales	Horas de Operación	10000
	Cambio Tuerca y pin de seguridad de los mandos finales	Horas de Operación	10000
CF09 ESTRUCTURA DEL BALDE Y CHASIS	Revisar e inspeccionar grietas presentes en las juntas del balde	Días Calendario	1
	Revisar e inspeccionar grietas en la estructura del Boom	Días Calendario	1
	Revisar e inspeccionar topes de ecualización del casis	Días Calendario	1
	Lubricar las partes de articulación del balde y chasis	Días Calendario	1
	Revisar e inspeccionar mangueras de lubricación del basculante	Horas de Operación	480
	Revisar, inspeccionar y apretar espárragos sujeción tapa en U del basculante	Horas de Operación	480
	Cambio Rotulas, shims de ajuste y pasador a la articulación central	Horas de Operación	5000
	Cambio Bujes del basculante eje trasero	Horas de Operación	5000
	Cambio bujes, rotulas y pasadores del cilindro dirección	Horas de Operación	5000
	Cambio Bujes y pasadores de soporte cuchilla del dumping	Horas de Operación	5000
	Cambio cuchilla del balde	Horas de Operación	2000
	Revisar y corregir grietas en el chasis	Horas de Operación	2000
	Cambio Bujes y Pasadores de la articulación del balde	Horas de Operación	10000
CF10 HIDRÁULICA	Cambio Filtro aceite retorno del tanque hidráulico	Horas de Operación	2000
	Cambio Filtros de succión del tanque hidráulico	Horas de Operación	2000
	Cambio Filtro respiradero tanque hidráulico	Horas de Operación	2000
	Cambio aceite del tanque hidráulico	Horas de Operación	2000
	Toma muestra de aceite para revisar desgaste de materiales	Horas de Operación	2000
	Ajustar tornillos que aseguran el visor nivel al tanque hidráulico	Horas de Operación	2000
	Revisar e inspeccionar fuga de aceite por mangueras hidráulicas	Horas de Operación	120
	Monitorear Presión Hidráulica de la Bomba de trabajo	Horas de Operación	240
	Revisar e inspeccionar fuga de aceite por Cilindros Hidráulicos	Días Calendario	1
	Revisar e inspeccionar fuga de aceite por cuerpo de válvula principal	Días Calendario	1
	Revisar e inspeccionar fuga de aceite por válvula de distribución	Días Calendario	1
	Revisar e inspeccionar aspas del ventilador del radiador hidráulico	Días Calendario	1
	Revisar, limpiar e inspeccionar estado del radiador	Horas de Operación	240
	Medir Presión de la Bomba de Trabajo	Horas de Operación	240

7.9 INVENTARIO DE REPUESTOS A USAR EN EL CARGADOR DERUI WJ-2

Para lograr los mantenimientos preventivos y correctivos programados en el Cargador de bajo perfil Derui WJ-2 se debe contar con una serie de repuestos mínimos en el almacén de la Empresa para evitar paradas prologadas por no contar con el repuesto en sitio de trabajo, pues la operación de la mina la Gitana se encuentra en una zona rural.

Debido con lo anterior, se desarrolló un listado de Repuestos mínimos (Tabla 28 – Anexo2) establecidos y sugeridos por el operador, el supervisor de mina, los técnicos de mantenimiento, el director de mina y el Ingeniero de Mantenimiento que debe poseer el almacén en custodia para atender cualquier eventualidad que presentara el Cargador de Bajo Perfil Derui WJ-2 en la operación de la mina la Gitana.

8. CONCLUSIONES

- A partir de la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM se logró trabajar en conjunto con el área de producción y el área de mantenimiento logrando identificar las fallas funcionales críticas que presenta el cargador de bajo perfil Derui durante la operación, presentado en las tablas de fallas en la monografía, esto con el fin de aumentar la disponibilidad y confiabilidad del equipo, reducir las fallas imprevistas que se registraban en campo y lograr los objetivos trazados por la gerencia de producción.
- Al realizar el estudio del análisis de Modos de Fallas y sus Efectos se logró conocer que sistemas que componen al cargador de bajo perfil Derui WJ-2 impactaban negativamente en la disponibilidad de dicho equipo, en este caso los sistemas de motor con un 23% y la transmisión con 22% descritos en la Tabla 6, situación que llevo al personal técnico de mantenimiento a ceñirse en el plan de mantenimiento RCM propuesto en la empresa para que abarque estos sistemas de interés, sin descuidar los otros sistemas y poder de esta forma garantizar la confiabilidad del equipo.
- El vincular el plan de mantenimiento RCM en la empresa, se logró conocer que inventario mínimo de repuesto debe contar en el almacén para atender los mantenimientos de los equipos durante el alistamiento en el taller por parte de los técnicos de mantenimiento.
- En reunión con la Gerencia General y los demás departamentos de interés de la empresa se le sugirió como compromiso la adquisición de un software que almacene la información de los equipos y los costos que se incurren en el área de mantenimiento.

- Al implementar el Mantenimiento Centrado de Confiabilidad RCM a los cargadores de bajo perfil Derui WJ-2 se obtuvieron resultados positivos de disponibilidad en cada uno de ellos, pasando desde un porcentaje del 45% al 85%, esto a su vez contribuyo a que se cumpliera con la meta de producción establecida por la gerencia de 250 Toneladas por día.
- Del conjunto de equipos que posee la empresa Frontiercoal, que son alrededor de 24 (Descritos en la Tabla No.1), se toma como fuente de estudio para aplicar RCM a los tres (3) Cargadores de Bajo Perfil Derui WJ-2, ya que pertenecen al grupo de equipos críticos por la Gerencia para la extracción del carbón, pues su capacidad de cague en el balde es de 3 M3 por viaje en una mina subterránea.

BIBLIOGRAFIA

ALIBABA. [Sitio web]. Detalle de producto [Consulta: 24 de octubre 2020]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/150hp-deutz-engine-bf6l914-for-forklift-60413220405.html>

ALVA, Ismael. "Estudio de Optimización de Costos de Operación de una Flota de Scooptrams en una Mina Subterránea". Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Mecánica. Lima-Peru. 2009

CATERPILLAR. "Caterpillar 3512 PKG Servicio de Emergencia 1750 kVA". Disponible en: http://www.finanzauto.es/images/documentos/productos/soluciones_energeticas_propulsion/diesel/EMST_1750_V09-16_-_3512_PGEI_175050E05.pdf

CATERPILLAR. [Sitio web]. "Retroexcavadoras cargadoras". [Consulta: 06 de septiembre 2020]. Disponible en: https://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/backhoe-loaders.html

CCM. [Sitio web]. "Proceso Extracción Mina Subterránea". [Consulta: 10 de septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.ccm.cl/proceso-extraccion-mina-subterranea/>

CETEMIN. "Sistemas de SCOOP". Centro Tecnológico Minero. Oroscoatt. Maquinarias Pesadas. 2011. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqSDhDOWIhVy1ZdEE/edit>

DEUTZ, AG. "Ingeniería de motores por productos. Serie de motores DEUTZ 914". Deutz, Service Training. Training Center Köln. 2002. Disponible en:

<https://idoc.pub/documents/motores-deutz-curso-capacitacion-serie-914-51431wxz7gnj>

FLOREZ, Camilo. "Informe de práctica sostenimiento de minas; Mina la Gitana". Universidad Francisco de Paula Santander. 2017.

FRONTIERCOAL. [Sitio web]. ¿Quiénes somos? [Consulta: 20 de agosto 2020]. Disponible en: <https://frontiercoal.com/frontier-coal-nosotros.html>

KAESER. "Compresores de tornillo". Kaeser compresores de Argentina S.R.L. Disponible en: <https://ar.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:42-5928>

MAQUINARIAS PESADAS. "Sistemas de transmisión. Teoría de funcionamiento". Material Sistema de Transmisión del Scooptram - Estructura y Componentes, Maquinaria Pesada. 2010. Disponible en: <https://www.maquinariaspesadas.org/blog/2750-material-sistema-transmision-scooptram-estructura-componentes>

MERCADOVIAL. [Sitio web]. "6 nuevas máquinas se unen a la línea de 20 máquinas de LiuGong, cubriendo cada aplicación principal". [Consulta: 06 de septiembre 2020]. Disponible en: <https://mercadovial.tv/2019/04/22/6-nuevas-maquinas-se-unen-a-la-linea-de-20-maquinas-de-liugong-cubriendo-cada-aplicacion-principal/>

MOUBRAY, John. "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II". Aladon LLC. 1-97. 2004.

Sánchez de Puerta, Alberto. "Diseño de un Plan de mantenimiento metodológica RCM para una línea de valorización de PEBD". Julio 2016.

SANDVIK. [Sitio web]. Cargadores de bajo perfil. [Consulta: 01 de septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.rocktechnology.sandvik/es-la/productos/cargadores-y-camiones-subterr%C3%A1neos/bajo-perfil/>

SARIEGO, Pedro. "Rediseño conceptual e ingeniería de detalle de cargador frontal de bajo perfil para la minería subterránea". Departamento de Mecánica, Universidad Técnica Federico Santa María. 2005.

WIKIPEDIA. [Sitio web]. Municipios de Santander. [Consulta: 20 de agosto 2020]. Disponible en: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Colombia_-_Norte_de_Santander_-_Sardinata.svg

ANEXOS

ANEXO A. FICHAS DE MANTENIMIENTO

		FORMULARIO DE CONTROL					
		TIPO EQUIPO	MODELO	LISTA DE CHEQUEO DIARIO	DERECHO		
				LHD WJ-2	# 2		
HOROMETRO		ABASTECIMIENTO					
INICIO		GALONES	COMBUSTIBLE	ACEITE HDR.	ACEITE MOTOR	GRASA	OPERADOR
FINAL						kg	FECHA
							TURNO
N°	ITEMS A SER VERIFICADOS	ENTRADA		OBSERVACION			
		BUENO	MALO				
MOTOR DIESEL							
1	NIVEL ACEITE MOTOR						
2	FUGAS EXTERNAS						
3	DUCTOS DE ADMISION - ESCAPE						
4	ALTERNADOR - ARRANCADOR						
5	CORRIENTES DE VENTILADOR - ALTERNADOR						
6	OTROS						
SIST. HIDRAUL. TRANSM.							
7	SISTEMA DE TRANSMISION						
8	FRENOS DE SERVICIO - PARQUEO						
9	SISTEMA DE DIRECCION						
10	SISTEMA DE REFRIGERACION						
11	OTROS						
SISTEMA ELECTRICO							
12	LUCES DELANTERAS Y TRASERAS						
13	PITO - ALARMA DE REVERSA						
14	INDICADORES ELECTRICOS						
15	OTROS						
LLANTAS, CHASIS Y BOOM							
16	NEUMATICOS						
17	TUERCAS DE NEUMATICOS						
18	ESTRUCTURA CHASIS						
19	OTROS						
IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD							
20	EXTINTOR INCENDIOS (Manual)						
21	CORREA DE SEGURIDAD						
22	ASIENTO DE OPERADOR						
23	OTROS						
PUNDAJES POR MANTENIMIENTO Y/O FALLAS							
Código Falla	Hora Inicial	Hora Final	Observaciones	Código	Descripción		
				201	Falta de Operador		
				202	Falta de Labor		
				214	Falta de Ventilación		
				216	Accidente de Equipo		
				301	Mito Preventivo		
				302	Reparación Programada		
				303	Falla Mecánica Crítico / MC		
				402	Servicios Eléctricos		
				501	Otro		
TRABAJOS PENDIENTES							
REPUESTOS Y/O MATERIALES USADOS							
Item	Numero de Parte	Descripción	Cantidad		Cantidad		
OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS							
1.							
2.							

V° B° Técnico

V° B° Supervisor

Tabla 26. Check-List Diario de los Equipos

ANEXO B. TABLA DE INVENTARIOS

		TABLA DE REPUESTO A USAR EN EL ALMACEN PARA LOS MANTENIMIENTO DEL CARGADOR DERUI WJ-2			
Código	Sistema	Descripción del repuesto	Cant. Usar	Frecuencia	Cant.Minima
CF01	Motor	Filtro de Aire Externo	1	30 horas	4
		Filtro de Aire Interno	1	30 horas	4
		Filtro de Aceite	2	120 horas	2
		Filtro de Combustible Primario	2	120 horas	2
		Filtro de Combustible Separador	2	120 horas	2
		Correa Ventilador	1	3000 horas	1
		Correa Alternador	1	3000 horas	1
		Empaque Tapa Válvula	6	750 horas	6
		Retenedor Delantero Cigüeñal	1	Ocasional	1
		Retenedor Trasero Cigüeñal	1	Ocasional	1
		Galería de Combustible	6	Ocasional	6
		Carcaza Filtro de Aire	1	Ocasional	2
		Oring -Linea Desfogue	1	6000 horas	1
		Manguera de Amisión de 2" x 1.30 mts	2	12000 horas	2
		Abrazadera 2"	4	12000 horas	4
		Turbocompresor	1	12000 horas	1
		PosEnfriador	1	12000 horas	1
		Polea Tensora	1	6000 horas	1
		Bomba de Combustible Auxiliar	1	6000 horas	1
		Tapa Llenado Aceite Motor	1	Ocasional	1
		Medidor Nivel de Aceite	1	Ocasional	1
		Soporte Motor Delantero	2	Ocasional	4
		Soporte Motor Trasero	4	Ocasional	8
CF02	Refrigeración	Tornillo Sujeción Soporte Delantero 1/2"x 5"	2	Ocasional	8
		Tornillo Sujeción Soporte Delantero 1/2"x 4"	4	Ocasional	16
		Tapa Tanque de Combustible	1	Ocasional	1
		Rodamiento Exterior Ventilador	1	10000 horas	2
		Rodamiento Interior Ventilador	1	10000 horas	2
		Ventilador	1	12000 horas	1
		Tapa Protectora	1	12000 horas	1
		Sensor Temp Motor Deutz	1	12000 horas	1
		Sensor Tensión Correa Ventilador	1	12000 horas	1

Tabla 28. Repuestos a Usar para el Mantenimiento del Cargador DERUI WJ-2

CF02	Refrigeración	Rodamiento Exterior Ventilador	1	10000 horas	2
		Rodamiento Interior Ventilador	1	10000 horas	2
		Ventilador	1	12000 horas	1
		Tapa Protectora	1	12000 horas	1
		Sensor Temp Motor Deutz	1	12000 horas	1
CF03	Transmisión	Sensor Tensión Correa Ventilador	1	12000 horas	1
		Filtro de Aceite	2	240 horas	2
		Bomba de Transmisión	1	12000 horas	1
		Convertidor de Torque	1	12000 horas	2
		Transmisión	1	12000 horas	2
		Cruceta Eje Inferior	4	12000 horas	4
		Cruceta Eje Superior	2	12000 horas	2
		Retenedor Spool de la Transmisión	2	Ocasional	2
		Retenedor Convertidor	1	Ocasional	1
		Retenedor Transmisión	2	Ocasional	2
		Eje Cardam Inferior	1	24000 horas	1
		Eje Cardam Superior	1	24000 horas	1
		Tornillo Sujeción Base 1" x 1 1/2"	8	12000 horas	8
		Aspas sujección Volanta con Plato Conver	10	12000 horas	10
		Varilla Barra de Cambios	4	6000 horas	4
CF04	Dirección	Cilindro de Dirección	1	6000 horas	2
		Pasador Pin Cilindro	2	6000 horas	2
		Rotulas	4	6000 horas	4
		Bujes de Ajuste	4	6000 horas	4
		Bomba de Trabajo	1	12000 horas	1
		Bomba Piloto	1	6000 horas	1
		Válvula de Control	1	12000 horas	1

FC FRONTIER COAL		TABLA DE REPUESTO A USAR EN EL ALMACEN PARA LOS MANTENIMIENTO DEL CARGADOR DERUI WJ-2			
		Válvula de Seguridad	1	12000 horas	1
		Spool del Josctick Dirección	2	Ocasional	4
		Racor Cilindro Dirección	2	6000 horas	2
CF05	Eléctrico	Pito 24 Voltios	1	Ocasional	2
		Exploradora Tipo Led 24 Volt	4	Ocasional	6
		Fusible 10 amp	10	Ocasional	30
		Fusible 20 amp	10	Ocasional	30
		Fusible 30 amp	10	Ocasional	30
		Portafusibles	10	Ocasional	20
		Relee de 24 Voltios	12	Ocasional	24
		PortaRelee	12	Ocasional	24
		Cable 3 x 10	50 mts	Ocasional	100 mts
		Cinta Aislante	10	Ocasional	20
		Conector Macho	40	Ocasional	60
		Conector Hembra	40	Ocasional	60
		Alternador	1	6000 horas	2
		Motor de Arranque	1	6000 horas	2
		Sensor Preión Aceite Motor	1	24000 horas	1
		Sensor Temp Convertidor	1	24000 horas	1
		Baterías	2	12000 horas	4
		Switch Universal de Ignición	1	Ocasional	2
		Bombillo Led	4	Ocasional	8
		Automatico Auxiliar	1	Ocasional	2
		Coraza Arnes	50 mts	Ocasional	100 mts
		Cable 0-0 para Bateria	20 mts	Ocasional	40 mts
		Luz Estroboscópica	1	Ocasional	2
		Terminal de Ojo 1/2"	4	Ocasional	50
		Terminal de Ojo 1/4"	10	Ocasional	50
		Cable # 14	100 mt	Ocasional	200 mts
		Direccional	2	Ocasional	4
CF06	Cabina	Silla	1	Ocasional	2
		Manometro Temp Convertidor	1	Ocasional	2
		Manometro Temp Motor	1	Ocasional	2
		Voltmetro	1	Ocasional	2
		Horometro digital	1	Ocasional	2
		Manometro Presión Aceite Motor	1	Ocasional	2
		Manometro Presión Aceite Bomba Piloto	1	Ocasional	2
		Manometro Presión Aceite Convertior	1	Ocasional	2
		Manometro Presión Acumuladores Frenos	1	Ocasional	2
		Boton Freno Parqueo	1	Ocasional	2
		Cinturon de Seguridad	1	Ocasional	2
		Extintor	1	Ocasional	2
		Switch Direccional	1	Ocasional	2
		Coraza	2	Ocasional	4

		TABLA DE REPUESTO A USAR EN EL ALMACEN PARA LOS MANTENIMIENTO DEL CARGADOR DERUI WJ-2			
CF08	Mandos Finales y Frenos	Oring Paquete de Frenos	8	Ocasional	16
		Kit Paquete de Disco	4	Ocasional	4
		Rodamiento Exterior	4	Ocasional	8
		Rodamiento Interior	4	Ocasional	8
		Neumatico 1200 x 24	4	Ocasional	8
		Protector 1200 x 24	4	Ocasional	8
		Tuerca Pinadora	4	Ocasional	8
		Pin de Seguridad	4	Ocasional	8
		Resorte Paquete de Freno	40	Ocasional	80
		Tope Eje Tapa Mando	4	Ocasional	8
		Mando Final	4	Ocasional	4
		Válvula Freno de Pie	1	Ocasional	2
		Válvula Electromagnetica	1	Ocasional	2
		Válvula de Seguridad	1	Ocasional	2
		Válvula de Llenado	1	Ocasional	2
IE01	Estructura Balde y Chasis	Acumuladores	3	Ocasional	6
		Buje articulación central	6	Ocasional	12
		Rotula Articulación Central	2	Ocasional	4
		Pasador Articulación Central	2	Ocasional	4
		Buje Cilindro Levante del Boom	2	Ocasional	4
		Pasador Cilindro Levante del Boom	2	Ocasional	4
		Buje Cilindro articulación del balde	2	Ocasional	4
		Pasador Cilindro articulación del balde	2	Ocasional	4
		Buje de la H	4	Ocasional	8
		Buje Articulación del balde	4	Ocasional	8
		Pasador Articulación del balde	2	Ocasional	4
		Rotula Cilindro del Dumping	4	Ocasional	8
		Pasador Cilindro del Dumping	4	Ocasional	8
		Buje Soporte Cuchilla Dumping	8	Ocasional	16
		Pasador Soporte Cuchilla Dumping	4	Ocasional	2
		Buje Bronce Baculante Delantero	1	Ocasional	2
		Buje Bronce Basculante Trasero	1	Ocasional	2
		Tornillos Sujeción Cabina 3/4" x 1"	6	Ocasional	12
		Oxigeno	5	Ocasional	10
		Acetileno	5	Ocasional	10
		Disco de Corte de 4 1/2"	20	Ocasional	40
		Disco de Corte de 7 1/2"	20	Ocasional	40
		Soldadura 7018 x 1/4"	200 kg	Ocasional	400
		Disco de Pulir de 4 1/2"	20	Ocasional	40
		Disco de Pulir de 7 1/2"	20	Ocasional	40

		TABLA DE REPUESTO A USAR EN EL ALMACEN PARA LOS MANTENIMIENTO DEL CARGADOR DERUI WJ-2					
CF07	Diferencial	Corona	2	Ocasional	4		
		Planetarios	4	Ocasional	8		
		Satelites	8	Ocasional	16		
		Speed	2	Ocasional	4		
		Semiejes	4	Ocasional	8		
		Housing	2	Ocasional	2		
		Rodamiento SemiEje	4	Ocasional	8		
		Retenedor Eje	2	Ocasional	4		
		Rodamiento Speed	2	Ocasional	2		
		Shim de Ajuste	12	Ocasional	24		
IE02	Hidráulico	Cilindro Levante de Boom	1	Ocasional	2		
		Cilindro Escualización del Balde	1	Ocasional	2		
		Cilindro Accionamiento Dumping	2	Ocasional	4		
		Banco Válvula de Trabajo Principal	1	Ocasional	1		
		Bomba Principal de Trabajo	1	12000 horas	2		
		Josctick	4	Ocasional	4		
		Radiador Aceite Hidráulico	1	Ocasional	1		
		Aspas Ventilador	1	Ocasional	2		
		Filtro aceite Retorno Tanque Hidráulico	1	2000 horas	2		
		Filtro Respiradero Tanque Hidráulico	1	2000 horas	2		
		Indicador Nivel y Temperatura Aceite Hydco	1	Ocasional	2		
		Filtro Aceite Succión Superior	1	2000 horas	2		
		Filtro Aceite Succión Inferior	1	2000 horas	2		
		Filtro Aceite Bomba Piloto	1	2000 horas	2		
				Manguera Flexible Retorno 1"	1	Ocasional	2
				Abrazadera 1"	2	Ocasional	4
				Manguera Hidráulica Cilindro Dumping	4	Ocasional	12
				Manguera Hidráulica Succión Bomba Trabajo	1	Ocasional	4
				Manguera Hidraulica Articulación Central	1	Ocasional	4
Grasa		Grasa Crown Gulf Ep-2	8 Kg	Diario	16 Kg		
Lubricantes		Aceite Motor Gulf 15W40	7 galones	120 horas	55 galones		
		Aceite Hidraulico Gulf Sae 10	55 galones	2000 horas	110 galones		
		Aceite Tranmisión Gulf Sae 30	7 galones	240 horas	55 galones		
		Aceite Diferencial y Mando Gulf 80W90	16 galones	1000 horas	55 galones		