

**ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE CONFIABILIDAD RIM PARA LA FLOTA
DE TANQUEROS DE COMBUSTIBLES DE CARBONES DE CERREJÓN**

**HANS BERMEJO BARRERO
JOSÉ BUELVAS ORTÍZ
CARLOS ESTRADA CARRILLO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BARRANQUILLA
2012**

**ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE CONFIABILIDAD (RIM) PARA LA FLOTA
DE TANQUEROS DE COMBUSTIBLES DE CARBONES DE CERREJÓN**

**HANS BERMEJO BARRERO
JOSÉ BUELVAS ORTÍZ
CARLOS ESTRADA CARRILLO**

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

**Director: JORGE GIRALDO GIL
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BARRANQUILLA
2012**

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por su infinita misericordia y bondad, al bendecirnos con esta oportunidad de crecimiento profesional necesario para nuestro desarrollo y adquisición de experiencia y nuevos conocimientos.

A nuestras familias que siempre nos apoyaron y estuvieron dispuestas a soportar el distanciamiento y la poca dedicación de tiempo para ellos debido al compromiso adquirido.

A nuestra empresa MECANICOS ASOCIADOS S.A.S. en especial a nuestro Coordinador de Contrato, el Ingeniero Abraham Ovalle Ortiz que nos brindo su incondicional apoyo y confianza para nuestro desarrollo integral como profesionales, al cual tenemos la certeza de que le retribuiremos toda su generosidad con mejoras y cambios significativos en la organización.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1. CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED | 14 |
| 1.1. PROCESO PRODUCTIVO | 15 |
| 1.1.1. Desforestación y Remoción del Suelo | 16 |
| 1.1.2. Perforación y Voladura | 16 |
| 1.1.3. Carga de material Estéril | 18 |
| 1.1.4. Transporte y Disposición de Materia Estéril | 19 |
| 1.1.5. Remoción, Carga y Transporte del Carbón. | 20 |
| 1.1.6. Trituración y/o Apilamiento del Carbón | 21 |
| 1.1.7. Cargue del Tren | 22 |
| 1.1.8. Estación de Descargue en Puerto Bolívar | 23 |
| 1.1.9. Embarque del Carbón | 24 |
| 1.1.10. Rehabilitación de Tierras | 24 |
| 1.2. DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO | 25 |
| 1.2.1. Mantenimiento de Equipo Liviano | 28 |
| 1.2.1.1. Mecánicos Asociados S.A.S. | 28 |
| 1.2.1.2. Contrato de mantenimiento de equipos livianos, medianos y especiales en las instalaciones del Cerrejón a la mina | 29 |
| 1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 34 |
| 2. OBJETIVOS | 35 |
| 2.1. General | 35 |
| 2.2. Específico | 35 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 36 |
| 4. MÁRCO CONCEPTUAL | 37 |

| | | |
|----------|---|----|
| 4.1. | ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE CONFIABILIDAD Y MANTENIMIENTO (RIM) | 37 |
| 4.1.1. | Definición de RIM | 37 |
| 4.1.2. | Metodología de Aplicación de RIM | 37 |
| 4.1.2.1. | Límites y jerarquías de equipo | 42 |
| 4.2. | INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO | 52 |
| 4.2.1. | Disponibilidad | 53 |
| 4.2.2. | Confiabilidad | 54 |
| 4.2.3. | Tiempo promedio entre fallas | 55 |
| 4.2.4. | Mantenibilidad | 56 |
| 4.2.4.1. | Tiempo promedio para reparar (MTTR) | 57 |
| 4.3. | ANÁLISIS DIAGRAMA DE PARETO | 58 |
| 4.4. | ANÁLISIS CAUSA RAIZ | 59 |
| 4.5. | FLOTA DE CAMIONES TANQUEROS DE COMBUSTIBLE | 63 |
| 4.6. | ANALISIS DE INFORMACION DE LA FLOTA DE TANQUEROS DE COMBUSTIBLE | 68 |
| 4.6.1. | Caracterización del proceso RIM | 68 |
| 4.6.1.1 | Recolección de la información | 70 |
| 4.6.2. | Análisis de información, identificación y priorización de problemas | 72 |
| 4.6.3. | Análisis de Pareto | 76 |
| 4.6.4. | Análisis de Causa Raíz (RCA) | 78 |
| 4.6.4.1. | Evidencias | 84 |
| 4.7. | PROPUESTA DEL RESULTADO DEL ANALISIS DE LA INFORMACION DE CONFIABILIDAD | 86 |
| 4.7.1. | Plan de acción | 87 |
| | CONCLUSIONES | 91 |
| | BIBLIOGRAFIA | 92 |
| | ANEXOS | 93 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| FIGURA 1. UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA MINA CARBONES DEL CERREJON | 14 |
| FIGURA 2. ESQUEMA DE PROCESO PRODUCTIVO | 15 |
| FIGURA 3. DESMONTE DE VEGETACION | 16 |
| FIGURA 4. PROCESO DE PERFORACION | 17 |
| FIGURA 5. PROCESO DE VOLADURA | 18 |
| FIGURA 6. CARGUE DE CAMIONES CON ESTERIL CON PALA ELECTRICA | 19 |
| FIGURA 7. TRANSPORTE ESTERIL | 20 |
| FIGURA 8. CARGA DE CARBON | 21 |
| FIGURA 9. ALMACENAMIENTO | 22 |
| FIGURA 10. CARGA DE CARBON DEL TREN EN EL SILO | 23 |
| FIGURA 11. ESTACION DE DESCARGUE PUERTO BOLIVAR | 24 |
| FIGURA 12. CARGADOR DE BUQUE | 24 |
| FIGURA 13. TIERRAS REHABILITADAS | 25 |
| FIGURA 14. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL CERREJON | 26 |
| FIGURA 15. TALLER DE MANTENIMIENTO – AREA POST PM | 27 |
| FIGURA 16. TALLER DE MANTENIMIENTO – AREA - PM | 27 |
| FIGURA 17. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE MECANICOS ASOCIADOS | 29 |
| FIGURA 18. TALLER DE MANTENIMIENTO EQUIPO LIVIANO | 32 |
| FIGURA 19. TALLER DE MANTENIMIENTO EQUIPO LIVIANO | 32 |
| FIGURA 20. DISPONIBILIDAD FLOTA DE TANQUEROS | 36 |
| FIGURA 21. CAMION TANQUERO | 39 |
| FIGURA 22. CAMION TANQUERO | 39 |
| FIGURA 23. MATRIZ DE PRIORIZACION DE ORDENES DE TRABAJO | 42 |
| FIGURA 24. DIAGRAMA DE LIMITES DE CAMION DE TANQUEROS | 43 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 25. JERARQUIZACION DEL CAMION TANQUERO DE COMBUSTIBLE | 45 |
| FIGURA 26. EJEMPLO DIAGRAMA PARETO | 58 |
| FIGURA 27. CAMION TANQUERO MARCA KODIAK | 65 |
| FIGURA 28 PARTES DEL CAMION TANQUERO DE COMBUSTIBLE | 66 |
| FIGURA 29. ORDEN DE TRABAJO EN ELLIPSE | 71 |
| FIGURA 30. DIAGRAMA DE DISPONIBILIDAD FLOTA DE TANQUERO DE COMBUSTIBLE PERIODO DE ENERO - JUNIO 2012 | 73 |
| FIGURA 31. DIAGRAMA DE DISPONIBILIDAD POR EQUIPO DE FLOTA DE TANQUERO DE COMBUSTIBLE PERIODO DE ENERO - JUNIO 2012 | 73 |
| FIGURA 32. DIAGRAMA DE CONFIABILIDAD FLOTA TANQUERO DE COMBUSTIBLE PERIODO DE ENERO - JUNIO 2012 | 74 |
| FIGURA 33. DIGRAMA DE CONFIABILIDAD POR EQUIPO DE FLOTA DE TANQUERO DE COMBUSTIBLE PERIODO ENERO – JUNIO DE 2012 | 75 |
| FIGURA 34. DIAGRAMA DE PARETO FALLA PERIODO ENERO – JUNIO DE 2012 | 76 |
| FIGURA 35. DIAGRAMA DE FALLA DE ITEMS MANTENIBLES SISTEMAS AIRE ACONDICIONADO | 78 |
| FIGURA 36. DIAGRAMA DE MATRIZ DE CLASIFICACION DE EVENTOS | 79 |
| FIGURA 37. DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO | 80 |
| FIGURA 38. FUGA DE GAS EN LA ENTRADA DE FILTRO SECADOR | 84 |
| FIGURA 39. EVAPORADOR DE KODIAK CON FUGA TAPADO POR EL POLVO | 84 |
| FIGURA 40. CONDENSADOR DE AIRE ACONDICIONADO CON ALETA DAÑADA | 85 |
| FIGURA. 41 INTERIOR DE CABINA LLENO DE POLVO | 85 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| TABLA 1. CLASIFICACION TAXONOMICA CAMION TANQUERO | 47 |
| TABLA 2. SUBDIVISION DE LA UNIDAD DE EQUIPO CAMION TANQUERO | 47 |
| TABLA 3. DATOS ESPECIFICOS DE LA UNIDAD DE EQUIPO | 48 |
| TABLA 4. MODOS DE AVERIA | 49 |
| TABLA 5. INFORMACION TECNICA DE LA FLOTA DE TANQUERO DE COMBUSTIBLE | 64 |
| TABLA 6. CARACTERIZACION DEL PROCESO RIM | 68 |
| TABLA 7. DISPONIBILIDAD FLOTA DE TANQUERO DE COMBUSTIBLE PERIODO DE ENERO – JUNIO DE 2012 | 72 |
| TABLA 8. DISPONIBILIDAD POR EQUIPO DE FLOTA DE TANQUERO DE COMBUSTIBLE PERIODO DE ENERO – JUNIO DE 2012 | 73 |
| TABLA 9. CONFIABILIDAD FLOTA DE TANQUERO DE COMBUSTIBLE PERIODO DE ENERO – JUNIO DE 2012 | 74 |
| TABLA 10. CONFIABILIDAD POR EQUIPO DE FLOTA DE TANQUERO DE COMBUSTIBLE PERIODO DE ENERO – JUNIO DE 2012 | 74 |
| TABLA 11. ESTADISTICAS DE FALLA EN LOS TANQUEROS DE COMBUSTIBLE | 75 |
| TABLA 12. COSTOS DE MANTENIMIENTO | 76 |
| TABLA 13. ESTADISTICAS DE FALLA POR ITEMS MANTENIBLE | 77 |
| TABLA 14. SEGUIMIENTO, RECOMENDACIONE PRODUCTOS RCA | 88 |

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE CONFIABILIDAD RIM PARA LA FLOTA DE TANQUEROS DE COMBUSTIBLES DE CARBONES DE CERREJÓN

AUTORES: HANS BERMEJO BARRERO, JOSE BUELVAS ORTIZ, CARLOS ESTRADA CARRILLO.

PALABRAS CLAVES: RIM, CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD, DIAGRAMA PARETO, RCA, ITEM MANTENIBLE, MTBF, MTTR, MODO DE AVERIA.

La necesidad de analizar la información de confiabilidad RIM (Reliability información management) surge debido al incumplimiento continuo con el indicador de disponibilidad de la flota de tanqueros de combustible que está pactada contractualmente en 80%. Este proceso es utilizado para la optimización de las estrategias de operación y mantenimiento de los equipos; y se lleva a cabo primeramente con la recolección de datos e información Confiabilidad y Mantenimiento según los parámetros establecidos por la Norma ISO 14224 que tiene como objetivos principales realizar una especificación de los datos a recolectar e ingresarlos en formatos normalizados que garanticen la calidad de la información recopilada.

La disponibilidad actual es del 76,8% y se pretende llevar al 85% con la aplicación del RIM, analizando la información mediante técnicas estadísticas como lo es el diagrama de pareto que arrojó problemas vitales en el sistema de aire acondicionado de los tanqueros, de 190 fallas presentadas en la flota conformada por 9 camiones 36 fallas correspondieron al aire acondicionado (a.a) que equivalen al 19% del total, estas averías se reflejaron en diferentes componentes de los cuales el que más fallo fue el evaporador con 12 daños y otros como condensador, cableados, relés, blower tuvieron fallas considerables. Además fueron analizados los indicadores correspondientes que reflejan claramente equipos malos actores que repercuten directamente en la disponibilidad negativa de la flota por lo tanto serán incluidos en el plan para analizar las causas de su baja confiabilidad y mantenibilidad. El desarrollo del proyecto estuvo enfocado al sistema que más nos impacto a lo largo del presente año por lo cual se llevo a cabo un análisis de causa raíz (R.C.A.) para identificar las causas del problema.¹

Los resultados del RCA en los diferentes componentes arrojaron las siguientes causas raíces: condiciones de operación, no existe procedimiento, herramienta inadecuada, falta de aseguramiento del procedimiento, material inadecuada, procedimiento inadecuado y especificación inadecuada del material, con esta información se formulo un plan de acción para dar solución efectiva a los problemas de a.a con fechas de cumplimiento y responsables.²

¹ Monografía

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Jorge Giraldo Gil, Ingeniero Mecánico

SUMMARY

TITLE: ANALYSIS OF RELIABILITY INFORMATION FOR TANKER FUEL FLEET IN CARBONES DEL CERREJON.

AUTHORS: HANS BERMEJO BARRERO, JOSE BUELVAS ORTIZ, CARLOS ESTRADA CARRILLO.

KEYWORDS: RIM, RELIABILITY, AVAILABILITY, PARETO DIAGRAM, RCA, MAINTAINABLE ITEM, MTBF, MTTR, FAILURE MODE.

The need to analyze the reliability and maintenance information RIM (reliability information management) continued failure arises due to the availability indicator of fuel tanker fleet is contractually agreed in 80%. This process is used for the optimization of operating strategies and maintenance of equipment, so firstly performed data collection and information of RM (Reliability and Maintenance) according to parameters set by the International Standard ISO 14224 whose main objectives make a specification of data to collect and enter them in standard formats to ensure the quality of the collected information.

The current availability is 76.8% and 85% is intended to lead with the application of RIM, with the information collected and organized as required by the standard corresponding analysis was performed using statistical techniques such as Pareto diagram that show us the vital problems are in the air conditioning system (a.a), of 190 faults presented in the fleet consists of 9 trucks 36 corresponded to air conditioning failure or 19% of total, these faults were reflected in different components of which the evaporator was that most failures had and others such as capacitor, wiring, relays, blower had significant flaws too. Also the indicators clearly reflecting equipments bad actors that directly affect the availability of the fleet therefore be included in the plan to analyze the causes of their low reliability and maintainability. The project was focused on developing the system impact us most throughout this year which was carried out an analysis of root cause (RCA) to identify the real causes of the problem³.

The results of RCA in the different components had the following root causes: operating conditions, there is no procedure, wrong tool, lack of assurance procedure, inappropriate material, improper procedures and inadequate specification of the material, with this information was formulated a plan of action for effective solution to air conditioning problems with compliance dates and person in charge of the activity.⁴

³ Monograph

⁴ School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization, Director: Jorge Giraldo Gil, Mechanical Engineer

INTRODUCCIÓN

En **Carbones del Cerrejón** (La Guajira), la disponibilidad de la flota de tanqueros de combustibles; equipos encargados de abastecer de diesel a los equipos mineros en el campo, se está viendo afectada por diferentes tipos de fallas ocasionadas algunas por la condición de trabajo y otras veces por errores de operación y/o mantenimiento. Como el incumplimiento con unos indicadores de disponibilidad pactados contractualmente entre **Cerrejón y Mecánicos Asociados S.A.S** generan multas e insatisfacción del cliente se decide realizar un Análisis de la Información de Confiabilidad (RIM) de estos equipos basados en los criterios de recolección de datos que ofrece la norma ISO 14224 (Norma Industrias de petróleo y gas natural – Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos) para obtener información de gran calidad que garantice la efectividad del posterior análisis.

El análisis de la información de confiabilidad se realiza utilizando herramientas estadísticas como el diagrama de Pareto y revisando indicadores clase mundial como lo son: Mantenibilidad, Disponibilidad y confiabilidad que nos permiten identificar malos actores, subsistemas específicos de los equipos con fallas repetitivas, problemas con ciertos componentes o ítems mantenibles, para luego ser sometidos a un riguroso R.C.A. (Análisis de Causa Raíz) que es la metodología utilizada para dar soluciones efectivas a los problemas de manera definitiva o en el peor de los casos mitigar las consecuencias negativas que puedan generar las fallas. Esto se logra con la formación de un grupo interdisciplinario que se reúne dirigidos por un facilitador que ayuda a que se generen las causas raíz (latente, físicas y/o humanas) del problema utilizando el diagrama Causa – Efecto para llegar a la raíz del problema y de esta manera generar un plan de acción que permita poner control a los procesos que así lo requieran, retroalimentar al personal, implementar nuevos procedimientos de trabajo y estar preparados para la ocurrencia de algunas fallas que resultan más favorable que sucedan en vez de corregirlas preventivamente. Todo esto fue propuesto con el fin mejorar notablemente la Disponibilidad de la flota de camiones de combustible garantizando de esta manera que nuestro cliente no tenga inconvenientes con el flujo normal de su proceso productivo y asegurando el principal objetivo de calidad que es su plena satisfacción.

1. CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED

Cerrejón es un complejo de minería y transporte integrado en La Guajira, departamento ubicado en el extremo norte de Colombia; cuya actividad es extraer, procesar y comercializar carbón en todo el mundo. Abarca una mina a cielo abierto de carbón térmico que produce 32 millones de toneladas al año, un ferrocarril de 15 km de largo y un puerto marítimo capaz de recibir buques de hasta 180.000 toneladas de capacidad. Es una de las 10 mejores y más grandes empresas de Colombia, la compañía minera más grande del país, y unas de las minas de cielo abierto más grandes del mundo⁵.

Los principales propietarios de la minera colombiana son las multinacionales BHP Billiton, Xstrata y Anglo American, cada una con un 33% de los activos totales. Según la revista *Energy Digital*, el Cerrejón es una de las mineras que más energía produce en el mundo, junto con otras compañías como Peabody Energy, Coal India, BHP Billiton Energy Coal South África Ltd, entre otras.

Figura 1. Ubicación geográfica de la mina Carbones del Cerrejón.



Fuente: Informe de Progreso de Cerrejón – Pacto mundial 2010, Cerrejón LTD.

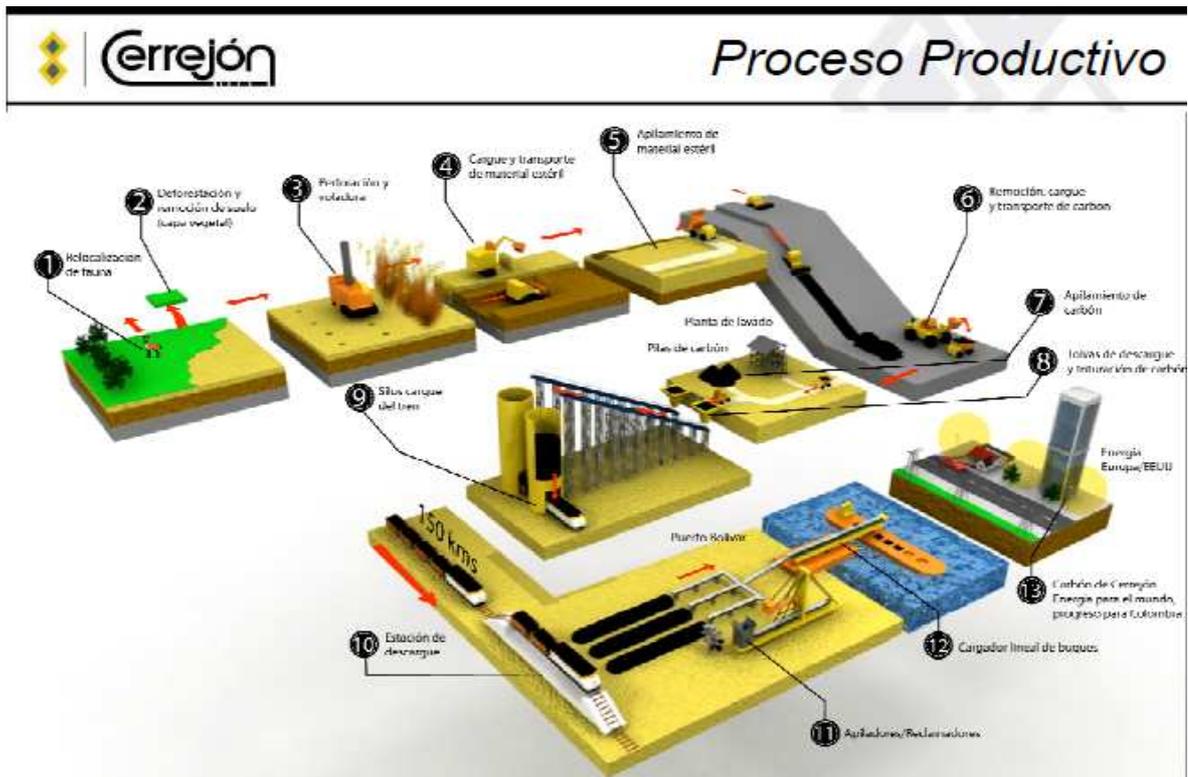
⁵ CERREJON, Informe de Progreso de Cerrejón (Pacto Mundial) – 2006, p. 6.

1.1. Proceso Productivo

La operación de extracción de carbón en Cerrejón se desarrolla bajo los más altos estándares de seguridad y de calidad con el compromiso de entregar al mercado internacional un producto de bajo contenido de ceniza y azufre, generando así un menor impacto sobre las personas y el medio ambiente.

La fortaleza de la operación de Cerrejón es la integración de los procesos productivos (mina-ferrocarril-puerto), lo que garantiza mayor eficiencia en el conjunto de la operación y menor impacto sobre el medio ambiente. El proceso está compuesto básicamente de los siguientes pasos⁶:

Figura 2. Esquema de proceso productivo



⁶ CERREJON, Extensión de vida Útil de Palas P&H 2800 XP hasta 150.000 horas de Operación – 2009, p. 5.

Fuente: Informe “Extensión de vida útil de Palas eléctricas”, Cerrejón LTD.

1.1.1. Desforestación y Remoción de Suelo: Se extrae la madera aprovechable y se derriba la vegetación, arboles remanente, se remueve y preserva en bancos de acopio. Las capas o materiales de suelo aptos para posterior rehabilitación de las tierras intervenidas.

Figura 3. Desmante de vegetación



Fuente: Informe “Cerrejón hacia la rehabilitación de tierras”, Cerrejón LTD.

1.1.2. Perforación y Voladura: Los taladros perforan los pozos que serán cargados con agentes de voladura, para luego realizar la fragmentación del material estéril mediante detonaciones controladas.

Figura 4. Proceso de perforación



Fuente: Tajo "La Puente", Mina carbones del Cerrejón LTD.

Figura 5. Proceso de Voladura



Fuente: Informe “Cerrejón hacia la rehabilitación de tierras”, Cerrejón LTD.

1.1.3. *Carga de Material Estéril*: Palas Hidráulicas y Eléctricas cargan el material estéril en camiones de 320 y 240 toneladas, hasta dejar expuestos los mantos de carbón.

Figura 6. Cargue de camiones con estéril con pala Eléctrica



Fuente: Tajo "Patilla", Mina carbones del Cerrejón LTD.

1.1.4. Transporte y Disposición de Material Estéril. Los camiones de 320 y 240 toneladas son cargados con el material estéril por medio de palas eléctricas (P&H 2800 XPC) e hidráulicas (Hitachi X 3500 – 5000) para su disposición final, en áreas de botaderos o retro llenados.

Figura 7. Transporte de Estéril



Figura: Retro llenado "El Pueblo", Mina carbones del Cerrejón LTD.

1.1.5. *Remoción, Cargue y transporte de Carbón:* Cargadores frontales (Letourneau L1150 / 1350), palas hidráulicas (Liebherr) y tractores sobre oruga (Caterpillar D9 / D10) realizan un proceso en conjunto para que el carbón pueda ser limpiado, escarificado y empujado para que pueda ser finalmente cargado en camiones de 190 toneladas hacia el área de pilas o trituradoras.

Figura 8. Cargue de carbón



Figura: Pilas de carbón norte, Mina carbones del Cerrejón LTD.

1.1.6. Trituración y/o Apilamiento del Carbón: Una parte del carbón es almacenado en pilas de almacenamiento temporal ubicadas de forma estratégica en patios de acopio; otra parte pasa a una planta trituradora por medio de una banda transportadora, la cual se encarga de desfragmentar el mineral y lavarlo.

Figura 9. Almacenamiento



Fuente: Planta trituradora, Mina carbones del Cerrejón LTD.

1.1.7. Cargue del Tren: Las instalaciones de cargue están constituidas por un anillo de cargue de una sola vía que pasa por debajo de los silos donde están localizados los equipos de cargue. Los vagones del tren son cargados mientras se encuentran en movimiento, mediante conductos telescópicos y retractables bajo cada silo. Una vez cargado el tren inicia su recorrido desde el complejo carbonífero hasta Puerto Bolívar sobre la vía férrea de unos 150 Kms.

Figura 10. Cargue de carbón del tren en el silo



Fuente: Silos de almacenamiento de carbón, Mina carbones del Cerrejón LTD.

1.1.8. Estación de Descargue en Puerto Bolívar: El tren de forma automática realiza la apertura de compuertas sobre una banda transportadora que envía el carbón a pilas de acopio y al cargador de buque según sea la necesidad.

Figura 11. Estación de descargue Puerto Bolívar



Fuente: Revista “Cerrejón minería responsable”, Cerrejón LTD.

1.1.9. *Embarque del Carbón.* El cargador de buque hace la disposición final del carbón en cada uno de los compartimientos que los buques transportadores, para luego emprender un viaje a diferentes partes del mundo.

Figura 12. Cargador de buque



Fuente: Revista “Cerrejón minería responsable”, Cerrejón LTD.

1.1.10. *Rehabilitación de Tierras:* Sobre la superficie de los botaderos de estéril o áreas de retro llenado liberados por la minería, se conforma y estabiliza un nuevo suelo, con el objeto de construir en unos pocos años, bosques similares a los existentes en el vecindario de la minería.

Figura 13. Tierras rehabilitadas



Fuente: Informe "Cerrejón hacia la rehabilitación de tierras", Cerrejón LTD.

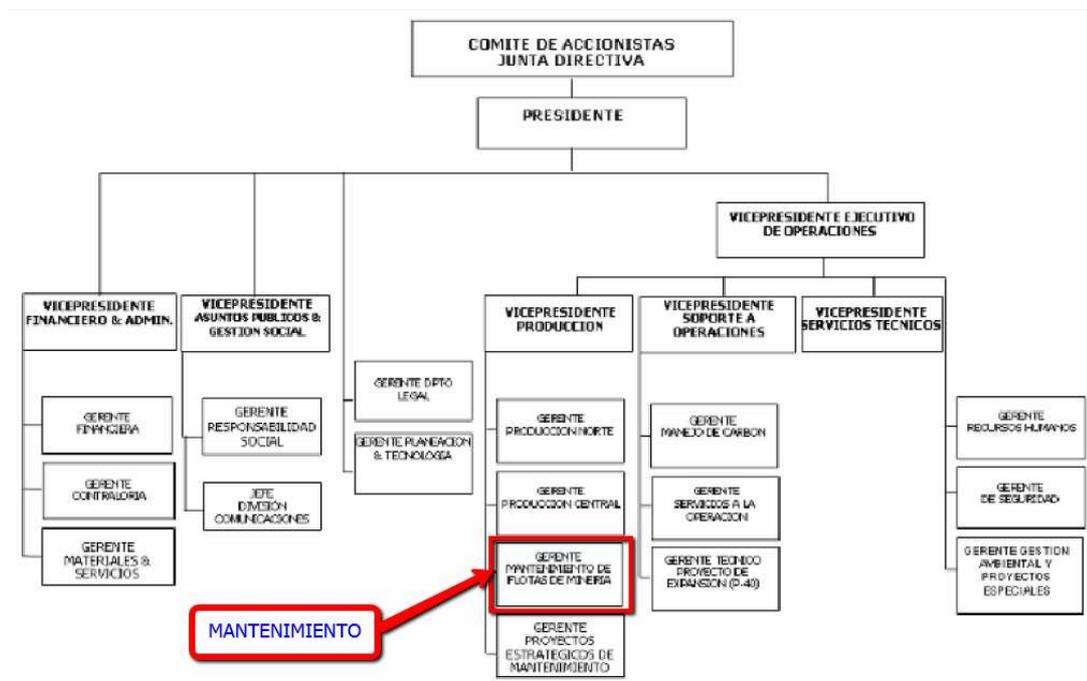
1.2. Departamento de Mantenimiento

Para realizar labores de mantenimiento a su equipo mayor de minería, el cual está compuesto por más de 260 equipos mineros cuyas flotas principales son: 12 palas eléctricas, 15 palas hidráulicas, 9 Cargadores frontales, 178 camiones de acarreo, 60 tractores de oruga, 28 moto niveladoras, 16 tanqueros de agua para riego; Cerrejón cuenta con unos talleres de mantenimiento dentro del complejo con un área de más de 26.000 metros cuadrados. Más de 2000 personas son responsables de que todo el equipo de producción de Cerrejón esté a punto para garantizar el normal y eficiente funcionamiento de la operación. Cuentan con 42 hangares en total. En 23 de ellos, con aproximada de 8400 metros cuadrados, reciben atención la flota de camiones un área y de cargadores. Casi 2600 metros cuadrados constituyen el área para los equipos auxiliares y los 15.000 metros

cuadrados restantes están dedicados a las áreas de soldadura y de reconstrucción de componentes.

En los talleres se llevan a cabo diferentes tipos de mantenimiento (preventivo, programado y por condición). El cuidado de los equipos, está regido por los más estrictos estándares de calidad, seguridad y medio ambiente y por la dedicación de trabajadores altamente calificados y capacitados en cada una de las operaciones del taller⁷.

Figura 14: Estructura organizacional Cerrejón



Fuente: Informe de Progreso de Cerrejón – Pacto mundial 2010, Cerrejón LTD.

⁷ CERREJON, Carbón para el Mundo, Progreso para Colombia – 2010, p. 25.

Figura 15: Taller de mantenimiento – Área Post PM.



Fuente: Instalación taller de Mantenimiento, Mina carbones del Cerrejón LTD.

Figura 16: Taller de mantenimiento – Área PM.



Fuente: Instalación taller de Mantenimiento, Mina carbones del Cerrejón LTD.

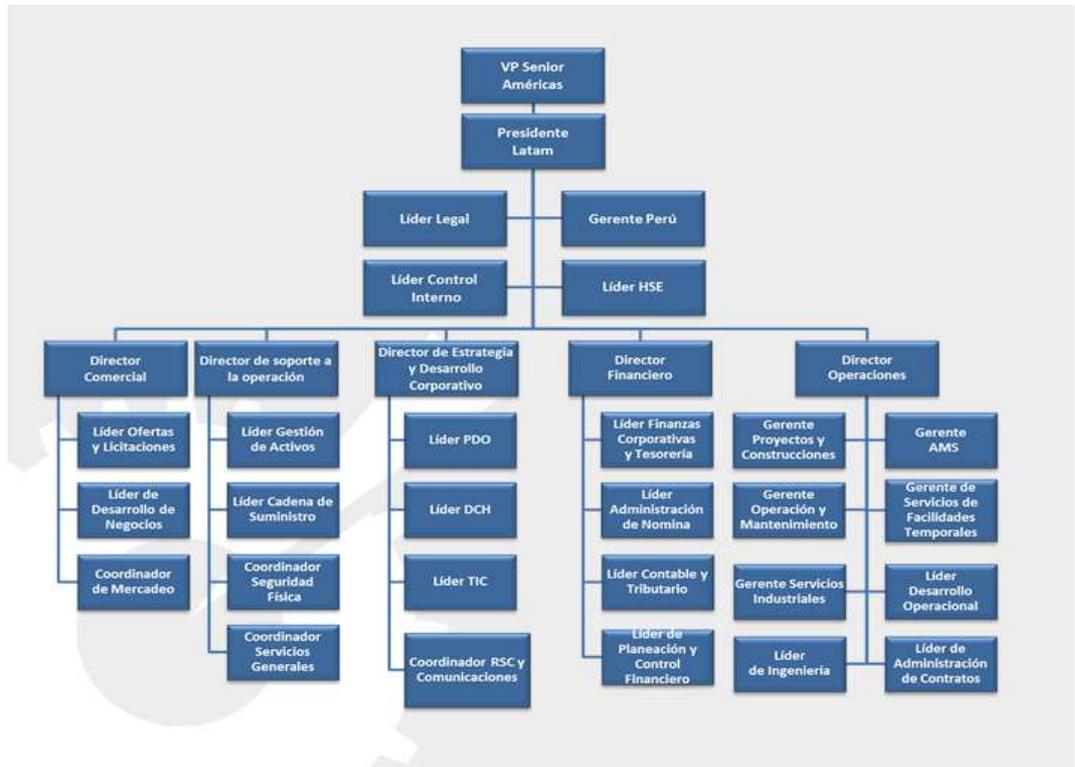
1.2.1. *Mantenimiento de Equipo Liviano* Las tareas de mantenimiento de equipos livianos, medianos, especiales y de transporte de Cerrejón son realizadas en su totalidad por la empresa contratista **Mecánicos Asociados S.A.S.** (MASA). La flota a mantener está compuesta por 636 vehículos de los cuales 145 son medianos que son camiones de 5 toneladas hasta mulas de 150 Toneladas y 491 Livianos que corresponden a camionetas pick-up y camiones de 3 toneladas.

1.2.1.1. *Mecánicos Asociados S.A.S.:* Masa es una empresa colombiana líder en la prestación de servicio integrales de operaciones y mantenimiento para el sector petrolero, de minería y energía, constituida hace mas de 25 años con un capital 100% Holandés gracias a su integración con la firma Stork Technical Services desde el año 2007. Con presencia en varios países en Suramérica y un respaldo internacional en tres continentes. La empresa cuenta con más de 4000 colaboradores directos en toda Colombia, comprometidos con el progreso y desarrollo del país y de sus clientes⁸. Cuenta con un sistema integral de gestión “SIGMA”, que se encuentra certificado bajo la norma ISO 9001:2008 en los servicios de:

- Mantenimiento industrial de campos petroleros
- Operación y Mantenimiento de ductos para transporte de hidrocarburos
- Operación de campos petroleros
- Operación y mantenimiento de centros de generación y distribución eléctrica
- Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento e inyección de agua
- Diseño, construcción, montaje, pre-comisionamiento de proyectos EPC (Que incluyan las especialidades civil – geotecnia, edificaciones y facilidades de superficie mecánica, tubería, eléctrica y de instrumentación).

⁸ <http://masateam.com/website/wwwmasa/site/index.php>

Figura 17: Estructura organizacional de Mecánicos Asociados



Fuente: Sistema Integral de Gestión Mecánicos Asociados S.A.S

1.2.1.2. *Contrato de Mantenimiento de Equipos Livianos, Medianos y Especiales en las Instalaciones de Cerrejón en la Mina:* El objeto del presente Contrato es la prestación de los servicios de mantenimiento de la flota de vehículos livianos, medianos, especiales y de transporte de CERREJÓN en sus instalaciones. Dicho contrato estará regulado por la superintendencia de Servicios a la Operación de Cerrejón.

- ✓ *Objeto del Contrato:* MASA se obliga a ejecutar, bajo su plena responsabilidad técnica y administrativa, el mantenimiento general de las flotas de vehículos livianos, medianos, especiales y de transporte de CERREJÓN y los accesorios

o equipos auxiliares en ellos instalados (en adelante LOS EQUIPOS), garantizando a CERREJÓN las disponibilidades y confiabilidades requeridas, para lo cual MASA deberá utilizar toda la mano de obra y supervisión necesaria, seguir las instrucciones y especificaciones del fabricante de cada marca y proporcionar todos los repuestos, equipos, herramientas, materiales e insumos y demás recursos inherentes y necesarios al mantenimiento de los EQUIPOS⁹.

✓ *Actividades Objeto del Contrato:* Los servicios de mantenimiento general comprenden, sin que esta lista sea limitativa, las siguientes actividades:

- Planeación y ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo.
- Mantenimiento correctivo de los EQUIPOS, incluyendo servicio de mantenimiento en campo (emergencias en la operación).
- Reparaciones mayores necesarias para el mantenimiento estándar de los EQUIPOS (overhauls).
- Mantenimiento mecánico-eléctrico, del sistema de aire acondicionado, del sistema de gas y labores de soldadura.
- Mantenimiento de sistemas hidráulicos, neumáticos, de control y equipos auxiliares y accesorios.
- Mantenimiento de latonería y pintura.

⁹ MASA, Coordinación de Contrato Equipo Liviano – 2008.

- Servicio reparación y cambio de llantas, operación de llantería y labores relacionadas.
- Lavado para mantenimiento.
- Registro de la información de mantenimiento en el sistema Ellipse de CERREJÓN y manejo de indicadores de disponibilidad, confiabilidad y cualquier otro que aplique.
- Suministro de todos los materiales e insumos, sean de origen nacional o importado, para los EQUIPOS de agenciamiento nacional. Para los EQUIPOS medianos de origen importado, MASA suministrará todos los insumos, suministros y repuestos de consecución nacional tales como y sin limitarse a farolas, mangueras, sellos, bombillos, pitos, radiador, correas, excepto banderines, así como todos los insumos y materiales para las actividades de latonería y pintura.
- Análisis y reporte periódico de consumos de repuestos y partes.
- Soporte técnico para la implementación del Protocolo No. 1 de Control de Riesgos Fatales – Conducción de Equipo Liviano.
- Descargue de la información registrada por el sistema de administración de flotas VDO instalados en los equipos Livianos y Medianos de CERREJÓN, procesar y producir los diferentes reportes y gráficas a través del software para esta aplicación.

Figura 18: Taller de Mantenimiento Equipo Liviano.



Fuente: Instalación taller de Mantenimiento Equipo Liviano, Mina carbones del Cerrejón LTD.

Figura 19: Taller de Mantenimiento Equipo Liviano.



Fuente: Instalación taller de Mantenimiento Equipo Liviano, Mina carbones del Cerrejón LTD.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la flota de tanqueros de combustible de equipos mineros del contrato de Mantenimiento de equipo liviano Masa - Cerrejón está conformada por 9 equipos los cuales son los encargados de realizar el tanqueo a todos los equipos mineros del complejo. En estos momentos el indicador de disponibilidad de la flota de tanqueros de combustible se encuentra por debajo de lo pactado contractualmente con el cliente, la cual quedo establecida en una disponibilidad mínima del 80%. La disponibilidad se está viendo afectada directamente por fallos en los sistemas de los equipos. Esta situación esta impactando negativamente la imagen empresarial, y por ende la rentabilidad del negocio, ya que constantemente se están cargando multas económicas al contrato, según los acuerdos preestablecidos. Por tal motivo urge realizar un estudio a fondo para determinar las causas raíces de las fallas que están afectando al optimo funcionamiento de los equipos pertenecientes a esta flota y así plantear soluciones y controles sostenibles en el tiempo, para dar cumplimiento con la disponibilidad exigida por el cliente y pactadas dentro del contrato.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Determinar y monitorear el desempeño operacional de la flota de tanqueros de combustible y generar soluciones efectivas usando herramientas estadísticas y técnicas de análisis de la información de mantenimiento que ayuden a mitigar o eliminar malos actores presentes para aumentar la confiabilidad de los equipos y obtener una disponibilidad por encima de la meta contractual (85%).

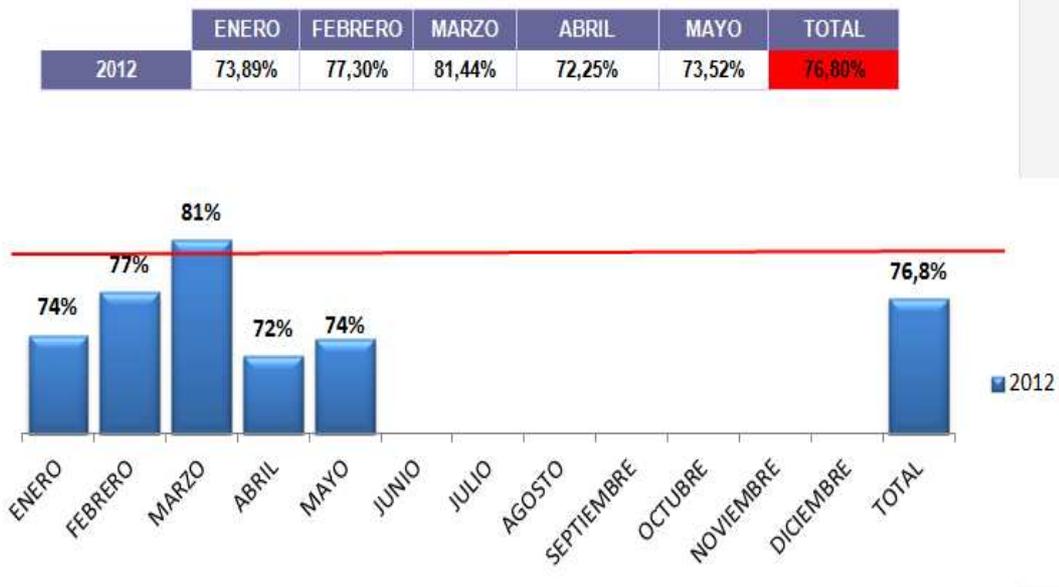
2.2. Objetivos Específicos

- Recolectar la información de confiabilidad y mantenimiento según los parámetros establecidos en la Norma ISO 14224.
- Capturar y hacer seguimiento a los indicadores de disponibilidad y confiabilidad de la flota.
- Identificar los malos actores que están impactando negativamente la flota.
- Realizar Pareto de las fallas presentadas en los sistemas.
- Realizar un análisis de Causa Raíz de las fallas significativas.
- Establecer plan de trabajo, para ejecutar las tareas proactivas arrojadas por el RCA.

3. JUSTIFICACION

En la actualidad MASA contractualmente se encarga de mantener la funcionalidad de los equipos livianos y medianos del cerrejón garantizando una disponibilidad pactada, sin embargo la flota de tanqueros de combustible los cuales operan en toda la mina son una flota clave para el desarrollo de la operación minera, puesto que estos equipos son los encargados de abastecer el combustible necesario para el funcionamiento de gran parte de la maquinaria pesada utilizada en la explotación del carbón y sus constantes fallas están llevando a retrasos en la operación y al incumplimiento de las metas diarias de producción.

Figura 20: Disponibilidad flota de Tanqueros



Fuente: Planeación Equipo Liviano (MASA)

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1. Análisis de la Información de Confiabilidad Y Mantenimiento (RIM)

4.1.1. Definición de RIM

El RIM es un proceso de recolección y análisis de la información de confiabilidad y mantenimiento en el cual se captura la información de equipos, eventos de falla y trabajos de mantenimiento de acuerdo a los parámetros de la norma internacional ISO 14224 (Industrias de petróleo y gas natural – Recolección e intercambio de datos de Confiabilidad y Mantenimiento de equipos).

Este proceso es utilizado para realizar estudios en las áreas de confiabilidad, disponibilidad, eficiencia, mantenibilidad, seguridad y medio ambiente para obtener de esta manera la optimización de las estrategias de operación y mantenimiento de los equipos o activos¹⁰.

Mediante esta herramienta se identifican periódicamente nuevos requerimientos de cambios en los planes de mantenimiento ya existentes, se realiza el pronóstico de indicadores de desempeño de disponibilidad y confiabilidad, se hace una valoración dinámica de la criticidad de los equipos, se evalúan los impactos de las modificaciones y cambios operativos, y se identifican equipos, modos de falla y componentes malos actores al igual que cuellos de botellas identificados en el proceso.

4.1.2. Metodología de Aplicación del RIM

El método de aplicación para la recolección y captura de la información de mantenimiento y confiabilidad RIM se realiza siguiendo los lineamientos de la

¹⁰<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r34987.PDF>

NORMA INTERNACIONAL ISO 14224, mientras que el análisis se efectuara con herramientas ya conocidas como diagrama de pareto, histogramas, análisis causa raíz (RCA) y además utilizando indicadores de gestión de mantenimiento como Mantenibilidad, Disponibilidad Y Confiabilidad (mtbf y mttr).

Los principales objetivos de esta norma son:

1) Especificar los datos que serán recolectados para el análisis de:

- Diseño y configuración del sistema.
- Seguridad, confiabilidad y disponibilidad de los sistemas y las plantas.
- Costo del ciclo de vida.
- Planeamiento, optimización y ejecución del mantenimiento.

2) Especificar los datos en un formato normalizado, a fin de:

- Permitir el intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento entre plantas, propietarios, fabricantes y contratistas.
- Asegurar que los datos de confiabilidad y mantenimiento son de calidad suficiente, según requiere el análisis a realizar¹¹.

Esta norma internacional se aplica a todos los tipos de equipos utilizados en la industria de petróleo y gas natural, tales como equipo de procesamiento (utilizado en instalaciones *onshore* y *offshore*), equipo submarino, equipo de completación de pozos y equipo de perforación. Sin embargo en este caso la utilizaremos para la flota de camiones tanqueros de combustible de la empresa CARBONES DEL CERREJON para realizar el efectivo análisis de la información de mantenimiento.

¹¹ Norma ISO 14224 (Industrias de Petróleo y Gas Natural – Recolección E Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos)

Figura 21. Camión Tanquero



Fuente: Imagen camion – google

Figura 22. Camión Tanquero



Fuente: Imagen camión - google

Inicialmente se debe garantizar la calidad de los datos e información recopilada ya que la confiabilidad de los datos de RM (CONFIABILIDAD Y MANTENIMIENTO) y el resultado del análisis de esta información depende totalmente de esto. Los datos de alta calidad según la norma ISO 14224 se caracterizan por:

- La exhaustividad de los datos con relación a la especificación.
- El acatamiento de las definiciones de los parámetros de confiabilidad, tipos y formatos de datos.
- Ingreso, transferencia, manejo y almacenamiento exacto de datos (manualmente o a través de medios electrónicos)¹².

Para obtener datos de buena calidad es importante tener claro que se van a utilizar para el proceso de RIM, por lo tanto se debe investigar la fuente de los datos a fin de asegurar la calidad de los mismos, se identifica la fecha de instalación, población y periodos operativos del equipo al cual se extraerán los datos. La norma recomienda realizar un ejercicio piloto de los métodos y las herramientas de recopilación de datos con el fin de verificar la factibilidad de los procedimientos planeados de recolección de información, luego es bueno preparar un plan para el proceso de la recolección de datos (programas, secuencia y

¹² Ibid.

número de unidades de equipo, períodos de tiempo que se cubrirán, etc.), para luego capacitar, motivar y organizar al personal encargado de dicha actividad.

Una vez identificada la fuente para la recolección de datos que para este caso es la orden de trabajo OT, la cual proporciona toda la información requerida desde que el equipo ingresa al taller por una avería o falla reportada por el operador hasta la acción correctiva tomada por el grupo de mantenimiento para que el equipo quede nuevamente en condiciones estándar para la operación. Esta OT es inicialmente abierta físicamente por un recepcionista que recibe el equipo al técnico operador con la falla reportada e inmediatamente realiza un inventario general del vehículo según lo especifica la orden de trabajo en el cual se inspecciona de manera parcial el equipo para identificar posibles fallos adicionales. Luego esta OT es dirigida hacia la torre de control que es la persona que está en la base y se encarga de ingresar la información al software cmms de mantenimiento (ellipse), para que el SUPERVISOR de mantenimiento la tenga en cuenta y proceda a asignar el recurso necesario para el desarrollo del trabajo. El vehículo es sometido a un lavado inicial antes de intervenirlo con el fin de dar cumplimiento a la primera condición básica en mantenimiento (la limpieza) y también para que el técnico mecánico desarrolle una inspección inicial profunda según formato de la OT (ver formato anexo 1 de OT) a todo el equipo antes de corregir la falla por la que fue reportado con el fin de detectar oportunamente averías adicionales que pueden ser corregidas inmediatamente o programadas para el siguiente mantenimiento preventivo sino se cuenta con el recurso necesario en ese momento. De esta manera aseguramos que no solamente se corrige la falla reportada sino que se va restaurando el deterioro del equipo alargando de esta forma su ciclo de vida y evitando fallas catastróficas producto de un mantenimiento reactivo sin inspecciones controladas.

Para el análisis a realizar se trabajara con la falla que reporta el operador inicialmente, la cual es la que está dejando el equipo fuera de servicio (down).

Dicha falla es codificada al final de la OT por parte del supervisor indicando el sistema afectado del equipo, el modo de falla presentado, la causa de la falla, el componente que falló y la acción de mantenimiento ejecutada para corregirla. Adicionalmente en la OT se deja un espacio de comentarios para que el técnico o supervisor complementen la información para dar mayor claridad y precisión en caso de que sea necesario. Después de esto la OT regresa a manos del torre de control quien es el encargado de cerrarla en el sistema con sus respectivos códigos de cierre para luego ser digitalizada y archivada física y virtualmente en la hoja de vida del vehículo.

El nivel de detalle de los datos de confiabilidad y mantenimiento reportados y recopilados debe estar estrechamente vinculado con la producción e importancia de la seguridad del equipo. El establecimiento de prioridades debe basarse en la regularidad, seguridad y otras evaluaciones de criticidad¹³. Para este caso la flota de tanqueros de combustibles está entre las 3 principales flotas pertenecientes a Carbones del Cerrejón y por lo tanto hace parte de su flota crítica debido a su papel relevante para el abastecimiento de combustible en campo a los equipos mineros que están directamente relacionados con el objetivo principal del negocio que es la explotación del carbón. Es por esto que en esta flota el nivel de detalle debe efectuarse de forma clara y lo más completa posible.

La siguiente matriz nos refleja el alto grado de criticidad de la flota de tanqueros de combustible y la prioridad en atención que se debe manejar de acuerdo al indicador de disponibilidad de cada una de estas.

¹³ Ibid.

Figura 23. Matriz de Priorización de Ordenes de Trabajo

Si **NO** se ejecuta la labor:

| Clasificación Severidad de Eventos | | | | | E. Disponibilidad superior en 7% a la contractualmente pactada | D. Disponibilidad superior en 5% a la contractualmente pactada | C. Disponibilidad superior en 3% a la contractualmente pactada | B. Disponibilidad igual a la contractualmente pactada | A. Disponibilidad menor a la contractualmente pactada |
|------------------------------------|-------------|------------------|-------------|----------|--|--|--|---|---|
| PRIORIDAD | DESCRIPCIÓN | TIEMPO | RESPONSABLE | COLOR | | | | | |
| 1 | EMERGENCIA | Hasta 24 Horas | SUPERVISOR | ROJO | E. Disponibilidad superior en 7% a la contractualmente pactada | D. Disponibilidad superior en 5% a la contractualmente pactada | C. Disponibilidad superior en 3% a la contractualmente pactada | B. Disponibilidad igual a la contractualmente pactada | A. Disponibilidad menor a la contractualmente pactada |
| 2 | CRÍTICAS | De 1 a 3 Días | SUPERVISOR | NARANJA | | | | | |
| 3 | IMPORTANTE | De 1 a 2 Semanas | PLANEADOR | AMARILLO | | | | | |
| 4 | NORMAL | De 2 a 4 Semanas | PLANEADOR | VERDE | | | | | |
| 5 | PROYECTO | 4 ó Mas Semanas | PLANEADOR | AZUL | | | | | |

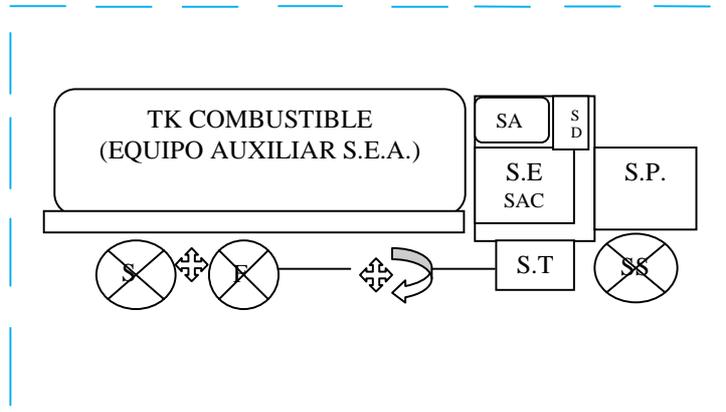
| | | | | | |
|--|----|----|----|----|----|
| (1) Equipos críticos para la seguridad y la operación de toda la planta (Bomberos y Ambulancias) | E1 | D1 | C1 | B1 | A1 |
| (2) Equipos críticos para la producción continua en los procesos (Tractomulas de combustible, Tanqueros, Lubricadores, Taladros, Canastas) | E2 | D2 | C2 | B2 | A2 |
| (3) Equipos con "pool" en sistemas críticos de los procesos productivos (Camionetas de Producción) | E3 | D3 | C3 | B3 | A3 |
| (4) Equipos auxiliares de los procesos productivos (El resto de flota crítica) | E4 | D4 | C4 | B4 | A4 |
| (5) Equipo No Crítico | E5 | D5 | C5 | B5 | A5 |

Fuente: Planeación Equipo liviano - MASA

Como se muestra en la figura anterior la flota en análisis en esta en segundo lugar de prioridad para la atención por ser un equipo crítico para la producción en los procesos del cliente (CERREJON), sin embargo la clasificación para la severidad de los eventos tiene el mismo nivel de relevancia que la de los equipos más importantes de toda la flota de CARBONES DEL CERREJON que son los vehículos de emergencia, por lo tanto debe quedar claro la vitalidad de que los tanqueros de combustibles mantengan unos buenos índices de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad.

4.1.2.1. *Límites y Jerarquía del Equipo:* La definición de límites o fronteras para el equipo que se va a analizar resulta indispensable para determinar que tipo de datos de RM se van a recopilar y analizar, pues es necesario conocer en donde se va a centrar el estudio a realizar para tener claro hasta donde llega su alcance.

Figura 24. Diagrama de limite camión tanquero



Fuente: Diseño personal

En esta figura se puede apreciar el modelo de diagrama de límites para un camión tanquero de combustible con las subunidades o sistemas que están dentro y fuera de los límites a estudiar. Las subunidades mencionadas se definen a continuación:

- S.E. (sistema eléctrico)
- S.A.A. (sistema de aire acondicionado)
- S.P. (sistema de potencia)
- S.T. (sistema de transmisión de potencia)
- S.F. (sistema de frenos)
- S.S. (sistema de suspensión)
- S.D. (sistema de dirección)
- S.A.C. (sistema de carrocería y cabina)
- S.E.A. (sistema de equipo auxiliar)

Todos estos sistemas hacen parte del estudio puesto que cualquier falla o avería presentada en uno de estos influye directamente con la funcionalidad del equipo quedando este fuera de servicio, por lo tanto nuestra frontera cubre todo el camión completamente en su contexto operacional que hace referencia a las condiciones

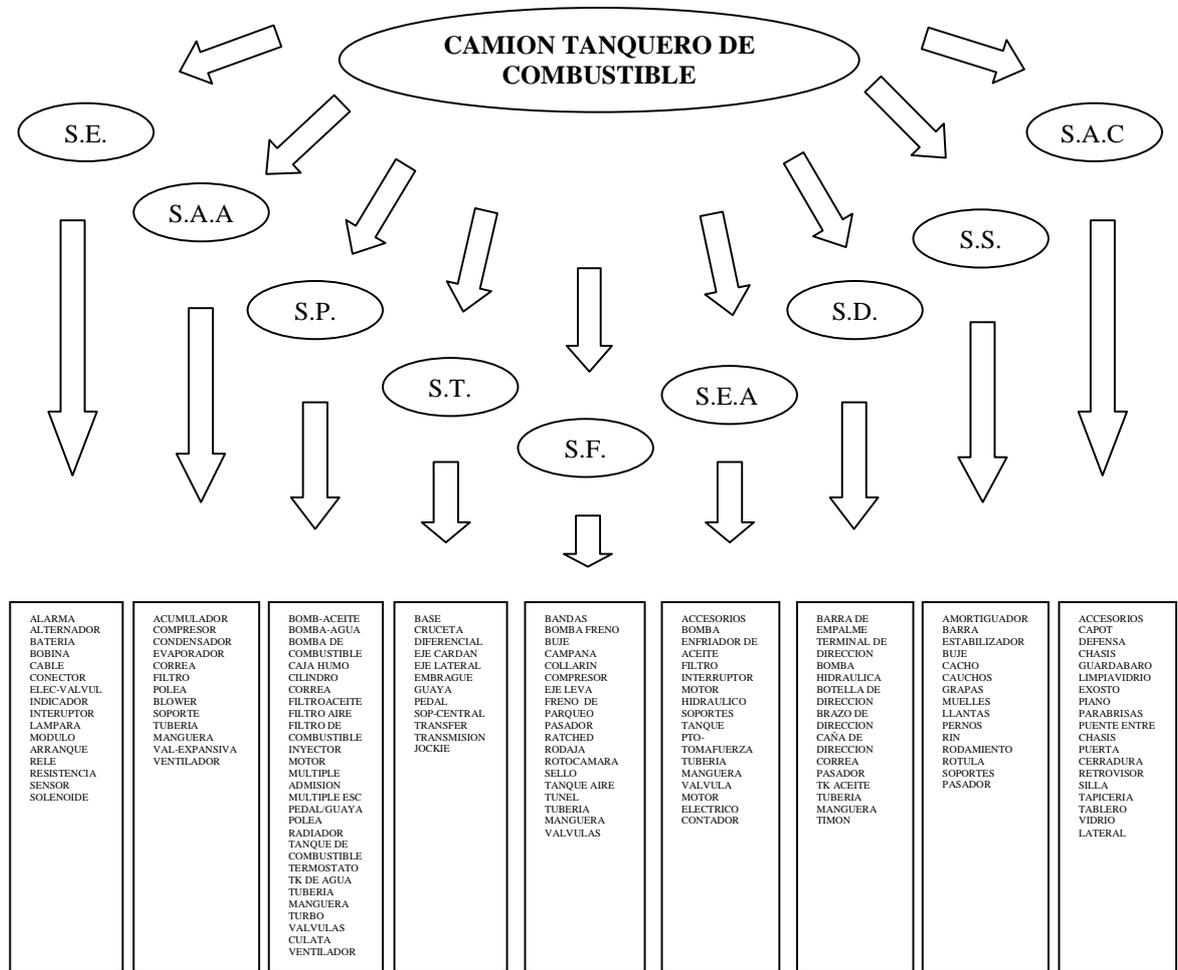
adversas de la mina en la parte de vías, ambiente polvoriento, temperaturas excesivas y turnos de trabajo continuo (24 horas del día).

Para la jerarquización del equipo es necesario definir el nivel más alto de la clase de unidad de equipo que es un tanquero de combustible y luego el número de subdivisiones dependerá de la complejidad de la unidad de equipo y el uso de los datos. Los datos de confiabilidad deben relacionarse con cada nivel de subdivisión dentro de la jerarquía del equipo a fin de que tengan validez y puedan compararse. Por ejemplo, los datos de confiabilidad “clase de severidad” deben relacionarse con la unidad de equipo, mientras que la causa de la avería debe relacionarse con el nivel más bajo en la jerarquía del equipo¹⁴.

La siguiente figura muestra la jerarquización del camión tanquero de combustible desde el nivel más alto (unidad de equipo) hasta el más bajo (parte mantenible):

¹⁴ Ibid.

Figura 25. Jerarquización del camión Tanquero de Combustible



Fuente: Diseño Personal

Los datos de confiabilidad y mantenimiento deben recopilarse de manera organizada y estructurada. Las categorías superiores de datos para los datos sobre el equipo, las averías y el mantenimiento son las siguientes:

a) Datos del equipo.

La descripción del equipo se caracteriza por:

- 1) Datos de identificación, por ejemplo, ubicación del equipo, clasificación, datos de instalación, datos de la unidad de equipo.
- 2) Datos de diseño, por ejemplo, datos del fabricante, características de diseño.
- 3) Datos de aplicación, por ejemplo, operación y ambiente.

Estas categorías de datos deben generalizarse para todas las clases de equipo; por ejemplo, clasificación por tipo, clasificación según unidad de equipo (ejemplo, número de fases para un compresor). Esto debe reflejarse en la estructura de base de datos.

b) Datos de averías.

Estos datos se caracterizan por:

- 1) Datos de identificación, registro de averías y ubicación del equipo.
- 2) Datos de la avería para fines de caracterización; por ejemplo, fecha de la avería, partes mantenibles averiadas, clase de severidad, modo de la avería, causa de la avería, método de observación.

c) Datos de mantenimiento.

Estos datos se caracterizan por:

- 1) Datos de identificación; por ejemplo, registro de mantenimiento, ubicación del equipo, registro de averías.
- 2) Datos de mantenimiento, parámetros del mantenimiento; por ejemplo, fecha en que se realizó el mantenimiento, categoría del mantenimiento, actividad de mantenimiento, aparatos a los que se realizó mantenimiento,

horas-hombre de mantenimiento por disciplina, tiempo de mantenimiento activo, tiempo de inactividad¹⁵.

Para el caso de este proyecto los datos de equipo, averías y mantenimiento serían los correspondientes a un tanquero de combustible y serán especificados en formatos normalizados como lo exige la norma ISO 14224 para las tres categorías definidas anteriormente. A continuación en las tablas siguientes podemos ver los formatos representativos para la flota de tanqueros:

Tabla 1. Clasificación Taxonómica Camión Tanquero

| CLASE DE EQUIPO | | TIPO | | APLICACIÓN | |
|-----------------|------|---------------|------|---|------|
| DESCRIPCION | CO D | DESCRIPCION | CO D | DESCRIPCION | CO D |
| CAMION TANQUERO | TC | INTERNACIONAL | TI | ABASTECER COMBUSTIBLES A LAS PALAS | CP |
| DE COMBUSTIBLE | | KODIAK | TK | ABASTECER DE COMBUSTIBLE A TRACTORES DE ORUGA | CT |
| | | | | ABASTECER DE COMBUSTIBLE A CAMIONES | CC |
| | | | | ABASTECER DE COMBUSTIBLE CARGADORES | CC G |

Fuente: Anexo A - Norma ISO 14224

Tabla 2. Subdivisión de la unidad de equipo – Camión Tanquero

| UNIDAD DEL EQUIPO | CAMION TANQUERO DE COMBUSTIBLE | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|-------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|---------------------|
| | SUBUNIDAD | S.P. | S.E. | S.S. | S.D. | S.F. | S.T. | S.A.A. | S.A.C. |
| PARTES MANTENIBLES | BOMBA ACEITE | ALARMAS | AMORTIGUADORES | BARRAS EMPALME | BANDAS | BASE | ACUMULADOR | ACCESORIOS | ACCESORIOS |
| | BOMBA AGUA | ALTERNADOR | BARRA ESTABILIZADORA | BOMBA HIDRÁULICA | BOMBA FRENO | CRUCETAS | COMPRESOR | CAPOT | BOMBA |
| | BOMBA COMBUSTIBLE | BATERÍA | BUJES | BOTELLA DIRECCIÓN | BUJES | DIFERENCIAL | CONDENSADOR | DEFENSA | ENFRIADOR DE ACEITE |
| | CAJA DE HUMO | BOBINA | CACHO | BRAZO DIRECCIÓN | CAMPANA | EJE CARDAN | CORREA | CHASIS | FILTRO |
| | CILINDRO | CABLEADO ELÉCTRICO | CAUCHOS | CAÑA DIRECCIÓN | COLLARÍN | EJE LATERALES | EVAPORADOR | GUARDA BARROS | INTERRUPTOR |
| | CORREA | ELECTROVÁLVULAS | GRAPAS/SUJETADORES | CORREA | COMPRESOR | EMBRAGUE | FILTRO | LIMPIA VIDRIO | MOTOR HIDRÁULIC |

¹⁵Ibíd.

| | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------|-------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| | | | | | | | | 0 |
| FILTRO ACEITE | INDICADORES | LLANTAS | PASADOR | EJE DE LEVAS | GUAYA | POLEA | EXOSTO | SOLENOIDE |
| FILTRO COMBUSTIBLE | INTERRUPTOR | MUELLES | TANQUE DE ACEITE | FRENO PARQUEO | PEDAL | BLOWER | PIANO | SOPORTES |
| FILTRO AIRE | LÁMPARAS | PERNOS | TERMINALES DE DIRECCIÓN | PASADOR | SOPORTES CENTRALES | SOPORTES | PARABRISAS | TANQUE |
| INYECTORES | MÓDULOS ELECTRÓNICOS | RIM | TUBERÍAS Y MANGUERAS | KIT RESORTE | TRANSMISIÓN | TUBERÍAS Y MANGUERAS | PUENTE CHASIS | PTO/TOMA FUERZA |
| MOTOR COMBUSTIÓN | MOTOR ARRANQUE | RODAMIENTOS | TIMON | RACHETS | JOCKIE | VÁLVULA EXPANSIÓN | PUERTAS | TUBERÍAS Y MANGUERAS |
| MÚLTIPLE ADMISIÓN | RELÉ | ROTULA | | RODAJAS | | VENTILADOR | RETROVISOR | ELECTROVÁLVULAS |
| MÚLTIPLE ESCAPE | RESISTENCIA | SOPORTES | | ROTOCAMARA | | | SILLA | VÁLVULAS |
| PEDAL/GUAYA | SENSORES | | | SELLOS | | | TAPICERÍA | |
| POLEA | SOLENOIDE | | | TANQUE AIRE | | | TABLERO | |
| RADIADOR REGULADOR | | | | TUBERÍAS Y MANGUERAS | | | VIDRIOS LATERALES | |
| TANQUE COMBUSTIBLE | | | | TÚNEL | | | CERRADURA | |
| TERMOSTATO | | | | VÁLVULAS | | | | |
| TANQUE DE AGUA | | | | | | | | |
| TUBERIAS Y MANGUERAS | | | | | | | | |
| TURBOCARGADOR | | | | | | | | |
| VÁLVULAS VENTILADOR | | | | | | | | |

Fuente: Anexo A – Norma ISO 14224

En la siguiente tabla se pueden ver datos de la unidad de equipo específica para uno de los nueve (9) equipos que conforman la flota de tanqueros de combustible, el camión 76-121.

Tabla 3. Datos específicos de la unidad de equipo – Camión Tanquero

| NOMBRE | DESCRIPCION | LISTA DE UNIDADES O CODIGO |
|-----------------------|-------------------------------------|--|
| APLICACIÓN DEL CAMION | TANQUEO EN CAMPO DE EQUIPOS MINEROS | PALAS, TRACTORES, CAMIONES, CARGADORES |
| MARCA | CHEVROLET | CHEV |
| MODELO | KODIAK | KOD |
| AÑO | 2007 | 2007 |
| NUMERO INTERNO | 76-121 | 76-121 |

| | | |
|------------------------------|-------------------|-------------------|
| NUMERO DE MOTOR | 9SZ27439 | 9SZ27439 |
| NUMERO DE CHASIS (VIN) | 9GDP7H1C67B005085 | 9GDP7H1C67B005085 |
| POTENCIA DEL MOTOR | 330 / 2400 | HP/RPM |
| COMBUSTIBLE UTILIZADO | ACPM | GALONES |
| CAPACIDAD TANQUE AUXILIAR | 2500 | GALONES |
| MOTOR | CATERPILLAR | 3126 |
| NUMERO DE CILINDROS | 6 | CILINDROS |
| TRANSMISION | EATON | FS6305A |
| TIPO DE ASPIRACION DEL MOTOR | TURBOALIMENTADA | TURBO |

Fuente: Anexo A – Norma ISO 14224

El tipo de datos de avería y mantenimiento son comunes para todas las clases de equipo a menos que se requieran tipos específicos de datos, como es el caso de los equipos submarinos y la norma establece unas tablas y condiciones especiales solo para este tipo de equipos que por su complejidad, altos costos de instalación y manutención, y además por el nivel tan elevado de seguridad que se debe manejar así lo requieren.

Los modos de avería que se han escogido para la flota en estudio son los que ofrece la NORMA ISO 14224 para motores de combustión, complementándolo con otros modos de fallas que ocurren con frecuencia a los equipos medianos en el CERREJON (ver tabla 4).

Tabla 4. Modos de Avería – Camión Tanquero

| UNIDAD DE EQUIPO | CODIGO | DEFINICION | DESCRIPCION |
|--------------------------------|--------|------------------------------------|---|
| CAMION TANQUERO DE COMBUSTIBLE | FTS | no arranca al momento de encender | incapacidad para arrancar el motor |
| | STP | no se detiene al momento de apagar | incapacidad para detener el motor |
| | SPS | falsa parada | interrupción inesperada del motor |
| | OWD | opera sin accionar | arranque no deseado |
| | BRD | Colapso | daños graves (agarrotamiento, roturas, explosión, etc. |
| | HIO | alta energía de salida | alta potencia (sobre revolución), energía de salida por encima de lo especificado |

| | | |
|-----------|---|---|
| LOO | baja energía de salida | baja potencia, energía de salida por debajo de lo especificado |
| ERO | energía de salida errática | oscilante o fluctuante (falta de sincronización) |
| ELF | fuga externa - combustible | fuga de gas combustible o diesel |
| ELU | fuga externa - medio de servicio | aceite lubricante, refrigerante etc. |
| INL | fuga interna | por ejemplo fuga interna de combustible al refrigerante o viceversa |
| VIB | Vibración | vibración excesiva |
| NOI | Ruido | ruido excesivo |
| OHE | sobrecalentamiento | temperatura excesiva |
| PDE | desviación del parámetro | parámetro monitoreado que excede el nivel de tolerancias |
| AIR | lectura anormal del instrumento | por ejemplo, falsa alarma, lectura errónea |
| STD | deficiencia estructural | por ejemplo, grieta en el chasis o barra antivolco |
| SER | problemas menores durante el funcionamiento | partes sueltas, decoloración, suciedad, etc. |
| OTH | Otros | especificar en los comentarios |
| UNK | Desconocido | información inadecuada/no disponible |
| NEU TR | Neutralizado | incapacidad para dar marcha adelante o atrás |
| TAP AD | taponado/tapado | taponado por contaminación |

Fuente: Anexo A – Norma ISO 14224

Luego de tener claro los datos del equipo y la información de modos de averías se hace necesario conocer la descripción de la avería, su causa, por medio de qué tipo de mantenimiento fue detectada y la actividad de mantenimiento que se aplicó como acción correctiva para que el equipo quede disponible nuevamente. Estas anotaciones adicionales de averías y mantenimiento hacen parte del ANEXO B (informativo) de la NORMA ISO 14224 (ver anexo 2) y son fundamentales para el posterior análisis de la información de mantenimiento y confiabilidad, el cual es el principal objetivo de esta investigación.

Como se mencionó anteriormente la información de RM es codificada físicamente en la OT por parte del supervisor, revisada por el planeador y luego digitada por el

torre de control al software de mantenimiento (ellipse), esta información debe ser analizada periódicamente para revisar el comportamiento de los fallos presentados en la flota y poder tomar decisiones oportunas y acciones de mantenimiento contundentes que generen soluciones efectivas a los problemas presentados. La herramienta que se utilizara como mecanismo para solución de problemas es el RCA (análisis de causa raíz), diagrama de pareto, junto con análisis de disponibilidad y confiabilidad que permitirán identificar malos actores en el proceso.

Finalmente el proceso del RIM concluye con el aseguramiento del control de calidad antes y durante la recolección de datos y con la verificación de los datos recopilados. El recolector de datos deberá realizar un procedimiento o instructivo de control de calidad según lo especifica la norma ISO 14224 para la recopilación de los datos de la flota de tanqueros de combustibles y documentar los datos en un formato apropiado, este control debe ser una actividad continua durante el planeamiento y ejecución del proceso de recolección de datos y puede estar dividido en tres fases principales:

- 1) Antes de iniciar la recolección de datos: debe existir un plan preparado y aprobado para la recolección de datos, se debe establecer las especificaciones relevantes para los datos a ser recolectados y todo el personal involucrado debe conocer los procedimientos para el control de calidad de la información disponible. (Ver anexo 2)

- 2) Durante la recolección de datos y finalización: en estas fases es importante verificar que se cumplan las definiciones de límites y eventos de avería, que se codifique y comente la información correctamente para su posterior análisis, además que se recopile la información únicamente para los periodos de tiempo y unidades de equipo especificados, que se reporten

las desviaciones, problemas de interpretación y que se garantice la confidencialidad, seguridad y almacenamiento de los datos.

Los datos recopilados se verifican con inspecciones diarias con las cuales se analizara información faltante, interpretaciones incorrectas, codificación adecuada, consistencia de datos y todo esto quedara documentado en un formato de control de calidad que sirva de evidencia y que garantice que los errores se están corrigiendo. (Ver anexo 3)

4.2. Indicadores de Gestión de Mantenimiento

Indicador o Índice: Es un parámetro numérico que facilita la información sobre un factor crítico identificado en la organización, en los procesos o en las personas respecto a las expectativas o percepción de los clientes en cuanto a costo, calidad y plazos¹⁶.

Un indicador de gestión es un instrumento que permite medir el cumplimiento de los objetivos de una organización, por lo tanto los indicadores de gestión de mantenimiento permiten medir el cumplimiento de los objetivos del departamento de mantenimiento en cualquier empresa.

Los indicadores de gestión de mantenimiento nos permiten dimensionar como estamos en relación con el pasado y además utilizarlos de manera proactiva para apuntar hacia donde queremos llegar a corto, mediano y largo plazo, mediante la escogencia efectiva de estos, de acuerdo al tipo de actividad desarrollada y cumpliendo con las siguientes características fundamentales que debe tener los indicadores de este tipo:

- ✓ Pocos, pero suficientes para analizar la gestión.

¹⁶ <http://www.gestiopolis.com/canales6/ger/comomeman.htm>

- ✓ Claros de entender y calcular.
- ✓ Útiles para conocer rápidamente como van las cosas y porqué?
- ✓ Que identifiquen los factores claves de mantenimiento y como afectan la producción.
- ✓ Que permitan realizar una evaluación profunda de la actividad del mantenimiento.
- ✓ Que sean calculables periódicamente y en cualquier instante.
- ✓ Que permitan establecer unos valores, plan o consigna que determinen los objetivos a lograr.
- ✓ Que controlen los objetivos propuestos comparando los valores reales con los valores planificados.
- ✓ Facilitar la toma de decisiones y acciones oportunas ante las desviaciones que se puedan presentar¹⁷.

4.2.1. Disponibilidad

Capacidad de un ítem o activo para desarrollar su función en un determinado momento, o durante un determinado periodo de tiempo, en unas condiciones y con un rendimiento definido. Puede expresarse como la probabilidad de que un ítem pueda encontrarse disponible para su utilización en un determinado momento o durante un determinado periodo de tiempo. La disponibilidad de un ítem no implica necesariamente que esté funcionando, sino que se encuentre en condiciones para funcionar. Una medida practica de la disponibilidad de un ítem como parámetro de referencia es la definida por la relación entre el tiempo de operación (tiempo real de funcionamiento produciendo) y el tiempo total que se necesita que funcione (tiempo durante el cual se hubiese querido producir)¹⁸

La disponibilidad depende de la confiabilidad y de la mantenibilidad. Tener como objetivo una alta disponibilidad, significa reducir al máximo el número de paradas

¹⁷González Fernández Francisco Javier "Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado" 3ra Edición. Madrid España

¹⁸Borras Pinilla Carlos, "Principios de Mantenimiento". Pág. 117

para obtener una operación exitosa, económica y rentable. En la mayoría de los casos, un mejoramiento de la confiabilidad y mantenibilidad, lleva asociado una mayor inversión inicial, pero resultara una mayor disponibilidad del equipo a lo largo de su vida útil y como consecuencia, un menor costo neto total del ciclo de vida (LCC)¹⁹

El indicador de disponibilidad (I.D.) puede calcularse de diferentes maneras, las dos más usuales son las siguientes:

$$I.D = (TOP - TFS) / TOP = 1 - (TFS / TOP)$$

TFS: tiempo fuera de servicio por paradas no programadas.

TOP: tiempo de operación programado.

$$I.D = MTBF / (MTBF + MTTR)$$

MTBF: tiempo promedio entre fallos.

MTTR: tiempo promedio entre reparaciones.

Para la disponibilidad operacional solo se tiene en cuenta el tiempo perdido por fallas del equipo y no por factores externos, como falta de energía, paradas programadas y otros.

4.2.2. Confiabilidad

Capacidad de un ítem o activo para efectuar su función específica en unas condiciones y con un rendimiento definidos durante un periodo de tiempo recorrido o ciclos determinados. Puede expresarse como la probabilidad de que funcione

¹⁹González Fernández Francisco Javier "Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado"
3ra Edición. Madrid España

correctamente en las condiciones de diseño durante un determinado periodo de tiempo²⁰.

El tiempo promedio entre fallas MTBF es un indicador de la confiabilidad, entre más alto sea este mayor es la confiabilidad del equipo. Solamente puede hablarse de confiabilidad cuando el equipo opere satisfactoriamente, dentro de unos límites dados de funcionamiento y durante un periodo de tiempo predeterminado, además cuando la confiabilidad es introducida desde el diseño del equipo o sistema. La tendencia actual en el desarrollo de maquinas (mayor capacidad, mayor velocidad, mayor autonomía) hacen necesario que las piezas críticas sean más confiables, por consiguiente el ingeniero de mantenimiento debe enfrentarse a la evaluación de la confiabilidad de sus equipos al hacer la selección y producir las recomendaciones de reemplazo en los programas de mejoramiento de equipos tendientes a reducir las paradas y los costos de mantenimiento²¹.

La confiabilidad (R = reability) también se determina como:

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

λ : índice de daño = 1 / MTBF

t : tiempo requerido para el análisis.

4.2.3. Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF): El tiempo promedio entre fallas indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada de la falla. Uno de los parámetros más usados en el estudio de la confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico.

²⁰ Borrás Pinilla Carlos, "Principios de Mantenimiento". Pág. 128

²¹ Borrás Pinilla Carlos, "Principios de Mantenimiento". Pág. 129

Asimismo para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información²².

4.2.4. Mantenibilidad: La mantenibilidad es la probabilidad de que un equipo pueda ser puesto en condiciones operacionales en un periodo de tiempo dado, cuando el mantenimiento es efectuado de acuerdo con unos procedimientos preestablecidos. Significa también la probabilidad de que un equipo que ha fallado, pueda ser reparado en un periodo de tiempo dado, este tiempo no es otro que el MTTR.

El tiempo requerido para poner el equipo nuevamente en condiciones de operación después de la falla depende de numerosos factores como lo son:

- De las características de diseño del equipo, su modularidad, estandarización y facilidad de acceso a las partes propensas a falla, entre otras.
- De la organización y eficiencia de las dependencias de mantenimiento.
- De las destrezas de los técnicos de mantenimiento, encargados de realizar directamente la intervención del equipo.
- Del equipo humano de mantenimiento disponible.
- De la disponibilidad de repuestos y materiales para adelantar la intervención del equipo con dificultades.
- De las políticas de mantenimiento de la empresa.
- De la disponibilidad de transporte para el manejo de materiales y partes requeridas.
- De los procedimientos de diagnóstico o “caza-fallas”, existentes.
- De la calidad y disponibilidad de la información técnica y por supuesto de la eficacia del sistema de información del mantenimiento.

²² *Ibíd.* Pág. 126-127

- De la disponibilidad de equipos para la realización de las pruebas requeridas en el diagnóstico de la falla.
- Del medio ambiente, que permita al personal trabajar cómodamente.
- Del espacio de trabajo. Según la distribución en planta de los equipos se debe proveer espacios suficientes para el montaje y desmontaje de partes²³.

4.2.4.1. *Tiempo Medio para Reparar (MTTR)*: 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 periodo de tiempo determinado. El tiempo promedio para reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento²⁴.

Todos los indicadores mencionados anteriormente son los que hoy por hoy se conocen como indicadores de clase mundial de ahí la importancia de que sean bien calculados para poder realizar análisis precisos y certeros de la situación real del mantenimiento de cualquier organización.

En el proceso de RIM estos indicadores de mantenimiento juegan un papel muy importante debido a que con ellos son identificados equipos “malos actores” por su bajo nivel de confiabilidad y disponibilidad, y además con su correcto análisis podemos determinar en qué procesos de mantenimiento tenemos debilidades para proceder a estandarizar, realizar procedimientos de trabajo, realizar movimientos de personal y en cierta forma mejorar el nivel de mantenibilidad de la flota. Otro factor relevante de estos índices de gestión resulta ser que gracias a ellos se puede monitorear constantemente el desempeño de todos los equipos y

²³ Borrás Pinilla Carlos, “*Principios de Mantenimiento*”. Pág. 129

²⁴ http://kike3432.blogspot.com/2010_12_01_archive.html

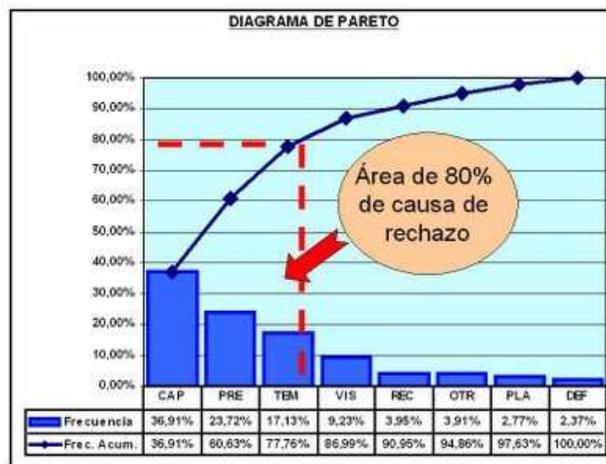
determinar cuándo es necesaria una intervención para restaurar el deterioro causado por la operación, para realizar una parada mayor programada (overhaul de toda la maquina) o simplemente para realizar una limpieza detectiva que garantice la condición estándar del activo. Todo esto canaliza los esfuerzos de alargar el ciclo de vida de la maquina y reducir su respectivo LCC (life cycle cost).

4.3. Análisis por medio de Diagrama de Pareto

Esta herramienta es una representación gráfica de los datos obtenidos sobre un problema, que ayuda a identificar cuáles son los aspectos prioritarios que hay que tratar.

El **diagrama de Pareto**, también llamado **curva 80-20** o **Distribución A-B-C**, es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Permite, pues, asignar un orden de prioridades.

Figura 26. Ejemplo Diagrama Pareto



Fuente: pagina internet

http://kike3432.blogspot.com/2010_12_01_archive.html

El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos graves. Mediante la gráfica colocamos los "pocos vitales" a la izquierda y los "muchos triviales" a la derecha.

El diagrama facilita el estudio comparativo de numerosos procesos dentro de las industrias o empresas comerciales, así como fenómenos sociales o naturales.

Hay que tener en cuenta que tanto la distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos²⁵.

La utilización del diagrama de Pareto en esta investigación se manifiesta con versatilidad debido a que se identifican fácilmente donde están los problemas graves que hay que atacar primeramente gracias a la información recolectada en el proceso de RIM y nos refleja también los malos actores en subsistemas o ítems mantenibles.

4.4. Análisis Causa Raíz

El RCA (análisis de causa raíz) es una metodología utilizada para dar solución a toda clase de pequeños y grandes problemas, mediante la identificación de las causas raíces latentes, humanas y físicas para eliminarlas o mitigarlas mediante soluciones efectivas para evitar su recurrencia. Esta herramienta nos permite aprender de los problemas, capitalizando el conocimiento adquirido, a favor de la organización resolviendo problemas de seguridad, calidad, producción, mantenimiento e identificando oportunidades de mejoramiento que redunden en el logro de metas y objetivos empresariales¹⁶.

²⁵AMS GROUP, Presentación en ppt de Análisis Causa Raíz. Agosto 2011

La causa raíz es la causa última que al eliminarla, elimina el problema y se divide en tres tipos diferentes:

- Causa raíz física: causa tangible de la ocurrencia del problema, en ocasiones asociada a fenómenos físicos.
- Causa raíz humana: asociada a errores humanos, al comportamiento de las personas, la acción o la omisión.
- Causa raíz latente: relacionada con el diseño, fabricación o debilidades de tipo organizacional.

El análisis de causa raíz se materializa siguiendo las siguientes etapas ya establecidas:

- ✓ Responder al incidente y conservar la evidencia.

Lo primero que se debe atender son las consecuencias del evento. La más alta prioridad es la atención al personal lesionado y el poner la instalación en condiciones seguras. Luego de esto al igual que en la escena de un crimen, la evidencia durante y después del evento comenzara a desaparecer con el tiempo. La obtención de evidencia es esencialmente crucial con los eventos esporádicos, puesto que el equipo solo tiene una oportunidad para obtenerlas. De otra parte la recolección de las pruebas de eventos recurrentes se puede realizar simultáneamente con la realización de otras actividades como reparaciones, pruebas etc, pero se debe organizar apropiadamente.

Las partes que queden en el momento de la falla o incidente pueden evidenciar los mecanismos de ocurrencia de los eventos de fallas, y están relacionadas con equipos, componentes etc. Para eventos esporádicos, se debe acordonar el área según lo necesario, de manera que la evidencia, no se manipule, mueva o pierda. Se congela área hasta que se haya recogido toda la información, mientras que en

los eventos recurrentes la evidencia debe recogerse de manera cuidadosa puesto que ya se han iniciado reparaciones u otras actividades relacionadas.

Las posiciones de todas las partes y otras evidencias se deben fotografiar, siempre que sea posible. Se deben hacer diagramas mostrando lo que se encontró y donde, con orientación y distancias desde un punto fijo de referencia. La ubicación de las válvulas, interruptores, indicadores, personas, equipo, se deben anotar. Las condiciones del tiempo y ambientales (incluyendo niveles iluminación, niveles de ruido y clima) y los aspectos de orden también se deben anotar.

Las entrevistas a las **personas** se deben realizar individualmente, poco después de que haya ocurrido el evento y antes de que los testigos conversen entre ellos, siempre que sea posible. Los testigos oculares que estuvieron involucrados antes o durante el evento constituyen la evidencia más frágil. Las entrevistas pueden incluir a todo el personal que se considere pueda aportar dando claridad a los hechos.

El papel también se debe recuperar muy pronto después de ocurrido el evento. Esto se aplica a todos los reportes o registros escritos que puedan estar relacionados con el evento, por ejemplo: políticas, procedimientos, registros de entrenamiento, históricos de incidentes, especificaciones, documentos de fabricantes y/o proveedores etc.

- ✓ Organizar el equipo RCA.

El equipo RCA debe estar formado por un facilitador quien domina a cabalidad la metodología encargado de conducir el equipo al logro de los objetivos, un especialista en el tema analizado, un grupo multidisciplinario que varía entre un problema y otro. En total máximo 5 personas pueden conformar el equipo RCA.

- ✓ Analizar: método de análisis.

Los métodos más conocidos para realizar RCA son:

- Los 5 ¿porque?
 - Árbol de fallas
 - Análisis de cambios
 - Diagrama de espina de pescado
 - Causa efecto
 - Taproot
-
- ✓ Comunicar los resultados.

Comunicar los resultados es esencial en un proceso de RCA. La presentación de los resultados y las recomendaciones asociadas a la investigación garantiza el compromiso con la solución definitiva del problema. La comunicación de los resultados a través de lecciones aprendidas, permite asegurar y capitalizar el conocimiento adquirido.

- ✓ Implementación del seguimiento.

Las recomendaciones se deben implementar de manera que resulte efectivo el mejoramiento continuo, esto indica ser más proactivo que reactivos ante un próximo evento. Sistemas de seguimiento como: listas de recomendaciones que hayan sido aprobadas, listas de personas asignadas a cada punto de acción, mostrar las fechas estimadas de completamiento y su estado actual; deben ser colocados en sitios visibles para que toda la organización está actualizada²⁶.

²⁶AMS GROUP, Presentación en ppt de Análisis Causa Raíz. Agosto 2011

4.5. Flota de Camiones Tanqueros de Combustible

La flota de tanqueros de combustible son un conjunto de 9 camiones dotados de un equipo auxiliar que contiene un tanque de almacenamiento de combustible diesel con una capacidad de 2500 galones y que además cuenta con un dispositivo de bombeo de combustible a través de un surtidor con su respectivo contador de galones suministrado para abastecer de ACPM a los equipos mineros dentro del área de explotación de carbón (tanqueo en sitio), estos equipos mineros pueden ser Palas Hidráulicas, Tractores de Orugas, Cargadores Frontales, Moto niveladoras, Camiones, etc.

El objetivo fundamental de este grupo de camiones es evitar que se produzcan paradas en el proceso productivo que conlleva la explotación a cielo abierto de carbón debido a que los equipos directamente relacionados con la explotación queden fuera de servicio por falta o bajo nivel de combustible, para esto los camiones tanqueros de combustible deben mantener una disponibilidad acordada contractualmente que garantice el cumplimiento de esta necesidad tan importante. La disponibilidad pactada con el cliente para esta flota crítica es de 80%, lo cual equivale a tener máximo 2 equipos en taller por mantenimiento correctivo o preventivo y poder cumplir con el indicador. Sin embargo la criticidad de esta flota de camiones obliga a nuestro grupo de mantenimiento al seguimiento continuo y a reaccionar oportunamente cuando estos vehículos quedan fuera de servicio por alguna falla o problema menor con el fin de evitar multas establecidas en el contrato y que se paralice el proceso productivo de Carbones del Cerrejón por la indisponibilidad causada.

Como se pudo apreciar en la matriz de criticidad mostrada en la figura 1. (Matriz de priorización para las órdenes de trabajo), se refleja claramente que los equipos en estudio están en el nivel 2 de prioridad para el cliente después de los equipos de emergencia (Bomberos y Ambulancias) que por obvias razones ocupan el nivel

numero uno. Por lo tanto hacen parte de una flota critica establecida por el cliente que diariamente es analizada y controlada mediante un informe diario presentado en un cuadro en Excel donde aparecen todos los equipos considerados críticos clasificados por flotas con su respectivo status actual, (ver anexo 4).

Estos camiones hacen parte de la flota de Equipo Mediano perteneciente a carbones del cerrejón, que en total suman 148 equipos y por lo tanto los 9 vehículos de esta flota corresponden al 6% de todos los camiones. Los tanqueros de combustibles son camiones en su mayoría marca Chevrolet Kodiak otros son International (los más nuevos). En la siguiente tabla podemos observar los datos técnicos más relevantes de los 9 camiones:

Tabla 5. Información técnica de la flota de tanqueros de combustible

| No. EQUIPO | MARCA | MODELO | AÑO | MOTOR | TRANSMISION | CAPACIDAD TK |
|-------------------|---------------|---------------|------------|--------------|--------------------|---------------------|
| 0760093 | Chevrolet | Kodiak | 2008 | CAT-3126 | FS6305A | 2500 GLS |
| 0760110 | Chevrolet | Kodiak | 2005 | CAT-3126 | FS6305A | 2500 GLS |
| 0760116 | Chevrolet | Kodiak | 2006 | CAT-3126 | FS6305A | 2500 GLS |
| 0760117 | Chevrolet | Kodiak | 2006 | CAT-3126 | FS6305A | 2500 GLS |
| 0760118 | Chevrolet | Kodiak | 2006 | CAT-3126 | FS6305A | 2500 GLS |
| 0760119 | Chevrolet | Kodiak | 2006 | CAT-3126 | FS6305A | 2500 GLS |
| 0760121 | Chevrolet | Kodiak | 2007 | CAT-3126 | FS6305A | 2500 GLS |
| 0760140 | International | Durastar 4300 | 2011 | DT-466 | FS6305A | 2500 GLS |
| 0760142 | International | Workstar 7300 | 2011 | DT-466 | Allinson S4000 | 2500 GLS |

Fuente: Diseño personal

Figura 27. Camión tanquero marca KODIAK



Fuente: Taller de lubricación del Cerrejón.

Los camiones tanqueros de combustibles del CERREJON fueron ensamblados con los estándares de diseño, fabricación y montaje exigidos por (National Truck Equipment Association) aplicables a operaciones mineras a cielo abierto²⁷

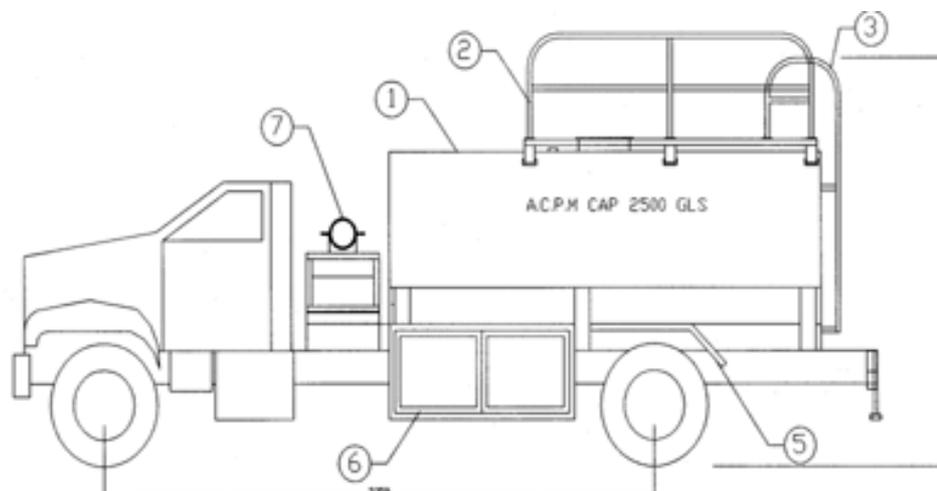
Las partes principales de las que está conformado el camión son las siguientes:

1. Tanque de almacenamiento de combustible de 2500 galones.
2. Barandas para protección personal en trabajo en altura.
3. Escalera de acceso a la parte superior del tanque.
4. Escalera de acceso a la plataforma del camión.
5. Camión.
6. Gabinete para punto de suministro.
7. Bomba de combustible.

En la siguiente figura se muestra las partes fundamentales del camión tanquero de combustible mencionadas en el párrafo anterior.

²⁷ Port and Mining, *Manual de Operación y Mantenimiento Equipo tanquero de Combustible*.

Figura 28. Partes del camión Tanquero de Combustible



Fuente: Port and Mining, Manual de Operación y Mantenimiento Equipo tanquero de Combustible

El equipo auxiliar del tanquero de combustible funciona con dos sistemas uno de manejo de producto (sistema de combustible) y el otro de potencia (sistema hidráulico).

El sistema de combustible es manejado por un motor hidráulico que cuenta con una capacidad mínima de entrega de galones por minuto, una bomba de combustible y un punto de suministro formado por: medidor de combustible, carrete eléctrico para manguera y boquilla para entrega de combustible. El punto de suministro del sistema de combustible se encuentra localizado dentro de un gabinete el cual permite que todos los sus elementos se encuentren protegidos. Entre la bomba de combustible y el contador se encuentra instalada una válvula de alivio configurada a 150 psi.

El sistema hidráulico cuenta con una bomba de piñones conectada al PTO 447 (toma fuerza acoplado a la transmisión del camión) que envía presión de aceite al motor hidráulico, controlado por una electroválvula de 1" activada desde el tablero

de control ubicado al lado del carrete eléctrico de manguera, entre la bomba hidráulica y la electroválvula tiene una válvula de alivio configurada a 1800 psi que permite proteger el sistema hidráulico²⁸.

El tanque es de forma elíptica de 2500 galones para combustible, con 2 bafles internos longitudinales y 3 transversales en su parte internas que hacen la función de rompe olas con el fin de mantener la estabilidad del camión cuando este se encuentre en movimiento evitando de esta manera volcamientos debido al movimiento de la carga de combustible. A su vez este tanque cuenta con una escalera de acceso a la parte superior ubicada en la parte trasera de este mismo junto con unas barandas para protección contra caídas de la persona que este desplazándose en la parte superior del tanque que se encuentra realizando un trabajo en altura puesto que está a 2.5 mts de altura, estas barandas son fabricadas según normas establecidas para trabajo en alturas.

El abastecimiento de combustible para esta flota se realiza en las islas que tienen destinadas Carbones del Cerrejón internamente para este fin, donde los camiones llegan e inmediatamente son tanqueados con los 2500 galones de su capacidad máxima para proceder a prestar los servicios de tanqueo en campo requeridos a través de radios de comunicaciones a una base de mando con la ubicación exacta en la mina donde se encuentra el equipo minero que deben tanquear para no frenar el proceso productivo. Existen unos tiempos establecidos para el cumplimiento de estos servicios solicitados puesto que cuando no son oportunos generan quejas por indisponibilidad de equipos mineros por falta de combustible y el tiempo perdido se lo cargan al departamento de Servicios a la Operación que es el que administra la flota de camiones tanqueros de combustible.

²⁸ *Ibíd.*

4.6. Análisis de Información de la Flota de Tanqueros de Combustible

4.6.1. Caracterización del Proceso de RIM

Mediante la caracterización se logra la identificación de todos los elementos necesarios que intervienen y que a la vez se deben controlar para llevar a cabo dicho proceso, con el objeto de desarrollar e implementar los procedimientos y metodología de recolección, registro y análisis de indicadores de mantenimiento y confiabilidad en la flota de tanqueros de combustibles.

Tabla 6. Caracterización del proceso RIM

|  | | MECANICOS ASOCIADOS S.A.S | |  | |
|--|--|--|---|--|---|
| CARACTERIZACIÓN PROCESO DE GESTION DE LA INFORMACION DE MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD (RIM) | | | | | |
| Nombre del Proceso Gestión de la Información de Mantenimiento y Confiabilidad | | | Responsables Ingeniero de Confiabilidad – Supervisor de Mantenimiento | | |
| Fecha de actualización | Elaborado Por José Buelvas Planeador | Reviso Hans Bermejo Jefe de Mantenimiento | Aprobó Abraham Ovalle Coordinador de Contrato | | |
| PROPÓSITO | | | | | |
| Desarrollar e implementar los procedimientos para asegurar la recolección, registro y análisis de indicadores de mantenimiento y confiabilidad (RIM) | | | | | |
| ALCANCE | | | | | |
| Definir la metodología de captura, Registro y análisis de Indicadores de Mantenimiento y Confiabilidad (RIM) aplicable a las actividades de mantenimiento que se desarrollen en la Flota de Transporte Equipo Liviano y mediano de Cerrejón. | | | | | |
| # | ACTIVIDADES | ENTRADAS | PROCEDENCIA | SALIDAS | RESPONSABLE |
| 1 | Realizar recolección de información | Reporte de eventos asociados a la operación de los equipos de combustible. | Planeación de Mantenimiento Supervisor de Mantenimiento | Reporte de disponibilidad y confiabilidad equipo liviano/mediano | Supervisor de Mantenimiento Ingeniero de Confiabilidad |
| 2 | Análisis de la información de eventos asociados a la operación de los equipos de combustible | Reporte de eventos asociados a la operación de los equipos de combustible. | Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad | Disponibilidad Operacional | Ingeniero de confiabilidad |

| | | | | | |
|----|--|--|---|--|--|
| 3 | Análisis de la información de eventos asociados a la operación de los equipos de combustible | Reporte de eventos asociados a la operación de los equipos de combustible. | Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad | MTBF: Tiempo Medio entre Fallas MTTR: Tiempo Medio entre Reparaciones | Ingeniero de confiabilidad |
| 4 | Revisión de la información de indicadores de confiabilidad y trazabilidad de componentes | Reporte de eventos asociados a la operación de los equipos de combustible. | Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad | Indicadores de confiabilidad validados | Ingeniero de confiabilidad |
| 6 | Análisis Pareto - Top Ten | Análisis de la información de eventos | Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad | Malos actores | Ingeniero de confiabilidad |
| 7 | Generar reporte de desempeño de confiabilidad y Malos actores | Indicadores de confiabilidad Análisis de confiabilidad | Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad | Reporte de Disponibilidad - Confiabilidad y Mantenibilidad | Ingeniero de confiabilidad |
| 8 | Validar informe de malos actores | Reporte de Disponibilidad - Confiabilidad y Mantenibilidad Reporte de malos actores | Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad | Reporte de falla | Ingeniero de confiabilidad interventoria - Supervisión Mantenimiento |
| 9 | Análisis de Causa Raíz | Reporte de Disponibilidad - Confiabilidad y Mantenibilidad Reporte de malos actores | Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad | Plan de acciones de recomendaciones | Ingeniero de confiabilidad |
| 10 | Ejecutar acciones de mejora basadas en plan de acción | Plan de acciones de recomendaciones | Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad | Ordenes de Trabajo Generación de procedimiento Seguimiento a trabajos Solicitud repuestos | Ingeniero de confiabilidad Planeador de Mantenimiento Supervisión de Mantenimiento |
| 11 | Elaborar plan de acción para el control de la desviación de indicadores | Plan de acción para control de indicadores | Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad | Cronograma de ejecución del Plan de acción control de indicadores de Mantenimiento y Confiabilidad | Ingeniero de confiabilidad Supervisión de Mantenimiento |

| | | | | | |
|----|--|---|---|------------------------------|---|
| 12 | Medir resultados y retroalimentar | Seguimiento a la ejecución del plan de acción | Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad | Indicadores de Confiabilidad | Ingeniero de confiabilidad Supervisión de Mantenimiento |
| 13 | Presentar y difundir reportes de confiabilidad | Análisis RCA Reportes de Confiabilidad | Ingeniería de Confiabilidad | Reportes de Confiabilidad | ingeniero de confiabilidad |

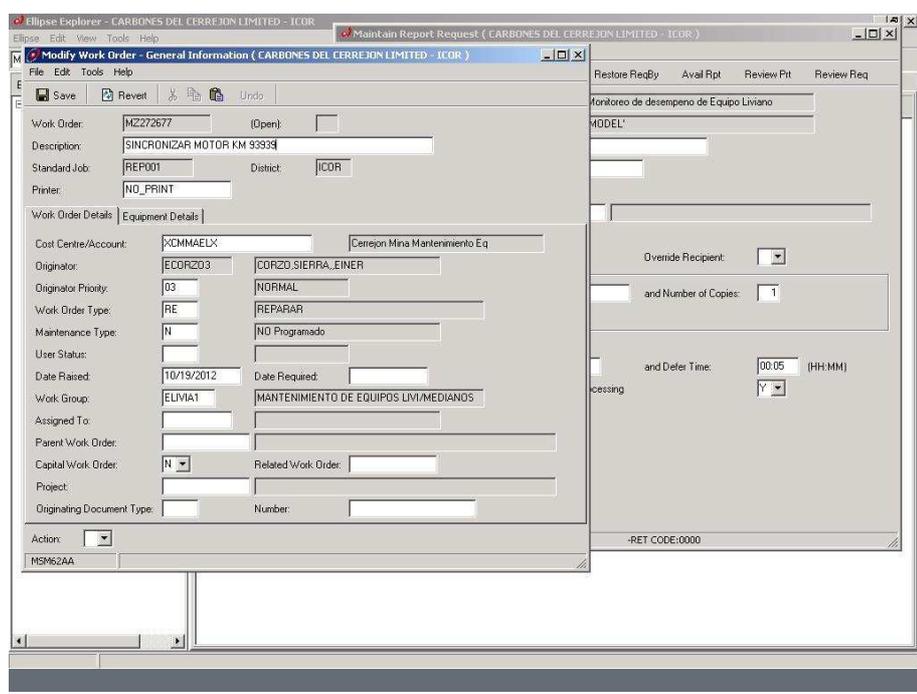
Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

4.6.1.1. *Recolección de la Información:* La recolección de información es un factor crucial al momento de realizar cualquier análisis de confiabilidad tales como RIM, RCM, RAM, FMEA, etc, ya que si no se obtiene información suficiente o la que se posee no es de buena calidad, los resultados arrojados carecerán de confiabilidad y el tiempo empleado para realizar cualquier tipo de análisis se incrementará. Para Mecánicos Asociados la recolección de información se realizará de la siguiente forma, una vez sucede el paro de un equipo, el torre de control debe documentar y cargar la información del evento en el CMMS utilizado para el mantenimiento de la flota de equipo liviano y mediano que en nuestro caso es el Ellipse, acá se abren las ordenes de trabajo y se documentan todas las labores que se realizan de mantenimiento, la información que se registra en el software es la identificación del equipo, el tipo de orden de trabajo, el horómetro del equipo, la fecha de entrada, fecha de salida del equipo, el tiempo total del equipo en mantenimiento, la descripción de la falla y el código del subsistema que presento la falla, componente que fallo o ítem, acción tomada, costos, comentarios. Luego de que se tiene cargada la información detallada de los eventos en el CMMS, esta será llevada a un archivo de Excel para generar los indicadores.

Durante y después de que la información ha sido cargada al CMMS, es necesario realizar una validación de la información cargada, verificando la consistencia de cada uno de los campos diligenciados, Esta revisión garantizará la confiabilidad de

la información y a su vez todos los resultados que se puedan obtener de la Bitácora Unificada de Mantenimiento y Operación.

Figura 29. Orden de Trabajo en Ellipse.



Maintain Equipment Downtime (CARBONES DEL CERREJON LIMITED - ICOR)

Equipment Number or Reference: 0830698
 CAMIONETA MAZDA DOBLE CABINA BT-50 2012

Date: 10/19/2012
 Shift: A DIA TOTAL
 Equip. Status: DI DISPONIBLE
 Location:

| | Downti | Stop T | Start T | Work Order | Action | Component Code | Modifier Code | Lapse Time | Commentary/Flag | Description |
|----|--------|--------|---------|------------|--------|----------------|---------------|------------|-----------------|-------------|
| 1 | DW | 17:30 | 17:31 | M2272676 | C | | | 0.02 | Y | DOWN |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | |

MSM#20A

Fuente: Equipo Liviano Cerrejón

4.6.2. *Análisis de información, Identificación y Priorización de problemas:* Durante esta etapa del proceso, ya se tiene un histórico de eventos de fallas o mantenimientos cargados en el CMMS. Ahora, esta información debe ser analizada de manera detallada con el fin de poder identificar y atacar aquellas fallas crónicas o malos actores que están causando los paros de los tanqueros de combustible. El primer paso que se debe realizar es calcular los indicadores de confiabilidad a nivel de sistema y equipo, mostrando indicadores como Confiabilidad (R), Disponibilidad (A), Tiempo Medio Entre Fallas – MTBF, Tiempo Medio de Reparación - MTTR, donde cada uno de estos indicadores ayudarán a obtener un panorama global de la situación para luego identificar y priorizar sus problemas.

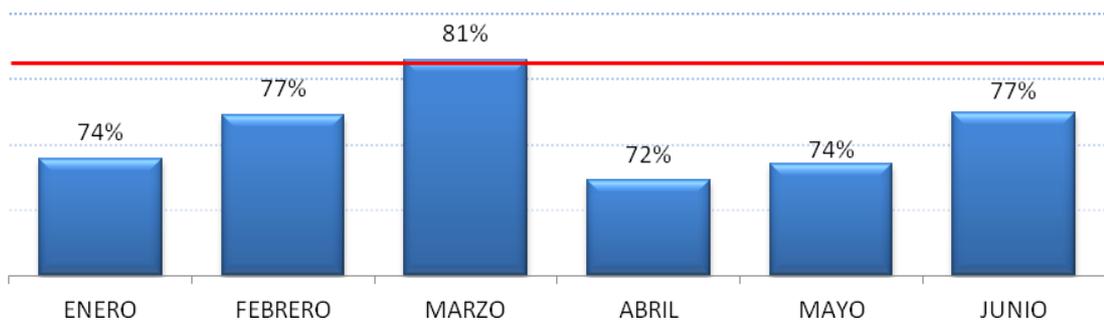
✓ Indicador de Disponibilidad

Tabla 7. Disponibilidad Flota de Tanqueros de Combustible Periodo de Enero – Junio de 2012

| ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | TOTAL |
|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 73.89% | 77.30% | 81.44% | 72.25% | 73.52% | 77.46% | 76.80% |

Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

Figura 30. Diagrama de Disponibilidad Flota de Tanqueros de Combustible Periodo de Enero – Junio de 2012



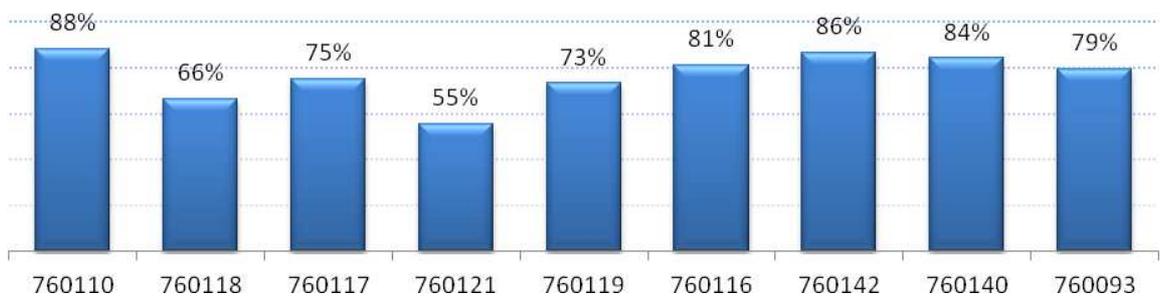
Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

Tabla 8. Disponibilidad por Equipo de la Flota de Tanqueros de Combustible Periodo de Enero – Junio de 2012

| 760110 | 760118 | 760117 | 760121 | 760119 | 760116 | 760142 | 760140 | 760093 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 87.87% | 66.43% | 75.07% | 55.36% | 73.09% | 80.81% | 86.44% | 83.98% | 79.26% |

Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

Figura 31. Diagrama de Disponibilidad por equipo de Flota de Tanqueros de Combustible Periodo de Enero – Junio de 2012



Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

✓ Indicador de Confiabilidad MTBF - MTTR

Tabla 9. Confiabilidad de Flota de Tanqueros de Combustible Periodo de Enero – Junio de 2012

| | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | TOTAL |
|------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|
| MTTR | 1.46 | 1.68 | 0.71 | 1.96 | 1.86 | 1.36 | 1.61 |
| MTBF | 7.54 | 5.99 | 8.01 | 8.84 | 6.59 | 7.64 | 7.92 |

Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

Figura 32. Diagrama de Confiabilidad Flota de Tanqueros de Combustible Periodo de Enero – Junio de 2012



Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

Tabla 10. Confiabilidad por Equipo de la Flota de Tanqueros de Combustible Periodo de Enero – Junio de 2012

| | 760118 | 760140 | 760121 | 760119 | 760117 | 760093 | 760116 | 760110 | 760142 | TOTAL |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| MTTR | 1.75 | 0.95 | 2.58 | 2.19 | 0.91 | 2.02 | 1.40 | 1.18 | 1.66 | 1.61 |
| MTBF | 4.52 | 5.55 | 6.99 | 7.93 | 8.67 | 8.69 | 8.71 | 12.82 | 14.88 | 7.92 |

Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

Figura 33. Diagrama de Confiabilidad por Equipos Flota de Tanqueros de Combustible Periodo de Enero – Junio de 2012



Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

Al realizar el análisis de los indicadores de la flota de tanqueros de combustible durante el periodo Enero a Junio de 2012, se determinaron cuales son sistemas que presentan fallas con más frecuencia afectando los indicadores, de las 190 fallas que se presentaron en los 9 Tanqueros de combustible, 36 fueron fallas del Sistema de Aire Acondicionado que representan el 18.94% del total de las fallas, 26 fallas fueron por el Sistema Eléctrico que representan el 13.68%, 24 fueron fallas del Sistema de Propulsión que representan el 12.63% del total de las fallas.

Tabla 11. Estadísticas de Falla Presentadas en los Tanqueros de Combustible

| SISTEMA | CODIGO | No. EVENTOS |
|-----------------------------|--------|-------------|
| SISTEMA AIRE ACONDICIONADO | SAARE | 36 |
| SISTEMA ELECTRICO | SEL | 26 |
| SISTEMA DE PROPULSION | SPR | 24 |
| SISTEMA DE POTENCIA | SPO | 23 |
| SISTEMA DE SUSPENSION | SSUSP | 22 |
| SISTEMA DE FRENOS | SFR | 19 |
| SISTEMA EQUIPO AUXILIAR | SEAL | 17 |
| SISTEMA ACCESORIOS Y CABINA | SCTC | 14 |
| SISTEMA DE DIRECCION | SDI | 9 |

Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Livia

Costos de Mantenimiento

Tabla 12. Costos de Mantenimiento

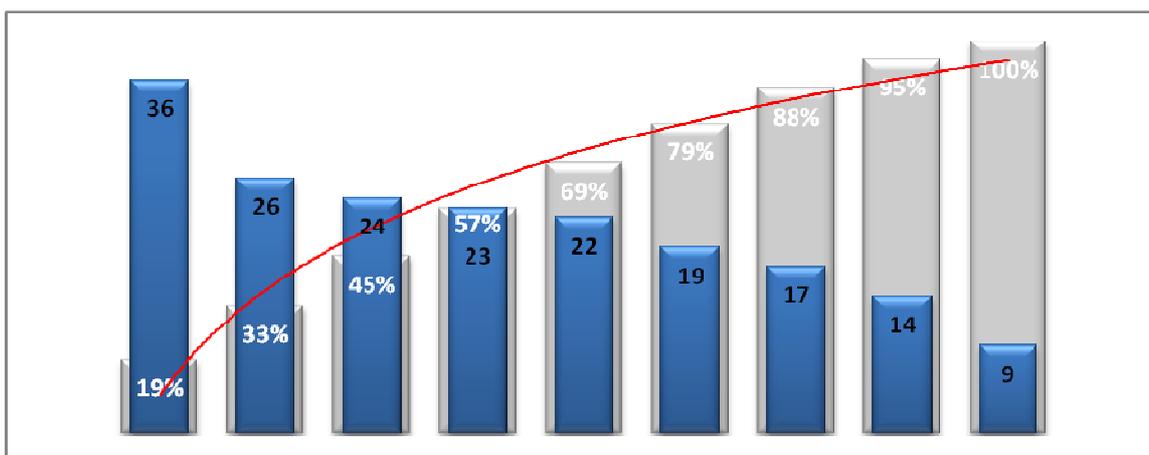
| No. EQUIPO | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | Total general |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 0760093 | 4,371,424.92 | 2,726,750.46 | 6,094,031.53 | 2,116,326.27 | 6,409,147.16 | 2,347,186.98 | 24,064,867.32 |
| 0760110 | 6,425,076.34 | 3,552,023.68 | 701,632.07 | 1,887,317.77 | 2,349,632.45 | 3,120,977.81 | 18,036,660.12 |
| 0760116 | 2,629,124.96 | 800,699.96 | 3,096,558.41 | 11,445,970.60 | 4,987,183.04 | 8,728,847.63 | 31,688,384.60 |
| 0760117 | 2,740,969.83 | 6,570,547.87 | 5,570,036.64 | 4,108,885.75 | 3,549,782.10 | 5,393,962.04 | 27,934,184.23 |
| 0760118 | 3,075,670.87 | 4,513,932.41 | 3,266,596.31 | 2,029,128.74 | 7,228,646.50 | 8,852,644.12 | 28,966,618.96 |
| 0760119 | 5,867,540.21 | 4,068,749.50 | 2,628,621.37 | 3,123,018.77 | 5,924,021.97 | 8,670,371.80 | 30,282,323.62 |
| 0760121 | 5,619,271.98 | 4,153,300.06 | 12,558,781.82 | 1,777,681.81 | 2,742,208.37 | 4,150,101.67 | 31,001,345.72 |
| 0760140 | 4,521,310.80 | 2,944,805.35 | 796,556.71 | 3,554,141.96 | 1,366,802.92 | 4,577,030.77 | 17,760,648.51 |
| 0760142 | 942,730.48 | 2,394,543.00 | 4,934,743.20 | 1,470,377.13 | 3,093,546.26 | 2,909,311.75 | 15,745,251.82 |
| TOTAL | 36,193,120.39 | 31,725,352.30 | 39,647,558.06 | 31,512,848.81 | 37,650,970.78 | 48,750,434.56 | 225,480,284.90 |

Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

4.6.3. Análisis Pareto

Se organizan y grafican los datos para la identificación de los problemas de una forma sistemática. Con esto detectamos de una sola revisión las prioridades que hay que prestarle atención y enfocar los esfuerzos para hacer una acción correctiva sin malgastar esfuerzos y dinero.

Figura 34. Diagrama de Pareto Fallas Periodo de Enero – Junio de 2012



Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

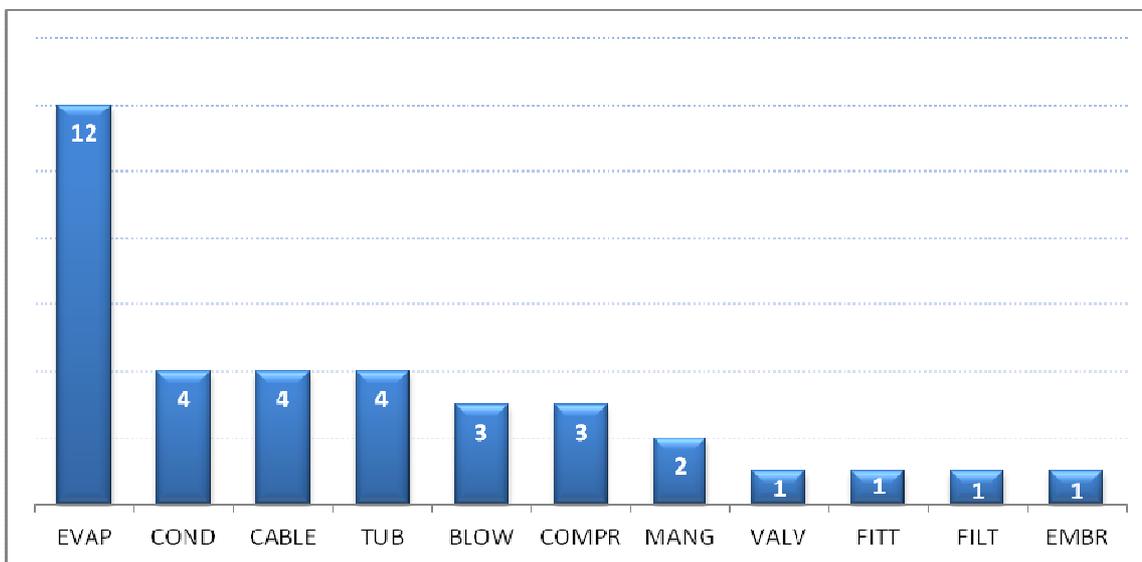
Del pareto se identifica como mal actor el sistema de aire acondicionado, basado en este análisis nos centramos solo en este sistema primero identificando el ítem mantenible o componente con mayor numero de eventos.

Tabla 13. Estadísticas de Falla por Items Mantenibles

| ITEM | CODIGO | No. EVENTOS |
|----------------|--------|-------------|
| EVAPORADOR | EVAP | 12 |
| CONDENSADOR | COND | 4 |
| CABLEADO ELECT | CABLE | 4 |
| TUBERIA | TUB | 4 |
| BLOWER | BLOW | 3 |
| COMPRESOR | COMPR | 3 |
| MANGUERA | MANG | 2 |
| VALVULA | VALV | 1 |
| FITTING | FITT | 1 |
| FILTRO | FILT | 1 |
| EMBRAGUE COMPR | EMBR | 1 |

Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

Figura 35. Diagrama de Falla de Item Mantenible Sistema de A/A



Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

El ítem mantenible o componente con mayor numero de fallas es el evaporador registrando un 33% del total de los eventos. Como medida se buscará eliminar defectos presentes mediante la ejecución de Análisis Causa Raíz - RCA de eventos relacionados con la confiabilidad del sistema de aire acondicionado y sus costos asociados de acuerdo a lo observado en el diagrama de Pareto.

4.6.4. Análisis RCA

Basado en todas estas estadísticas utilizamos nuestra matriz de clasificación de eventos para identificar el impacto que nos está causando y orientarnos para decidir la metodología para encontrar la posible solución al problema. En las columnas de la Clasificación de la severidad de la falla, utilizamos la de Costos de reparación flota de mediano la cual incluye costos directos y costo asociados a las fallas ubicándonos en la celda de rango entre 2500 y 5000 US, cruzándolo con las columnas de frecuencia de ocurrencia la cual para nuestro caso es de una (1) vez por semana, dándonos como resultado un nivel medio (N2), lo cual implica la realización de un RCA.

Figura 36. Diagrama de Matriz de Clasificación de Eventos

| masa | | CERREJON - TALLER EQUIPO LIVIANO GRUPO DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD MATRIZ DE CLASIFICACION DE EVENTOS | | | | Errejón | | | | | |
|---------------------------------------|------------------|--|------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|--------------|-------------------|---|
| Matriz Clasificación de Eventos | | | | | | | | | | | |
| Seguridad | Down Time (Días) | Clasificación Severidad de Eventos | | | Calidad (Desviación Indicadores) | Imagen de la Empresa | Frecuencia de ocurrencia | | | | |
| | | Costo Reparación (Directos y Asociados) | | 1 Vez al año | | | Entre 5 y 11 meses | Entre 2 y 5 meses | 1 Vez al mes | 1 Vez a la semana | |
| | | MEDIANO | LIVIANO | | | | | | | | |
| Fatalidad (RCA Siempre) | > 20 | >10000 \$US | >6000 \$US | > 2 % | Internacional | N2 | N2 | N3 | N3 | N3 | 5 |
| Perdida o afectación de órganos (RCA) | Entre 15 y 20 | Entre 7500 y 10000 \$US | Entre 4500 y 6000 \$US | Entre 1% y 2% | Nacional | N1 | N2 | N2 | N3 | N3 | 4 |
| Accidente Incapacitante Mayor (RCA) | Entre 10 y 15 | Entre 5000 y 7500 \$US | Entre 3000 y 4500 \$US | Entre 0,75% y 1% | Regional | N1 | N2 | N2 | N2 | N2 | 3 |
| Accidente Incapacitante Menor | Entre 5 y 10 | Entre 2500 y 5000 \$US | Entre 1500 y 3000 \$US | Entre 0,5% y 0,75% | Local | N1 | N1 | N2 | N2 | N2 | 2 |
| Sin consecuencias | <5 | <2500 \$US | <1500 \$US | < 0,5% | Interna | N1 | N1 | N1 | N1 | N2 | 1 |

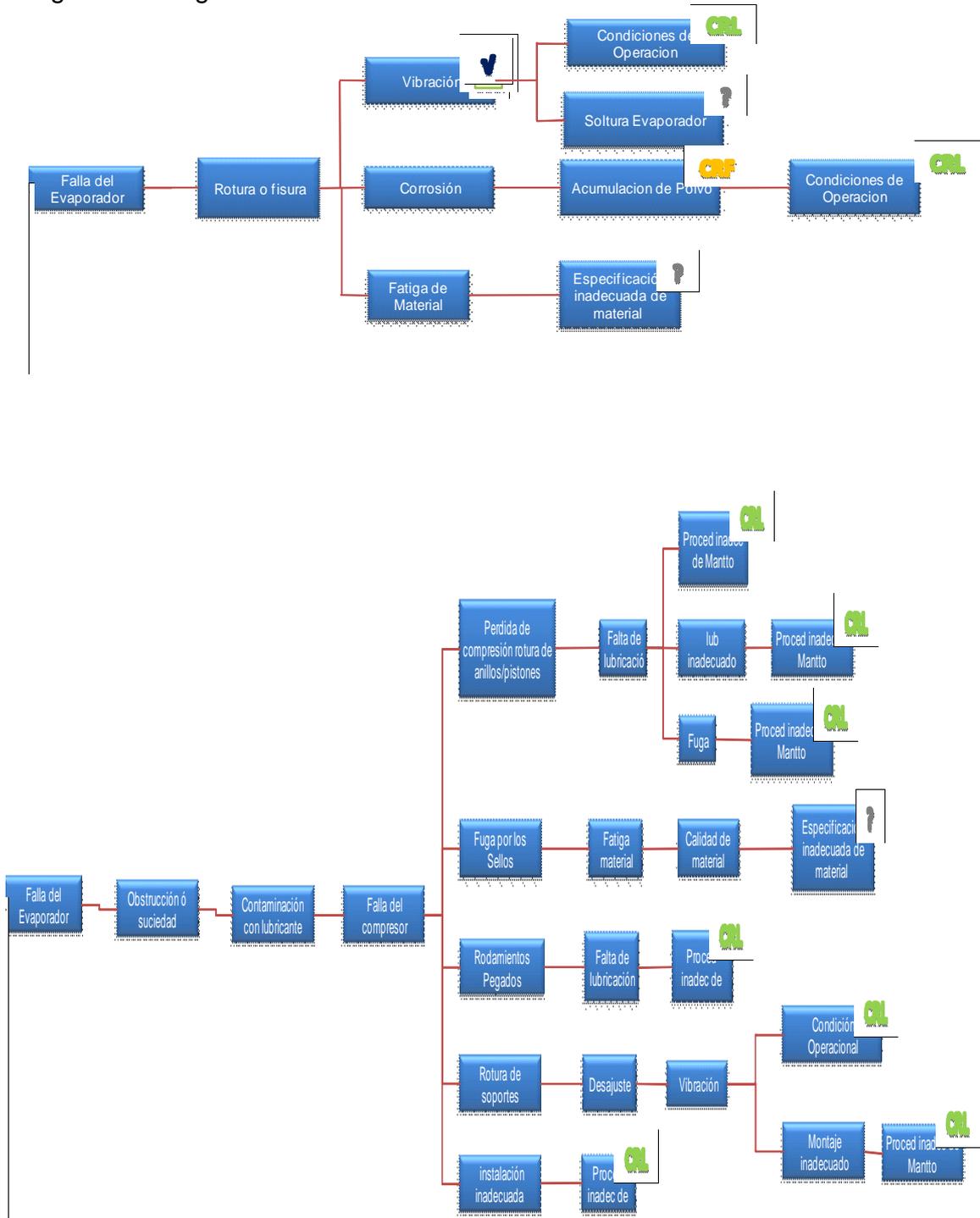
| CRITERIO CLASIFICACION DE EVENTOS | |
|-----------------------------------|---------------|
| Alto | RCA NIVEL 3 |
| Medio | RCA NIVEL 2 |
| Bajo | REPORTE FALLA |

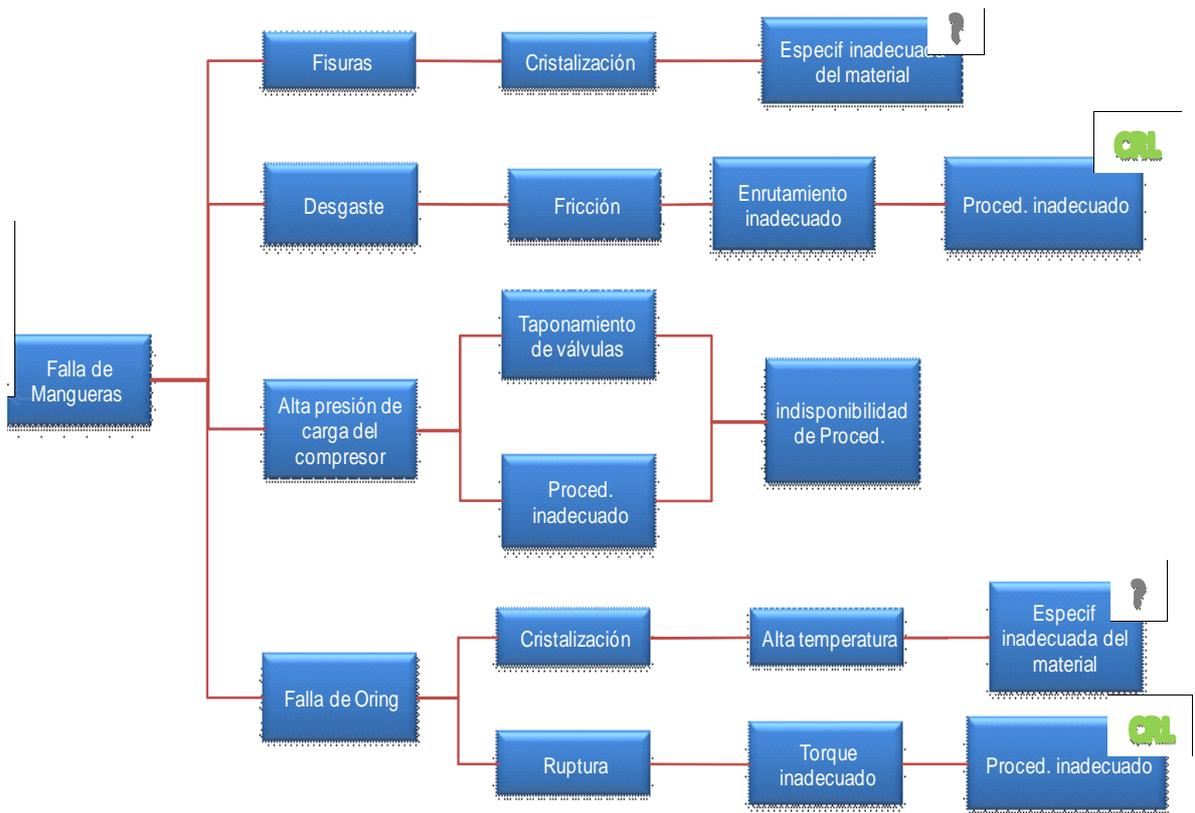
Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

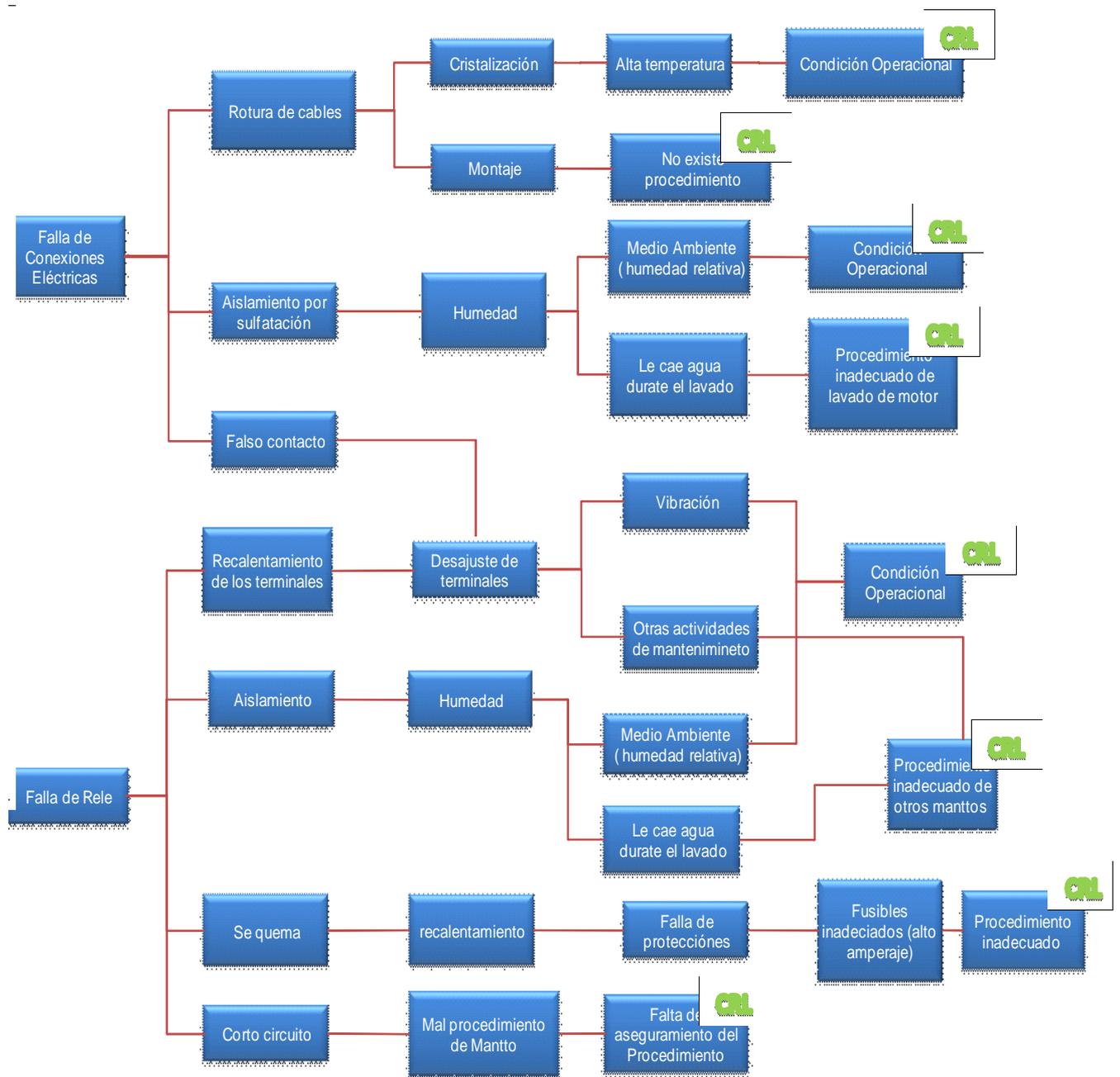
Para realizar el análisis de Causa Raíz del sistema de Aire Acondicionado de la flota de tanqueros de combustible se definió un grupo interdisciplinario conformado por un Ingeniero de confiabilidad como facilitador, analista de confiabilidad, supervisor de mantenimiento, dos técnicos especialista en aire acondicionado y un operador del equipo. La metodología usada para este RCA es la de Causa-Efecto. La simbología utilizada en el diagrama Causa-Efecto es la siguiente :

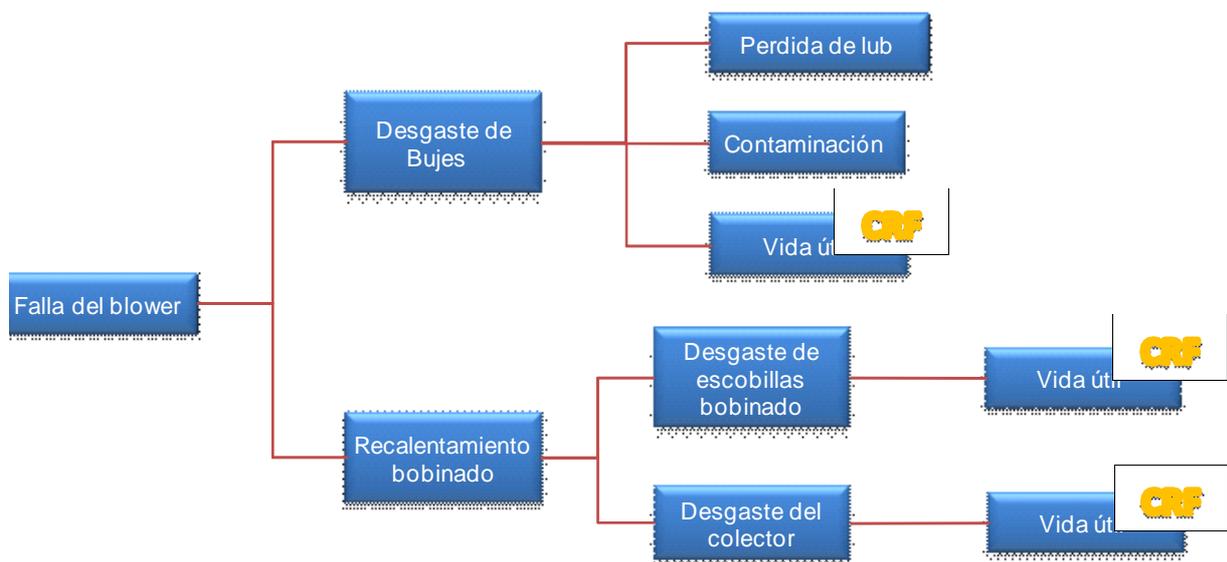
Causa Raíz Latente (CRL), Causa Raíz Humana (CRH), Causa Raíz Física (CRF), Acción de Verificación (AV), Hipótesis Aceptada (✓), Hipótesis Descartada (X), Acción a Verificar o Validar (?)

Figura 37. Diagrama Causa – Efecto









Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

4.6.4.1. *Evidencias:* En las siguientes figuras evidenciamos algunas fallas presentadas en el sistema de aire acondicionado de la flota de Tanqueros de Combustible.

Figura 38. Fuga de Gas en la entrada del filtro secador.



Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

Figura 39. Evaporador de Kodiak con fuga y tapado por el polvo.



Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

Figura 40. Condensador de Aire acondicionado con aletas dañadas.



Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

Figura 41. Interior de la cabina lleno de polvo.



Fuente: Planeación Mantenimiento Equipo Liviano

Del RCA ejecutado tenemos el siguiente resultado:

Causa Raíz Física

- Condiciones de Operación

Causa Raíz Latentes

- No existe Procedimiento
- Herramienta Inadecuada
- Falta de Aseguramiento del Procedimiento
- Material Inadecuado

Causa Raíz Humana

- Procedimiento inadecuado de Mantenimiento.
- Especificación Inadecuada de Material.

4.7. Propuesta del Resultado del Análisis de la Información de Confiabilidad

Con base en los resultados obtenidos se definen las recomendaciones necesarias a fin de eliminar los malos actores y llevar la confiabilidad de la flota cada vez a un nivel de más alto. Las recomendaciones están orientadas a disminuir las causas vitales reflejadas en nuestro diagrama de pareto y cuyos efectos sean significativos respecto a los objetivos corporativos. Mensualmente se realizará un reporte de confiabilidad, con el fin de revisar tendencias de los indicadores. Trimestralmente se mostrará un reporte de confiabilidad donde se incluyan tendencias acumuladas durante el periodo, indicadores, gráficas de pareto, acciones pendientes, resultados obtenidos, etc. Se mostrarán los análisis de confiabilidad pendientes y en curso, seguimientos de calidad de recomendaciones (avance y efectividad) planteados, prioritarios y cerrados. Se deben identificar desviaciones con respecto a las metas de desempeño esperadas con sus respectivos comentarios y recomendaciones posteriores al análisis de confiabilidad.

Las siguientes son las recomendaciones finales del grupo interdisciplinario que realizó el RCA y las cuales serán aplicadas en las tareas de mantenimiento:

- Definir referencia de evaporador para Kodiak
- Asegurar la compra del evaporador
- Evaluar la colocación de un filtro para evitar exceso de entrada de polvo (material particulado) en el evaporador.
- Establecer Rutina de Limpieza interna de las cabinas de los vehículos.
- Definir referencia y cantidad de la esponja para el ajuste del evaporador dentro de la carcasa.
- Mantener la esponja en el almacén para ajustar el evaporador dentro de su carcasa.
- Definir criterio para direccionamiento de reparación A/A en el área de PM.
- Asegurar el cumplimiento de Overhaul de A/A en la parada de Mantenimiento de 1300 Hrs.
- Definir y garantizar APL** para la rutina de 1300 Hrs.
- Definir referencia y compra para vehículos Kodiak
- Realizar tabla de suministro de aceite para cada componente del sistema de aire acondicionado y divulgarlo a los frente de trabajo.
- Evaluar la opción de cambio del producto de lavado interno de componentes (Dypure) del sistema de A/A. Identificar proveedores y referencias de productos.
- Evaluar la herramienta de unidad de aire comprimido para agilizar el proceso de inspección de fugas.
- Identificar listado de herramientas para el mantenimiento de A/A.
- Realizar procedimiento para reparación y overhauls de sistema de A/A.
- Realizar capacitación de sistema de A/A al personal Técnico.

4.7.1. Plan de Acción

Después de divulgadas y aprobadas las recomendaciones, se debe proceder a implementarlas, a fin de eliminar o reducir los efectos y las consecuencias de los eventos de las fallas. El responsable del éxito de la implementación es el Líder del

área donde se lleva a cabo la solución, se deben generar las respectivas órdenes de trabajo, procedimientos y normas para la ejecución de acciones, revisión de estrategias de mantenimiento y en general, actividades orientadas a implementar las recomendaciones según corresponda. El control sobre la calidad (avance y efectividad) en la implementación de las recomendaciones es responsabilidad del custodio del proceso o Profesional de Confiabilidad designado para esta labor, este debe presentar un reporte de seguimiento de las recomendaciones mensual, donde se muestre las actividades pendientes en ejecución y actualizar el nivel de avance reportado por el responsable de la implementación.

El control de la efectividad de soluciones se hace mediante un seguimiento periódico de indicadores establecidos, como de tendencias de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, MTTF, MTTR, como una comparación entre estos antes y después de la implementación de las recomendaciones generadas en el análisis de confiabilidad.

Tabla 14. Seguimiento recomendaciones producto de RCA.

|  | | CERREJON TALLER DE EQUIPO LIVIANO GRUPO DE INGENIERIA EN MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD SEGUIMIENTO DE RECOMENDACIONES PRODUCTO DE RCA | | | |  | |
|---|---|--|-----------|----------------|------|--|--------------|
| ID | RECOMENDACIÓN | RESPONSABLE | PRIORIDAD | FECHA OBJETIVO | % | ÚLTIMO COMENTARIO | DIAS VENCIDO |
| RP-007:01 | Definir referencia de evaporador para vehículos Kodiak | Ing. Confiabilidad | Media | 18-08-12 | 100% | | 0 |
| RP-007:02 | Asegurar compra de evaporador | Jefe de Compras | Media | 23-08-12 | . | | 0 |
| RP-007:03 | Evaluar la colocación de un filtro para evitar exceso de entrada de polvo (material particulado) en el evaporador | Supervisor - Jefe de Mantenimiento | Alta | 23-08-12 | 100% | 29-08-12 se encuentra en evaluación (Elber romero) . Malla filtro tipo aire acondicionado de ventana. Identificar proveedor. | 0 |

| | | | | | | | |
|-----------|---|--|-------|----------|------|--|---|
| RP-007:04 | Definir referencia y cantidad de la esponja para el ajuste del evaporador dentro la carcasa | Supervisor - Jefe de Mantenimiento | Media | 23-08-12 | 100% | Se solicitara la referencia de la espuma que suministra actualmente para el ajuste del evaporador (29-08-12). Se definió referencia: Yumbolon Prov: Telaplas | 0 |
| RP-007:05 | Mantener esponja en el Almacén para ajustar el evaporador dentro de la carcasa | Jefe de Compras | Media | 25-08-12 | 100% | Almacén posee la referencia del material para realizar el suministro y almacenaje en el taller (yumbolon telaplas | 0 |
| RP-007:06 | Definir criterio para direccionamiento de reparación A/A en el área seis | Jefe de Mantenimiento-Ing. Confiabilidad | Alta | 17-08-12 | 100% | Se le divulgo a los supervisores la orden de direccionar todas las reparaciones de A/A que requieran cambio de componente a el área de Postseis para que sea ejecutada por los especialista. | 0 |
| RP-007:07 | Asegurar la realización del mantenimiento de aire acondicionado en el área de SEIS | Jefe de Mantenimiento | Alta | 30-08-12 | 100% | Se realiza continuamente seguimiento del dpto de calidad a las ordenes de trabajo de reparaciones de A/A | 0 |
| RP-007:08 | Asegura el cumplimiento de overhaul de aire acondicionado (1300 Hrs) | Supervisor - Jefe de Mantenimiento | Alta | 30-08-12 | 100% | Auditoria continua al área de PM del cumplimiento de las rutinas | 0 |
| RP-007:09 | Definir apl para realizar overhaul de aire acondicionado de 1300 Hrs | Planeador | Alta | 19-08-12 | 100% | Se realizo listado por parte de planeacion | 0 |
| RP-007:10 | Definir referencia de Condensador para vehículos Kodiak | Jefe de Mantenimiento-Ing. Confiabilidad | Media | 18-08-12 | 100% | 29-08-12. Hans Bermejo definirá stockcode del condensador kentworth para asegurar su requisición a | 0 |

| | | | | | | | |
|-----------|--|------------------------------------|-------|----------|-----|---|----|
| | | | | | | través de los supervisores. Se enviarán correo electrónico para asegurar su requisición. stock code: 1961358. Volvo 1235936 | |
| RP-007:11 | Garantizar compra de condensador para vehículos Kodiak | Jefe de Compras | Media | 23-08-12 | . | es suministrado por cerrejón y almacenado en bodega C | 0 |
| RP-007:12 | Realizar tabla de suministro de aceite en sistema de aire acondicionado de acuerdo al componente reemplazado y divulgarlo a los frentes de trabajo | Ing. De Confiabilidad | Media | 18-09-12 | 50% | | 32 |
| RP-007:13 | Evaluar la opción de cambio de producto de lavado internos de componentes (Dypure) de sistema de aire acondicionado. Identificar proveedores y referencia del producto | Supervisor - Jefe de Mantenimiento | Media | 30-09-12 | | 05-09-12. pendiente | 20 |
| RP-007:14 | Garantizar compra de producto para el lavado interno de los componentes del sistema de aire acondicionado (Evaporador, Condensador, etc.) | Jefe de compras | Media | 30-08-12 | | | 51 |
| RP-007:15 | Evaluar la capacidad unidad de aire comprimido para agilizar el proceso de inspección de fugas en el sistema A/A | Supervisor - Jefe de Mantenimiento | Baja | 19-08-12 | | | 62 |
| RP-007:16 | Identificar listados de herramientas necesaria para el mantenimiento de aire acondicionado | Supervisor - Jefe de Mantenimiento | Media | 24-09-12 | 60% | | 26 |
| RP-007:17 | Realizar procedimiento para reparación y overhauls del sistema de aire acondicionado. | Supervisor - Jefe de Mantenimiento | Media | 25-10-12 | 50% | | 0 |
| RP-007:18 | Realizar capacitación de sistema de aire acondicionado | Ing. Calidad | Media | 25-09-12 | 0% | | 25 |

CONCLUSIONES

El RIM evidencia que es un proceso efectivo para analizar la información de mantenimiento ya que con su aplicación se pudo identificar claramente los principales problema, fallas repetitivas de la flota y malos actores, analizando sus causas raíces para eliminarlas o mitigarlas mediante soluciones efectivas.

Para incrementar la disponibilidad de la flota de tanqueros de combustible hasta la meta propuesta de 85% es necesario cumplir inicialmente con las recomendaciones arrojadas del RCA del sistema de aire acondicionado, para proceder a implementarlas a través del plan de acción establecido y luego con el seguimiento de indicadores continuamos analizando la información para ir eliminando de raíz las fallas repetitivas de la flota ganando cada vez más confiabilidad que lleva inmersamente la disponibilidad deseada.

Con esta metodología logramos una organización general de la toda la información de mantenimiento siguiendo los parámetros de la Norma ISO 14224 facilitando su análisis para toma de decisiones, seguimiento y mejora continua para lograr los objetivos de la compañía en el área de mantenimiento.

BIBLIOGRAFIA

AMS GROUP, Presentación en ppt de Análisis Causa Raíz. Agosto 2011

BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011. p. 117-129

DUARTE HOLGIN, Juan Carlos. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad usando Métodos de Ciclo de Vida. Junio 2006. Available from Internet:

<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r34987.PDF>

GONZALEZ FERNANDEZ, Francisco Javier. Mantenimiento Industrial Avanzado. Madrid: Fundación Cofimetal. 3ra Edición, 2004.

JANES, Aramis. Como medir la Gestión del Mantenimiento en la empresa. Enero 2006. Available From Internet:

<http://www.gestiopolis.com/canales6/ger/comomeman.htm>

ISO 14224. Industrias de Petróleo y Gas Natural – Recolección e Intercambio de datos de confiabilidad y mantenibilidad de equipos.

MECANICOS ASOCIADOS. Sistema Integral de Gestión. Bogotá, 2012. Elemento 1-2.

ANEXOS

ANEXO 1. FORMATO DE ORDEN DE TRABAJO

ANEXO 2. ANEXO B DE LA NORMA ISO 14224

ANEXO 3. INSTRUCTIVO PARA LA RECOLECCION DE DATOS DE RIM

ANEXO 4. FORMATO DE CONTROL DE CALIDAD

ANEXOS

Anexo 1. Formato de orden de trabajo

| masa | | ORDEN DE TRABAJO | | | | Versión: 3 | | | | | | | | | |
|--|-------------|------------------|-----------|---------------------------|--------------|---------------------------------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | | | Fecha actual: Octubre 2 de 2018 | | | | | | | | | |
| | | | | | | Codigo: P004-EO-15-ET-MT-001 | | | | | | | | | |
| No. Orden | | KW | Alumbrado | Estado | Ver Computar | No. de OT | | | | | | | | | |
| Fecha 2018 | | UR | Actividad | Estado | Ver | No. de OT 2018 | | | | | | | | | |
| | | | | | | Tipo de Orden de Trabajo | | | | | | | | | |
| | | | | | | A RE IP LP S G OH | | | | | | | | | |
| | | | | | | Tipo de Mantenimiento | | | | | | | | | |
| | | | | | | Planado No Planado | | | | | | | | | |
| USUARIO QUE ENTREGA | | | | DIAGNOSTICADOR QUE RECIBE | | | | | | | | | | | |
| Nombre | | Puesto | | Nombre | | FECHA / HORA APERTURA | | | | | | | | | |
| Sección | | Tel | | Fecha | | Día Mes Año Hora Minutos | | | | | | | | | |
| MANTENIMIENTO DE RECIDIO | | | | | | OBSERVACIONES | | | | | | | | | |
| Diametros | | No | | Dimensiones | | No | | Edificios | | No | | Señales | | No | |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 |
| 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 |
| 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 |
| 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 |
| 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| 650 | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 |
| 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 |
| 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 |
| 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 |
| 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 | 850 |
| 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 |
| 950 | 950 | 950 | 950 | 950 | 950 | 950 | 950 | 950 | 950 | 950 | 950 | 950 | 950 | 950 | 950 |
| 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| CODIFICACION DE TAREAS PRINCIPALES | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº | Descripción | Señales | Señales | Señales | Señales | Señales | Señales | Señales | Señales | Señales | Señales | Señales | Señales | Señales | Señales |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| COMENTARIOS GENERALES DE CIERRE DE OT (SITUACIÓN ENCONTRADA, ACCIÓN CORRECTIVA Y PREVENTIVA) | | | | | | | | | | | | | | | |

OT INICIAL.jpg
 Tipo: Archivo JPG
 Tamaño: 257 KB
 Dimensión: 1275 x 2100
 píxeles

Anexo 2. Anexo B ISO 14224 -Anotaciones de averías y mantenimiento

Tabla 1. - Descriptor de averías

| No. | ANOTACION | DESCRIPCION |
|-----|---|---|
| 1.0 | Avería mecánica – general | Avería relacionada con algún defecto mecánico, pero no se conocen los detalles. |
| 1.1 | Fuga | Fugas externas e internas, ya sean líquidos o gases. Si el modo de avería en la unidad de equipo indica una fuga, se debe usar un descriptor de averías mas orientado hacia las causas de las mismas, en la medida de lo posible. |
| 1.2 | Vibración | Vibración anormal. Si el modo de avería en la unidad de equipo indica vibración, se debe usar un descriptor de averías mas orientado hacia las causas de las mismas, en la medida de lo posible. |
| 1.3 | Avería por espacio libre/alineamiento | Avería causada por espacio libre o alineamiento deficiente. |
| 1.4 | Deformación | Distorsión, dobladura, pandeo, abolladura, deformación, encogimiento, etc. |
| 1.5 | Aflojamiento | Desconexión, aparatos sueltos, mecanismos desconectados, distensión (correas, orugas) |
| 1.6 | Atascamiento | Atascamiento, agarrotamiento, atoramiento debido a otras razones que no sean deformación o averías por espacio libre o alineamiento deficientes, fundido (motor). |
| 1.7 | Girado | Desplazamiento rotacional no deseado de partes. |
| 2.0 | Averías materiales – general | Avería relacionada con un defecto material, pero no se conocen los detalles |
| 2.1 | Cavitación | Aplicable a equipos tales como bombas y válvulas |
| 2.2 | Corrosión | Todo tipo de corrosión, tanto húmeda (electroquímica) como seca (química), sulfatado. |
| 2.3 | Erosión | Desgaste erosivo, picadura superficial. |
| 2.4 | Desgaste | Desgaste abrasivo y adhesivo, por ejemplo, arañazos, ludimiento, arrastre, fisuración, etc. |
| 2.5 | Ruptura | Fractura, ruptura, rajadura. |
| 2.6 | Fatiga | Si la causa de la ruptura es la fatiga, se debe usar este código. |
| 2.7 | Sobrecalentamiento | Daño material debido a sobrecalentamiento/quemadura/foqueado. |
| 2.8 | Estallido | Estallido, voladura, explosión, implosión de aparato. |
| 3.0 | Avería de instrumentos - general | Avería relacionada con la instrumentación, pero no se conocen los detalles. |
| 3.1 | Avería por control | |

| | | |
|---|--|--|
| 3.2 | Sin señal/indicación/alarma | Sin señal/indicación/alarma cuando se espera |
| 3.3 | señal/indicación/alarma defectuosa | La señal/indicación/alarma no funciona correctamente en relación al proceso en curso. Puede ser indebida, intermitente, oscilante, arbitraria. |
| 3.4 | Desajuste | Error de calibración, desviación del parámetro, pegado. |
| 3.5 | Falla del software | Control/monitoreo/operación defectuosos o inexistentes. |
| 3.6 | Avería en modo normal | Diversos aparatos con instrumentos fallan simultáneamente, por ejemplo detectores de incendio y gas redundantes. |
| 3.7 | Desconectado | Sin conexión. |
| 4.0 | Avería eléctrica – general | Averías relacionadas con el suministro y transmisión de energía eléctrica, pero no se conocen los detalles. |
| 4.1 | Corto circuito | Corto circuito |
| 4.2 | circuito abierto | Desconexión, interrupción, línea/cable roto. |
| 4.3 | sin energía/voltaje | Suministro de energía eléctrica faltante o insuficiente sin señal. |
| 4.4 | energía/voltaje defectuoso | Suministro de calidad de energía eléctrica defectuoso, por ejemplo, sobrevoltaje. |
| 4.5 | Falla en conexión a tierra/aislamiento | Falla en conexión a tierra, baja resistencia eléctrica. |
| 5.0 | Influencia externa – general | Avería causada por eventos externos o sustancias fuera del límite, pero no se conocen los detalles. |
| 5.1 | Bloqueo/atascamiento | Flujo restringido/bloqueado debido a suciedad, contaminación, congelamiento, etc. |
| 5.2 | Contaminación | Fluido/gas/superficie contaminado, por ejemplo, aceite lubricador contaminado, cabeza del detector de gas contaminado, dilución, saturado. |
| 5.3 | Influencias externas varias | Objetos extraños, impactos ambientales, influencia de sistema colindantes. |
| 5.4 | Suciedad | Material depositado, elementos extraños en componentes o partes. |
| 6.0 | Varios - general | Descripciones que no caen en ninguna de las categorías descritas anteriormente. |
| 6.1 | Desconocido | No hay información disponible relacionada al descriptor de averías. |
| 6.2 | Alto nivel de fluidos | |
| 6.3 | Bajo nivel de fluidos | |
| 6.4 | Baja carga | Presión insuficiente (acumuladores, tanques, extintores). |
| 6.5 | Descompresionado | Sin fuerza, sin presión, sin capacidad. |
| 6.6 | Faltante | Caído, inexistente, pérdida de piezas. |
| La persona a cargo de recoger los datos debe juzgar cual es el descriptor mas importante de existir mas de uno y tratar de evitar los códigos 6.0 y 6.1 | | |

Tabla 2. – Causas de averías

| No. | ANOTACION | DESCRIPCION |
|------------|---|--|
| 1.0 | Causas relacionadas con el diseño - general | Avería relacionada con un diseño inadecuado para la operación y/o mantenimiento, pero no se conocen los detalles. |
| 1.1 | Capacidad inadecuada | Capacidad/dimensión inadecuadas. |
| 1.2 | Material inadecuado | Selección de material inadecuada. |
| 1.3 | Diseño inadecuado | Diseño o configuración del equipo inadecuada (forma, tamaño, tecnología, configuración, operabilidad, mantenibilidad, etc. |
| 2.0 | Causas relacionadas con la fabricación/instalación - general | Avería relacionada con la fabricación o instalación, pero no se conocen los detalles. |
| 2.1 | Error de fabricación | Falla de fabricación o procesamiento. |
| 2.2 | Error de instalación | Falla en instalación o ensamblaje (no se incluye ensamble después de mantenimiento). |
| 3.0 | Avería relacionada con la operación/mantenimiento - general | Avería relacionada con operación/uso o mantenimiento del equipo, pero no se conocen los detalles. |
| 3.1 | Servicio fuera de diseño | Condiciones de servicio no diseñadas o no planeadas, por ejemplo, operación del compresor fuera de la envoltura, presión por encima de la especificación, etc. |
| 3.2 | Error operativo | Error, mal uso, negligencia, inadvertencia, etc. Durante la operación. |
| 3.3 | Error de mantenimiento | Confusión, error, negligencia, inadvertencia, etc. Durante el mantenimiento. |
| 3.4 | Desgaste esperado | Avería causada por el desgaste que resulta de la operación normal de la unidad de equipo. |
| 4.0 | Avería relacionada con la administración - general | Avería relacionada con algún sistema administrativo, pero no se conocen detalles. |
| 4.1 | Error de documentación | Avería relacionada con procedimientos, especificaciones, dibujos, reportes, etc. |
| 4.2 | Error administrativo | Avería relacionada con planeamiento, organización, control, certificación de calidad, etc. |
| 5.0 | Varios – general | Causas que no caen dentro de ninguna de las categorías descritas arriba. |
| 5.1 | Desconocido | No hay información disponible con respecto a la causa de la avería |

La persona a cargo de recoger los datos debe juzgar cual es el descriptor mas importante de existir mas de uno y tratar de evitar los códigos 5.0 y 5.1

Tabla 3.- Método de detección

| No. | ANOTACION | DESCRIPCION |
|------------|----------------------------------|---|
| 1 | Mantenimiento preventivo | Averías descubiertas durante el servicio preventivo, reemplazo o rehabilitación de un aparato al momento de ejecutar el programa de mantenimiento preventivo. |
| 2 | Pruebas funcionales | Avería descubierta al activar una función programada y comparar la respuesta con un estandar predefinido. |
| 3 | Inspección | Avería descubierta durante una función programada, por ejemplo, inspección visual, prueba no destructiva. |
| 4 | Monitoreo periódico de condición | Averías reveladas durante el monitoreo de condición planeado y programado de un modo predefinido de averías, ya sea manual como automáticamente, por ejemplo, termografía, medición de vibraciones, análisis de petróleo, muestreo. |
| 5 | Monitoreo continuo de condición | Averías detectadas durante el monitoreo continuo de condición de un modo predefinido de averías. |
| 6 | Mantenimiento correctivo | Avería observada durante el mantenimiento correctivo. |
| 7 | Observación | Observación durante inspecciones rutinarias o causales y no rutinarias realizadas por el operador principalmente con los sentidos (oído, olfato, humo, fuga, apariencia, indicadores locales). |
| 8 | Combinación | Uso de varios de los métodos arriba descritos. Si uno de los métodos es predominante, este deberá ser codificado. |
| 9 | Interferencia con la producción | Avería descubierta debido a la interrupción, reducción, etc. En la producción. |
| 10 | Otros | Otros métodos de observación |

Tabla 4. – Actividad de mantenimiento

| No. | ACTIVIDAD | DESCRIPCION | EJEMPLOS | USO |
|-----|--------------|--|---|-----|
| 1 | Reemplazar | Reemplazo del aparato por uno nuevo, o repotenciado, del mismo tipo o marca. | Reemplazo de un cojinete desgastado. | C,P |
| 2 | Reparar | Acción de mantenimiento manual realizada para restaurar un aparato a su apariencia y estado originales. | Volver a empacar, soldar, taponear, reconectar, rehacer, etc. | C |
| 3 | Modificar | Reemplazar, renovar o cambiar el aparato, o parte de el, con un aparato/parte de diferente tipo, marca, material o diseño. | Instalar un filtro con un diámetro de malla mas pequeño, reemplazar una bomba para aceite de lubricación con otro tipo de bomba, etc. | C |
| 4 | Ajustar | Hacer que alguna condición que esta fuera de tolerancia se encuentre dentro de un rango de tolerancia. | Alinear, programar y reprogramar, calibrar, balancear. | C |
| 5 | Reparar | Actividades de reparaciones/servicios menores para mejorar la apariencia interna y externa de una aparato. | Pulir, limpiar, esmerilar, pintar, revestir, lubricar, cambiar aceite, etc. | C |
| 6 | Verificar | La causa de una avería es investigada, pero no se realiza ninguna acción de mantenimiento, o se posterga la acción. Es posible que pueda funcionar nuevamente con acciones simples como por ejemplo, reiniciar o reprogramar | Reiniciar, reprogramar, etc., particularmente para averías funcionales como por ejemplo en los detectores de incendio y gas. | C |
| 7 | Dar servicio | Tareas periódicas de servicio. Normalmente no es necesario desmantelar el aparato. | Por ejemplo, limpieza, reabastecimiento de insumos, ajustes y calibraciones. | P |
| 8 | Probar | Pruebas periódicas de la disponibilidad de funciones. | Prueba de funciones de la bomba contra incendios, detectores de gas etc. | P |

| | | | | |
|---|-------------------|--|--|---------|
| 9 | Inspeccionar | Inspecciones/verificaciones periódicas. Cuidadoso escrutinio de un aparato con o sin desmantelamiento, normalmente con el uso de los sentidos. | Todos los tipos de verificaciones generales. El mantenimiento general se incluye como parte de tareas de inspección. | P |
| 10 | Acondicionamiento | Acondicionamiento integral. | Inspección/reacondicionamiento integral con desensamblaje y reemplazo de aparatos según se especifique o requiera. | P (C) |
| 11 | Combinar | Se incluyen varias de las actividades arriba descritas. | Si una actividad es la que domina, esta podría ser registrada. | C, P |
| 12 | Otros | Actividad de mantenimiento que no sea especificada anteriormente. | | |
| <p>C= Usada típicamente en mantenimiento correctivo, P= Usada típicamente en mantenimiento preventivo. "Verificar" incluye aquellas circunstancias donde se revelo la causa, pero no se considero necesario tomar una acción, y aquellas donde no se encontró una causa para la avería.</p> | | | | |

Anexo 3. Instructivo para la recolección de datos necesarios para RIM

- 1) La orden de trabajo es cerrada físicamente por el supervisor con los respectivos códigos de cierre para: modo de falla, descripción de la falla, causa de la falla, método de detección, actividad de mantenimiento y parte que fallo (ítem mantenible).
- 2) El supervisor entrega diariamente las OT cerradas físicamente al torre de control para que este a su vez las pase el planeador para su revisión.
- 3) Diariamente el planeador revisa todas las órdenes de trabajo cerradas en los dos turnos (diurno y nocturno) y verifica que el cierre de la OT corresponda a la falla principal por la que el equipo quedo fuera de servicio.
- 3) Se verifica en cada OT que los códigos utilizados para el cierre correspondan a los establecidos por la Norma ISO 14224, de lo contrario se retroalimenta al supervisor para que sea corregido el error cometido.
- 4) El planeador verifica que todas los equipos que se entregaron disponibles en el día (turno día y noche) tengan su OT debidamente diligenciada y codificada.
- 5) El planeador entrega todas las OTs revisadas al torre de control para que este las cierre en el software de mantenimiento (Ellipse) con sus respectivos códigos, con el fin de que la información de confiabilidad y mantenimiento quede disponible en el software para su posterior análisis de RIM.
- 6) Finalmente el torre de control entrega las OTs físicamente a la secretaria de planeación para que esta las archive física y digitalmente en la hoja de vida de cada equipo.

