

DEFINICIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA LA FLOTA  
DE EQUIPOS FÉRREOS DEL PROYECTO DE OVERHAUL DE VÍA FÉRREA  
CERREJÓN

FABIÁN DAVID MONTEALEGRE BERMÚDEZ

BREYK ARNOLD QUINTERO BAYONA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2014

DEFINICIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA LA FLOTA  
DE EQUIPOS FÉRREOS DEL PROYECTO DE OVERHAUL DE VÍA FÉRREA  
CERREJÓN

FABIÁN DAVID MONTEALEGRE BERMÚDEZ

BREYK ARNOLD QUINTERO BAYONA

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de Especialista  
en Gerencia de Mantenimiento

Director: Ferney Álvarez  
Ingeniero en Instrumentación y Control  
Especialista en Gerencia de proyectos de Ingeniería

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2014

## DEDICATORIA

A Dios porque todo lo que tengo El me lo ha dado, y a mi familia que siempre me ha apoyado en mis sueños.

Fabián David Montealegre Bermúdez

---

A Dios por su incalculable fidelidad y ayuda en mi proceso como profesional y a mis padres y hermanos por su apoyo en todo lo que he emprendido.

Breyk Arnold Quintero Bayona

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. CONTEXTUALIZACIÓN	19
1.1 La vía férrea en Colombia	19
1.2 Vía Férrea de Carbones del Cerrejón	21
1.3 Mantenimiento de vías	23
1.4 Equipos auxiliares de vía férrea	25
2. MARCO TEÓRICO	34
2.1 Vía férrea	34
2.2 Estrategia de mantenimiento	36
2.3 Estándar Pass 55	39
2.3.1 Desarrollo de las políticas	39
2.3.2 Desarrollo de la estrategia	41
2.4 Taxonomía	43
2.5 Criticidad	45
2.5.1 Descripción del proceso	46
2.5.1.1 Recolección de la documentación técnica	46
2.5.1.2 Definición de criterios de evaluación de competencias	47
2.5.1.3 Definición de sistemas y subsistemas a analizar	47
2.5.1.4 Definición de funciones basadas en los sistemas y subsistemas	47
2.5.1.5 Identificación de la función principal	47

2.5.1.6 Identificación de las sub funciones	47
2.5.1.7 Determinación de redundancia en los sistemas principales	48
2.5.1.8 Evaluación de las consecuencias de falla en el sistema principal	49
2.5.1.9 Jerarquizar según su criticidad los sistemas principales en el área analizada	50
2.5.1.10 Determinación de redundancia en los subsistemas del sistema Principal analizado	50
2.5.1.11 Evaluación de las consecuencias de falla en los subsistemas del sistema principal analizado	50
2.6 La gestión del trabajo	51
2.6.1 La identificación del trabajo	51
2.6.2 La planificación	51
2.6.3 La programación	52
2.6.4 La ejecución	53
2.6.5 La finalización	53
2.6.6 La revisión	54
2.6.7 Gestión de paradas	54
2.7 Indicadores de mantenimiento	55
2.7.1 Tiempo promedio para fallar	57
2.7.2 Tiempo promedio para reparar	57
2.7.3 Disponibilidad	58
2.7.4 Utilización	58
2.7.5 Confiabilidad	58
2.7.6 Tiempo promedio entre fallos	59
3. PROPUESTA	60
3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN TÉCNICA	60

3.1.1 Descripción de los activos	61
3.1.2 Clasificación de la información técnica	62
3.2 TAXONOMÍA	63
3.3 CRITICIDAD	65
3.3.1 Definición de criterios de frecuencia	69
3.4 PLAN DE MANTENIMIENTO	71
3.4.1 Consideraciones generales	71
3.4.2 Desarrollo de la documentación	72
3.5 GESTIÓN DE PARTES Y REPUESTOS	81
3.6 PRESUPUESTO Y CONTROL DE COSTOS	81
3.7 MANEJO Y ADMINISTRACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO	83
3.7.1 Consideraciones generales para la gestión de información	83
3.7.2 Proceso general de información para mantenimiento	84
3.7.2.1 Solicitud de mantenimiento	85
3.7.2.2 Aprobación	86
3.7.2.3 Planificación	86
3.7.2.4 Preparación del trabajo	87
3.7.2.5 Base de datos mantenimiento periódico	89
3.7.2.6 Ejecución	89
3.7.2.7 Reporte de cierre	90
3.7.2.8 Análisis de información	92
3.7.3 Indicadores	93
3.8 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	95
3.8.1 Plan estratégico organizacional-proyecto overhaul de la vía férrea	96
3.8.1.1 Políticas de gestión de activos- ROP	96

3.8.1.2 Declaración de propósito- ROP	97
3.8.1.3 Objetivos estratégicos-ROP	97
3.9 GESTIÓN DE RIESGOS	98
3.10 CONSIDERACIONES SOBRE PASS 55	103
3.11 INTERFACES ENTRE LAS SELECCIONES DE MANTENIMIENTO DE FERROCARRIL Y EL PROYECTO ROP	107
4. CONCLUSIONES	108
BIBLIOGRAFÍA	110
ANEXOS	112

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Tramo de una vía férrea Colombiana.	19
FIGURA 2. Imagen oficial del tren de la empresa minera	22
FIGURA 3. Mantenimiento con herramientas manuales en la vía	24
FIGURA 4. Tampeadora de la empresa	26
FIGURA 5. Tie crane	27
FIGURA 6. Tie exchanger	27
FIGURA 7. RFDC Ultrasonido	28
FIGURA 8. Dynamic Stabilizer	28
FIGURA 9. Ballast Cleaner	29
FIGURA 10. Ballast Regulator	29
FIGURA 11. Utility Tamper	30
FIGURA 12. Flash butt welder	30
FIGURA 13. Speed Swing	31
FIGURA 14. Tie Plugger	31
FIGURA 15. Spike Puller	32
FIGURA 16. Spike Driver	32
FIGURA 17. Anchor Machine	33
FIGURA 18. Ballast Car	33
FIGURA 19. Componentes básicos de una vía férrea	34
FIGURA 20. Fotografía de la vía de la empresa minera	35
FIGURA 21. Jerarquía	43

FIGURA 22. Cuadrilla cambio de riel	61
FIGURA 23. Cuadrilla cambio de traviesas	61
FIGURA 24. Cuadrilla para el cambio de balasto	62
FIGURA 25. Flujo del proceso de la orden de trabajo	85
FIGURA 26. Tiempos de atención de fallos	91
FIGURA 27. Gestión del riesgo para el proyecto	100
FIGURA 28. Promedio de los rangos de puntajes por clausula	104
FIGURA 29. Cláusulas de la Pass 55 en el ciclo PHVA	105

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Estructura jerárquica de activos Carbones del Cerrejón	44
TABLA 2. Clasificación de información técnica	63
TABLA 3. Ejemplo de taxonomía de los equipos	65
TABLA 4. Matriz de criticidad	66
TABLA 5. Costo de reparación	66
TABLA 6. Productividad	67
TABLA 7. Operación	67
TABLA 8. Seguridad	67
TABLA 9. Medio ambiente	68
TABLA 10. Comunidades	68
TABLA 11. Imagen corporativa	68
TABLA 12. Sanciones	69
TABLA 13. Criterios de frecuencia	69
TABLA 14. Nivel de criticidad por tipo de equipo	70
TABLA 15. Matriz de planes de mantenimiento equipos	72
TABLA 16. Estructura de costos proyecto	83
TABLA 17. Información mínima de la orden de mantenimiento	88
TABLA 18. Información de una orden de mantenimiento preventivo	90
TABLA 19. Información de una orden de mantenimiento correctivo	91
TABLA 20. Indicadores	93
TABLA 21. Clasificación de riesgos para el proyecto, relacionados directamente con el mantenimiento	98

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. EJEMPLO DE TAXONOMÍA DEL EQUIPO TIE CRANE	113
ANEXO B. MUESTRA DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD	116
ANEXO C. PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN EQUIPO	119
ANEXO D. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO	121
ANEXO E. MUESTRA DEL LISTADO DE REPUESTOS	127
ANEXO F. FICHAS TÉCNICAS DE INDICADORES	131
ANEXO G. POLÍTICAS DE GESTIÓN DE ACTIVOS DEL PROYECTO	134
ANEXO H. MUESTRA DEL ANÁLISIS DE RIESGO DE LA SECCIÓN DE MANTENIMIENTO DEL PROYECTO	135

## RESUMEN

TITULO: DEFINICIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA LA FLOTA DE EQUIPOS FÉRREOS DEL PROYECTO DE OVERHAUL DE VÍA FÉRREA CERREJÓN<sup>1</sup>

AUTORES: FABIÁN DAVID MONTEALEGRE BERMÚDEZ<sup>22</sup>

BREYK ARNOLD QUINTERO BAYONA

PALABRAS CLAVE: DISPONIBILIDAD, VÍA FÉRREA, ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO.

Carbones del Cerrejón ubicada en el municipio de Albania en el departamento de la Guajira tiene un sistema férreo de transporte de carbón hacia su puerto donde exportan carbón a diferentes países, este ferrocarril cuenta con 150 kilómetros el cual fue construido hace 30 años, tiene una capacidad máxima limitada de uso por año. En esta vía férrea se ha visto la necesidad de realizar una reparación general a nivel de overhaul para garantizar la disponibilidad y confiabilidad requerida por la compañía.

Según los estudios de diagnóstico realizados por interventores de una firma extranjera en la vía férrea, se deben realizar una serie de actividades para garantizar su disponibilidad y confiabilidad, las cuales requieren de equipos de mantenimiento de vía férrea (MOW) que realizan estas acciones de reparación a lo largo de la vía de una manera óptima minimizando los tiempos, costos y mano de obra requerida.

La organización opto por la compra de 14 tipos de equipos (MOW) de mantenimiento de vía férrea para realizar las actividades de reparación recomendadas por el diagnostico de condición de la firma auditora, estos equipos demandan diferentes tipos de acciones antes y después de operarlos, en donde ROP (Railway Overhaul Project) es el equipo delegado por la compañía responsable del este proyecto, una de las tareas es crear principalmente la estrategia de mantenimiento que este encaminada a cumplir con los objetivos de reparación de la vía y garantizar un óptimo ciclo de vida de los activos adquiridos conformes a los lineamientos organizacionales.

El desarrollo de la estrategia de mantenimiento y sus objetivos parten de las recomendaciones de los fabricantes en donde se inició con la taxonomía para cada tipo de equipo, clasificación de los equipos según su estudio de criticidad, definición de los estándares y tareas de mantenimiento, procedimientos específicos de mantenimiento y manejo de la información de mantenimiento.

---

<sup>1</sup> Monografía.

<sup>2</sup> Facultad de ingenierías físico-mecánicas-Especialización gerencia de mantenimiento. Director. FERNEY ÁLVAREZ Ingeniero en instrumentación y control.

## ABSTRACT

TITLE: DEFINITION OF A MAINTENANCE STRATEGY FOR RAILWAY EQUIPMENT FLEET PROJECT OVERHAUL OF RAILWAY CERREJÓN<sup>33</sup>

AUTHORS: FABIÁN DAVID MONTEALEGRE BERMÚDEZ<sup>44</sup>

BREYK ARNOLD QUINTERO BAYONA

KEYWORDS: AVAILABILITY, RAILWAY, MAINTENANCE STRATEGY

Carbones del Cerrejón located in Albania, La Guajira has a railway system to transport coal to the port where coal is exported to different countries, this railway has 150 kilometers of length and it was built 30 years ago, has a capacity limited maximum use per year. On this railway it has seen the need for an overhaul to ensure the availability and reliability required by the company.

According to the diagnostic made by auditors of a foreign company in the railway, must be perform a series of activities to ensure availability and reliability, which require maintenance equipment rail (MOW) to make these repair actions to along the railway and then optimize minimizing the time, cost and labor required.

The organization opted for the purchase of 14 types of equipment (MOW) railway maintenance for repair activities recommended by the diagnostic of the audit firm, these equipment require different types of activities before and after operate, in where ROP (Railway Overhaul project) is the team delegated by the company responsible for this project, one task is creating mainly maintenance strategy directed to achieve the objectives of repair railway and ensure optimum life cycle of acquired assets in accordance with organizational guidelines.

The development of maintenance strategy and objectives are based on the recommendations of the manufacturer where it began with the taxonomy for each type of equipment, equipment classification according to their criticism study, definition of standards and maintenance, procedures specific maintenance and management of maintenance information.

---

<sup>3</sup> Monograph

<sup>4</sup> Faculty of Engineering and physical-Mechanical-Maintenance Management Specialization. Director. FERNEY ALVAREZ Instrumentation and control engineer

## INTRODUCCIÓN

Carbones el Cerrejón para realizar la reparación de *overhaul* del ferrocarril se vio en la necesidad de crear un proyecto que se encargara de las actividades desde la planeación, adquisición, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los equipos encargados de ejecutar las labores en la vía, dentro de estas actividades es de vital importancia la realización de la estrategia de mantenimiento la cual debe fijar sus objetivos en garantizar la disponibilidad y confiabilidad de las 14 clases de equipos que van a realizar esta labor. En la compañía no se tiene la experiencia para mantener la mayoría de estos equipos; las máquinas son: Tie Plugger (Colocadora de Tacos), Tie Exchanger (Cambiadora de Traviesas), Spike Puller (Sacaclavos), Anchor Machine (Máquina ancladora), Spike Driver (Clavadora), Ballast Regulator (reguladora de balasto), Tie Crane (Grúa para traviesas), Speed Swing (Cargador de rieles), Ballast Cleaner (Limpiadora o desguarnecedora de balasto), Ultrasonido (Camión detector de fallas), Flash Butt Welder (Máquina de soldadura a tope), Dynamic stabilizer (Estabilizadora dinámica), Utility Tamper (Tampeadora Junior), Ballast Car (Carro balastero). Esta maquinaria que cambia el riel, traviesas y balasto a lo largo de la vía férrea en periodos limitados para no afectar el transporte diario de carbón, cuenta principalmente con sistemas hidráulicos, neumáticos, electrónicos que son de vital importancia en su funcionamiento, debido a que no se cuenta con toda la sólida experiencia deseada, las tareas de mantenimiento se basarán en principio en el manual del fabricante, seguidos cuidadosamente para que no se vea afectada su garantía y su vida útil sea optima en la vida de cada activo.

En el desarrollo de esta monografía se ejecutaron labores de taxonomía según los planos y verificación física en la maquinaria, seguida de la evaluación de criticidad en donde se plantearon los parámetros de calificación según el entorno y necesidades de producción de la organización, además de definir las tareas de mantenimiento incluyendo los recursos, tiempo e información técnica para realizar

cada tarea junto con los insumos y repuestos críticos que se deben tener en almacén para ejecutar las labores de los planes. El manejo de la información de mantenimiento así como los indicadores de mantenimiento y planes conforman la estrategia de mantenimiento la cual considera los impactos en el personal, medio ambiente, los activos y hace parte del desarrollo y sostenimiento del negocio lo cual justifica la viabilidad de este proyecto.

Con el desarrollo del presente trabajo se busca aplicar los conocimientos adquiridos en la especialización de gerencia de mantenimiento y así definir la estrategia de mantenimiento para los equipos del proyecto de overhaul de la vía férrea de Carbones el Cerrejón la cual será útil para la gestión de ciclo de vida de los 14 tipos de máquinas y el cumplimiento de los objetivos del proyecto conforme a los lineamientos de la alta gerencia y que sirva como base y ejemplo para futuros proyectos o diferentes departamentos que conformen al plan estratégico de la compañía.

# 1. CONTEXTUALIZACIÓN

## 1.1 La vía férrea en Colombia

Por ser un sector de poco desarrollo en la industria y el mantenimiento, se hará una contextualización del estado del negocio principal que es la vía férrea y su mantenimiento en Colombia.

La vía férrea en Colombia tiene una lamentable historia pasada por malas administraciones, fluctuaciones de demanda, poca sostenibilidad y eventos naturales desafortunados, que en poco más de cien años, no se han logrado superar.<sup>5</sup>

Figura 1. Tramo de una vía férrea colombiana.



Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1975/1/angelapaolahincapiehincapie.2006.pdf>

---

<sup>5</sup> Informe de dirección técnica del Seguimiento a proyectos de infraestructura. Cámara Colombiana de la infraestructura. 2012

A pesar de la infortunada historia de esta infraestructura de transporte en Colombia, ésta representa el 26% del transporte de carga neto del país<sup>1</sup>, del cual el 90% está constituido por la concesión de las vías férreas del Atlántico<sup>1</sup>, que en su mayoría se dedica al transporte de carbón mineral colombiano.

Dichas cifras no son tan alentadoras cuando se reconoce que solo 35 de 50 millones de toneladas de carga proyectados se están movilizand o actualmente; lo proyectado por la Agencia Nacional de Infraestructura es poder transportar 90 millones de toneladas de carga para el 2018.<sup>6</sup>

Aunque de los 3463 kilómetros de vía férrea que tiene Colombia, 1322 kilómetros están inactivos<sup>7</sup>, 150 kilómetros son privados (de El Cerrejón), y el resto está concesionado, Colombia se visiona para nuevos proyectos que le permitan recuperar su capacidad de transporte de carga por tren.

Se están ventilando nuevas propuestas extranjeras para la recuperación de la red y creación de nuevas vías, usando capital extranjero, como generalmente ha sido en América Latina.

Según Reuters, y su publicación del 14 de febrero de 2011 en el portal de AmericaEconomia.com, Colombia y China se encuentran en conversaciones para la construcción por parte del país oriental de una vía férrea de 220 Km que comunica el océano pacífico con el atlántico en lo que según algunos se convertiría en la contingencia operativa del canal de panamá cuyo uso representa el 5% de la economía mundial. El proyecto que incluiría la creación de una nueva ciudad industrial, impulsaría igualmente las exportaciones al país asiático.<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup> Informe de dirección técnica del Seguimiento a proyectos de infraestructura. Cámara Colombiana de la infraestructura. 2012

<sup>7</sup> Documento CONPES 3394 “Conexión de los distritos carboníferos a la red férrea nacional – Lineamientos de política” del 17 de noviembre de 2005

<sup>8</sup> Consulta Online, 04 de Marzo de 2013, <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/china-y-colombia-en-conversaciones-para-construir-ferrea-que-una-el-pacifico-al->

Y aunque el gobierno colombiano da buenas referencias del hecho, no se compromete a hacer promesas en este sentido. Igualmente se cita que existen más avanzadas conversaciones para la construcción de una vía férrea de 791 Km, proyecto que involucraría la ampliación del puerto de San Buenaventura.<sup>4</sup>

En la mina de carbón a cielo abierto más grande de Colombia, se usa el transporte férreo como principal medio para sacar el producto al puerto donde será embarcado a distintos lugares del mundo. 150 km de vía férrea componen esta infraestructura de transporte que hace parte de la concesión del atlántico para efectos estadísticos, y es propiedad y administración exclusiva de la empresa minera.<sup>9</sup>

Al igual que el metro de Medellín, ésta vía férrea utiliza una trocha estándar que permite el transporte del carbón con equipos de más alto tonelaje de capacidad y arrastre. A continuación se hará una descripción de la constitución del Ferrocarril en la empresa minera para aterrizar los impactos que ha tenido o puede tener la situación ferroviaria de Colombia, con base en la experiencia del autor y el director en el área.

## 1.2 Vía férrea de Carbones del Cerrejón

Cerrejón es un complejo de minería y transporte integrado en La Guajira, departamento ubicado en el extremo norte de Colombia. Abarca una mina a cielo abierto de carbón térmico que produce más de 32 millones de toneladas al año, un ferrocarril de 150 km de largo y un puerto marítimo de cargue directo capaz de recibir buques de hasta 180.000 toneladas de capacidad. Emplea a 10.000 personas, de las cuales más del 99% son nacionales colombianas; es el

---

<sup>9</sup> Informe de dirección técnica del Seguimiento a proyectos de infraestructura. Cámara Colombiana de la infraestructura. 2012

exportador privado más grande y uno de los más importantes contribuyentes de impuestos en Colombia.

El Sistema de Fundaciones Cerrejón, conformado por cuatro fundaciones, trabaja estrechamente con el Gobierno colombiano y con entes nacionales e internacionales para promover y acelerar el desarrollo sostenible y equitativo de La Guajira.

Cerrejón es una empresa conjunta, de gestión independiente, perteneciente en tres partes iguales a BHP Billiton, Anglo American y Glencore Xstrata<sup>10</sup>.

Con la construcción iniciada alrededor de 1982 por parte de varias empresas extranjeras, se logró una vía férrea de trocha estándar para transporte de carbón mineral y suministros especiales de la actividad minera a cielo abierto, dentro de los cuales están los químicos necesarios para labores de voladura, combustible diesel en grandes volúmenes y materiales y mercancías para labores de mantenimiento<sup>11</sup>.

Figura 2. Imagen Oficial del tren de la empresa minera



Fuente: <http://www.cerrejon.com/site/operacion-integrada.aspx>

<sup>10</sup> Consulta Online 10 septiembre 2013, <http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa.aspx>

<sup>11</sup> Consulta Online. 1 de Marzo 2013. Página Oficial Cerrejón, <http://www.cerrejon.com/site/operacion-integrada/ferrocarril.aspx>

Se establecieron ciertos parámetros de construcción como medidas propias de la infraestructura y la superestructura, temperaturas de operación, y la clase de vía que permitiría el uso a velocidades también fijadas considerando el flujo de carbón en la mina, y la relación de esta empresa con sus comunidades.

Actualmente se tiene una operación de alrededor de 8 trenes diarios, que cumplen un ciclo de aproximadamente 12 horas<sup>12</sup>. Ciclo conformado por el cargue del material, el viaje hasta el puerto, el descargue, y su regreso para inspecciones de mantenimiento diarias, punto en el que se reinicia el ciclo. Igualmente la vía de servicio construida paralelamente a la vía férrea ha soportado las labores en los cerca de 30 años de operación.

### 1.3 Mantenimiento de Vías

Las labores diarias que se ejecutan comprenden mantenimientos programados preventivos de paso a niveles, desvíos, cambios de rieles por desgaste proyectado, pulidos de rieles, inspecciones a pie e inspecciones en vehículo, inspección del sistema centralizado de control de trenes, cambios de durmientes, limpieza y reconstrucción de la infraestructura.

---

<sup>12</sup> Consulta Online. 1 de Marzo 2013. Página Oficial Cerrejón, <http://www.cerrejon.com/site/operacion-integrada/ferrocarril.aspx>

Figura 3. Mantenimiento con herramientas manuales en la vía de la mina.



Fuente: Autor

De manera correctiva las tareas que se realizan comprenden el cambio de rieles por defectos prematuros, cambio y reconstrucción de elementos de los desvíos, cambio de tarjetas y componentes del sistema centralizado de control de trenes (CTC).

Igualmente se programan “grandes mantenimientos” o ventanas, en las que se hace la reconstrucción total o parcial de grandes longitudes de vía férrea, que en condiciones normales de producción de la mina, no se podrían realizar.

Muchas de las tareas de mantenimiento que se ejecutan llegan a requerir máquinas y herramientas especiales de las labores en vía férrea. En el mercado se pueden conseguir herramientas manuales, semi-manuales y algunas muy automatizadas con empresas (obviamente extranjeras) especializadas en el sector. La mina cuenta con varias de estas herramientas.

#### 1.4 Equipos auxiliares de vía férrea

Después de treinta años de explotación, la línea sufre dos procesos dañinos e irreversibles para la estructura de la vía: <sup>13</sup>

- Colmatación de la infraestructura, principalmente el balasto.
- Desgaste/trituración del balasto.

La combinación de estos dos procesos provoca que el balasto pierda gran parte de su elasticidad, siendo impropio para la correcta operación y existiendo además riesgos en la seguridad por la menor estabilidad de la vía. <sup>13</sup>

Tareas de compensación se pueden realizar con sistemas de bateo de la infraestructura, pero no resulta conveniente en ocasiones por que se pueden acentuar más los problemas de colmatación y trituración inapropiada del balasto. Ciertas tareas de mantenimiento deben ejecutarse definitivamente con maquinaria especial que hacen labores de regulado, bateo, limpieza, estabilización y similares, que manualmente sería muy complicado realizar. <sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> Consulta Online 4 de Marzo de 2013, <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3336/7/34082-7.pdf> pag 90

<sup>14</sup> Consulta Online 4 de Marzo de 2013, <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3336/7/34082-7.pdf> pag 97

Figura 4. Tampeadora de la empresa.



Fuente: Revista institucional Cerrejón al día

Esta maquinaria necesita su gestión del mantenimiento, por tratarse de máquinas que si bien no hacen parte directa de la producción principal del negocio de la mina, son indispensables para mantener la confiabilidad y por qué no la mantenibilidad de la vía férrea que hace parte fundamental de la cadena de producción.

Actualmente con la compra de los 14 tipos de equipos para ejecutar las debidas reparaciones en la vía, no se cuenta con experiencia de mantenimiento y operación de la gran mayoría de ellos, a su vez no se cuenta con una estrategia de mantenimiento que abarque las tareas, procedimientos y gestión de indicadores que permitan el seguimiento de la administración del mantenimiento que fije los métodos y objetivos a alcanzar. En la compra de los equipos se negoció el seguimiento en el arranque de los equipos, capacitaciones de operadores y recomendación de los mantenimientos dados por el fabricante, se cuentan con manuales de operación y mantenimiento, procedimientos especiales lo cual es la base para realizar la estrategia de mantenimiento, este proyecto tiene

una duración de 2 años una vez se cumplan las actividades de comisionamiento y se pretende que esta estrategia también perdure para las operaciones posteriores al overhaul del ferrocarril.

Los equipos (MOW) adquiridos por Carbones el Cerrejón son los siguientes:

- **Tie Crane:** Grúa de traviesas que posiciona los polines en la vía para su posterior montaje.

Figura 5. Tie Crane



Fuente: Manual del fabricante Kershaw

- **Tie Exchanger:** Intercambiador de traviesas que reemplaza los polines en la vía.

Figura 6. Tie Exchanger.



Fuente: Manual del fabricante Nordco.

- **RFDC Ultrasonido:** Carro inspector de la vía que mediante ultrasonido detecta las fallas en la vía.

Figura 7. RFDC Ultrasonido.



Fuente: Manual del fabricante Nordco

- **Dynamic Stabilizer:** Estabilizadora dinámica, estabiliza la vía mediante vibraciones.

Figura 8. Dynamic Stabilizer.



Fuente: Manual del fabricante Plaser & Thereur

- **Ballast Cleaner:** Limpiador de balasto que clasifica y limpia el balasto en la vía.

Figura 9. Ballast Cleaner.



Fuente: Manual del fabricante Plaser & Thereur

- **Ballast Regulator:** Regulador de balasto que da el perfil y refacciona los hombros de la vía.

Figura 10. Ballast Regulator



Fuente: Manual del fabricante Kershaw

- **Utility Tamper:** Tampeadora, ajusta el balasto entre los polines.

Figura 11. Utility Tamper.



Fuente: Manual del fabricante Plaser & Thereur

- **Flash Butt Welder:** suelda rieles, suelda los rieles a tope mediante fusión con corriente eléctrica.

Figura 12. Flash Butt Welder.



Fuente: Manual del fabricante Progress Rail

- **Speed Swing:** Cargadora de riel que posiciona y maneja los rieles en la vía.

Figura 13. Speed Swing



Fuente: Manual del fabricante Swingmaster

- **Tie Plugger:** Agrega tacos inyectando una resina en los polines antes de ubicar los clavos nuevos.

Figura 14. Tie Plugger.



Fuente: Manual del fabricante Nordco

- **Spike Puller:** Saca Clavos, extrae los clavos de fijación de las placas y polines.

Figura 15. Spike Puller.



Fuente: Manual del fabricante Nordco

- **Spike Driver:** clavadora, inserta los clavos en las placas y ajusta la trocha (distancia entre rieles) de la vía.

Figura 16. Spike Driver.



Fuente: Manual del fabricante Nordco.

- **Anchor Machine:** Monta anclas, coloca las anclas de vía férrea en el riel.

Figura 17. Anchor Machine.



Fuente: Manual del fabricante Nordco

- **Ballast Car:** Carro balastero, almacena y transporta balasto nuevo que se va descargar en la vía.

Figura 18. Ballast car



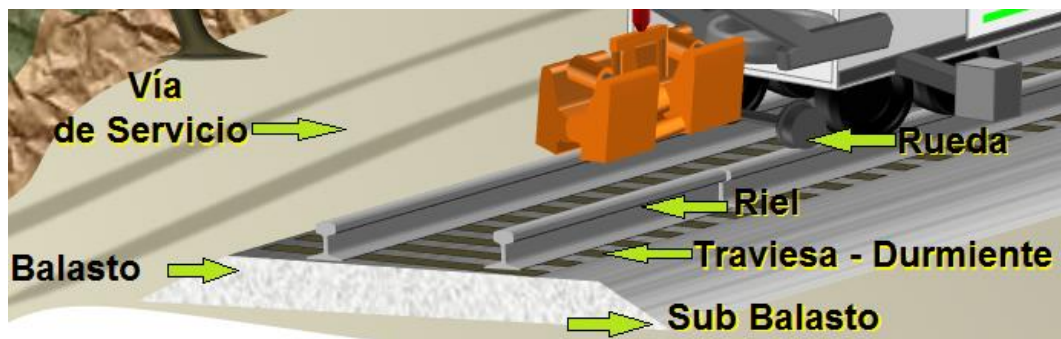
Fuente: Autor

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Vía férrea

Para comprender el uso y funcionamiento de los equipos que se describirán conceptualmente, es necesario exponer que es la vía férrea, y sus principales componentes que serían objetos del trabajo de los equipos.

Figura 19. Componentes básicos de una vía férrea.



Fuente: Autor

Se le llama vía férrea a la parte de la infraestructura ferroviaria, formada por el conjunto de elementos que conforman el sitio por el cual se desplazan los trenes. Se puede asegurar que las vías férreas son el elemento esencial de la infraestructura ferroviaria y constan, básicamente, de rieles sujetos a las traviesas o durmientes que se disponen sobre una capa de balasto (piedra fracturada granulada). Para su construcción es necesario realizar movimiento de tierra y obras de infraestructura (puentes, alcantarillas, muros de contención, drenajes, etcétera) algo similar se hace para los casos de renovación.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Consulta Online. 4 de marzo de 2013, [http://www.ferropedia.es/wiki/V%C3%ADa\\_f%C3%A9rrea](http://www.ferropedia.es/wiki/V%C3%ADa_f%C3%A9rrea)

Esta infraestructura básica se completa con sistemas de señalización y, en el caso de líneas electrificadas, con el tendido eléctrico que provee de energía a las locomotoras.

Elementos de la superestructura:

- Balasto, lecho de piedras fracturadas a dimensiones específicas.
- Travesía o durmiente
- Sujeciones; clavos, anclas y similares
- Riel también llamado raíl o carril
- Aparatos de vía como desvíos, lubricadores y demás.
- Catenaria en caso de ser una vía electrificada
- Señalización, para el control de tráfico (hace parte de la infraestructura).

Se denomina ancho de vía o trocha a la separación entre los rieles, la cual debe coincidir con la separación entre ruedas del material rodante. Se mide entre caras internas, tomando como punto de referencia el ubicado entre 10 mm y 15 mm (aprox. 5/8") por debajo de la cara superior del riel, diferencia esta que depende del tipo de carril y de las normas aplicables en el país que esté construida.<sup>16</sup>

Figura 20. Fotografía de la vía de la empresa minera.



Fuente: Autor

---

<sup>16</sup> Consulta Online. 4 de marzo de 2013, [http://www.ferropedia.es/wiki/V%C3%ADa\\_f%C3%A9rrea](http://www.ferropedia.es/wiki/V%C3%ADa_f%C3%A9rrea)

La vía trabaja como una viga sobre lecho elástico debido a su propio peso y la forma de comportarse del balasto, elemento destinado al apoyo y a la distribución de cargas en el terreno, y a contención. Desde el inicio de los ferrocarriles se utilizaban rieles de longitudes reducidas, con juntas de dilatación entre ellos, lo que producía el característico traqueteo de los ferrocarriles, con traviesas de madera tratadas para evitar el deterioro prematuro.<sup>16</sup>

En la actualidad se utilizan principalmente durmientes o traviesas de hormigón pretensado, madera y materiales plásticos sobre los que apoyan rieles soldados con longitudes relativamente grandes y juntas de dilatación más separadas gracias a un diseño más perfeccionado.<sup>17</sup>

## 2.2 Estrategia de mantenimiento.

Es claro que los programas de mantenimiento, inicialmente fueron realizados en base a recomendaciones de los fabricantes del equipo, donde de antemano se aseguraban en muchas ocasiones, de no correr riesgo de falla durante la garantía, a costa de incrementar la frecuencia de mantenimiento o trabajos en algunos casos innecesarios.<sup>18</sup>

Las estrategias de mantenimiento para equipos industriales son tan variadas como organizaciones de mantenimiento hayan, y gracias a esto se puede llegar a

---

<sup>17</sup> Consulta Online. 4 de marzo de 2013, [http://www.ferropedia.es/wiki/V%C3%ADa\\_f%C3%A9rrea](http://www.ferropedia.es/wiki/V%C3%ADa_f%C3%A9rrea)

<sup>18</sup> HUACUZ Hector A. Determinación de la frecuencia óptima de mantenimiento preventivo, I congreso mexicano de confiabilidad y mantenimiento. 2003

encontrar muchas circunstancias que se deben evaluar buscando mejoras y oportunidades para mejores resultados.<sup>19</sup>

Según Huacuz, se pueden presentar la siguiente lista de eventos al encontrarse con alguna estrategia de mantenimiento implementada.<sup>18</sup>

- Se cumplen los programas de mantenimiento.
- Los métodos de trabajo son los adecuados. O sea que todo trabaja bien
- Se están tomando acciones preventivas.
- No se está respetando las frecuencias del programa de Mantenimiento.
- El programa se lleva a cabo pero siguen presentándose fallas entre cada intervención.
- No se está aplicando correctamente los métodos de trabajo.
- No existen métodos de trabajo.
- Los métodos de trabajo actuales no son los adecuados.
- Falta capacitación al personal.
- El equipo ya no es eficiente.
- No se lleva historial de equipo.
- Las condiciones de trabajo para el equipo no son adecuadas.
- Se está operando mal.

Bajo estas condiciones o las que se lleguen a presentar en alguna organización es necesario implementar políticas que permitan hacer viable el negocio desde el mantenimiento. Las empresas han tomado con urgencia el sentido de reducir

---

<sup>19</sup> AEM - Asociación Española de Mantenimiento y FIM - Federación Iberoamericana de Mantenimiento, 5º Congreso Español de Mantenimiento y 16º Congreso Iberoamericano de Mantenimiento Barcelona, España, Noviembre, 2011

costos de mantenimiento pues significa un considerable porcentaje de los costos de producción.<sup>20</sup>

Una buena estrategia de mantenimiento puede llegar a ser tan vital e importante que se puede comparar con la política de calidad de una empresa, pues ataca de manera efectiva problemas como grandes pérdidas de producción, alta frecuencia de fallas en los equipos, inexistencia de mejores prácticas y hasta copia irresponsable de programas de mantenimiento de equipos similares sin importar las repercusiones.

Basados en estos principios, es necesario combinar efectivamente los tipos de mantenimiento que existen como lo son, el correctivo, preventivo, predictivo y proactivo.

Se puede convertir en “prosa de cajón” definir cada uno de los tipos de mantenimiento, pero lo que sí se debe decir es que la combinación efectiva de todos o varios de estos tipos de mantenimiento es lo que hace a una estrategia como la mejor para el caso específico que sea.<sup>17</sup>

El mantenimiento correctivo o reactivo, es característico por permitir que el equipo llegue a la falla, lo que representa generalmente tiempos muertos indeseables y otros efectos. Por su parte el preventivo, se anticipa con cierta frecuencia y ejecuta intervenciones que técnicamente conservan en el tiempo la operatividad de las máquinas, sin embargo se pueden estar haciendo tareas que no sean necesarias (que las determinará una buena estrategia de mantenimiento). Un mantenimiento predictivo se basa en la condición de los equipos y generalmente

---

<sup>20</sup> Emerson Process Management 2002. Comprendiendo las estrategias de mantenimiento. Plant Web University

se proyecta de tal forma que se puede adelantar con cierta precisión el momento de posible falla.<sup>17</sup>

Por otra parte hay que ser cuidadoso cuando se plantea la posibilidad de copiar estrategias entre sub organizaciones puesto que las condiciones de trabajo fluctúan de formas que cada caso se hace muy particular.<sup>21</sup>

## 2.3 Estándar PAS 55

En el desarrollo de esta estrategia para la flota de equipos de mantenimiento de vía férrea se consideraron las pautas dadas por el estándar PAS 55 en donde a continuación se mencionan los aspectos más relevantes en cuanto a la política y estrategias.

### 2.3.1 Desarrollo de políticas

La gestión de activos está alineada con el plan estratégico organizacional. Como lo define BSI PAS 55: 2008 una política de gestión de activos es una serie de principios y mandatos requeridos de un plan estratégico organizacional consistente. Provee un marco para el desarrollo e implementación de una estrategia de gestión de activos y el establecimiento de sus objetivos. La realización de las políticas abarca la decisión de métodos o acciones

---

<sup>21</sup> Emerson Process Management 2002. Comprendiendo las estrategias de mantenimiento. Plant Web University

<sup>17</sup> Draft international standard ISO/DIS 14224, 2005, p31

seleccionadas de alternativas para guiar y frecuentemente determinar las presentes y futuras decisiones.

Los requisitos para conformar una política de mantenimiento según la norma se definen de la siguiente manera:

- Definir los objetivos corporativos de la política y como ayuda a alcanzarlos.
- Especificar los requerimientos y dirección de las partes interesadas.
- Delimitar las oportunidades y restricciones que se deben tener en cuenta.
- Definir a los grupos de partes interesadas y asuntos socio- económicos que se deben tener en cuenta.

En el desarrollo de la estrategia es importante que se defina a partir de la política de gestión de activos en donde esta debe ser establecida mediante los siguientes parámetros:

- Que defina los criterios de decisión para seleccionar las opciones entre las políticas.
- Que se evalúen las opciones de políticas usando apropiados criterios de decisión
- Que defina los objetivos de la política de la gestión de activos y aspiraciones.
- Que especifique las implicaciones de la política de gestión de activos para todos las partes interesadas.
- Hacer efectivo el uso del conocimiento o habilidades internas y externas en el desarrollo de la política.

- Asegurar que las partes involucradas están comprometidas y apropiadas con la política.

### 2.3.2 Desarrollo de la estrategia

Estos parámetros proveen dirección a la estrategia de gestión de activos y liderazgo, incluyendo la identificación de los requerimientos de la estrategia, análisis de demanda y pronósticos. Este rol es esencial para asegurarse que las actividades de la gestión de activos estén enfocadas alcanzan los objetivos organizacionales.

Los requerimientos estratégicos que se deben definir para realizar la estrategia de gestión de activos parten de las siguientes consideraciones:

- Definir la meta de la política de gestión de activos y los objetivos que la estrategia debe alcanzar y apoyar.
- Precisar todos los riesgos de la estrategia de debe considerar.
- Delimitar las restricciones que la estrategia de gestión de activos debe tener en cuenta.
- Definir las implicaciones de las condiciones presentes y predictivas de los activos para el desarrollo de la estrategia.
- Analizar los presentes y futuros requerimientos de los clientes en que la estrategia debe tener en cuenta.
- Definir los aspectos legales, sociales, ambientales, económicos y sus tendencias que la estrategia debe considerar.
- Definir el grupo de implicados que la estrategia debe tener en la cuenta.

En el desarrollo de la estrategia se deben considerar según el estándar PAS 55 los siguientes pilares:

- Definir los propósitos y objetivos de la estrategia de gestión de activos.
- Desarrollar las claves estratégicas para el sistema global, portafolio o grupos de activos que soportan los propósitos estratégicos y objetivos.
- Definir los resultados esperados de todas las estrategias.
- Asegurar que las partes interesadas estén comprometidas y apropiadas en el proceso de desarrollo de la estrategia.
- Hacer efectivo el uso interno y externo del conocimiento en el desarrollo de la estrategia.

En la planeación de la estrategia se debe ser planeada siguiendo los parámetros que se describen a continuación:

- Definir, priorizar y optimizar la estrategia.
- Preparar proyecciones financieras usando los mejores modelos prácticos adecuados.
- Preparar el plan de negocio usando adecuados modelos prácticos.
- Definir los requisitos para la investigación de mercado, desarrollo de sistemas y gestión de crecimiento de equipos.
- Definir cómo la efectividad de la estrategia va a ser medida y monitoreada.

Se deben considerar los pronósticos y futuros análisis que puedan ser útiles para el seguimiento y mejoras de la estrategia en donde el uso efectivo de las herramientas y técnicas para analizar las actuales demandas en la estrategia deben ser definidas al igual que el uso de datos históricos que soporten los

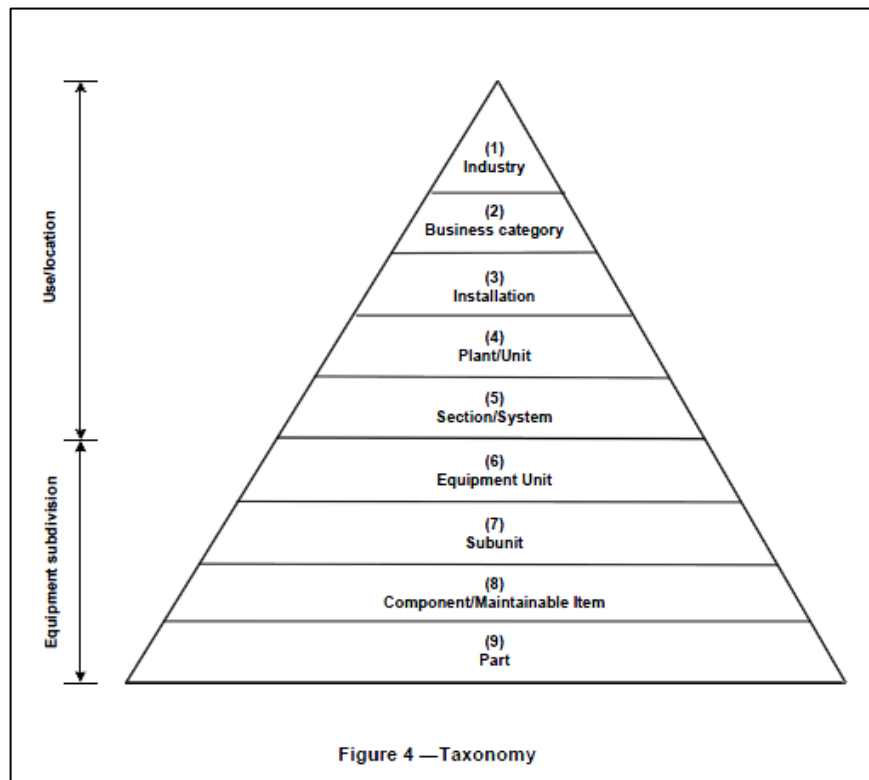
pronósticos de demanda y costos usando efectivamente las herramientas y técnicas para pronosticarlos<sup>22</sup>.

## 2.4 Taxonomía

Según la norma ISO 14224 “la taxonomía es una clasificación sistemática de los elementos en grupos genéricos basados en factores comunes a ellos (ubicación, uso, del equipo subdivisión, etc.)”<sup>17</sup>

Esta Norma Internacional está representada por una jerarquía que se muestra en la Figura 8.

Figura 21. Jerarquía



Autor: Norma ISO 14224

<sup>22</sup> IAM competences framework, 2008, p11

La figura 21 ilustra las secciones de 1 a 5 que representan los niveles altos organizacionales ya sea en diferentes unidades de negocio o secciones para cada tipo de organización en particular en donde un determinado tipo de equipo por ejemplo un motor puede ser utilizado en varias unidades de negocio o secciones de una misma organización.

Las secciones 6 a 9 ilustran los equipos como unidades físicas inventariadas los cuales se subdividen en niveles inferiores que dependen de la complejidad de cada equipo y son útiles para determinar las causas de falla en un análisis de confiabilidad de la maquinaria. En este proyecto se desarrolló la taxonomía de los equipos hasta los componentes principales mantenibles de cada equipo.

Actualmente Carbones el Cerrejón tiene sus niveles jerárquicos definidos en los cuales se ubicaron los equipos MOW con sus TAG generados por el software de gestión de mantenimiento ELLIPSE.

La estructura de taxonomía está definida como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Estructura jerárquica de activos Carbones el Cerrejón.

SUPERINTE NDENCIA	HIERARCHY	EQUIP_ N O	DESCRIPTION
SUPERINTE NDENCIA	FERROCARRIL	FERROCA RRIL	FERROCARRIL
	SOPORTE FC	SOPORTE FC	EQUIPO DE SOPORTE FERROCARRIL
	EQVIA	EQVIA	EQUIPOS DE VIAS FERROCARRIL
	1360103	1360103	TIE CRANE

1360101	1360101	TIE EXCHANGER
1360058	1360058	RFDC ULTRASONIDO
1300016	1300016	DYNAMIC STABILIZER
1300106	1300106	BALLAST CLEANER
1300015	1300015	BALLAST REGULATOR
1300012	1300012	UTILITY TAMPER
1360095	1360095	FLASH BUTT WELDER
1360091	1360091	SPEED SWING
1360087	1360087	TIE PLUGGER
1360075	1360075	SPIKE PULER
1360079	1360079	SPIKE DRIVER

Para el contexto en donde se desea realizar la monografía, la organización está dividida en superintendencias en este caso las jerarquías se subdividen a partir de la superintendencia de Ferrocarril seguido por equipo de soporte de ferrocarril y termina en los niveles de equipos de vía ferrocarril y los equipos (MOW).

El trabajo de taxonomía desarrollado se centró en los sistemas principales de cada máquina y componentes o ítems mantenibles los cuales se subdividieron a partir de los equipos ya creados.

## 2.5 Criticidad

Se siguieron los siguientes lineamientos para realizar el análisis de criticidad semi-cuantitativo, bajo el modelo estándar NORSOK Z-008<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> Norsok standard Z-008, 2001, p14

## 2.5.1 Descripción del proceso

### 2.5.1.1 Recolección de la documentación técnica

Para poder realizar un análisis bien fundamentado es necesario recolectar la siguiente información:

- Documentos técnicos que contengan información sobre las Plantas tales como:
  - Descripción detallada de la Planta y sus sistemas.
  - Requerimientos de Capacidad.
  - Condiciones de operación.
  - Descripción de equipos.
  
- Documentos técnicos que contengan dibujos o diagramas relacionados con el proceso:
  - P&ID.
  - Diagramas de flujo.
  - Diagramas de conexiones eléctricas.
  - Lógica de Shut Down.
  - Diagramas Causa-Efecto F&G.
  - Data sheets del sistema contraincendios

### 2.5.1.2 Definición de criterios de evaluación de consecuencias

La definición de las Clases de Consecuencias es un ejercicio que debe hacerse en concordancia con los criterios que tiene la compañía en materia seguridad,

protección a las personas y el medio ambiente, reflejar la operación actual de la planta y la cuantificación de las pérdidas económicas.

#### 2.5.1.3 Definición de sistemas y subsistema a analizar.

Se toman los P&IDs o planos de cada área a analizar y con distintos colores se delimita los sistemas y subsistemas de la Planta.

#### 2.5.1.4 Definición de funciones basadas en los sistemas y subsistemas definidos.

Un sistema es dividido en las funciones principales (estas deben cubrir el sistema entero), las funciones principales son divididas en sub funciones (que cubran la función principal entera). Todos los TAGs forman parte de la sub función son ubicados en dicha sub función.

#### 2.5.1.5 Identificación de la función principal.

Cada sistema es dividido en un número de funciones principales (típicamente de 3 a 10) y se caracterizan porque realizan la tarea principal del sistema (por ejemplo, bombeo, separación, generación, etc), cada función principal debe recibir un código único y un nombre que describa la tarea.

#### 2.5.1.6 Identificación de las sub funciones.

La sub función lleva a cabo más tareas subordinadas que son necesarias implementar para cumplir satisfactoriamente con la función principal. En este

orden, para simplificar la evaluación de criticidad permitiendo que se realice con exactitud y el uso mínimo de recursos, el nivel de función debe ser estandarizado con términos predefinidos que cubran todos los requerimientos. Esas funciones pueden ser:

- Tarea principal (Término que describe la tarea principal).
- Alivio de presión.
- Proceso de shut down.
- Equipos de shut down.
- Control.
- Monitoreo.
- Indicación local.
- Apagado manual.
- Otras funciones.

#### 2.5.1.7 Determinación de redundancia en los sistemas principales

Si hay redundancia en una Función Principal o un Subfunción el número de unidades paralelas y la capacidad por cada unidad deben ser estipuladas, la redundancia de equipos debe ser clasificada según:

Redundancia A: No tiene redundancia, por tanto la Función Principal es requerida para evitar cualquier pérdida.

Redundancia B: Tiene una unidad en paralelo, por tanto puede sufrir una falla sin influenciar la función.

Redundancia C: Tiene dos o más unidades en paralelo, puede sufrir una falla al mismo tiempo sin que inflencie la función.

#### 2.5.1.8 Evaluación de las consecuencias de falla en el sistema principal

Todas las funciones principales son evaluadas como una “caja negra” en términos del efecto de la falla para operar o de operación incorrecta. No se debe tener en cuenta si el equipo cuenta o no con redundancia pues esto se evalúa por separado.

La siguiente pregunta debe hacerse:

¿Cuál es el efecto en el sistema/instalación si esta función no se realiza o se realiza incorrectamente?

El efecto más serio (sin que supere la realidad) de errores o fallas debe ser descrito y el porcentaje de reducción de la función principal debe ser cuantificado si es posible. Si el error o falla afecta más de una de las áreas evaluadas, esto debe ser descrito así queda evidenciado como el efecto tomar lugar. Adicionalmente, el tiempo que tarda el error o falla en afectar los sistemas o instalaciones deben ser estimados.

#### 2.5.1.9 Jerarquizar según su criticidad los sistemas principales en el área analizada

Una vez ya se ha hecho la calificación para cada una de los sistemas principales pertenecientes a una Planta específica, se procede a ordenar los sistemas de mayor criticidad a los menos críticos.

#### 2.5.1.10 Determinación de redundancia en los subsistemas del sistema principal analizado

Se procede a identificar las unidades paralelas en los subsistemas de igual manera que se realizó en el numeral 1.8.6

#### 2.5.1.11 Evaluación de las consecuencias de falla en los subsistemas del sistema principal analizado.

Se elige el sistema principal que se va a evaluar y se procede a evaluar los subsistemas de igual manera como se realizó en el numeral 1.8.7. Si el subsistema sufre una falla sin que sea evidente para el operador durante la operación normal esta condición debe ser descrita como una falla oculta.

Los equipos asociados a cada subsistema reciben la misma calificación de criticidad, por tanto, la relación con el subsistema debe ser “uno a uno” es decir, no debe pertenecer a más de un subsistema, si el equipo está en más de un subsistema por ejemplo, un lazo de instrumentación, debe ser asignado al subsistema con la subfunción más crítica.

## 2.6 La gestión del trabajo

Un proceso de gestión del trabajo eficaz, y repetible es fundamental para el esfuerzo del mantenimiento, que proporcione los fundamentos para la planificación, la presupuestación, el mejoramiento y el logro de las metas. Las actividades del mantenimiento se deben planificar, programar coordinar y abastecer adecuadamente. Se debe fijar metas y medir el desempeño<sup>24</sup>.

### 2.6.1 La Identificación del Trabajo

Deberá existir un sistema formal para identificar y solicitar el trabajo de mantenimiento. Las solicitudes de trabajo deben ser priorizadas y aprobadas por los líderes de primera línea. El trabajo de alta prioridad debe ser identificado para acción inmediata, mientras que las solicitudes menos urgentes se deberán enviar al equipo de planificación y programación. Se deberá entregar retroalimentación al originador, avisándole si y cuando se realizará el trabajo requerido.

### 2.6.2 La Planificación

Cada operación tendrá un sistema formal de planificación del trabajo. Éste es soportado por un Sistema Computarizado de Gestión del Mantenimiento (CMMS). La planificación debe tener distintos horizontes de tiempo, normalmente semanal, trimestral y anual.

Los planes de mantenimiento deberán estar integrados con el plan de operaciones.

---

<sup>24</sup> Operations support 2011. El sistema de gestión de mantenimiento. Barrick. P28

Los trabajos planificados deben incluir detalles de los requerimientos de:

- Personal.
- Materiales.
- Duración y última fecha de inicio.
- Herramientas y otros equipos especiales.
- Procedimientos, instrucciones de trabajo y otra documentación de respaldo.
- Evaluaciones de riesgo y requerimientos de seguridad.

Para mejorar la eficiencia de la planificación, se deberá establecer trabajos estándar para todas las actividades de mantenimiento preventivo y trabajos de alta frecuencia. Deberá existir un proceso formal para liberar trabajos planificados para permitir que éstos se programen después que se haya cumplido los requerimientos anteriores.

### 2.6.3 La Programación

Cada faena deberá tener un sistema formal para programar el trabajo, el que es soportado por un Sistema Computarizado de Gestión del Mantenimiento (CMMS). Los trabajos se deberán programar sólo cuando se haya terminado la planificación requerida.

Los programas deberán ser aprobados formalmente por los líderes de mantenimiento y producción y deberán estar integrados con el plan de operaciones. Para permitir la comunicación y su preparación el programa semanal se deberá cerrar y emitir por lo menos dos días laborales antes del inicio del período programado.

Los programas se deberán definir con capacidad suficiente para que permita acomodar un nivel razonable de trabajo no programado (fallas). Normalmente esto podría ser 70% de mano de obra programada con un 30% sin asignar. Deberá haber un proceso formal de operación para permitir que se pueda postergar trabajos del período del programa actual.

El cumplimiento del programa semanal debe ser medido e informado.

#### 2.6.4 La Ejecución

Sólo se deberá realizar trabajo de mantenimiento si está cubierto por una orden de trabajo. La preparación del trabajo se deberá hacer con anticipación al inicio de la tarea. Esto deberá asegurar que todos los procedimientos, las herramientas, las evaluaciones de seguridad, etc., estén disponibles.

Los supervisores deberán asegurar que las tareas sean asignadas a personas con las destrezas y experiencia requerida para realizar el trabajo. Los técnicos de mantenimiento son responsables de la calidad de la mano de obra. Los supervisores son responsables de auditar y de verificar la calidad del trabajo. Habrá un proceso para notificar a producción que los equipos están listos para regresar al servicio.

#### 2.6.5 La Finalización

Los trabajos terminados son devueltos al planificador con comentarios y retroalimentación respecto de:

- La calidad del plan.
- Trabajo adicional identificado.
- Cambios / actualizaciones a los procedimientos.

- La mano de obra utilizada.
- Datos y mediciones donde los procedimientos lo requieran.

Las órdenes de trabajo deben ser cerradas en el CMMS.

#### 2.6.6 La Revisión

Al final de cada período de programación, la operación deberá revisar:

- El cumplimiento del programa.
- El trabajo emergente.
- El trabajo identificado.
- La retroalimentación respecto de la calidad de la planificación y de la programación.
- El desempeño de los equipos con posterioridad al mantenimiento.
- El control del backlog.

#### 2.6.7 Gestión de Paradas

Este subelemento se refiere a la gestión de paradas significativas. Por ejemplo:

- Cambios de revestimientos de molinos SAG/Bolas.
- Cambios de revestimientos a las autoclaves.
- Reacondicionamiento de camiones/palas.
- Cambio del engranaje de giro en palas.

Cada faena deberá tener sistemas y procesos que permitan medir, planificar, programar y ejecutar el alcance de las paradas de equipos y plantas

Los sistemas de administración de detenciones deben cubrir:

- La gestión en seguridad y medioambiente
- La planificación de los requerimientos de tiempos de espera (leadtime).
- La estructura organizacional y los roles y responsabilidades.
- Una estrategia de comunicación (que incluya reuniones, informes de avance).
- Alcances del trabajo claramente definidos, alineados con la estrategia general del mantenimiento.
- Un programa del trabajo realizar durante la detención, que incluya todo el trabajo realizar (incluyendo la disminución de la producción la puesta en marcha) que identifique claramente la(s) ruta(s) crítica(s) del trabajo.
- La revisión posterior a la detención, que incluya:
  - El desempeño de la seguridad (incluyendo los permisos, el aislamiento y los incidentes)
  - El desempeño de los costos versus el presupuesto (para trabajos de alto costo)
  - La Calidad de la planificación
  - El Cumplimiento / la finalización del programa
  - Desempeño del abastecimiento / la logística

## 2.7 Indicadores de mantenimiento

Productividad y competencia son características de los ambientes donde se desempeñan corporaciones e industrias, las cuáles se ven obligadas a maximizar sus capacidades productivas y minimizar costes operativos. La condición y disponibilidad de sus sistemas productivos juegan un papel decisivo en el éxito de sus negocios.

El hecho de planificar y programar los trabajos de Mantenimiento a grandes volúmenes de equipos e instalaciones ha visto en la automatización una oportunidad de constantes mejoras, y la posibilidad de plasmar procedimientos cada día más complejos e interdependientes.

El Modelo de Mantenimiento, a través de CMMS permite la clasificación y caracterización de la información, para que ésta sea agrupada y consultada de acuerdo a los requerimientos específicos de cada usuario, lo cual facilita los procesos de análisis y toma de decisiones, tan importantes en las áreas de costes y confiabilidad.

La Gerencia de Mantenimiento está sustituyendo los viejos valores por paradigmas de excelencia de mayor nivel. La práctica de Ingeniería de Confiabilidad, la gestión de activos, la medición de los indicadores y la gestión de la disponibilidad; así como la reducción de los costes de mantenimiento constituyen los objetivos primordiales de la empresa enfocada a asegurar la calidad de gestión de la organización de mantenimiento.

Los Indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento.

Estos indicadores son:

- Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF)
- Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR)

- Disponibilidad
- Utilización
- Confiabilidad
- Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF).

### 2.7.1 Tiempo Promedio para Fallar

Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado “Tiempo Promedio Operativo” o “Tiempo Promedio hasta la Falla”.

### 2.7.2 Tiempo Promedio para Reparar

Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento. La mantenibilidad, definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas,

documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño.

### 2.7.3 Disponibilidad

La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.

### 2.7.4 Utilización

La utilización también llamada factor de servicio, mide el tiempo efectivo de operación de un activo durante un período determinado.

### 2.7.5 Confiabilidad

Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.

## 2.7.6 Tiempo Promedio entre Fallos

El Tiempo Promedio Entre Fallos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento "fallo". Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información<sup>25</sup>.

---

<sup>25</sup> Consulta Online. 21 de octubre de 2013, [http://www.mantenimientoplanificado.es/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento\\_archivos/indicadores%20confiabilidad%20amendola.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.es/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento_archivos/indicadores%20confiabilidad%20amendola.pdf)

### 3. PROPUESTA

El mantenimiento es uno de los aspectos más importantes en la vida de un activo, de esta manera se hace importante tener un buen plan, un buen sistema de procesos y una buena estrategia de gestión con el propósito de alcanzar las metas particulares y de la compañía.

Esta estrategia es concebida en el plan definido para usar estos equipos luego en el mantenimiento diario de la vía férrea, de manera que el documento considera la estrategia actual del ferrocarril con el propósito de hacer un buen traspaso de los activos al finalizar el proyecto. Igualmente la estrategia está basada en sólidas buenas prácticas de la experiencia de proyectos similares.

En la etapa de planificación del proyecto, se definió el sistema de operación y se consiguió el propósito del *overhaul* de la vía férrea que es un método basado en equipos. Se definieron las restricciones, el contexto operacional, y las razones principales para escoger el modelo de trabajo. De esta manera los equipos toman más importancia en la ruta crítica del proyecto.

#### 3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN TÉCNICA.

En esta etapa de la propuesta se consolidó la información técnica suministrada por los respectivos fabricantes de cada equipo y se realizó la descripción de cada máquina con su labor en las cuadrillas de cambio de riel, traviesas y balasto. Para contextualizar la labor de cada máquina se tomó como base los estudios de

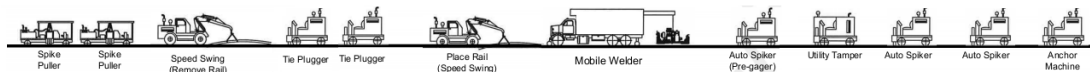
planeación y diseño del overhaul de la vía férrea realizada por el proyecto (ROP) donde su objetivo general es cambiar 1.2 kilómetros de vía en un turno de trabajo.

### 3.1.1 Descripción de los activos

Los activos para la operación, están divididos en tres cuadrillas para ejecutar los trabajos especializados con el propósito de tener la renovación de la vía férrea:

- Cuadrilla de Cambio de Riel

Figura 22. Cuadrilla cambio de riel



Fuente: Cerrejón

- 4 Saca Clavos
- 4 Colocadora de Tacos
- 6 Clavadoras
- 4 Speed Swing – Cargadores de Riel
- 2 Camiones de soldadura a Tope
- 2 Tampeadora Junior
- 2 Colocadora de Anclas

- Tie Gang – Cuadrilla de cambio de traviesas

Figura 23. Cuadrilla cambio de traviesas



Fuente: Cerrejón

- 2 Sacaclavos
- 2 Clavadoras
- 2 Cambiadoras de polines
- 3 Grúas de polines
- Ballast Gang / Cuadrilla para cambio de Balasto



Fuente: Cerrejón

- 25 Carros Balasteros
- 1 Reguladora de Balasto
- 1 Tampeadora Junior
- 1 Estabilizadora dinámica
- 1 Desguarnecedora de balasto
- Otros
- Camión detector de fallas por Ultrasonido

### 3.1.2 Clasificación de la información técnica.

Una vez revisada la información de catálogos, manuales de operación, repuestos y planos de cada fabricante en medios físicos, magnéticos e internet se consolidó la información en la siguiente tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de información técnica

INFORMACION TECNICA SUMINISTRADA EQUIPOS ROP											
EQUIPO	MANUAL		PLANOS					IDIOMA		PRESENTACION	
	OPERACIÓN	MANTENIMIENTO	HIDRAULICOS	MECANICOS	ELECTRICOS	NEUMATICOS	LISTA DE PARTES	ESPAÑOL	INGLES	FISICO	DIGITAL
Flash butt welder	X	X	X	X	X	NA	X	X	X		X
Ballast cars	X	X	NA	X	X	X	X	X	X		X
Auto Spiker	X	X	X	X	X	NA	X	X	X		X
Spike Puller	X	X	X	X	X	NA	X	X	X		X
Speed Swing	X	X	X	X	X	NO	X	X	X		X
Utility Tamper	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tie Crane	X	X	X	X	X	X	X		X		X
Anchor Machine	X	X	X	X	X	NA	X		X		X
Dynamic Stabilizer	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tie Plugger	X	X	X	X	X	X	X		X		X
Ballast Regulator	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ultrasonido	X	X					X		X		X
Tie exchanger	X	X	X	X	X	X	X		X		X
Ballast Cleaner	X	X	X	X	X	X	X		X		X

En la tabla 2 se ilustra la clasificación de los 14 equipos en donde se especifica qué tipo de información suministraron los fabricantes con su idioma y formato. En los casos en donde no se contaba con la información requerida, se verifico físicamente en cada máquina y se levantó la información necesaria. Esta información técnica se confronto en cada equipo para analizar sus sistemas y respectivo funcionamiento.

### 3.2 TAXONOMÍA

Una vez analizada la información técnica en cuanto a planos de fabricante y manuales de operación y mantenimiento se realizó en cada tipo de equipo la clasificación y jerarquización de las maquinas en donde se partió de los niveles altos de la compañía ya establecidos.

En la realización de la taxonomía se separaron los sistemas principales de cada máquina y se subdividieron los componentes o ítems mantenibles junto con cada modo y causas de falla para tener un alcance en el manejo de la información a un nivel más detallado y que sirva para el análisis de fallas del equipo de mantenimiento usando el software que en este caso es Ellipse.

Los sistemas principales de las maquinas se clasificaron de la siguiente manera:

- Sistema mecánico
- Sistema eléctrico
- Sistema neumático
- Sistema hidráulico
- Sistema de potencia
- Estructura
- Cabina
- Sistemas de cabezales o funciones principales
- Sistema de emergencias

En los casos donde un equipo contara con un sistema especial y de importancia para su funcionamiento se tomó como un sistema principal con sus respectivos componentes.

En la tabla 3 se da un ejemplo de la taxonomía realizada de unos de los equipos en particular en el anexo A se ilustra a detalle la clasificación de cada equipo con sus respectivos sistemas, modos y causas de falla.

Tabla 3. Ejemplo de taxonomía de los equipos

SISTEMA ELÉCTRICO	ALTERNADOR MOTOR DE ARRANQUE PANEL DE CONTROL BOMBA EMERGENCIA 24V MEDIDORES SISTEMA DE LUCES BOCINA BATERÍAS SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL PANEL DE CONTROL
SISTEMA HIDRÁULICO	TANQUE DE ACEITE ACUMULADOR FILTRO DE ACEITE ENFRIADOR DE ACEITE MIRILLA DE NIVEL DE ACEITE SISTEMA DE MANGUERAS BOMBA HIDRÁULICA BOMBA DE EMERGENCIA ELÉCTRICA BOMBA DIAFRAGMA MANUAL SWITCH ALTA TEMPERATURA SWITCH ALTA PRESIÓN SWITCH BAJO NIVEL MANIFOLD CABEZAL DERECHO ELECTROVÁLVULAS CONTROL PINZA IZQUIERDA MANIFOLD CABEZAL IZQUIERDO ELECTROVÁLVULAS CONTROL PINZA DERECHA DRENAJE ACEITE HIDRÁULICO RESPIRADERO FILTRO DE SUCCIÓN ELEMENTO FILTRANTE
SISTEMA DE POTENCIA	MOTOR DIÉSEL SILENCIADOR FILTRO DE ACEITE FILTRO DE COMBUSTIBLE BOMBA DE COMBUSTIBLE ENFRIADOR MOTOR DRENAJE ACEITE MOTOR FILTRO DE AIRE MOTOR DE PROPULSIÓN DELANTERO

### 3.3 CRITICIDAD

Dependiendo del nivel de las consecuencias cuando el equipo llegue a tener alguna falla, se especifica el nivel de criticidad de un activo. Los equipos críticos se establecen de acuerdo a los lineamientos establecidos mediante la matriz de la tabla 4.

Tabla 4. Matriz de criticidad

		FRECUENCIA				
		<= 1 mes	>1 mes y <= 3 meses	> 3 meses y <= 12 meses	> 1 año y <= 3 años	> 3 años
Escala nivel de afectación	Crítico	50	40	40	40	40
	Grave	40	40	30	30	30
	Importante	30	30	30	20	20
	Moderado	20	20	20	20	10
	Leve	10	10	10	10	10

Haciendo una evaluación de cada uno de los aspectos que son afectados por la confiabilidad de los activos, se definen las escalas para cada uno así:

- Aspecto Costo de Reparación:

Tabla 5. Costo de reparación.

Crítico	Grave	Importante	Moderado	Leve
Mayor a 250.000 (USD)	Entre \$100.000 y \$250.000 (USD)	Entre \$20.000 y \$100.000 (USD)	Entre \$5.000 y \$20.000 (USD)	Menor a \$5.000 (USD)

- Aspecto Productividad:

Tabla 6. Productividad.

Crítico	Grave	Importante	Moderado	Leve
0% de Productividad	20% de Productividad	50% de Productividad	80% de Productividad	95% de Productividad

- Operación:

Tabla 7. Operación.

Crítico	Grave	Importante	Moderado	Leve
3 Horas	2 Horas	1 Hora	0.5 Horas	0 Horas

- Seguridad:

Tabla 8. Seguridad.

Crítico	Grave	Importante	Moderado	Leve
Pérdida de vidas humanas	Afecta a más de cinco Personas o generar incapacidad permanente	Afecta de dos a cinco Personas y puede generar incapacidad de tipo temporal mayor a 15 días	Afecta a una Persona con necesidad de primeros auxilios o incapacidad temporal menor a 15 días	No afectación - Casi accidente

- Aspecto Medio Ambiente:

Tabla 9. Medio Ambiente.

Catastrófico	Crítico	Grave	Moderado	Leve
El daño causado sobre el medio es irreversible o irrecuperable	Los daños ocasionados sobre el medio son graves y requieren implementación de medidas de manejo. Es reversible entre 5 y 10 años	Los daños ocasionados sobre el medio son leves y requieren medidas de manejo. Es reversible en menos de 12 meses	Afectación causada sobre el medio es mínimo e imperceptible. Es controlable con limpieza o contención local. Reversible en menos de un mes	No impacto

- Comunidades:

Tabla 10. Comunidades

Catastrófico	Crítico	Grave	Moderado	Leve
Impacto que genera pérdida y/o afectación de vidas humanas de miembros de la comunidad de las zonas de influencia.	Impacto que genere enfermedades, que afecte el estado de salud de la comunidad o infraestructura de salud y saneamiento de las zonas de influencia.	Pérdida de medios de trabajo o productivos de la comunidad de las zonas de influencia.	Impacto que genera reclamos ante la Organización por prácticas o actividades que puedan afectar el bienestar de la comunidad o medio ambiente de las zonas de influencia.	No impacto

- Imagen Corporativa:

Tabla 11. Imagen corporativa

Crítico	Grave	Importante	Moderado	Leve
Afecta la imagen de la Organización a nivel internacional.	Afecta la imagen de la Organización a nivel nacional	Afecta la imagen de la Organización a nivel regional o local.	Afecta la imagen de la Organización Internamente o a nivel de inversionistas	No hay impacto que afecte la imagen de la Organización

- Sanciones:

Tabla 12. Sanciones.

Crítico	Grave	Importante	Moderado	Leve
Intervención a la Organización por parte de órganos de control u otras entidades por incumplimientos legales y/o contractuales.	Sanciones que impliquen cierre de instalaciones por incumplimiento de las normas establecidas / operaciones / obligaciones contractuales.	Sanciones económicas definitivas impuestas por órganos de control u otras entidades por Incumplimientos legales y/o contractuales.	Solicitud de aclaraciones por parte de órganos de control u otras entidades por incumplimientos legales y/o contractuales.	No impacto

### 3.3.1 Definición de criterios de Frecuencia

La definición de los aspectos que fueron tenidos en cuenta para evaluar la frecuencia con que pudiese presentarse la falla analizada sobre el activo son las siguientes:

Tabla 13. Criterios de frecuencia.

Constante	Frecuente	Moderada	Ocasional	Remota
El evento tiene una posibilidad de ocurrencia menor a un mes	El evento tiene una posibilidad de ocurrencia entre 1 y 3 meses	El evento tiene una posibilidad de ocurrencia entre 3 y 12 meses	El evento tiene una posibilidad de ocurrencia entre 1 y 3 años	El evento tiene una posibilidad de ocurrencia mayor a 3 años.

La determinación de los equipos críticos se hizo estudiando cada uno de sus sistemas definidos en el ejercicio de taxonomía de las máquinas. Se aplica el procedimiento definido para este fin y se obtienen los resultados y/o clasificación de criticidad.

Tabla 14. Nivel de criticidad por tipo de equipo

TIPO DE EQUIPO	NIVEL
SACA CLAVOS	3
SPEED SWING	3
TIE PLUGGER	2
MARTILLO	2
UTILITY TAMPER	3
ANCHOR MACHINE	3
SOLDADOR DE RIELES	4
TIE CRANE	3
TIE EXCHANGER	3
REGULADOR DE BALASTO	3
CARRO BALASTO	2
ESTABILIZADOR DINÁMICO	4
LIMPIADORA DE BALASTO	3
RFDC ULTRASONIDO	4

El análisis detallado de la criticidad de los sistemas se puede consultar en el anexo B.

Para el caso de Cambio de riel, se determinó que los equipos críticos son:

- Speed Swing (Cargador de Rieles)
- Camión Soldador de Rieles.

En cuanto a la mantenibilidad se estableció en una columna de la matriz, igualmente para la determinación natural de la criticidad, la frecuencia de ocurrencia y el impacto operacional que tendría una falla. Así se consideran temas de mantenibilidad en cuanto se tiene en cuenta el tiempo de reparación de los equipos como algo que afectaría directamente y de manera importante la operación del transporte de carbón y suministros que en última es la razón de ser del ferrocarril. Para conocer qué tan relacionados están estos tiempos en la matriz puede ver el anexo B.

### 3.4 PLAN DE MANTENIMIENTO

#### 3.4.1 Consideraciones generales

Como primer recurso del plan de mantenimiento se tienen las recomendaciones de los fabricantes que serán atendidas tanto como sea posible con el propósito de obtener un historial para los equipos, debido a que los equipos son totalmente nuevos en la organización, tomando el contexto operacional de acuerdo a la descripción realizada de las cuadrillas.

Para el contexto operacional, se encontrarán movimientos, acciones y secuencias de actividades durante los trabajos principales en la ventana de mantenimiento, y en las actividades fuera de la ventana de mantenimiento.

Para las cuadrillas de cambio de riel, se establece que los trabajos de mantenimientos serán ejecutados por el personal operador; de esta manera los operadores ejecutarán las actividades de mantenimiento para tener una buena confiabilidad y disponibilidad para el proyecto. En el mismo sentido, las horas hombre para mantenimiento estarán disponibles para mantenimiento de acuerdo a

los cálculos de backlog que se mostrarán en este plan después de la explicación de las tareas de mantenimiento.

Para la cuadrilla de cambio de traviesas, el taller de Equipo Auxiliar de vías estará encargado del mantenimiento de los equipos o de acuerdo como la superintendencia del ferrocarril lo determine en su propia estrategia. El plan de mantenimiento, la puesta en marcha, la gestión de repuestos y el entrenamiento serán ejecutados para el personal de Cerrejón que estará a cargo.

### 3.4.2 Desarrollo de la documentación

Se construyó la documentación del plan de mantenimiento que consiste en procedimientos de mantenimiento, definiciones de la información para la programación en el CMMS, definición de lista de repuestos para las actividades de mantenimiento, recomendaciones generales, herramientas requeridas.

A continuación se mostrarán las matrices de mantenimiento de los equipos:

Tabla 15. Matriz de planes de mantenimientos equipos.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL STANDARD JOB	EST_DUR_HRS
Tie Crane	REALIZAR PM 1 SEMANAS	1.25
	REALIZAR PM 2 SEMANAS	0.1
	REALIZAR PM 4 SEMANAS	4
	REALIZAR PM 24 SEMANAS	4.63
	REALIZAR PM 54 SEMANAS	0.33
	REALIZAR PM 40 HORAS	0.5
	REALIZAR PM 120 HORAS	0.1
	REALIZAR PM 150 HORAS	1.25
	REALIZAR PM 500 HORAS	2.91
	REALIZAR PM 2000 HORAS	0.28
Anchor Machine	REALIZAR PM 40 HORAS	1.55
	REALIZAR PM 150 HORAS	3.41

	REALIZAR PM 250 HORAS	1.83
	REALIZAR PM 500 HORAS	1.8
	REALIZAR PM 750 HORAS	0.16
	REALIZAR PM 1000 HORAS	1
	REALIZAR PM 2000 HORAS	1
	REALIZAR PM 8000 HORAS	60
	REALIZAR PM 10000 HORAS	24
	REALIZAR PM 3 MESES	0.16
	REALIZAR PM 4 MESES	0.5
	REALIZAR PM 1 AÑO	1
Ballast Car	REALIZAR PM 150 HORAS	0.16
	REALIZAR PM 1 MES	0.24
	REALIZAR PM 3 MESES	1.53
	REALIZAR PM 12 MESES	6.35
Regulador de Balasto	REALIZAR PM 40 HORAS	1.16
	REALIZAR PM 50 HORAS	1
	REALIZAR PM 150 HORAS	5
	REALIZAR PM 250 HORAS	3.22
	REALIZAR PM 500 HORAS	6.32
	REALIZAR PM 1000 HORAS	4
	REALIZAR PM 1200 HORAS	1
	REALIZAR PM 2000 HORAS	1.5
	REALIZAR PM 8000 HORAS	50
Spike Puller	REALIZAR PM 150 HORAS	2.5
	REALIZAR PM 12 MESES	1
	REALIZAR PM 1500 HORAS	1
	REALIZAR PM 2000 HORAS	6
	REALIZAR PM 250 HORAS	1
	REALIZAR PM 3 MESES	0.5
	REALIZAR PM 4 MESES	0.5
	REALIZAR PM 40 HORAS	2
	REALIZAR PM 4000 HORAS	24
	REALIZAR PM 500 HORAS	5
	REALIZAR PM 8000 HORAS	50
Tampeadora	REALIZAR PM 12 MESES	16
	REALIZAR PM 100 HORAS	2.5
	REALIZAR PM 1000 HORAS	5
	REALIZAR PM 25 HORAS	0.5
	REALIZAR PM 250 HORAS	6
	REALIZAR PM 3 MESES	0.5
	REALIZAR PM 4 MESES	0.5
	REALIZAR PM 50 HORAS	2
	REALIZAR PM 500 HORAS	5
	REALIZAR PM 8000 HORAS	50
	REALIZAR PM 2 AÑOS	0.5
Tie Exchanger	REALIZAR PM 12 MESES	0.5
	REALIZAR PM 150 HORAS	3

	REALIZAR PM 2000 HORAS	4
	REALIZAR PM 250 HORAS	2.5
	REALIZAR PM 3 MESES	0.5
	REALIZAR PM 4 MESES	0.5
	REALIZAR PM 50 HORAS	2
	REALIZAR PM 500 HORAS	5
	REALIZAR PM 800 HORAS	50
Estabilizador Dinámico	REALIZAR PM 12 MESES	1
	REALIZAR PM 100 HORAS	0.5
	REALIZAR PM 1000 HORAS	0.6
	REALIZAR PM 120 HORAS	2.5
	REALIZAR PM 16 HORAS	0.5
	REALIZAR PM 1 MESES	0.5
	REALIZAR PM 250 HORAS	1
	REALIZAR PM 3 MESES	0.5
	REALIZAR PM 4 MESES	0.5
	REALIZAR PM 50 HORAS	2
	REALIZAR PM 500 HORAS	2
Soldador	REALIZAR PM 8000 HORAS	50
	REALIZAR PM 10000 HORAS	0.5
	REALIZAR PM 120 HORAS	2
	REALIZAR PM 1300 HORAS	2
	REALIZAR PM 150 HORAS	0.5
	REALIZAR PM 80000 HORAS	3.5
	REALIZAR PM 250 HORAS	2
	REALIZAR PM 2500 HORAS	2.5
	REALIZAR PM 400 HORAS	0.2
	REALIZAR PM 40000 HORAS	1
	REALIZAR PM 50 HORAS	5
	REALIZAR PM 5000 HORAS	3
	REALIZAR PM 50000 HORAS	1
	REALIZAR PM 80000 HORAS	12
Speed Swing	REALIZAR PM 1000 HORAS	1
	REALIZAR PM 120 HORAS	0.5
	REALIZAR PM 2000 HORAS	0.5
	REALIZAR PM 250 HORAS	0.5
	REALIZAR PM 40 HORAS	0.3
	REALIZAR PM 50 HORAS	4
Ultrasonido	REALIZAR PM 500 HORAS	0.5
	REALIZAR PM 12 MESES	0.5
	REALIZAR PM 10000 HORAS	0.5
	REALIZAR PM 10000 MILLAS	0.5
	REALIZAR PM 12 MESES	1
	REALIZAR PM 120 HORAS	2
	REALIZAR PM 2000 MILLAS	0.5
	REALIZAR PM 20000 HORAS	3.5
REALIZAR PM 40000 HORAS	0.5	

	REALIZAR PM 80000 HORAS	28
	REALIZAR PM 500 HORAS	0.3
	REALIZAR PM 5000 HORAS	4
	REALIZAR PM 50000 HORAS	1
	REALIZAR PM 80000 HORAS	12
	REALIZAR PM 2 SEMANAS	1
Martillo Automático	REALIZAR PM 120 HORAS	2
	REALIZAR PM 500 HORAS	3.5
	REALIZAR PM 12 MESES	1
	REALIZAR PM 24 SEMANAS	2.5
	REALIZAR PM 3 MESES	0.5
	REALIZAR PM 4 MESES	0.5
	REALIZAR PM 1 MES	3
	REALIZAR PM 8000 HORAS	48
Tie Plugger	REALIZAR PM 500 HORAS	0.3
	REALIZAR PM 12 MESES	1
	REALIZAR PM 12 SEMANAS	3
	REALIZAR PM 3 MESES	0.5
	REALIZAR PM 4 MESES	0.5
	REALIZAR PM 1 MESES	5
	REALIZAR PM 12 MESES	3.5
	REALIZAR PM 8000 HORAS	48
Ballast Cleaner	REEALIZAR CHECK LIST OPERADOR DIARIO	0.75
	REALIZAR PM DE 50 HORAS	2
	REALIZAR PM DE 100 HORAS	2
	REALIZAR PM DE 250 HORAS	5.26
	REALIZAR PM DE 500 HORAS	4.65
	REALIZAR PM DE 1000 HORAS	4
	REALIZAR PM DE 8000 HORAS (CON OVERHAUL DE MOTOR)	645
	REALIZAR PM 2 MESES	0.75
	REALIZAR PM 12 MESES	1.5
	REALIZAR PM 1 MES	0.25
	REALIZAR PM 1 SEMANA	0.25

En el anexo C se encuentran los enlaces para ver en detalle las actividades de mantenimiento de cada uno de los equipos. El anexo 4 también incluyen las actividades y acciones de mantenimiento que hay que realizar en los equipos por cada frecuencia descrita en la tabla 15, los repuestos y consumibles necesarios en cada uno, la duración de cada actividad y en la mayoría de los casos recomendaciones mínimas de limpieza, lubricación y ajuste.

En el anexo D se detallan los procedimientos de mantenimiento de las tareas principales y que requieren de un instructivo paso a paso para ejecutar labores especiales, para efectos de cumplimiento de este objetivo se realizaron 75 procedimientos con sus respectivos aspectos de seguridad asociados para todos los equipos:

Procedimientos estabilizadora dinámica:

- Pre operacional
- Ajuste juego del cojinete rodillo del grupo estabilizador
- Ajuste juego de zapata de freno
- Cambio de aceite caja de engranajes
- Cambio de filtro sistema neumático
- Cambio de filtro de succión hidráulico
- Mantenimiento frecuencia 50 horas
- Mantenimiento frecuencia 100 horas
- Mantenimiento frecuencia 250 horas
- Mantenimiento frecuencia 500 horas
- Mantenimiento frecuencia 1000 horas
- Mantenimiento frecuencia 8000 horas

Procedimientos del regulador de balasto:

- Montaje de aletas
- Desmontaje de eje de arado
- Cambio de correa de barrido

- Ajuste de embrague
- Ajuste de frenos
- Cambio filtro primario de combustible
- Cambio filtro secundario de combustible
- Cambio secador de aire
- Mantenimiento por frecuencia

Procedimientos Tie crane:

- Ajuste de las cadenas propulsoras
- Ajuste de los frenos
- Remoción filtro secundario de combustible
- Drenado filtro separador agua – combustible
- Mantenimiento por frecuencias

Procedimientos Tie Exchanger:

- Cambio de láminas de desgaste
- Cambio de calzos internos
- Cambio de platos de desgaste
- Cambio de válvula de aire
- Cambio filtro de succión
- Cambio de tubería cabina
- Mantenimiento por frecuencias

#### Procedimientos Spike driver:

- Ajuste de posición de cabezal
- Bloqueo de cabezales
- Bloqueo de rodillo guía
- Cambio de martillos
- Cambio de mordazas
- Cambio de yunques
- Cambio de filtro de succión
- Mantenimiento por frecuencias

#### Procedimientos Tie plugger:

- Limpiezas de pistolas diario
- Limpiezas de pistolas semanal
- Limpiezas de pistolas mensual
- Cambio válvula direccional
- Mantenimiento por frecuencias

#### Procedimientos Tapedora:

- Cambio de filtro de aire
- Montaje embrague adicional
- Cambio de filtro de succión
- Ajuste de tornillos guiad bates verticales

- Mantenimiento sistema contraincendios
- Cambio de bates
- Mantenimiento por frecuencias

#### Procedimientos Speed Swing:

- Especificaciones de presión
- Cambio de aceite
- Cambio de aceite hidráulico
- Mantenimiento por frecuencias

#### Procedimientos Soldadora:

- Cambio de bombas sistema hidráulico
- Acuñado cabezal
- Reparación cuchilla
- Mantenimiento por frecuencias

#### Procedimientos Carro balastero:

- Operación con Agregate TM
- Mantenimiento por frecuencias

#### Procedimientos Spike puller:

- Ajuste de la altura del cabezal

- Bloqueo guía cabezal
- Cambio filtro de succión
- Mantenimiento por frecuencias

#### Procedimientos Anchor Machine:

- Ajuste del chute
- Cambio de tipo de anclas
- Cambio filtro de succión
- Mantenimiento por frecuencias

#### Procedimientos Ultrasonido:

- Cambio de membrana rueda de ultrasonido
- Reemplazo de rodamientos
- Reemplazo de sellos magnéticos
- Reemplazo de un transductor

#### Procedimientos Ballast cleaner:

- Ajuste juego de zapata
- Cambio de aceite cambio de engranajes
- Cambio del filtro del sistema neumático
- Mantenimiento por frecuencias

### 3.5 GESTIÓN DE PARTES Y REPUESTOS.

Todos los pedidos, compras y procesos que tienen que ver con el tema de inventario son orientados bajo las políticas de la compañía y bajo consideraciones especiales por tratarse de un proyecto. Una definición inicial de los requerimientos de los repuestos, se desarrolló basado en los manuales y la información que suministra el fabricante de acuerdo a las solicitudes.

Eventualmente, para equipos críticos, se recomienda un análisis de criticidad para los repuestos para la cuadrilla de cambio de riel, la cuadrilla de cambio de traviesas y de reemplazo de balasto. En cuanto a los insumos se especifican y listan en los planes de mantenimiento de cada equipo .Para ver la selección de los repuestos remitirse al anexo E.

### 3.6 PRESUPUESTO Y CONTROL DE COSTOS

Este deberá estar alienado al estándar establecido por los departamentos de Manejo de Carbón y el Departamento de Aseguramiento de la Capacidad instalada según su plan de gestión de costos. El proyecto a partir de su estructura de trabajo genera un mapa de costos que permiten hacer la estructuración formal de su presupuesto.

Varios ejercicios presupuestales se han hecho en el marco del proyecto solamente para el área de equipos, los cuales son:

- Presupuesto Repuestos (Primeras Compras)
- Presupuesto Repuestos – Compra Final
- Presupuesto alistamiento de los equipos

Otros ejercicios presupuestales propios del proyecto para temas de ejecución, interventoría, compras de insumos y materiales, equipo de administración, no se incluyen en la anterior lista debido a la naturaleza propia del proyecto.

A partir de estos presupuestos que consideran las varias etapas de los activos, como especificación, compra, puesta en marcha y operación, se ejecutan los planes de compras y contratación del proyecto que van relacionados con la gestión de los activos.

Habrán consideraciones y acuerdos para la administración de los costos, con el propósito de tener un manejo correcto del capital (CAPEX para el proyecto ROP) y/o el presupuesto de operación (OPEX, para el caso de FFCC). Estos movimientos de acuerdos se harán más para temas de puesta en marcha de los equipos y en casos especiales aprobados y de acuerdo con los planes de gestión de costos.

Para el ciclo de los activos e incluyendo su mantenimiento de los equipos se utilizarán varios Centros de Costos que serán generados por el departamento financiero con el fin de controlar los cargos asociados a la ejecución de la obra en el área de equipos. Igualmente para hacer cargos específicos en los rubros de alistamiento, y servicios específicos se crea una estructura de costos.

De igual manera a partir de esta estrategia de control de costos, se puede obtener la siguiente tabla que consiste en la estructura de costos del proyecto en un pantallazo del sistema de tableros dinámicos de control.



identificación, priorización de problemas y generación de reportes de indicadores de mantenimiento

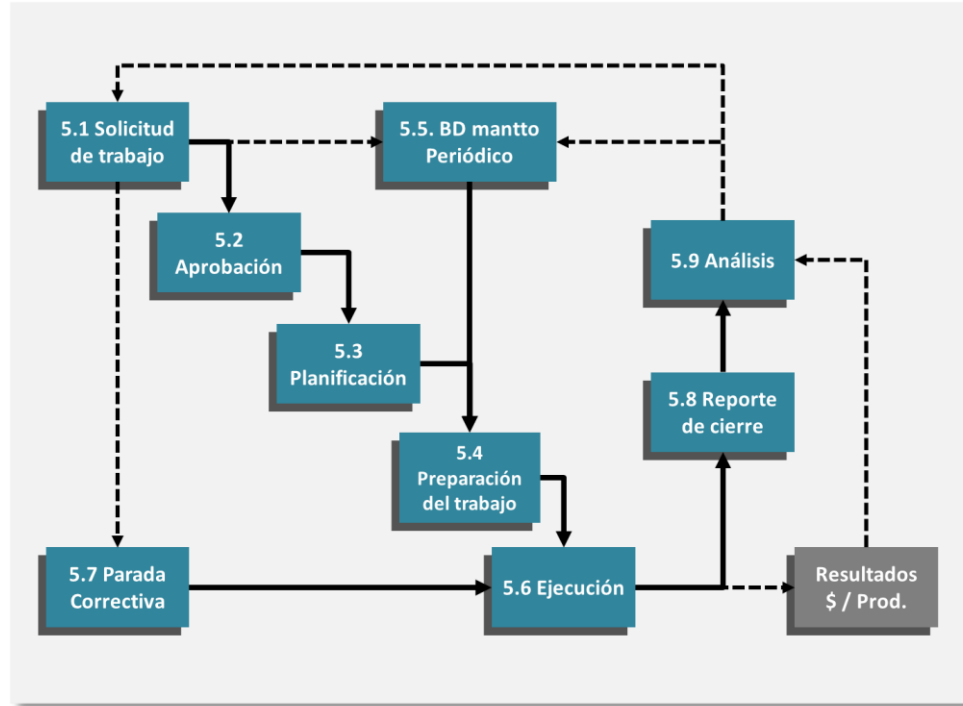
- Todo paro o falla de los equipos que afecten el rendimiento de las cuadrillas de cambio de traviesas y cambio de rieles debe ser reportado y registrado en el sistema Ellipse.
- Los eventos deben ser reportados por el responsable de haber efectuado la tarea o intervención de mantenimiento.
- Cada uno de los eventos reportados deben ser revisados y validados por la(s) persona(s) designada(s) para asegurar la coherencia de la información.

### 3.7.2 Proceso de generación de información para mantenimiento.

La generación de información para mantenimiento nace tanto de la necesidad de controlar la ejecución de los planes de mantenimiento preventivo como de la necesidad de controlar la aparición de fallas que vayan en contra de los resultados operacionales.

Así entonces para gestionar la información de los activos relacionados se propone el siguiente flujo de proceso:

Figura 25. Flujo del proceso de la orden de trabajo



Fuente: Autor

### 3.7.2.1 Solicitud de mantenimiento

Mantenimiento define sus necesidades de trabajo en base a 4 entradas fundamentales: planes de mantenimiento preventivo, paradas correctivas emergentes, necesidades de mejoramiento (de cualquier naturaleza) y requerimientos externos de usuarios de los sistemas o activos bajo su responsabilidad. La solicitud de trabajo se crea por la necesidad de reportar necesidades de mantenimiento por fuera de los planes ya existentes, su origen y requerimientos pueden ser de cualquier naturaleza, con la posibilidad por parte del

usuario de introducir prioridades de ejecución y restricciones para llevar a cabo el trabajo pedido.

La gestión de las solicitudes de trabajo no solo debe cumplir los requerimientos generales de mantenimiento sino a la vez reportar de su cumplimiento a los originadores de la necesidad de trabajo.

#### 3.7.2.2 Aprobación

Mantenimiento debe cerciorarse en todo momento que las solicitudes de mantenimiento que son responsabilidad de su ejecución sean realmente necesarias para llevar a cabo la operación y al mismo tiempo verificar que ante retrasos en la ejecución de las mismas no existan repeticiones contantes de la misma necesidad. Para cerciorarse de lo anterior existe la instancia de “aprobación”, en donde los responsables de le ejecución del mantenimiento “filtran” las solicitudes que realmente deben continuar con el proceso de ejecución, informando oportunamente a los solicitantes del estado de aceptación o rechazo de su pedido.

#### 3.7.2.3 Planificación

Una vez aceptada una solicitud de trabajo, esta es convertida en una orden de mantenimiento, la cual para su correcta ejecución debe ser planificada acorde a sus requerimientos técnicos. En esta instancia entonces, el personal encargado (planificador) identifica los recursos humanos, físicos y logísticos requeridos para

la ejecución, valorar el riesgo de su ejecución y definir con el mayor detalle posible como se debe realizar cada una de las tareas que implican llevar a cabo el trabajo.

Esta instancia tiene la facultad de generar pedidos de insumos y repuestos cuando no se encuentren disponibles en almacén, así como de crear solicitudes de contratación cuando la experticia técnica no se encuentre disponible en Cerrejón.

Para esta instancia se asegura:

- Estrategia de ejecución
- Estándar de trabajo
- Lista de partes
- Herramientas especiales
- Costos estimados
- Hojas técnicas
- Estrategia de seguridad
- Criterios especiales

#### 3.7.2.4 Preparación del trabajo

Una vez planificada la orden y de acuerdo a los trabajos que se pudiesen llevar a cabo, se deben asegurar todos los recursos para poder llevarlas a cabo. Es esta instancia se debe definir:

- De acuerdo con la prioridad, el momento oportuno para su realización

- La cantidad de órdenes a realizar en el periodo de tiempo de acuerdo a los recursos disponibles
- Las interacciones necesarias con la operación para coordinar su ejecución

La salida de esta instancia se convierte en un cronograma de ejecución de actividades semanal. Con los requerimientos respectivos de recursos.

La información en las órdenes de mantenimiento en esta instancia debe contener

Tabla 17. Información mínima de la orden de mantenimiento.

REGISTRO	DESCRIPCION
Registro de Mantenimiento	Registro único de identificación (numero de la orden)
Equipo	Código del equipo
Fecha del mantenimiento	Fecha cuando se realiza la acción de manto
Categoría de mantenimiento	Preventivo, Correctivo, etc.
Prioridad del mantenimiento	Alta, Media o Baja...
Intervalo	Intervalo calendario u operativo (aplica PM)
Actividad de Mantenimiento	Descripción de la actividad de mantenimiento
Impacto del mantenimiento	Producción, Costos
Sub-sistema	Nombre del subsistema mantenido
Ítem mantenible	Nombre del componente mantenido
Recursos de mantenimiento	Horas hombre, repuestos y equipos
Información soporte	Procedimientos, planos, permisos, etc.
Tiempo esperado de mantto	Duración de la actividad de mantenimiento

La anterior información es dada por la planificación, pudiendo no ser totalmente correspondiente con los datos al momento de realizar la intervención de mantenimiento. Debiendo ser complementada por los mantenedores en la instancia de ejecución.

### 3.7.2.5 Base de datos mantenimiento periódico

Esta base de datos está constituida por:

- Planes de mantenimiento basados en tiempo
- Planes de mantenimiento basados en uso
- Planes de mantenimiento basados en inspección.

Todos los requerimientos de cada una de las órdenes de mantenimiento resultantes de estos planes están contenidos dentro de la base de datos, no siendo necesario su paso por la etapa de planificación. Por ser resultado de estudios anteriores de confiabilidad y mantenibilidad su prioridad de ejecución es de las más inmediatas, solo anteponiéndose a ellas la correctivas de alta criticidad.

### 3.7.2.6 Ejecución

Una vez concertado el momento oportuno de la realización del trabajo, se procede a su realización, asegurando:

- Los recursos planificados
- Las especialidades requeridas
- Los permisos de trabajo necesarios para intervenir las maquinas
- Los análisis de riesgo para prevenir cualquier incidente sobre la seguridad o el medio ambiente

- Los procedimientos necesarios para ejecutar el trabajo
- Las personas nombradas para su ejecución
- Los contratistas nombrados para el soporte a su ejecución

### 3.7.2.7 Reporte de cierre

Toda acción de mantenimiento independiente de su naturaleza debe derivar en la generación de información. Ésta debe en lo posible surgir del mantenedor y contener toda la información necesaria para posibilitar el cálculo de indicadores de desempeño.

La información mínima requerida desde la orden de trabajo para posibilitar el seguimiento de todas las acciones de mantenimiento una vez han sido ejecutadas son:

- **Mantenimiento Preventivo**

Tabla 18. Información de una orden de mantenimiento preventivo

REGISTRO	DESCRIPCION
Fecha del mantenimiento	Fecha real de ejecución
Intervalo	Intervalo calendario u operativo (aplica PM)
Actividad de Mantenimiento	Descripción de la actividad de mantenimiento
Impacto del mantenimiento	Producción, Costos
Sub-sistema	Nombre del subsistema mantenido
Ítem mantenible	Nombre del componente mantenido
Recursos de mantenimiento	Horas hombre, repuestos y equipos
Información soporte	Procedimientos, planos, permisos, etc.
Tiempo real de ejecución	Duración de la actividad de mantenimiento

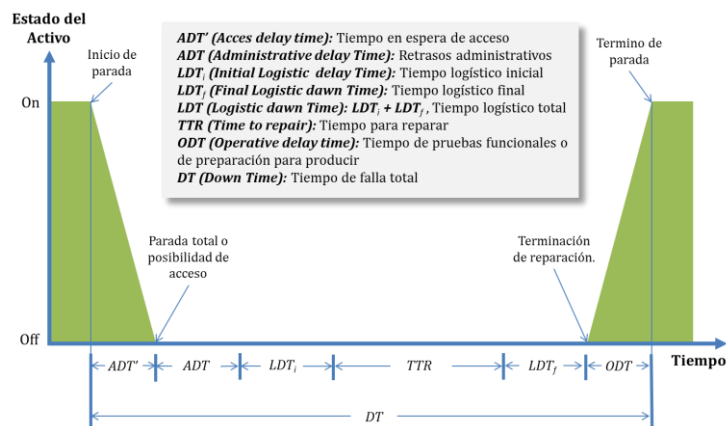
- **Mantenimiento Correctivo**

Tabla 19. . Información de una orden de mantenimiento correctivo

REGISTRO	DESCRIPCION
Fecha de falla	Fecha real de ejecución
Descripción de la falla	Equipo
Actividad de Mantenimiento	Descripción de la actividad de mantenimiento
Impacto del mantenimiento	Producción, Costos, Hasta donde afectó...
Sub-sistema	Nombre del subsistema mantenido
Ítem mantenible	Nombre del componente que fallo
Método de detección	Acción de mantenimiento que evidencio la falla
Modo de falla	Síntoma que evidencio la falla
Causa de Falla	Causa inmediata del porque de la falla
Recursos de mantenimiento	Horas hombre, repuestos y equipos
Información soporte	Procedimientos, planos, permisos, etc.
Hora de reporte de falla	Hora en que el operador reporta la falla
Hora inicio intervención de mantto	Hora en que mantenedor inicia actividades en equipo
Hora final intervención de mantto	Hora en que mantenedor termina actividades en equipo
Hora entrega equipo	Hora de entrega del equipo operando

Los tiempos a llenar en la orden se hacen necesarios a fin de tener claridad en:

Figura 26: Tiempos de atención de fallas



Fuente: Cerrejón

De la figura para el caso de R.O.P. cerrejón ADT´ y ODT tienden a cero, esto dado que los componentes que configuran los diferentes activos no presentan tiempo extensos de reposo para permitir su diagnóstico e intervención.

#### 3.7.2.8 Análisis de información

Durante y después de que la información ha sido cargada en Ellipse, es necesario validarla, verificando la consistencia de cada uno de los campos diligenciados. Garantizando así la confiabilidad de la información y a su vez todos los resultados que se puedan obtener de ella.

El encargado de confiabilidad será el encargado de realizar la revisión diaria de los eventos de mantenimiento. En caso de existir inconsistencias, inmediatamente deberá realizar los correctivos necesarios para poder garantizar la confiabilidad de la información.

Esta etapa del proceso, ya se tiene un histórico de eventos de mantenimiento en Ellipse. Ahora, esta información deberá ser analizada de manera detallada con el fin de identificar y atacar aquellas fallas crónicas o malos actores que están causando los paros de equipos y pérdidas de productividad, así como las acciones de mantenimiento preventivo a mejorar. El primer paso que se debe realizar es calcular los indicadores de desempeño a nivel de sistema y equipo, así como también las tendencias históricas del comportamiento de variables como los costos, recursos, entre otros.

### 3.7.3 Indicadores

De manera individual, el departamento de manejo de carbón (MDC) ha establecido en su manual de gerencia de mantenimiento de su sección, algunos indicadores adoptados de igual manera por la superintendencia de Ferrocarril para evaluar el desempeño del negocio principal del ferrocarril que es el transporte de Carbón y Suministros.

Basados en la experiencia del Ferrocarril y con el soporte directo en este sentido, se han definido los siguientes indicadores.

Para mayor información del detalle de cada uno de estos datos puede consultar las fichas técnicas oficiales de cada uno de estos, en el anexo F.

Tabla 20. Indicadores.

INDICADOR	FÓRMULA	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS		
Disponibilidad Genérica - Ag	$Ag = (UT / (UT + DT)) \times 100$	<b>UT: Up time</b> - Tiempo total durante el cual se estima que el equipo puede cumplir la función requerida. <b>DT: Downtime</b> - Tiempo total durante el cual el equipo no pudo cumplir la función requerida		
		UNIDAD DE MEDIDA	PERIODO	METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO
	%	Mensual	Se realizará usando la funcionalidad "Reporte de confiabilidad y disponibilidad" de Elipse y será presentado en la reunión mensual de indicadores.	
INDICADOR	FÓRMULA	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS		
Porcentaje de Downtime - %DT	$\%DT = (THFS / THPA) \times 100$	<b>THFS - Total horas fuera de servicio:</b> Tiempo durante el cual un equipo está fuera de servicio como resultado de fallas. <b>THPA - Total horas del período analizado:</b> Tiempo total durante el cual se preveía la operación del equipo o el tiempo calendario para factores de utilización del 100%.		

	UNIDAD DE MEDIDA	PERIODO	METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO
	%	Mensual	Se realizará usando la funcionalidad "Reporte de confiabilidad y disponibilidad" de Elipse y será presentado en la reunión mensual de indicadores.
INDICADOR	FÓRMULA	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS	
Tiempo medio Operativo (Mean Up Time)	$MUT = UT/NUT$	<b>THUT</b> = Tiempo total durante el cual el equipo cumple con su función. <b>NUT</b> = Número de veces de funcionamiento exitoso	
	UNIDAD DE MEDIDA	PERIODO	METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO
	%	Mensual	Se realizará usando la funcionalidad "Reporte de confiabilidad y disponibilidad" de Elipse y será presentado en la reunión mensual de indicadores.
INDICADOR	FÓRMULA	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS	
Tiempo Medio Entre Fallas - MTBF	$MTBF = (TTEF / NFO)$	<b>TTEF</b> = Tiempo total durante el cual se estima que el equipo puede cumplir la función requerida. <b>NFO</b> = Número de fallas ocurridas en el periodo	
	UNIDAD DE MEDIDA	PERIODO	METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO
	Horas	Mensual	Se realizará usando la funcionalidad "Reporte de confiabilidad y disponibilidad" del Ellipse y será presentado en la reunión mensual de indicadores. La medición de este indicador debe ser acumulada a 12 meses
INDICADOR	FÓRMULA	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS	
Tiempo Medio Para Reparar - MTTR	$MTTR = (THR) / NTR$	<b>THR</b> = Total horas de reparación del equipo <b>NTR</b> = Número total de reparaciones	
	UNIDAD DE MEDIDA	PERIODO	METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO
	Horas	Mensual	Se realizará usando la funcionalidad "Reporte de confiabilidad y disponibilidad" del Elipse y será presentado en la reunión mensual de indicadores.

INDICADOR	FÓRMULA	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS	
Confiabilidad-R	$R = (MTBF) / (MTBF) + (MTTR)$	<b>MTBF = Tiempo medio entre fallas</b> <b>MTTR = Tiempo medio para reparar</b>	
	UNIDAD DE MEDIDA	PERIODO	METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO
	Adimensional	Mensual	Se realizará usando la funcionalidad "Reporte de confiabilidad y disponibilidad" del Elipse y será presentado en la reunión mensual de indicadores.

Para el cálculo de MTBF y MTTR solo se tendrán en cuenta las fallas o trabajos de corrección de fallas no programados, y no planeados los cuales afectarían la seguridad o la producción de las cuadrillas.

### 3.8 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

En este documento se considerarán los apartes de la estrategia de mantenimiento de la superintendencia de ferrocarril debido a la gran incidencia que tienen los planes de acción del proyecto en las metas y objetivos específicos del transporte de carbón. No se pretende imitar en su totalidad esta pero se establece para el proyecto que ninguna política u objetivo de éste, podrá ir en contra del plan estratégico de la superintendencia de Ferrocarril de Cerrejón. En esta estrategia se cuenta con la visión de la superintendencia ferrocarril, misión superintendencia ferrocarril, declaración de propósito y objetivos estratégicos de donde se derivaron las de ROP.

### 3.8.1 Plan estratégico organizacional - Proyecto overhaul de la vía férrea.

#### 3.8.1.1 Políticas de gestión de activos- ROP.

Los activos que tiene asignados el proyecto para su preparación, ejecución y puesta en marcha deberán ir en función del aseguramiento de la capacidad portante de la vía férrea en los próximos años, ejecutando las labores de mantenimiento y gestión necesarias para optimizar el desempeño, controlar los riesgos y mejorar costos de la gestión de los activos.

En las actividades, procesos y estrategias de gestión de los activos se deben cumplir los lineamientos corporativos en términos de seguridad, salud, medio ambiente y comunidades.

Se debe hacer una gestión de la información de los activos de manera que al pasar la responsabilidad de los activos a la superintendencia de ferrocarril al finalizar el proyecto, se continúe de manera efectiva la gestión de los mismos a través de su ciclo de vida.

Se debe hacer un correcto monitoreo y mejoramiento de la gestión orientado a evaluar la sostenibilidad y sustentabilidad de los activos a lo largo del proyecto y aún al finalizar éste.

La empresa suministrará los recursos necesarios para implementar una gestión de activos acorde a las políticas establecidas. La divulgación de esta política se hará

de manera efectiva a los interesados en la gestión de los activos asignados al proyecto. Para más detalle de la política ver anexo G.

#### 3.8.1.2 Declaración de propósito- ROP.

El propósito del grupo de mantenimiento del proyecto ROP es obtener el número de kilómetros de riel cambiado por turno de trabajo requerido para cumplir con el plan del proyecto de cambio de riel comprometidos por el proyecto con la compañía, trabajando sin accidentes, en equipo con todos los actores del proceso de transporte de carbón y suministros y conservando una confiabilidad del 100% ("0" fallas de los activos críticos con pérdidas de transporte de carbón y productividad en cambio de riel) entre las ventanas de mantenimiento establecidas, durante todo su ciclo de vida.

#### 3.8.1.3 Objetivos estratégicos-ROP

Ejecutar el cambio de riel en el tiempo de diseño del proyecto, en línea con el aseguramiento de la capacidad de transporte de la vía férrea con máquinas confiables y sin accidentes en la operación y actividades de mantenimiento.

Orientar las actividades de mantenimiento a la obtención de una buena confiabilidad para alcanzar la tasa establecida para cambio de riel en el plan de ejecución: 1.2 Km de vía por turno de trabajo.

Mejorar continuamente la gestión de activos buscando el control del desempeño de los equipos, los costos de mantenimiento y el control de los riesgos asociados a los activos.

### 3.9 GESTIÓN DE RIESGOS

La gestión de riesgos sigue una metodología de proyectos en la que se definen los riesgos principales a partir de la hoja de estructura del proyecto, definiendo así las líneas de estos.

De este documento, directamente relacionados a la parte técnica y más precisamente a los equipos, se tienen las siguientes categorías.

Tabla 21. Clasificación de riesgos para el proyecto, relacionados directamente con Mantenimiento.

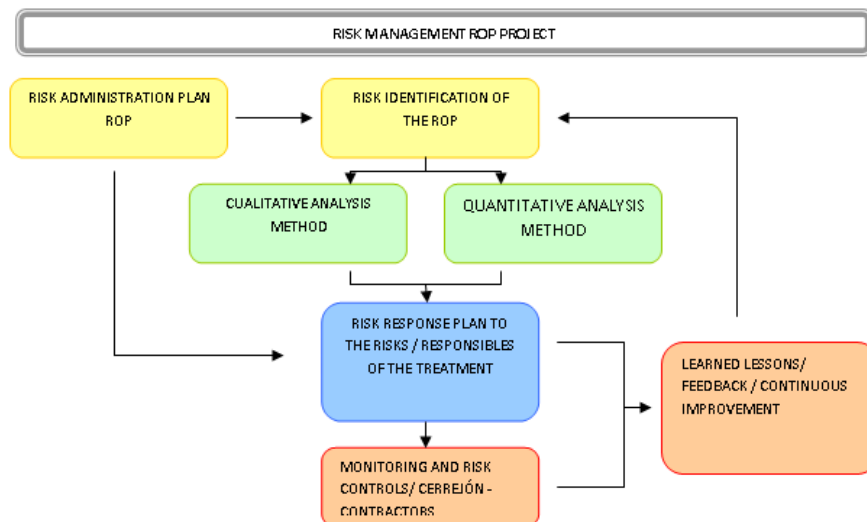
<b>Equipos y Herramientas</b>	<b>Materiales</b>	<b>Infraestructura</b>	<b>Manejo de Cargas</b>
Spike Puller	Rieles	Almacenamiento de Materiales	Mecánica
Speed Swing	Agregados		Montacargas
Tie Plugger	Combustible	Almacenamiento de Equipos	Grúas
Auto Spiker	Soldadura		Camión Grúa
Utility Tamper	Clavos	Acometida Eléctrica	Sistemas de Aparejos
Anchor machine	Placas	Redes de Aguas	

Rail Flaw Detector	Traviesas	Suministro de aire	Winches y Gatos
Tie Crane	Gases	Adecuaciones	Speed Swing
Ballast Cars	Tornillería	locativas	
Production Tie	Consumibles		
Exchanger	Químico Plugger		
Ballast Regulator	Aceites		
Undercutter	Refrigerantes		
Grúas			
Vehículos			
Equipos de Oxicorte	<b>Información Técnica</b>	<b>Trabajo en Altura</b>	<b>Manejo de Herramientas y Equipos</b>
Diferenciales	Diseños		
Sistemas de Iluminación	Procedimientos	Sistemas de Protección Contra Caída	Equipos de Rotación
	Legislación		Equipo de Vibración
Repuestos	Normas	Sistemas de Prevención (barandas puentes)	Sistemas Presurizados
Arneses	Conceptualización del Proceso de Reparación		Manipulación de H/tas
Líneas de Vida		Elementos de Protección Personal	Operación de Equipos
Eslingas			
Montacargas	Manuales		
Herramientas Varias			
Cama bajas			

Se recuerda que las registradas en la anterior tabla, corresponden a las categorías más cercanas al proceso de mantenimiento, esto con el fin de mostrar en este documento una muestra representativa de estas, sin embargo habrá varias categorías que también influirán de manera importante en el desarrollo de los planes de mantenimiento y sobre las cuales también se hizo el análisis respectivo.

El proyecto establece una metodología para la gestión de los riesgos que está resumida en el siguiente diagrama.

Figura 27. Gestión del riesgo para el proyecto.



Fuente: Cerrejón

El análisis de los riesgos por cada una de las metodologías propuestas es realizado para todo el proyecto y para la sección de mantenimiento y se puede encontrar en el anexo H.

Entre los eventos que se consideraron como de riesgo en la ejecución de los planes de mantenimiento están los siguientes:

- Exposición del personal a riesgos asociados a los equipos durante la revisión de las diferentes partes de los equipos (Machucones, golpes, contusiones, lumbagos, Quemaduras, cortes, etc.)
- Contacto con sustancias químicas (Combustible - diesel, Tie plugger chemical, aceites)/ Exposición del personal a quemaduras por contacto
- Contaminación de suelos por derrame de combustibles y sustancias peligrosas / Manejo inadecuado de residuos peligrosos
- Quema de área boscosa por Incendios forestales
- Exposición del personal a partes y herramientas que se liberen repentinamente (Atrapamientos, Golpe, contusiones, latigazos)
- Exposición del personal a proyección de químicos usados con sistemas presurizados (Inyección de grasa en la piel, intoxicación, quemaduras)
- Personal levantando piezas y partes de equipos durante las actividades de mantenimiento sufren Lumbalgias, lesiones osteo musculares, desgarres, otros.
- Izaje de partes de equipos/ equipos usando grúas, diferencial de carga (Atrapamientos, aplastamientos, fracturas, entre otros)
- Personal expuesto a riesgo durante la Ejecución de actividades de mantenimiento con sistemas presurizados (Cortadura de piel, golpe, quemadura, explosión)
- Contacto del personal con energía eléctrica durante la operación de equipos (Electrocución, quemaduras)
- Caídas, golpes, atrapamiento, falta de productividad
- Electrocución, quemaduras

- Contacto de técnico con herramientas en movimiento (Pulidora, taladros, herramientas de corte)
- Proyección de partículas y/o disco de pulidora sobre el personal
- Exposición continua de técnicos a radiación,/ contacto / proyección de humos metálicos, a altas temperaturas, superficies calientes, chispas, incendio, explosión.
- Exposición al personal a inhalación, explosiones, quemaduras, muerte
- Generación de explosiones por manipulación de cilindros con gases comprimidos
- Sobreesfuerzo de personas por trabajo dinámico
- Colisión de vehículo liviano con equipo liviano y mediano en la vía nacional y vía férrea
- Técnico es atropellado por equipo de mantenimiento de vías / equipo ferroviario durante traslado de un sector a otro
- Caída de técnicos de las plataformas de los equipos
- Caídas al mismo nivel (caminando)
- Caída de personas desde estructuras o instalaciones con altura mayor a 1,5 mt / Caída de nivel superior a 1,5 mt al realizar mantenimiento/ inspección a equipos de vía férrea
- Técnico expuesto a Contacto con puntos de pellizco, superficies cortopunzantes, áreas de atrapamiento (golpes, machucones) durante manipulación de herramientas de todo tipo (Martillos, taquímetro, llaves)
- Contacto con animales (silvestres, venenosos y ponzoñosos) en el área de trabajo. (mordedura / picadura)
- Exposición de personas a niveles sonoros > 80db, (cuando se está descargando los equipos con grúas o montacargas, motores de equipos prendidos en mantenimiento.)
- Conato de incendio / Choque eléctrico durante manipulación de sistemas eléctricos

- Caída de rayo impactando personal que estaba al aire libre (Espacios abiertos)/ Personal recibe descarga eléctrica durante tormentas mientras realiza trabajos a campo abierto / Contacto con riel que recibió la descarga
- Exposición (Contacto) del personal a fuentes de calor a altas temperaturas / energía térmica.

Está definido para el proyecto que una vez que el personal contratista deberá revisar y examinar toda la documentación con el fin de implementar los controles determinados para los riesgos identificados.

En general para el proyecto hay un plan específico para gestión de riesgos, que considera elementos importantes del trabajo en el mantenimiento de los equipos.

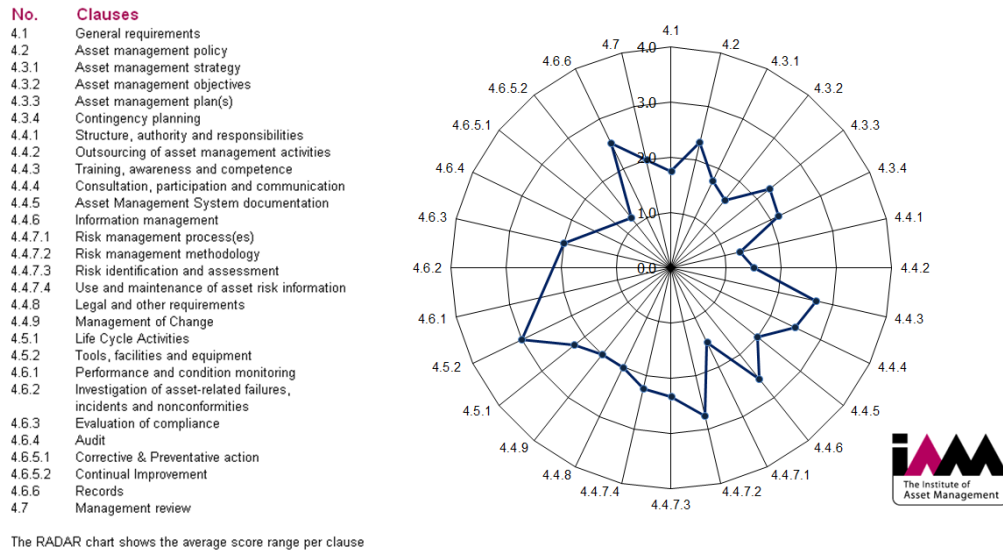
### **3.10 CONSIDERACIONES SOBRE PASS 55**

En este proyecto, será necesario tener una buena gestión de activos debido a la criticidad de algunos equipos y procesos. PAS55, tiene algunos requerimientos que serán construidos tanto como sea posible, sin embargo no se pretenderá la implementación total que amerite una certificación debido a la duración natural del proyecto.

Los requerimientos de PAS55 serán tomados como plan de documentación para el mantenimiento y la gestión de activos y como lineamientos principales para la administración del mantenimiento. Como algo inicial de la gestión de activos, en este documentos se han establecido algunas políticas de gestión de activos.

Sin embargo se ha hecho a manera de diagnóstico, como la misma metodología de trabajo sugerida por la publicación lo dice, una evaluación mediante entrevista directa sobre los 121 puntos que permiten determinar en qué aspectos habría buenas oportunidades de mejora.

Figura 28. Promedio de los rangos de puntajes por clausula



Fuente: Estándar PASS 55.

Considerando que algunos de los documentos necesarios para cumplimiento de los lineamientos de la publicación PAS55 son parte de los documentos base del proyecto de *Overhaul* de la Vía férrea, se hizo la evaluación desde un punto de vista de gestión de activos como una división específica del proyecto, y no enteramente como un departamento que representara la empresa en su totalidad.

Análisis de la evaluación:

Una de las cosas que hay que definir, es que a pesar que las cláusulas de PAS55 están estrechamente relacionadas con el ciclo de mejoramiento continuo PHVA del sistema de gestión de calidad ISO9001, hay varias partes de la documentación del proyecto que se tienen cumpliendo su función de planes. Por otra parte la ejecución de obras físicas sobre los activos que se ha realizado hasta ahora, se ha

implementado con personal de otro proyecto, de la operación y en su mayoría son labores de puesta en marcha de los activos, por ende la experiencia en cuanto a la verificación y los planes de mejora en algunos casos no han alcanzado a aplicar o no cuentan con una calificación bastante baja.

Tal es el caso del tema de Auditorías, para lo cual se ha definido para el proyecto que no inician sino después de iniciadas las obras a total producción, o el caso de la investigación de fallas de los activos que no se han presentado y por ende no se ha hecho la primera investigación aún.

Figura 29. Cláusulas de la PAS55 en el ciclo PHVA



Fuente: Estándar PASS 55.

Los puntos de mayores fortalezas están en la parte de equipos y herramientas, metodologías de gestión de riesgos, entrenamiento y gestión de la información. En los equipos se ha hecho bastante énfasis durante la definición del proyecto, y se hace constante seguimiento, revisión, cambios de estrategias, aseguramiento de los procedimientos y demás. Tal es el caso también de la gestión de riesgos que por tratarse de un proyecto, se ha hecho bastante énfasis teniendo como resultado una metodología bien definida y unos análisis robustos y bien desarrollados.

Para el caso del entrenamiento, ha hecho parte fundamental de la puesta en marcha de los equipos por lo que se tiene experiencias y varios casos resueltos que han terminado definiendo una metodología de trabajo confiable. De igual manera el registro y la gestión de la información ha sido uno de los puntos que más se ha trabajado en el proyecto; sin llegar a considerar los responsables, se ha tenido un control específico sobre la gestión de la documentación general del proyecto y también sobre el registro de la documentación de toda la puesta en marcha de los equipos.

A pesar de no haber iniciado aún la ejecución del proyecto donde se usarían los activos, se considera que varios de los puntos donde hay baja calificación como la estructuración de responsabilidades, los procesos de gestión de riesgos, y los temas de mejora continua, hacen parte de la evaluación particular que haría la gerencia del proyecto para considerar cambios, metodologías, o quizá justificaciones que pueden llegar a tener toda la validez, pero que a pesar de esto no permitirían tener un sistema de gestión de activos acorde a la publicación PAS55, sin decir que esto esté en contra de los lineamientos iniciales del proyecto.

### 3.11 INTERFACES ENTRE LAS SECCIONES DE MANTENIMIENTO DE FERROCARRIL Y EL PROYECTO ROP.

Para el mantenimiento se tendrá alguna interacción entre las organizaciones de mantenimiento de las partes involucradas en el proceso de Overhaul de la vía. Estos aspectos en común serán manejados de acuerdo a los siguientes puntos:

- Acuerdos de trabajo para el uso de facilites. (Ej: Taller de Equipo Auxiliar de Vías para reparaciones especiales).
- Acuerdos de servicios para soporte de personal de experiencia. Se hará necesario en la etapa de curva de aprendizaje del proyecto; se podría solicitar colaboración de técnicos de experiencia para reparaciones o ajustes de la maquinaria.
- Reuniones de Planeación. En la etapa de planeación y verificación, se harán reuniones para buscar acuerdos en los planes de mantenimiento, análisis de criticidad, determinación de repuestos críticos, y procedimientos de mantenimiento con la idea de obedecer lineamientos del ferrocarril en estos aspectos.
- Entrenamiento en mantenimiento: el proyecto proveerá el entrenamiento al personal que mantendrá los equipos de todas las cuadrillas incluyendo las cuadrillas administradas y operadas por el Ferrocarril. En lo posible el entrenamiento del personal se registrará en el software de gestión de capital humano de Cerrejón.
- Procesos de *Commissioning*. Se harán reuniones para acordar la logística necesaria para la puesta en servicio de toda la maquinaria; el personal de Cerrejón participará en el proceso haciendo sus propias verificaciones de calidad y aseguramiento de la funcionalidad de los equipos.
- Plan de mantenimiento principal para el proyecto ROP estará soportado por la organización del ferrocarril con el propósito de establecer las políticas y objetivos para la puesta en servicio después del proyecto.

## 4 CONCLUSIONES

- Se clasificó la información referente a cada tipo de equipo en donde se recopilaron las especificaciones técnicas necesarias para diseñar los planes de mantenimiento, taxonomía y procedimientos en donde se evidenciaron algunas diferencias en cuanto a los modelos de repuestos, estos se dieron a conocer al fabricante en su debido momento para evitar el reconocimiento de repuestos erróneos que provocarían inconsistencias en números de parte.
- Se evidenció primero en la clasificación de sistemas, subsistemas y componentes y luego en los estudios de criticidad que los equipos más críticos de las cuadrillas de cambio de riel, traviesas y balasto son: Speed Swing, Flash Butt Welder, Ballast Regualtor, Dynamic Stabilizer, Ballast Cleaner y RFDC Ultrasonido. Lo cual en la estrategia deben ser prioridad y deben alcanzar los índices de confiabilidad más elevados, tratamiento aplicado en los respectivos planes.
- Se considera que realizar una estrategia de mantenimiento para diferentes tipos de equipos nos enseña a conocer su funcionamiento, ciclo de vida, modos de falla y repuestos que aportan a la realización de planes de mantenimiento que van orientados en un buen desempeño de las máquinas, a pesar que no se tenga amplia experiencia en equipos de cambio de riel. Esto porque la idea de establecer una estrategia con la solidez y confiabilidad requeridas por un proyecto, exige hacer un control minucioso de las tareas, políticas y estrategias que se apliquen en la gestión del mantenimiento y operación de los equipos. Se consiguió consolidar la documentación técnica oficial, procedimientos y de controles de seguridad industrial para las tareas importantes que explícitamente estaban consignadas en los manuales.

- Debido a que la maquinaria adquirida a la cual se le realizó la estrategia de mantenimiento es nueva y no se tienen datos históricos ni experiencia extensa y sólida en el mantenimiento de la misma, esta monografía estructura la manera de recopilar datos históricos que aporten a la gestión de mantenimiento futura del proyecto ya sea ROP o la superintendencia de ferrocarril. La metodología está muy bien relacionada con las directrices actuales de manejo de la información, aspecto que brinda confianza en los puntos de interface, y en un futuro que la superintendencia pueda hacerse cargo de todas las flotas de equipos. La determinación de las listas de repuestos e insumos, se hizo bajo la tutoría y supervisión ocasional de la superintendencia de ferrocarril que considera su experiencia para el tema.

- A partir de esta estrategia la revisión y seguimiento de los indicadores propuestos ayudarán a la mejora continua del mantenimiento de los equipos ROP en su fase de verificación. A pesar de tener un estado regular en cuanto a las generalidades de la publicación aceptada internacionalmente como buen referente de gestión de activos PAS55, los planes que se consideraron, brindan buenas expectativas para el mejoramiento continuo, porque en cada fase del ciclo de mejoramiento se tienen puntos fuertemente considerados, y otros que aún requieren potenciación.

## BIBLIOGRAFÍA

AMS GROUP, proceso de gestión de información de confiabilidad, 2011.

BOHORQUEZ GONZALEZ, Carlos Ramón. Principios de mantenimiento. Bogotá. Universidad Industrial de Santander, 2002.

CRUZ, Anderson y MARIN, Diego. Diseño de la estrategia de mantenimiento para la planta de químicos Ebrinsa SA. Trabajo de grado gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-mecánicas, 2012. 71p.

DRAFT INTERNATIONAL STANDARD. Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO/DIS 14224, 2205. 32 p

GONZALEZ, Francisco Javier. “ Teoría y Practica Del Mantenimiento Industrial Avanzado”. 2 ed 2010.

MONTILLA, Carlos y ARROYAVE Juan, Caso de aplicación centrado en la confiabilidad RCM, previa existencia mantenimiento preventivo, trabajo de grado. Pereira: Universidad tecnológica de Pereira, 2007.

MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento industrial efectivo. Envigado Antioquia Medellín: Coldi 2009

MUBRAY Jhon Miltchel, RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Alladon LCC , North California 2004 edición es español.

NORZOK STANDARD, Criticality analysis for maintenance purposes. Z008, 2001. 13P

PASS 55-1:2008, Asset Management, parte 1 especificación para la gestión optimizada de activos, The Institute Of Asset Management, 2008 edición en español.

RODRIGUEZ, Orlando y TORRES, Alexander y TURCA, Wilson. Estrategia de mantenimiento para la nueva planta de gas Ecopetrol SA, CPF de Cupiagua. Trabajo de grado gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-mecánicas, 2012. 70p.

Tavares, L. (2000) Administración moderna del mantenimiento. Procesados por el club de mantenimiento. [www.mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com) .

Zambrano, Sony. 1.993. Norma COVENIN 2500-93. Manual para la evaluación de sistemas en la industria.

ANEXOS

ANEXO A. EJEMPLO DE TAXONOMÍA DEL EQUIPO TIE CRANE.

COMPañÍA / INDUSTRIA	UNIDAD DE NEGOCIO	INSTALACION /UNIDAD PRODUCTIVA	PLANTA/PROCESO
CERREJON	MDC	FERROCARRIL	SOPORTEFC
SECCION/SISTEMA	UNIDAD / EQUIPO	SUB-UNIDAD /SUB-EQUIPO	COMPONENTE / ITEM MANTENIBLE
EQVIA	TIE CRANE 1360103	SISTEMA DE BRAZO ARTICULADO (BOOM)	CILINDRO HIDRÁULICO DE PLUMA (BOOM) PLUMA (BOOM) CILINDRO HIDRÁULICO BRAZO SECUNDARIO STICK (BRAZO SECUNDARIO) BARRA PIVOTE GANCHO MOTOR HIDRÁULICO GANCHO CILINDRO HIDRÁULICO GANCHO SISTEMA DE BLOQUEO BRAZO GANCHO POLINES AUXILIAR CILINDRO GANCHO POLINES AUXILIAR
		SISTEMA ELÉCTRICO	BATERÍAS SISTEMA DE LUCES MANÓMETROS ALTERNADOR MOTOR DE ARRANQUE SISTEMA DE CONTROL CAJA ELÉCTRICA PRINCIPAL PUESTA A TIERRA
		SISTEMA DE POTENCIA	MOTOR DIÉSEL FILTRO DE AIRE PRIMARIO FILTRO DE AIRE SECUNDARIO SILENCIADOR RADIADOR TANQUE REFRIGERANTE DE MOTOR REDUCTOR DE VELOCIDAD RODAMIENTOS REDUCTOR DE VELOCIDAD TANQUE DE COMBUSTIBLE DRENAJE TANQUE DE COMBUSTIBLE FILTRO DE COMBUSTIBLE MOTOR DE PROPULSIÓN HIDRÁULICO TRASERO SPROCKET CONDUCTOR DE PROPULSIÓN TRASERO SPROCKET CONDUCTO DE PROPULSIÓN TRASERO MOTOR DE PROPULSIÓN HIDRÁULICO DELANTERO SPROCKET CONDUCTO DE PROPULSIÓN DELANTERO

	SPROCKET CONDUCTOR DE PROPULSIÓN DELANTERO
CABINA	<p>CABINA  LUZ ESTROBOSCÓPICA  SILLA  PANEL DE CONTROL DE INDICADORES  PANEL DE INSTRUMENTOS  PANEL DE CONTROL MOTOR  PEDALES DE MANDO  CONTROL MANUAL DERECHO  CONTROL MANUAL IZQUIERDO  PUERTA  SISTEMA DE REFRIGERACIÓN  VENTILADOR AIRE ACONDICIONADO  FILTRO DE AIRE</p>
ESTRUCTURA	<p>EJE DELANTERO  EJE TRASERO  RUEDAS DELANTERAS  RUEDAS TRASERAS  CHASIS SUPERIOR  CHASIS INFERIOR  BARRA BLOQUEO DE GIRO  CILINDRO DELIMITADOR DE ROTACIÓN  ZAPATA FRENOS  ESTRUCTURA FRENOS  EXTINTOR  SISTEMA DE FRENOS  GANCHO DE REMOLQUE  WINCHE  PARACHOQUES</p>
SISTEMA HIDRÁULICO	<p>TANQUE HIDRÁULICO  FILTRO SUCCIÓN TANQUE HIDRÁULICO  FILTRO DE RETORNO TANQUE HIDRÁULICO  BOMBA HIDRÁULICA PRINCIPAL  BOMBA DE EMERGENCIA ELÉCTRICA  DRENAJE DE ACEITE HIDRÁULICO  ENFRIADOR DE ACEITE  RESPIRADOR</p>
SISTEMA DE ROTACIÓN PLATAFORMA	<p>MOTOR HIDRÁULICO DE ROTACIÓN  REDUCTOR DE VELOCIDAD  UNIÓN ROTATORIA  PIÑÓN  PLACA PIVOTE  CORONA DE GIRO</p>

SISTEMA NEUMÁTICO

COMPRESOR  
TANQUE DE AIRE  
SECADOR  
TANQUE DE PURGA  
CILINDRO DE BLOQUEO BOOM  
CÁMARAS DE AIRE FRENOS DELANTERAS  
CÁMARAS DE AIRE FRENOS TRASERAS  
BOCINAS

## ANEXO B. MUESTRA DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

(Por motivos de confidencialidad algunos de los datos del documento final de trabajo han sido omitidos del presente cuadro; se ilustra el análisis más detallado de algunos de equipos más representativos)

UNIDAD	SUB-UNIDAD	Falla Analizada	CONSECUENCIAS								FRECUENCIA	CRITICIDAD PARCIAL	REDUNDANCIA	CRITICIDAD ACTIVO
			Costos de reparación	Productividad	Operación (horas)	Seguridad	Ambiente	Comunidades	Imagen Corporativa	Sanciones				
SACA CLAVOS	SISTEMA SACA CLAVOS	Rotura Mecánica	> 5.000 y <= 20.000	50 % Productividad	2 Horas	Afecta de dos a cinco Personas	No impacto	No impacto	No hay impacto que afecte la imagen	No impacto	> 3 años	3	Sin respaldo de función	3
	CABINA	Rotura Mecánica	> 5.000 y <= 20.000	95% Productividad	1 Hora	Afecta de dos a cinco Personas	No impacto	No impacto	No hay impacto que afecte la imagen	No impacto	> 3 años	2	Sin respaldo de función	2
	SISTEMA ELÉCTRICO	Daño en sistema de control	> 5.000 y <= 20.000	50 % Productividad	2 Horas	Afecta de dos a cinco Personas	No impacto	No impacto	No hay impacto que afecte la imagen	No impacto	> 1 año y <= 3 años	3	Sin respaldo de función	3
	SISTEMA HIDRÁULICO	Daño en bomba principal	> 5.000 y <= 20.000	50 % Productividad	2 Horas	Afecta de dos a cinco Personas	Afectación causada sobre el medio es	No impacto	Afecta la imagen de la Organizaci	No impacto	> 3 años	3	Sin respaldo de función	3
	SISTEMA DE POTENCIA	Daño en biela	> 5.000 y <= 20.000	50 % Productividad	1 Hora	No afectación	No impacto	No impacto	No hay impacto que afecte la imagen	No impacto	> 3 años	2	Sin respaldo de función	2
	ESTRUCTURA	Rotura Mecánica	> 20.000 y <= 100.000	0% Productividad	3 Horas	Afecta a una Persona con	No impacto	No impacto	Afecta la imagen de la Organizaci	No impacto	> 3 años	4	Sin respaldo de función	4
	SISTEMA DE EMERGENCIAS	Falla en demandas	<= 5.000	95% Productividad	3 Horas	Pérdida de vidas humanas	No impacto	No impacto	Afecta la imagen de la Organizaci	Solicitud de aclaraciones por parte de órganos de	> 3 años	4	Sin respaldo de función	4

SPEED SWING	BRAZO DE LEVANTEE RIEL	Rotura Mecánica	> 5.000 y <= 20.000	0% Productividad	2 Horas	Pérdida de vidas humanas	No impacto	No impacto	Afecta la imagen de la Organizaci	Solicitud de aclaraciones por parte de órganos de	> 3 años	4	Sin respaldo de función	4
	SISTEMA DE RODAJE RIEL DELANTER	Rotura de eje	<= 5.000	95% Productividad	2 Horas	Afecta a una Persona con	Afectación causada sobre el medio es	No impacto	No hay impacto que afecte la imagen	No impacto	> 3 años	3	Sin respaldo de función	3
	SISTEMA DE RODAJE RIEL TRASERO	Rotura Ruedas	> 5.000 y <= 20.000	95% Productividad	2 Horas	Afecta a una Persona con	Afectación causada sobre el medio es	No impacto	No hay impacto que afecte la imagen	No impacto	> 3 años	3	Sin respaldo de función	3
	CABINA	Rotura Mecánica	> 5.000 y <= 20.000	95% Productividad	1 Hora	Afecta de dos a cinco Personas	No impacto	No impacto	No hay impacto que afecte la imagen	No impacto	> 3 años	2	Sin respaldo de función	2
	SISTEMA ELÉCTRICO	Daño en sistema de control	> 5.000 y <= 20.000	50 % Productividad	2 Horas	Afecta de dos a cinco Personas	No impacto	No impacto	No hay impacto que afecte la imagen	No impacto	> 1 año y <= 3 años	3	Sin respaldo de función	3
	TRANSMISIÓN DELANTERA	Rotura	> 5.000 y <= 20.000	0% Productividad	2 Horas	No afectación	Afectación causada sobre el medio es	No impacto	No hay impacto que afecte la imagen	No impacto	> 3 años	4	Sin respaldo de función	4
	TRANSMISIÓN TRASERA	Rotura	> 5.000 y <= 20.000	0% Productividad	2 Horas	No afectación	Afectación causada sobre el medio es	No impacto	No hay impacto que afecte la imagen	No impacto	> 3 años	4	Sin respaldo de función	4
	SISTEMA HIDRÁULICO	Daño en bomba principal	> 5.000 y <= 20.000	50 % Productividad	2 Horas	Afecta de dos a cinco Personas	Afectación causada sobre el medio es	No impacto	Afecta la imagen de la Organizaci	No impacto	> 3 años	3	Sin respaldo de función	3
	SISTEMA DE FRENOS	Rotura de mangueras	> 5.000 y <= 20.000	95% Productividad	2 Horas	Pérdida de vidas humanas	No impacto	No impacto	Afecta la imagen de la Organizaci	Solicitud de aclaraciones por parte de órganos de	> 3 años	4	Sin respaldo de función	4
	SISTEMA DE POTENCIA	Daño en biela	> 5.000 y <= 20.000	50 % Productividad	1 Hora	No afectación	No impacto	No impacto	No hay impacto que afecte la imagen	No impacto	> 3 años	2	Sin respaldo de función	2

MARTILLO	MARTILLO DERECHO	Rotura mecánica	> 5.000 y <= 20.000	50 % Productividad	0.5 Horas	Afecta de dos a cinco Personas	No impacto	No impacto	Afecta la imagen de la Organizaci	No impacto	> 3 años	2	Con respaldo de función	2
	MARTILLO IZQUIERDO	Rotura mecánica	> 5.000 y <= 20.000	50 % Productividad	0.5 Horas	Afecta de dos a cinco Personas	No impacto	No impacto	Afecta la imagen de la Organizaci	No impacto	> 3 años	2	Con respaldo de función	2
	CABINA	Rotura Mecánica	> 5.000 y <= 20.000	95% Productividad	0.5 Horas	Afecta a una Persona con	No impacto	No impacto	No hay impacto que afecte la imagen	No impacto	> 3 años	1	Sin respaldo de función	1
	SISTEMA ELÉCTRICO	Daño en sistema de control	> 5.000 y <= 20.000	50 % Productividad	2 Horas	Afecta de dos a cinco Personas	No impacto	No impacto	Afecta la imagen de la Organizaci	No impacto	> 1 año y <= 3 años	3	Sin respaldo de función	3
	SISTEMA HIDRÁULICO	Daño en bomba principal	> 5.000 y <= 20.000	50 % Productividad	2 Horas	Afecta de dos a cinco Personas	Afectación causada sobre el medio es	No impacto	Afecta la imagen de la Organizaci	No impacto	> 3 años	3	Sin respaldo de función	3
	SISTEMA DE POTENCIA	Daño en biela	> 5.000 y <= 20.000	80% Productividad	1 Hora	No afectación	No impacto	No impacto	No hay impacto que afecte la imagen	No impacto	> 3 años	2	Sin respaldo de función	2
	ESTRUCTURA	Rotura Mecánica	> 20.000 y <= 100.000	0% Productividad	3 Horas	Afecta a una Persona con	No impacto	No impacto	Afecta la imagen de la Organizaci	No impacto	> 3 años	4	Sin respaldo de función	4
	SISTEMA DE EMERGENCIAS	Falla en demandas	<= 5.000	95% Productividad	3 Horas	Pérdida de vidas humanas	No impacto	No impacto	Afecta la imagen de la Organizaci	Solicitud de aclaraciones por parte de órganos de	> 3 años	4	Sin respaldo de función	4

## ANEXO C. PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN EQUIPO.

(Por motivos de confidencialidad algunos de los datos del documento final de trabajo han sido omitidos del presente cuadro; se ilustra el modelo de presentación del plan, de uno de los equipos)

PLAN DE MANTENIMIENTO EQUIPOS DE VÍA											
DESCRIPCIÓN EQUIPO	EJECUTOR	CANTIDAD	TIPO DE INTERVENCIÓN	SITUACIÓN	HORAS	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	HORAS	HORAS HOMBRE	APL	CANTIDAD	NUMERO
BALLAST CAR	OPERADOR	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	8	VERIFICAR SI EL ESTADO DE LAS SOLDADURAS DEL CARRO O COMPONENTES DEL CARRO CADA DESCARGA	0.16	0.16			
BALLAST CAR	OPERADOR	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	8	VERIFIQUE EL ESTADO DE LOS CONTENEDORES DE BALASTO, ROTURAS, DESGASTE	0.16	0.16			
BALLAST CAR	OPERADOR	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	8	VERIFIQUE EL AJUSTE DE LOS AJUSTADORES DE TENSIÓN DE LAS COMPUERTAS ENTRE OPERACIONES	0.08	0.08			PDF PAGINA 50.8.2.7
BALLAST CAR	OPERADOR	1	LUBRICACIÓN	DESENERGIZADO	8	LUBRIQUE LOS PIVOTES DE LAS COMPUERTAS 2 PUNTOS POR COMPUERTA CON GRASA, 3 BOMBAZOS	0.08	0.08			
BALLAST CAR	OPERADOR	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	8	VERIFICAR SI HAY COMPONENTES NEUMÁTICOS DAÑADOS O FALTANTES	0.16	0.16			
BALLAST CAR	OPERADOR	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	8	VERIFIQUE EL ESTADO DE LAS COMPUERTAS DE DESCARGA	0.08	0.08			
BALLAST CAR	OPERADOR	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	8	VERIFIQUE QUE EL DRENAJE DE LA RESERVA DE AIRE Y DE LOS FILTROS ESTÉN TOTALMENTE CERRADOS UNA VES SE HAYA DRENADO	0.03	0.03			
BALLAST CAR	OPERADOR	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	8	VERIFIQUE EL ENSAMBLE DEL MARTILLO QUE ESTE EN BUEN ESTADO DEBE ESTAR 0.3" SOBRESALIDO DE LA SUPERFICIE	0.08	0.08			PDF PAGINA 39. ÍTEM
BALLAST CAR	OPERADOR	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	8	VERIFIQUE QUE NO QUEDEN RESIDUOS EN LAS COMPUERTAS PARA GARANTIZAR CIERRE COMPLETO (DESPUÉS DE CADA DESCARGA)	0.03	0.03			
BALLAST CAR	OPERADOR	1	INSPECCIÓN	ENERGIZADO	8	VERIFIQUE EL ESTADO DE LAS MANGUERAS, FUGAS	0.08	0.08			
BALLAST CAR	OPERADOR	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	8	VERIFICAR ESTADO DE CILINDROS NEUMÁTICOS, FUGAS, PICADURAS, ESTADO DE LAS HORQUILLAS	0.08	0.08			
BALLAST CAR	OPERADOR	1	INSPECCIÓN	ENERGIZADO	8	VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE FRENOS Y FRENOS DE EMERGENCIA	0.03	0.03			
BALLAST CAR	OPERADOR	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	8	VERIFICAR ESTADO DE LAS RUEDAS, DESGASTE O ROTURAS	0.08	0.08			

BALLA ST CAR	ELECTRICISTA	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	MENSUAL	VERIFICAR ESTADO DE BATERÍA DEL TRANSMISOR	0.05	0.05			
BALLA ST CAR	MECÁNICO	1	INTERVENCIÓN	DESENERGIZADO	MENSUAL	DRENE EL FILTRO DEL AIRE	0.03	0.03			
BALLA ST CAR	MECÁNICO	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	MENSUAL	VERIFIQUE EL ESTADO DE LAS ZAPATAS DE LOS FRENOS	0.16	0.16			
BALLA ST CAR	MECÁNICO	1	INTERVENCIÓN	DESENERGIZADO	TRIMESTRAL	DRENE EL DEPOSITO DEL AIRE	0.03	0.03			
BALLA ST CAR	MECÁNICO	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	TRIMESTRAL	INSPECCIONE Y LIMPIE EL FILTRO DEL AIRE	1	1			PDF PAGINA 53.8.3.5
BALLA ST CAR	MECÁNICO	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	TRIMESTRAL	VERIFICAR EL ESTADO DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN DELANTERO Y TRASERO, RESORTES TORNILLERÍA	0.5	0.5			
BALLA ST CAR	MECÁNICO	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	ANUAL	VERIFIQUE SI HAY ARANDELAS O CLAVIJAS DAÑADAS O DEFORMADAS	0.5	0.5			
BALLA ST CAR	ELECTRICISTA	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	ANUAL	VERIFIQUE EL ESTADO DE LOS CABLES Y BORNES, EMPALMES	0.33	0.33			
BALLA ST CAR	MECÁNICO	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	ANUAL	VERIFIQUE EL ESTADO DE LAS MANGUERAS, DESAJUSTES, ROTURAS, BURBUJAS, DESAJUSTES	0.33	0.33			
BALLA ST CAR	MECÁNICO	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	ANUAL	VERIFIQUE EL ESTADO DE LAS CALCOMANÍAS	0.03	0.03			
BALLA ST CAR	MECÁNICO	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	ANUAL	VERIFIQUE EL ESTADO DE LAS VÁLVULAS DE ACCIONAMIENTO	0.5	0.5			
BALLA ST CAR	MECÁNICO	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	ANUAL	VERIFIQUE EL ESTADO DE LAS PURGAS, VÁLVULAS DE DRENAJE QUE ESTÉN DAÑADOS O TENGAN FUGAS	0.5	0.5			
BALLA ST CAR	MECÁNICO	1	INTERVENCIÓN	DESENERGIZADO	ANUAL	DRENE Y VERIFIQUE SI HAY DAÑO EN EL DEPOSITO NEUMÁTICO	0.5	0.5			
BALLA ST CAR	MECÁNICO	2	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	ANUAL	VERIFIQUE EL ESTADO DE LA TORNILLERÍA, REEMPLACE SI ES NECESARIO	1	2			
BALLA ST CAR	ELECTRICISTA	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	ANUAL	VERIFIQUE EL ENSAMBLE DEL PANEL SOLAR	0.33	0.33			PROCEDIMIENTO OPERACIONAL
BALLA ST CAR	ELECTRICISTA	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	ANUAL	VERIFIQUE EL ENSAMBLE Y RECEPTOR DE LOS TRANSMISORES	0.33	0.33			
BALLA ST CAR	ELECTRICISTA	1	INSPECCIÓN	DESENERGIZADO	ANUAL	VERIFIQUE EL INTERRUPTOR DE PRESIÓN	0.5	0.5			

## ANEXO D. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO.

(Por motivos de confidencialidad algunos de los datos del documento final de trabajo han sido omitidos del presente texto; se ilustra el modelo de presentación del procedimiento, de uno de los equipos)

### PROCEDIMIENTO MANTENIMIENTO MENSUAL DE LAS PISTOLAS DE DOSIFICACION

#### 1. OBJETO

Aplicar de una forma correcta y segura los procedimientos de operación de la Tie Plugger.

#### 2. ALCANCE

UAS de equipo auxiliar de vías.

UAS de mantenimiento de vías.

#### 3. DEFINICIONES

- **TIE PLUGGER:** Equipo que agrega tacos en los orificios de los clavos mediante dosificadores de mezcla de químicos.
- **UAS:** Unidad Autónoma de Servicios.
- **CANDADO:** Elemento que al ser colocado en un dispositivo de bloqueo, asegura que el mecanismo de aislamiento de energía no sea manipulado, evitando la energización de un equipo.
- **DISPOSITIVO DE BLOQUEO (CAJA SWITCHE MASTER):** dispositivo que permite la instalación de uno o varios candados para mantener un mecanismo de aislamiento de energía en posición segura, evitando la liberación súbita de energía o arranque inesperado de una máquina o equipo.
- **TARJETA ROJA:** indica que el equipo está fuera de servicio y la correspondiente razón.
- **TARJETA BLANCA:** indica que existen personas trabajando en el equipo. Debe haber tantas tarjetas blancas como personas trabajando en el equipo.
- **RESPONSABLE DEL BLOQUEO:**
  - Es el encargado de ejecutar el procedimiento de esta regla.
  - Es el primero en instalar el bloqueo a los sistemas o equipos intervenidos y el último en retirarlo.
  - Asegurar que todos los que van a intervenir el sistema o equipo bloqueen adecuadamente con su respectivo candado y tarjeta personal antes de iniciar las labores.

- Asegurar que todas las personas retiren su candado y tarjeta al finalizar su tarea en el equipo o sistema.

- **RECOMENDACIONES GENERALES DE SEGURIDAD**

- Utilizar elementos de protección personal: casco, botas, guantes y gafas de seguridad, tapones auditivos, mascarilla antipolvo, etc.
- Antes de iniciar la tarea ejecute AST: análisis de seguridad en el trabajo, (Formato obligatorio S/C 3225794).
- Antes de comenzar a intervenir un equipo asegúrese de realizar el bloqueo de este con lo siguiente:
  - Bandera azul en ambos extremos del equipo para indicar que hay personas trabajando en este.
  - Cuñas metálicas en una rueda del equipo para impedir el movimiento de este
  - El switch master debe estar en la posición off.
  - La caja del switch master debe estar cerrada para la instalación de los candados y tarjetas.
  - Debe colocarse candado rojo acompañado de una tarjeta roja.
  - Debe colocarse un candado amarillo acompañado de una tarjeta blanca por cada persona que esté trabajando en el equipo.

#### **4. CONTENIDO**

##### **4.1 Riesgos Asociados con la tarea**

- Lesiones personales serias por, mal funcionamiento, y/o mala operación.
- Lesiones personales serias por aplastamiento, caídas, ruido.
- Daño a la propiedad

##### **4.2 Aspectos de seguridad relacionados con la tarea.**

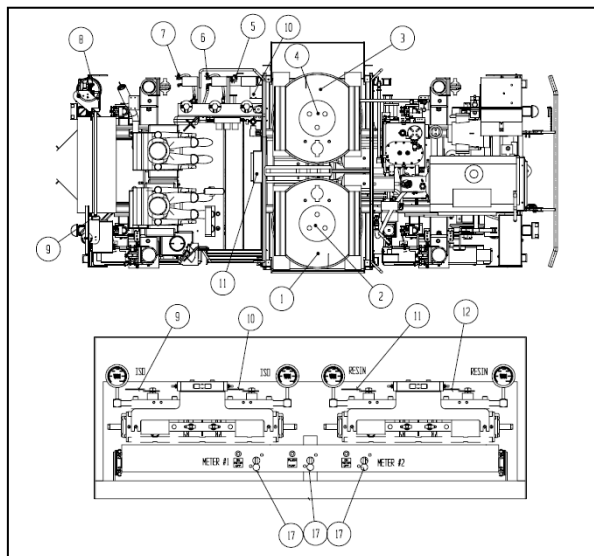
- Identifique los riesgos y realice el A.S.T.
- Realice 3 POR UNO (PARE, ANALICE, Y ACTUÉ).
- Cuando opere los equipos, siempre use sus EPP y apropiada protección visual y auditiva.
- Verifique su estado físico, de ánimo y de conocimientos para manipular el sistema de la clavadora.

- Lea y respete las Notas de precaución indicadas en la máquina.

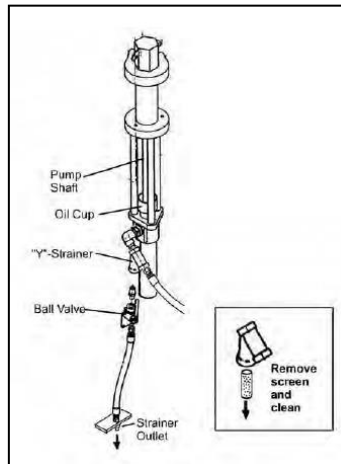
#### **4.3 Procedimiento de apagado de la máquina antes de realizar labores de mantenimiento.**

- Accione los frenos de parqueo.
- Deshabilite los 240V de energía desde la cabina del operador.
- Accione el motor de la maquina en modo reposo.
- Apague los pre-calentadores en la caja de trabajo.
- Apague la línea d seguimiento de los calentadores.
- Ubique una cubeta bajo la válvula de bola del filtro en Y de las bombas químicas 5,6 y 7 ver figura 1.
- Abra las válvulas de bola del filtro en Y para bajar los ejes de las bombas completamente en los vasos de aceite (esto va a mantener los ejes de las bombas limpios prolongando su vida útil y elimina contaminantes del filtro en Y) observe el movimiento del eje de la bomba y el flujo de químico en la salida del filtro y analice los siguientes escenarios:
  - a. Si el flujo y movimiento está bien, llene el vaso de aceite con Wet-Sol packing lubricant (Nordco P/N 4901 050).
  - b. Si el flujo es irregular, observe el movimiento de los ejes de las bombas, si el movimiento de la bomba también es irregular repare la bomba si se necesita. El kit de reparación de la bomba es P/N 9851 0005.
  - c. Si el movimiento del eje está bien pero el flujo desde el filtro no es óptimo se debe limpiar el filtro y llene el vaso de aceite con Wet-Sol packing lubricant (Nordco P/N 4901 050).
- Para limpiar el filtro se debe seguir los siguientes pasos (ver figura 2):
  - a. Cierre las bombas químicas, permita que el remanente del químico pase por los filtros en Y
  - b. Desmonte la válvula de bola del filtro en Y de la línea.
  - c. Retire el bushing del filtro en Y, expulse el elemento filtrante, remójelo en solvente y límpielo con un cepillo de alambre.
  - d. Monte nuevamente el elemento filtrante y los componentes antes desensamblados.
  - e. Encienda las válvulas químicas.
  - f. Abra las válvulas de bola de los filtros en Y, verifique el correcto flujo.
- Apague las bombas químicas de transferencias en la caja de trabajo.
- Apague la bomba hidráulica principal.
- Retire los tubos de mezclado de las pistolas de dosificación.

- Active el gatillo de la pistola de dosificación y desocupe el químico en una cubeta hasta que los manómetros muestren 0 PSI.
- Termine de expulsar el químico restante en la pistola.
- Cierre las válvulas de bola 5,6 y 7 ver figura 1.
- Active el gatillo de la pistola para aliviar la presión remanente.
- Termine de vaciar el químico en la cubeta.
- Cierre las válvulas de bola 9, 10, 11 y 12 en las unidades de medición, ver figura 1.
- Apague la unidad de medición y la bomba de enjuague 17, ver figura 1.
- Cierre las válvulas de bola de las pistolas de dosificación.
- Cierre la válvula de bola de suministro de aire 8 ver figura 1.
- Cierre las válvulas de bola 1, 2, 3 y 4 de los tanques ver figura 1.
- Acople el switch eléctrico de interlock de calentamiento en la caja de mando.
- Apague el switch de ignición.
- Gire el switch de la batería en posición OFF.
- Bloquee el parachoques frontal de la máquina.
- Verifique el nivel de resina en el tanque, adicione en caso de que sea necesario.
- Verifique el nivel de químico ISO, adicione en caso de que sea necesario.
- Verifique y rellene el tanque de enjuague si es necesario.



**Figura 1. Componentes sistema químico.**



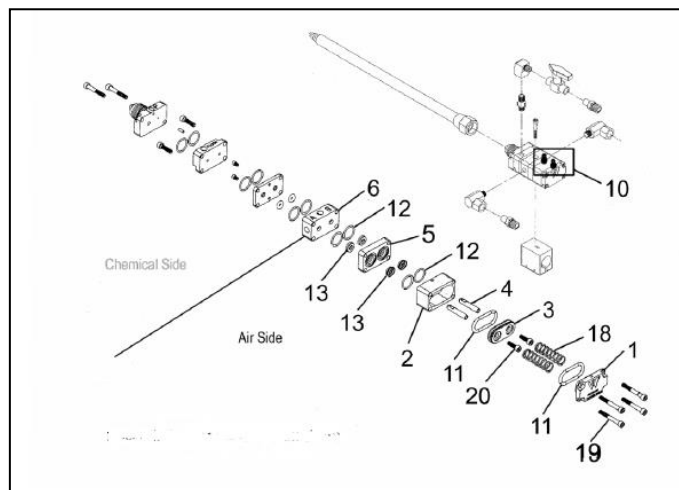
**Figura 2. Filtro en Y de la bomba química.**

#### **4.4 Mantenimiento mensual pistolas de dosificación.**

Mensualmente se debe realizar la inspección y limpieza de las pistolas dosificadoras desensamblándolas.

Para realizar una completa limpieza y desensamble se debe remover la válvula de distribución de la línea.

Para realizar el siguiente procedimiento seguir los pasos con la siguiente figura 1.



**Figura 1 Ensamble pistola de dosificación.**

- Desconecte las líneas de aire de las sujeciones de las mangueras #10 en la válvula de distribución.
- Remueva los tornillos #19 para separar el lado neumático del lado químico. Mantenga la tapa de aire #1 y los resortes #18 comprimido al retirar los tornillos.
- Si la tapa de aire #1 no se puede remover del alojamiento del pistón #2, separe las piezas teniendo en la cuenta que los resortes están comprimidos en el alojamiento del pistón.
- Remueva el pistón #3 con el eje de fluido #4 sin desensamblarlos del alojamiento del pistón #2.
- Verifique el desgaste del o-ring de la tapa #11 y el sello de copa trasero #13, reemplácelos si es necesario.
- Limpie con solvente el alojamiento del sello trasero #5 y el alojamiento del pistón #2.
- Limpie y verifique si los ejes de fluido #4 en caso de que presente: excesivo desgaste, rebabas, picaduras cambie los ejes, se deben cambiar los 2 al mismo tiempo.
- Inserte los sellos de copa traseros en el alojamiento del sello trasero #5, el lado de copa hacia el exterior en ambos lados.
- Si se removieron, instale los O-ring #11, pistón #3 y la tapa de aire #1.
- Lubrique el alojamiento del pistón #2.
- Inserte los ejes de fluido #4 y pistón #3 en el alojamiento del pistón #2.
- Aplique grasa en el alojamiento del pistón #2 una vez se haya instalado el pistón #3.
- Deslice los ejes de fluido #4 a través del alojamiento del sello trasero #5.
- Ubique los resortes #18 en las cavidades traseras del pistón #3.
- Ubique la tapa de aire #1 en el alojamiento del pistón #2.
- Reemplace los 4 tornillos #19 y ensamble el conjunto en la válvula dispensadora #6.
- Conecte las líneas a las sujeciones de la manguera de la válvula dispensadora #10.

#### **4.5 HERRAMIENTAS PARA REALIZAR ESTE PROCEDIMIENTO**

- Kit de herramientas 98510015, este kit contiene las herramientas necesarias para realizar este procedimiento
- Llave de 1".
- Solvente.

#### **5. RESPONSABILIDADES GENERALES.**

El operador que realice esta tarea será responsable por:

- El cumplimiento de este procedimiento.
- Por su propia seguridad y la de sus compañeros de trabajo.
- El buen uso del equipo.

El supervisor encargado de la tarea será responsable por facilitar los recursos, materiales y condiciones de seguridad para el control de riesgos asociados a la tarea.

- **DOCUMENTOS RELACIONADOS:** Tener a la mano los manuales de usuario y recomendaciones de los fabricantes de los equipos.

## ANEXO E. MUESTRA DEL LISTADO DE REPUESTOS.

(Por motivos de confidencialidad algunos de los datos del documento final de trabajo han sido omitidos del presente texto; se ilustra el modelo de presentación del listado de repuesto, de algunos de los equipos)

La lista original consta de 1331 ítems y está dividida en tres grandes grupos: consumibles (filtros, correas, etc.), componentes repuestos, y componentes mayores (motores, bombas, cilindros mayores, etc.)

La lista original cuenta también con sus respectivos códigos de almacenamiento, cantidades de 'stock on hand', cantidades en tránsito, precios unitarios y demás.

CANT FIN AL	CANTIDAD TOT	P. Number	Description	NUM EQUIP	EQUIPO
2	8	5127415	SWITCH,PROX- SHIELDED B/O	2	ANCLAD OPA
1	16	3070623	PIN COTTER .19 X 1.5	2	ANCL
4	4	22311120-157	TIE SENSOR PROX CABLE 157 LG	2	ANCLAD OPA
3	4	96680242	ASSY,ANCHOR HOLDER UNIT 5 L.H.	2	ANCLAD OPA
3	4	96680241	ASSY,ANCHOR HOLDER UNIT 5 R.H.	2	ANCLAD OPA
2	4	96680240	ASSY,ANCHOR TOOL UNIT 5	2	ANCLAD OPA
2	2	96680218	ASSY,BOARD & PLUG	2	ANCLAD OPA
10	32	96680070	ROLLER & BUSH ASSM	2	ANCLAD OPA
2	8	88673085	BLOCK,PIVOT CLAMP ARM ANC APPL	2	ANCLAD OPA
2	2	78893500	SWITCH,FOOT W/PACKARD CONNECTR	2	ANCLAD OPA
4	4	78893009	SWITCH,PRESSURE 400-3000PSI	2	ANCLAD OPA
2	2	68730810	SHAFT,JAW ARM AA-E	2	ANCLAD OPA
8	8	61558800	KEEPER,SPRING	2	ANCLAD OPA
2	8	54047190	PIN,ANCHOR HOLDER	2	ANCL
2	2	50211529	MOTOR,& FAN 12V & FINGER GUARD	2	ANCL
4	8	44251536	HOSE ASSEMBLY	2	ANCLAD OPA
12	48	35702078	O-RING 11/16X7/8	2	ANCLAD OPA
2	4	27243354	UNIT OUTER DOOR RH	2	ANCL
2	4	27244365	DOOR,UNIT 5 R.H. INNER	2	ANCL
2	4	27244364	DOOR,UNIT 5 L.H. INNER	2	ANCL
2	4	27243355	UNIT OUTER DOOR LH	2	ANCL
2	8	22114480	BUSHING,1.251 X 1.628 X 2.50LG	2	ANCL
2	8	22047805	BUSHING,1.996 X 2.503 X 1.25LG	2	ANCL
2	2	18780605	BLOCK,STOP JAW END	2	ANCLAD OPA
2	4	18780195	STOP,BODY LH ANCHOR APPL	2	ANCL
2	4	18780194	STOP,BODY RH ANCHOR APPL	2	ANCL
2	4	18780193	PAD,STOP LH ANCH APP CLAMP ARM	2	ANCL
4	8	18780156	BLOCK,GRIPPER UNIT 5 ANCHOR	2	ANCL
2	2	5169943	SWITCH,BATTERY DISCONNECT	2	ANCLAD OPA


2	16	3393723	PIN SPRG.250 X 1.250	2	ANCL
2	16	3384191	PIN SPRING.188X1.250	2	ANCL
2	8	3301863	PIN,CLEVIS 1.000 X 2.750	2	ANCL
2	8	3301419	PIN,CLEVIS .500 X 4.000	2	ANCL
2	8	3301399	PIN,CLEVIS .500 X 2.625	2	ANCL
2	8	3070003	PIN COT .062X.500	2	ANCL
2	48	3042219	LOCKNUT,FLEXLOC HEX .250-20	2	ANCL
2	8	3301140	PIN,CLEVIS .250 X 2.00	2	ANCL
2	2	26600610	HAND CONTROLLER W/CONNECTOR	2	CAMBIA
1	4	22311600-036	CABLE,MICROFAST DIN 36" LG	2	DO LINE CAMBIA DO LINE
2	8	22039205	BUSHING,1.504 X 1.878 X 2.00LG	2	CAPO
2	16	22103265	BUSHING,0.989 X 1.250 X 1.31LG	2	CAPO
2	16	22130472	BUSHING,2.256 X 2.751 X 1.37LG	2	CAPO
2	8	22107232	BUSHING,1.007 X 1.253 X 2.00LG	2	CAPO
2	8	22127892	BUSHING,2.004 X 2.501 X 2.00LG	2	CAPO
2	8	46670021	JAW,TIE CLAMP-WOOD- BTI-199120	2	CAMBIA
2	2	22311148	CABLE,RAIL LIFT INTERNAL LVDT	2	DO LINE CAMBIA DO LINE
2	2	21790046	CANISTER,BRAKE TYPE 30/30	2	DO LINE CAMBIA DO LINE
2	2	47848878	LEVER,TRIPP BRAKE	2	CAMBIA DO LINE
4	2	25534036	COIL DESTROKE VALVE	2	CAMBIA DO LINE
2	4	30850012	DRYER,AIR CR TURBO-2000 24V	2	CAMBIA DO LINE
1	2	1698857	VALVE,PNEUMATIC SOL N.C. 24V	2	CAMBIA DO LINE
2	4	22311600-006	CABLE,MICROFAST DIN 96" LG.	2	CAPO
1	2	98760066	KIT,JOYSTICK VALVE UPGRADE	2	CAMBIA DO LINE
1	2	98760050	KIT,JOYSTICK UPGRADE	2	CAMBIA DO LINE
15	10	10305-087	VALVULA DE 3/4 ENTRADA , 3/4 SALIDA, VALVULA DE CHEQUE EN LINEA CUERPO DE LATON PISTON DE	25	CBAL
5	10	10305-581	CONJUNTO DE MATRIX SOLAR, 25 VATIOS CON CONEXION INDUSTRIAL	25	CARRO- RALAST
5	10	10305-600-xx	EMPAQUE DEL CUERPO DE LA VALVULA HASTA LA BASE( MAC DT. NO. 16306)	25	CARRO- RALAST
5	10	10305-604	ACOPLE RECTO 3/8" NPT A 3/4"-16JIC, DESDE LA VALVULA A LA MANGUERA AL TIRO Y DEL TIRO A LA MANGUERA 8	25	CBAL
5	10	10305-606	CODO GIRATORIO DE 45 GRADOS ,3/4-16JIC (DE LA MANGUERA A LA VALVULA) 30782.8.8	25	CBAL
5	10	10305-607	ACOPLE GIRATORIO RECTO,3/4-16 JIC (DE MANGUERA A CILINDRO DE AIRE Y TIUBERIA) 30682.8.8	25	CBAL
5	10	10305-608	BUJE REDUCTOR DE 3/4" MACHO A 3/8" HEMBRA	25	CBAL
5	10	10305-609	CODO GIRATORIO DE 90 GRADOS, 3/4-16 JIC A 1/2"	25	CBAL
5	10	10305-610	CONECTOR MACHO RECTO,DE 1/2" NPT TP 3/4"-16 JIC,8-8 FTY	25	CBAL
5	10	10305-614	CODO 90 GRADOS GIRATORIO 1/4" DE LA MANGUERA A 7/16 20 33082	25	CBAL
5	10	10305-615	MANGUERA 1/4" DE EMPUJE DE 250PSI MINIMO , Y 9 PIES (82 SERIE 801)	25	CBAL
5	10	10305-617	CONECTOR MACHO RECTO DE 1/8" NPT TP 3/4"-7/16 JIC. FEXT	25	CBAL
5	10	10305-618	ACOPLE 1/4 MPT A 1/4 DE EMPUJE (30162-4-4)	25	CBAL
1	2	10305-621	MANGUERA 1/2" PRESION DE TRABAJO DE 150 PSI MINIMO Y 170 PIES DE LONGITUD. (CORTES A 10 PIES)	25	CBAL
1	2	10305-629	TRANSMISOR CON SWITCHES DE PALANCA Y CORREAS DE TRANSPORTE	25	CBAL
5	10	10305-630	CARGADOR Y KIT PAQUETE DE BATERIA NICAD	25	CBAL
5	10	10305-602	SWITCHE DE PRESION. CIERRE A 20PSI. DIBUJO No 32500.2	25	CBAL
2	4	5127415	SWITCH,PROX- SHIELDED B/O	8	CLAVAD ORA

10	16	98410518	KIT,GUIDE ROD SPRING PIN REPL	8	CLAVAD
16	24	21000050	RETAINER,SPIKE SPRING HVY WIRE	8	CLAVAD
7	24	3384464	SLOTTED SPRING PIN 3/16 X 3/4	8	CLAV
8	24	3074216	COTTER,HAIRPIN .25 X 1.25	8	CLAV
8	24	3070625	PIN,COTTER 3/16 DIA X 1.750	8	CLAV
16	24	3608431	SPRING,COMP 1.25ODX4 LG	8	CLAVAD
8	24	3384270	PIN,SPRING .125 X 1.00	8	CLAV
8	24	46650032	JAW,SPIKE LH STRGHT 5/8	8	CLAV
8	24	46650033	JAW,SPIKE RH STRGHT 5/8	8	CLAV
12	24	96411240	ASSY,PUSHER BLK RH BRKWAY D-HD	8	CLAVAD
12	24	96411239	ASSY,PUSHER BLK LH BRKWAY D-HD	8	CLAVAD
16	48	96410474	ASSY,WASHER SPRING STACK	8	CLAVAD
4	4	1982241	ELB 90DEG .562-18X1/8MP	8	CLAV
16	32	3614365	SPRING,ANVIL SLEEVE 2.0 DIA	8	CLAVAD
4	2	26600610	HAND CONTROLLER W/CONNECTOR	8	CLAVAD
2	2	22311601-084	CABLE,MICROFAST PROX SWITCH	8	CLAVAD
4	4	66219001	GAGER ROLLER 8.25 LONG	8	CLAVAD
2	4	8074030	GAGER WHL 4X1.375	8	CLAVAD
2	2	22311032	CABLE,GAGER BUGGY	8	CLAVAD
2	4	31401840	BOX,JUNCTION MICROFAST 4-PORT	8	CLAVAD
2	4	31401880	BOX,JUNCTION MICROFAST 8-PORT	8	CLAVAD
4	4	22311601-060	CABLE,MICROFAST PROX SWITCH	8	CLAVAD
2	8	22311600-036	CABLE,MICROFAST DIN 36" LG	8	CLAVAD
2	8	22311600-048	CABLE,MICROFAST DIN 48" LG.	8	CLAVAD
2	2	22311600-072	CABLE,MICROFAST DIN 72" LG	8	CLAVAD
2	2	22311600-144	CABLE,MICROFAST DIN 144"LG	8	CLAVAD
8	8	10061016	ACTUATOR,BALL SCREW 24V 10.5"S	8	CLAVAD
4	4	1691101	VALVE,JOY STICK B/O	8	CLAVAD
2	16	44044340	HOOK,NIPPER W/FTNGS&CAPSCREWS	8	CLAVAD
2	4	21357956	MOUNTING,JAW C'BORED	8	CLAVAD
4	16	47706088	LINK,PUSH BLCK D-HD CLEVIS PIN	8	CLAVAD
8	16	3663610	SPRING,EXT CYLINDER SPIKE FEED	8	CLAVAD
2	4	98410089	KIT,NIPPER HOOK LINK PINS(4)+	8	CLAVAD
10	16	7296022	DIAPHRAGM,KENT HAMMER KF3	8	CLAVAD
2	2	98410014	KIT,CHARGE KENT HAMMER	8	CLAVAD
2	2	4011560	WRENCH,SPANNER KENT HAMMER KF3	8	CLAVAD
4	8	82100001	ASSY,TRAY HEAD RH 5/8 CUT	8	CLAVAD
4	8	82100002	ASSY,TRAY HEAD LH 5/8 CUT	8	CLAVAD
2	2	96430635	KIT MANIFOLD O-RING FOR HYDRA	8	CLAVAD
2	2	26740210	COOLER,OIL & FAN 24V-BLK FAN	8	CLAVAD
2	2	47902470	LEVER,ROLLER GAGER INSULATED	8	CLAVAD
5	10	24V70/75W 6419644	LAMPARA HALOGENA	2	ESTABI
1	2	CA215.372	BRAKE CYLINDER	1	LIZADO

2	8	GLF311.84	ROLLER COMPLETE	1	ESTABI
1	5	UDS236.83	MEASURING WHEEL COMPLETE	1	LIZADO
2	2	EL- T1064.00	PROPORTIONAL TRANSDUCER/DTS	1	ESTABI
1	1	90189-A	REGULADOR DE PRESION	2	LIZADO
1	1	90283	MANOMETRO GEMELO	2	ESTABI
1	2	11.246.000.	VALVULA	2	LIZADO
2	4	130700	CUCHILLA LIMPIADORA	2	ESTABI
1	1	20KOHM+5	POTENCIOMETRO	2	LIZADO
1	1	20KOHM0-	POTENCIOMETRO	2	ESTABI
1	1	2155-	GENERADOR DE PULSO	2	LIZADO
10	10	24V21WBA	LAMPARA INCANDESCENTE	2	ESTA
5	10	24V21WBA	LAMPARA INCANDESCENTE	2	ESTABI
4	6	32009X	RODAMIENODE RODILLO CONICO	2	LIZADO
1	1	323.803/00	TRANSDUCTOR TERMOMETRO	2	ESTABI
1	1	323.803/00	SWITCHE DE TEMPERATURA	2	ESTABI
1	1	360.081/03	TRANSDUCTOR	2	LIZADO
1	1	360.081/03	TRANSDUCTOR DE PRESION	2	ESTABI
30	100	365/78	TRAVIESA DE CABLE	2	LIZADO
30	100	380/47	TRAVIESA DE CABLE	2	ESTABI
4	20	6.5X5M.PL	MANGUERA DE AIRE	2	LIZADO
4	4	6003/2RS	RODAMIENTO DE BOLLA DE RANURA PROFUNDA	2	ESTA
1	1	9018DS	KIT DE SELLOS	2	ESTABI
2	2	90291-	MANGUERA DE COMPRESION	2	LIZADO
2	2	90319	ACOPLE DE LA MANGUERA	2	ESTABI
1	1	90336	VALVULA	2	LIZADO
2	2	31312	RODAMIENTO DE RODILLO CONICO	2	ESTABI
2	2	31315	RODAMIENODE RODILLO CONICO	2	LIZADO
1	1	32311	RODAMIENTO DE RODILLO CONICO	2	ESTABI
1	1	90204	VALVULA DE SEGURIDAD	2	LIZADO
4	16	HY-	FILTRO PROPORCIONAL	1	ESTABI
1	2	728031	Wiper Motor	3	LIZADO
2	4	745130	Work Light	3	GRUA
1	2	760983	Spot Light	3	DE
2	2	211147	Chain - 10 ft	3	GRUA
2	20	211148	Connector link, Master	3	DE
2	4	1673252	RESPIRADERO TANK HIDRÁULICO	3	GRUA
					DE

## ANEXO F. FICHAS TÉCNICAS DE INDICADORES.

(Por motivos de confidencialidad algunos de los datos del documento final de trabajo han sido omitidos del presente cuadro; se ilustra el modelo de presentación de las fichas técnicas, de algunos de los indicadores)

		FICHA TÉCNICA DE IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES	
ÁREA	PRODUCTO/PROCESO	NOMBRE DEL INDICADOR	Nº
R.O.P	Ingeniería de Mantenimiento	Disponibilidad Genérica - Ag	1
DEFINICIÓN DEL INDICADOR		OBJETIVO ESTRATÉGICO	FUENTE DEL INDICADOR
Porcentaje de tiempo en el que el equipo fue usado satisfactoriamente bajo condiciones estables		Orientar las actividades de mantenimiento a la obtención de una buena confiabilidad para alcanzar la tasa establecida para cambio de riel en el plan de ejecución: 1.2 Km de vía por turno de trabajo.	Reportes Downs de los eventos asociados a los equipos y OTs generadas en Ellipse.
FÓRMULA DE CÁLCULO	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS		
$Ag = (UT / (UT + DT)) \times 100$	<b>UT: Up time</b> - Tiempo total durante el cual se estima que el equipo puede cumplir la función requerida. <b>DT: Downtime</b> - Tiempo total durante el cual el equipo no pudo cumplir la función requerida		
OBSERVACIONES	Incluye todos los retrasos entre la falla y la puesta a punto de la función del equipo: repuestos, logística, stand-by, tiempo de reparaciones, restablecimiento, etc. No incluye tiempos de paros planeados.		
UNIDAD DE MEDIDA	PERIODICIDAD DE MEDICIÓN	METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN	
%	Mensual	Se realizará usando la funcionalidad "Reporte de confiabilidad y disponibilidad" de Ellipse y será presentado en la reunión mensual de indicadores.	
RESPONSABLE DE GENERAR EL INDICADOR	RESPONSABLE DEL RESULTADO	META	
INGENIERO DE MANTENIMIENTO	SUPERVISOR	Debe establecerse de forma anual teniendo en cuenta el comportamiento histórico del indicador y los objetivos de R.O.P. Resultado tendiente a aumentar o mantenerse estable.	



FICHA TÉCNICA DE IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES

ÁREA	PRODUCTO/PROCESO	NOMBRE DEL INDICADOR	Nº
R.O.P	Ingeniería de Mantenimiento	Tiempo Medio Entre Fallas - MTBF	4

DEFINICIÓN DEL INDICADOR	OBJETIVO ESTRATÉGICO	FUENTE DEL INDICADOR
Duración promedio de tiempo entre la ocurrencia de una falla y otra para un equipo ó componente. Equivale a la suma del tiempo operativo de la máquina dividido entre el número total de fallas.	Orientar las actividades de mantenimiento a la obtención de una buena confiabilidad para alcanzar la tasa establecida para cambio de riel en el plan de ejecución: 1.2 Km de vía por turno de trabajo.	Reportes Downs de los eventos asociados a los equipos y OTs generadas en Ellipse .

FÓRMULA DE CÁLCULO	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS
$MTBF = (TTEF / NFO)$	<p><b>TTEF</b> = Tiempo total durante el cual se estima que el equipo puede cumplir la función requerida.</p> <p><b>NFO</b> = Número de fallas ocurridas en el periodo</p>

<b>OBSERVACIONES</b>	A medida que el MTBF aumenta, es muestra que está mejorando la confiabilidad del equipo, este indicador es más usado a nivel de equipo ó componente dentro de la taxonomía de la planta. Se recomienda medirlo de forma acumulada anual.
----------------------	--

UNIDAD DE MEDIDA	PERIODICIDAD DE MEDICIÓN	METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN
Horas	Mensual	Se realizará usando la funcionalidad "Reporte de confiabilidad y disponibilidad" del Ellipse y será presentado en la reunión mensual de indicadores. La medición de este indicador debe ser acumulada a 12 meses

RESPONSABLE DE GENERAR EL INDICADOR	RESPONSABLE DEL RESULTADO	META
INGENIERO DE MANTENIMIENTO	SUPERVISOR	Debe establecerse una meta anual teniendo en cuenta el comportamiento histórico del indicador y los objetivos de planeación. Resultado tendiente a aumentar o mantenerse estable.



LA TÉCNICA DE IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES

ÁREA	PRODUCTO/PROCESO	NOMBRE DEL INDICADOR	Nº
R.O.P.	Ingeniería de Mantenimiento	Tiempo Medio Para Reparar - MTTR	5

DEFINICIÓN DEL INDICADOR	OBJETIVO ESTRATEGICO	FUENTE DEL INDICADOR
Es el tiempo promedio para restaurar un equipo a una condición específica. Es una medida de la mantenibilidad de los equipos. La mantenibilidad es expresada como la probabilidad que un equipo sea restablecido a sus condiciones específicas de operación dentro de un intervalo de tiempo especificado, cuando el mantenimiento es ejecutado acorde con los procedimientos establecidos.	Mejorar continuamente la gestión de activos buscando el control del desempeño de los equipos, los costos de mantenimiento y el control de los riesgos asociados a los activos.	Reportes Downs de los eventos de mantenimiento, y OTs generados en Elipse

FÓRMULA DE CÁLCULO	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS
$MTTR = (THR) / NTR$	THR = Total horas de reparación del equipo NTR = Número total de reparaciones

OBSERVACIONES
El tiempo ó duración de la(s) reparación(es) incluye el tiempo transcurrido desde el inicio de la reparación hasta el final de la misma, cuando el equipo se restaura completamente a las condiciones operacionales que tenía antes de la falla.

UNIDAD DE MEDIDA	PERIODICIDAD DE MEDICIÓN	METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN
Horas	Mensual	Se realizará usando la funcionalidad "Reporte de confiabilidad y disponibilidad" del Elipse y será presentado en la reunión mensual de indicadores.
RESPONSABLE DE GENERAR EL INDICADOR	RESPONSABLE DEL RESULTADO	META
INGENIERO DE MANTENIMIENTO	SUPERVISOR	Debe establecerse de forma anual teniendo en cuenta los objetivos de planeación y el comportamiento histórico del indicador. Resultado tendiente a disminuir o mantenerse estable.

## ANEXO G. POLÍTICAS DE GESTIÓN DE ACTIVOS DEL PROYECTO.

(Por motivos de confidencialidad algunos de los datos del documento final de trabajo han sido omitidos del presente texto; se ilustra el modelo de presentación de la política de gestión de activos)

### **POLÍTICA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE PROYECTO ROP.**

Los activos que tiene asignados el proyecto para su preparación, ejecución y puesta en marcha deberán ir en función del aseguramiento de la capacidad portante de la vía férrea en los próximos años, ejecutando las labores de mantenimiento y gestión necesarias para optimizar el desempeño, controlar los riesgos y mejorar costos de la gestión de los activos.

En las actividades, procesos y estrategias de gestión de los activos se deben cumplir los lineamientos corporativos en términos de seguridad, salud, medio ambiente y comunidades, orientando los procesos a la mejora continua, supervisión y reporte de condiciones que conlleven a gestiones y acciones de mejoramiento de las condiciones de trabajo del proyecto.

Se debe hacer una gestión de la información de los activos con total responsabilidad, ética y transparencia considerando de manera importante los valores fundamentales de la organización. La gestión de la información debe ser tal que al pasar la responsabilidad de los activos a la superintendencia de ferrocarril, o a cualquier otra entidad al finalizar el proyecto, se continúe de manera efectiva la gestión de los mismos a través de su ciclo de vida.

Se debe hacer un correcto monitoreo y mejoramiento de la gestión orientado a evaluar la sostenibilidad y sustentabilidad de los activos a lo largo del proyecto y aún al finalizar éste proveyendo los lineamientos necesarios para que aun cuando ya el proyecto termine, se pueda continuar la gestión, por parte del ente que resulte administrador de estos.

La empresa suministrará los recursos necesarios para implementar una gestión de activos acorde a las políticas establecidas. La divulgación de esta política se hará de manera efectiva a los interesados en la gestión de los activos asignados al proyecto.

## ANEXO H. MUESTRA DEL ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA SECCIÓN DE MANTENIMIENTO DEL PROYECTO.

(Por motivos de confidencialidad algunos de los datos del documento final de trabajo han sido omitidos del presente cuadro; se ilustra el modelo de presentación del análisis de riesgo)

Se muestra solamente el análisis para 6 de las 36 tareas contempladas para el proyecto en la sección de cambio de riel.

### Paso 1. Análisis de riesgos

No.	FASE / TAREA / EQUIPO / AREA	ASUNTO DE RIESGO	EVENTO	CAUSAS	ESTRATEGIA DE CONTROLES	CONTROL CRITICO	IMPACTO	FACTOR SEVERIDAD	FACTOR PROBABILIDAD	VALOR	ACEPTABLE (VRR)
1	Inspección diaria de los equipos	OTROS	Exposición del personal a riesgos asociados a los equipos durante la revisión de las diferentes partes de los equipos (Machucones, golpes, contusiones, lumbagos, Quemaduras, cortes, etc)	1. No fijar la mirada en las zonas de apoyo durante la inspección 2. Posturas inadecuadas 3. Desconocimiento del equipo 4. Ejecutar actividades no autorizadas durante la inspección 5. Desconcentración 6. No uso/uso inadecuado de EPP 7. Falta de orden y aseo en el área 8. No usar los 3 puntos de apoyo durante el acceso a los equipos	1. Fijar la mirada en el equipo.	NO	SEGURIDAD	6. Incapacidad reversible	Más de una vez en 1 año	30	Tolerable
					2. Sensibilización en higiene	NO					
					3. Realizar calistenia y	NO					
					4. Realizar AST. (Identificación de	NO					
					5. Entrenamiento específico en	NO					
					6. Restringir las actividades	NO					
					7. Uso de EPP adecuados para	NO					
					8. Identificar el estado del área y	NO					
					9. Usar las barandas y	NO					
2	Cambio de aceite/ Equipos de mantenimiento ROP (...)	MANEJO DE QUÍMICOS	Contacto con sustancias químicas (Combustible - diesel, Tie plugger chemical, aceites)/ Exposición del personal a quemaduras por contacto	1. Sustancias volátiles 2. Sustancias sin MSDS 3. Personal no conoce las medidas de seguridad (MSDS) para manejar el producto químico. 4. Uso inapropiado de los EPP o no uso 5. Distracción en la ejecución de la tarea	1. Solicitud de autorización de	NO	SEGURIDAD	6. Incapacidad reversible	Más de una vez en 1 año	30	Tolerable
					2. Homologación de MSDS de	NO					
					3. Socialización y divulgación de	NO					
					4. Uso de EPP para protección	SI					
					5. Personal experimentado en	NO					
					6. Utilización permanente de	SI					
					7. Verificar la corriente de brisa,	NO					
					8. Nunca reevarsar la	SI					

				6. Falla del equipo, herramienta	9. Uso de recipientes	SI					
				7. Incumplimiento al Procedimiento de manipulación de la sustancia	10. Verificar la compatibilidad de	SI					
					11. No consumir alimentos ni	SI					
3	Cambio de aceite/ Cambio de Filtro/ Limpieza de partes/ Engrase en Equipos de mantenimiento ROP (...)	MANEJO DE QUÍMICOS	Contaminación de suelos por derrame de combustibles y sustancias peligrosas / Manejo inadecuado de residuos peligrosos	1. Falta o inadecuada implementación de sistemas de contingencia para envases y almacenamiento. 2. No hay procedimiento para la actividad 3. No disponer los residuos de químicos en los sitios asignados. 4. Derrames de combustible sobre el suelo durante su manipulación en mantenimiento 5. Fallas mecánicas de los equipos féreos 6. Ruptura de mangueras 7. Disposición inadecuada de las sustancias	1. Capacitación y sensibilidad 2. Capacitación y entrenamiento en 3. Establecer puntos, casetas 4. Asegurar la disponibilidad en 5. Uso de recipientes 6. Garantizar el cumplimiento de 7. Socialización y divulgación de 8. Hacer inspección 9. Divulgar y sensibilizar al	NO NO NO SI SI NO NO NO	MEDIO AMBIENTE	Impacto bajo nivel	Una vez en 2 años	3	Tolerable
4	Trabajos en campo	AMBIENTALES	Quema de área boscosa por incendios forestales	1. Manejo de herramientas y/o residuos peligrosos 2. Desconocimiento de los riesgos 3. Falta de experiencia del personal 4. Ausencia de sistemas de comunicación y de emergencias 5. Persona fumando en el área 6. Material combustible en el área 7. Limpieza de partes con desengrasantes, gasolina y otros	1. Reconocimiento 2. Aplicación directriz de 3. EPP adecuada para la tarea. 4. El personal debe Conocer los 5. Divulgas y sensibilizar al 6. Avisar inmediatamente 7. Socialización y divulgación de 8. Mantener extintores para 9. Personal competente para	NO NO SI NO NO SI NO SI NO	MEDIO AMBIENTE	Impacto moderado (< 1 año)	Una vez en 2 años	30	Tolerable

5	Cambio de Filtro/Equipos de Mantenimiento/ Cambio de piezas (cilindros, eslabones, ejes, bombas, compresor, motores eléctricos)	MANEJO DE HERRAMIENTAS (TODO TIPO)	Exposición del personal a partes y herramientas que se liberen repentinamente (Atrapamientos, Golpe, contusiones, latigazos)	<p>1. Desconocimiento del manejo de la herramienta</p> <p>2. Personal trabajando cerca de las líneas de fuego</p> <p>3. No aplicación de controles de bloqueo adecuados</p> <p>4. Mantenimiento inadecuado de los equipos y elementos</p> <p>5. Falta de competencias del personal</p> <p>6. No uso de EPP</p> <p>7. Condiciones físicas inadecuadas, fatiga.</p> <p>8. Desconcentración, no fijar la mirada en la tarea</p> <p>9. Falta de bloqueos (amarres)</p>	1. Implementar el Procedimiento la	NO	SEGURIDAD	5. Incapacidad moderada irreversible (<30%)	Una vez en 2 años	30	Tolerable
					2. Identificar las líneas de fuego	SI					
					3. Verificar bloqueo de	SI					
					4. Señalización de advertencia en	NO					
					5. Guardas y bloqueos físicos	SI					
					6. Asegurar el cumplimiento del	NO					
					7. Observaciones de tarea	NO					
					8. Inspección de equipos	NO					
					9. AST	NO					
					10. Garantizar personal	NO					
					11. Realizar pausas activas,	NO					
					12. Uso de EPP requeridos para el	NO					
					13. Inspección pre-operacional	NO					
					14. Asegurar la carga o piezas a	SI					
6	Engrase/ Equipos del ROP	MANEJO DE QUIMICOS	Exposición del personal a proyección de químicos usados con sistemas presurizados (Inyección de grasa en la piel, intoxicación, quemaduras)	<p>1. Sustancias sin MSDS</p> <p>2. Personal no conoce las MSDS</p> <p>3. Uso inapropiado de los EPP</p> <p>4. Manejo inadecuado de la herramienta (Pistolas de inyección)</p> <p>5. Personal desconoce el procedimiento de la actividad</p> <p>6. Personal no autorizado para la manipulación de la herramienta y el químico</p>	1. Solicitud de autorización de	NO	SEGURIDAD	5. Incapacidad moderada irreversible (<30%)	Una vez en 2 años	30	Tolerable
					2. Homologación de MSDS de	NO					
					3. Socialización y divulgación de	NO					
					4. Uso de Overoll y guantes para	NO					
					5. Personal entrenado,	NO					
					6. Implementar el Procedimiento	NO					
					7. Inspección preoperacional de	NO					
					8. Observaciones de tareas	NO					
					9. Supervisión durante la	NO					

