

**MEJORAS AL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA  
METODOLOGIA FMECA PARA LOCOMOTORA TRANSLOK  
OPERADA EN CAMPO CAÑO LIMON-ARAUCA**

**CARLOS ERNESTO OSORIO RAMÍREZ**

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,  
MECATRONICA E INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**  
PAMPLONA, Marzo de 2017

**MEJORAS AL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA  
METODOLOGIA FMECA PARA LOCOMOTORA TRANSLOK  
OPERADA EN CAMPO CAÑO LIMON-ARAUCA**

**CARLOS ERNESTO OSORIO RAMÍREZ**

[Osoriocarlos.ara@gmail.com](mailto:Osoriocarlos.ara@gmail.com)

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**Director: WILLIAM JAVIER MORA ESPINOSA  
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

[Email wjme11@gmail.com](mailto:wjme11@gmail.com)

**Codirector: NELSON OSWALDO GARNICA CARRILLO  
MSc. CONFIABILIDAD Y RIESGO**

[Oswaldo167@hotmail.com](mailto:Oswaldo167@hotmail.com)

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,  
MECATRONICA E INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS  
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**Pamplona, Marzo de 2017**

*Dedicatoria*

*A Dios quien nos permite día a día cumplir con nuestros sueños y metas propuestas, dándonos fuerzas, salud y bienestar.*

*A mis padres LUCILA RAMIREZ TRIANA Y ERNESTO OSORIO ARTUNDUAGA, por su amor, trabajo y sacrificios durante esta etapa de mi vida, son mi gran motivación y ejemplo de vida a seguir.*

*A mis hermanos ERNESTO OSORIO GOMEZ, NICOLAS ERNESTO OSORIO RAMIREZ Y TATIANA CAMILA OSORIO, por su amor, apoyo y compañía durante esta hermosa etapa de mi vida.*

*A mis abuelos LUCILA TRIANA Y PEDRO RAMIREZ, sus consejos, palabras de aliento y por su gran amor incondicional que fueron de gran motivación para cumplir con este objetivo en mi vida.*

*A mi familiares por su apoyo y consejos, mis más sinceros agradecimientos.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*Mis más sinceros agradecimientos a:*

*Dios por permitirme culminar esta etapa en mi vida y compartir con mis seres amados este gran logro, le pido que me siga protegiendo, dándome fortalezas y salud para seguir creciendo como persona y profesional y lograr así cumplir mis sueños y metas.*

*Los ingenieros WILLIAM JAVIER MORA ESPINOSA Y NELSON OSWALDO GARNICA CARRILLO, quienes dieron su confianza al dirigirme en este proyecto, apoyo incondicional y amistad. Calidad de profesionales, personas y amigos.*

*A los docentes del programa de Ingeniería Mecánica, gracias por las lecciones, por la enseñanza, paciencia, sabidurías, dedicación y compromiso durante toda mi academia, son ejemplo a seguir.*

*A mis amigos y compañeros que compartieron conmigo este proceso de formación, algunos con su gran carisma, compañerismo e historias de vida nos enseñan que cada persona es un mundo diferente y la amistad es un gran tesoro que hay que conservar. A todos ellos gracias.*

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION .....	12
2. JUSTIFICACION .....	14
3. OBJETIVOS .....	15
3.1 Objetivo general.....	15
3.2 Objetivos específicos.....	15
4. MARCO CONCEPTUAL .....	16
4.1 MANTENIMIENTO.....	16
4.2 LA GESTION DEL MANTENIMIENTO .....	16
4.2.1 Tipos de mantenimiento.....	17
4.2.1.1 Mantenimiento correctivo.....	17
4.2.1.2 Mantenimiento preventivo.....	17
4.2.2 Nivel de intervención.....	18
4.2.3 Niveles de mantenimiento.....	18
4.2.4 Línea o escalón de mantenimiento .....	19
4.2.5 Política de mantenimiento.....	20
4.3 INTRODUCCION AL AMEF.....	20
4.3.1 Objetivos del AMEF .....	20
4.3.2 Historia del AMEF .....	21
4.3.3 Equipo del AMEF .....	21
4.3.4 Inicio del AMEF .....	22
4.3.5 Tipos de AMEF .....	23
4.3.6 Beneficios del AMEF.....	24
4.3.7 Estudio de las causas .....	24
4.3.8 AMEF de diseño.....	25
4.3.9 Etapas del AMEF .....	25
5. METODOLOGIA.....	27
5.1 PROGRAMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO.....	27
5.1.1 Antecedentes de mantenimiento.....	27
5.2 DESCRIPCION DEL ANALISIS FMECA APLICADO A LA LOCOMOTORA TRANSLOK.....	28
5.2.1 Descripción general .....	28

5.2.1.1	Formar el equipo .....	28
5.2.1.2	Diseño de la hoja de trabajo .....	28
5.2.1.3	Unidad/función.....	28
5.2.1.4	Modo potencial de fallo.....	29
5.2.1.5	Efecto potencial del fallo.....	29
5.2.1.6	Causa potencial del fallo.....	29
5.2.1.7	Severidad .....	29
5.2.1.8	Probabilidad.....	29
5.2.1.9	Detención .....	30
5.2.1.10	Numero de prioridad de riesgo NPR.....	30
5.2.1.11	Tareas de mantenimiento o acciones recomendadas .....	30
5.2.1.12	Frecuencia.....	31
5.2.1.13	Responsable.....	31
5.3	MEJORAS AL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO .....	31
5.4	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	31
6.	RESULTADOS.....	34
6.1	PROGRAMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO.....	34
6.1.1	Antecedentes de mantenimiento.....	35
6.2	RESULTADOS DEL ANALISIS FMECA APLICADO A LA LOCOMOTORA TRANSLOK.....	40
6.2.1	Definición del proyecto.....	40
6.2.2	Consideraciones del análisis.....	40
6.2.3	Equipo de trabajo .....	40
6.2.4	Diseño de la hoja de trabajo FMECA .....	40
6.2.5	Función del equipo.....	41
6.2.6	Sistemas y subsistemas y/o componentes.....	42
6.2.7	Modos de falla.....	44
6.2.7.1	Modos de falla sistema de potencia .....	45
6.2.7.2	Modos de falla sistema hidrostático.....	45
6.2.7.3	Modos de falla sistema neumático .....	45
6.2.7.4	Modos de falla tren rodante .....	46
6.2.7.5	Modos de falla sistema de control/mando .....	46
6.2.7.6	Carrocería.....	46

6.2.7.7	Modos de falla instrumentación general del sistema .....	47
6.2.8	Efectos y su puntuación (severidad) .....	47
6.2.9	Causas y su puntuación (probabilidad de ocurrencia) .....	48
6.2.10	Detección y su puntuación.....	48
6.2.11	Numero de prioridad de riesgo NPR .....	49
6.2.12	Sistemas críticos.....	49
6.3	TAREAS DE MANTENIMIENTO RESULTANTES DEL ANALISIS FMECA 50	
7.	ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	53
7.1	ANALISIS DEL RESULTADO DE LA EVALUACION DEL MANTENIMIENTO ACTUAL .....	53
7.1.1	Programa actual de mantenimiento .....	58
7.1.2	Antecedentes de mantenimiento e históricos de falla .....	62
7.2	RESULTADO DEL ANALISIS FMECA .....	62
7.2.1	Definición del proyecto.....	62
7.2.2	Consideraciones para el análisis FMECA .....	62
7.2.3	Equipo de trabajo FMECA.....	63
7.2.4	Diseño de la hoja de trabajo.....	64
7.2.5	Función del equipo.....	65
7.2.6	Sistemas y subsistemas y/o componentes.....	66
7.2.7	Modos de falla.....	67
7.2.8	Efectos de la falla.....	68
7.2.9	Causas de la falla.....	69
7.2.10	Detención y su puntuación.....	70
7.2.11	Número de prioridad de riesgo y criticidad.....	71
7.3	MEJORAS AL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO .....	72
7.3.1	Manual de trabajos de cuidado y mantenimiento .....	72
8.	CONCLUSIONES.....	73
9.	RECOMENDACIONES .....	75
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
11.	ANEXOS.....	77
11.1	FORMATO PRE-OPERACIONAL LOCOMOTORA .....	77
11.2	HOJAS DE TRABAJO FMECA .....	77

11.3	MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE TRABAJOS DE CUIDADO Y MANTENIMIENTO DEL MOTOR DIESEL .....	77
11.4	TABLAS DE FALLOS, CAUSAS Y ACCIONES CORRECTIVAS DEL MOTOR DIESEL .....	77

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de actividades.....	32
Tabla 2. Base de datos Excel. ....	36
Tabla 3. Intervenciones correctivas ítem. ....	36
Tabla 4. Intervenciones por sistemas. ....	37
Tabla 5. Down time ítem. ....	39
Tabla 6. Funciones principal y secundarias Locomotora Translok. ....	42
Tabla 7. Modos de falla. ....	44
Tabla 8. Modos de falla sistema de potencia. ....	45
Tabla 9. Modos de falla sistema hidrostático.....	45
Tabla 10. Modos de falla sistema neumático.....	46
Tabla 11. Modos de falla tren rodante. ....	46
Tabla 12. Modos de falla sistema de control/mando. ....	46
Tabla 13. Modos de falla en carrocería.....	47
Tabla 14. Modos de falla sistema hidráulico general ....	47
Tabla 15. Tabla de puntuación de la severidad.....	47
Tabla 16. Tabla de puntuación de la ocurrencia o probabilidad. ....	48
Tabla 17. Tabla puntuación de la detención. ....	48
Tabla 18. Criterio de criticidad. ....	49
Tabla 19. Tareas adicionales resultado del análisis FMECA. ....	50
Tabla 20. Tareas diarias resultados del análisis FMECA. ....	51
Tabla 21. Datos técnicos del equipo en el CMMS.....	57
Tabla 22. Funciones de los distintos subsistemas y/o componentes que conforman la locomotora. ....	65
Tabla 23. Subsistemas y/o componentes con mayor NPR y criticidad.....	71

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de clasificación de los diferentes tipos de mantenimiento.....	18
Figura 2. Tipos de AMEF.....	23
Figura 3. Esquema de los modos de fallo.....	24
Figura 4. Etapas de la elaboración del AMEF.....	25
Figura 5. Diagrama de Causa-Efecto.....	29
Figura 6. Cronograma de actividades.....	33
Figura 7. Frecuencia de Rutinas de Mantenimiento Preventivo Mecánico en el Tiempo... ..	34
Figura 8. Filtro de búsqueda avanzada de antecedentes de mantenimiento.....	35
Figura 9. Hoja de trabajo FMECA.....	41
Figura 10. Esquema de sistemas y subsistemas y/o componentes.....	43
Figura 11. Vista general de la locomotora.....	53
Figura 12. Tren rodante.....	54
Figura 13. Sistema de potencia.....	54
Figura 14. Filtros aceite motor, combustible y cartucho de combustible.....	55
Figura 15. Cilindro de elevación y enfriador del aceite hidráulico.....	55
Figura 16. Motor hidráulico y compresor Knorr.....	56
Figura 17. PLC y módulos transistores.....	56
Figura 18. Display control remoto/mando.....	56
Figura 19. Mantenimiento preventivo en el CMMS.....	58
Figura 20. Orden del mantenimiento preventivo mecánico en el CMMS.....	58
Figura 21. Secuencia del <i>Job Plan</i> .....	59
Figura 22. Orden de mantenimiento preventivo instrumentación en el CMMS.....	61
Figura 23. Frecuencia ejecución de la rutina de instrumentación.....	61
Figura 24. Project proyecto FMECA.....	63
Figura 25. Hoja de trabajo FMECA sistema tren rodante.....	64
Figura 26. Sistemas, subsistemas y/o componentes.....	66

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Diagrama Pareto Intervenciones Correctivas por ítem .....	37
Gráfica 2. Intervenciones pos sistemas. ....	38
Gráfica 3. Costos por intervenciones. ....	38
Gráfica 4. Diagrama Pareto Down time.....	39
Gráfica 5. Histograma severidad del efecto. ....	69
Gráfica 6. Histograma probabilidad de las causas de falla. ....	70

## 1. INTRODUCCION

El proyecto de práctica empresarial tiene como objetivo introducir al estudiante de ingeniería en el mundo laboral, en un campo donde se ponen a prueba sus aptitudes, conocimientos y destrezas adquiridas durante su academia. La multinacional CONFIPETROL S.A.S, ofrece un programa denominado Estudiantes de Práctica de Ingeniería EPI, cuyo objetivo es generar oportunidad mediante la vinculación de estudiantes próximos a graduarse o recién egresados por medio de un programa de entrenamiento desarrollado en una especialidades de la compañía.

Una de las especialidades que ofrece la compañía es la de ingeniería de confiabilidad, en la cual se diseña e implementan estrategias de mantenimiento centrado en confiabilidad de sistemas y equipos productivos del sector de hidrocarburos, energético e industrial; planeación, programación, reparación mayor y puesta en marcha de equipos y maquinaria crítica de los sistemas de producción (Confipetrol S.A.S, 2011). En esta especialidad se ha desarrollado este proyecto, mediante la implementación de subprocesos de confiabilidad con la metodología de los análisis de modos, efecto de falla y criticidad (FMECA), cuyo objetivo es identificar las fallas probables que se pueden encontrar en un activo, y por medio de las tareas de mantenimiento prevenir o eliminar las causas o mecanismos de falla que llevan a los diferentes modos de fallo.

Este proyecto se centra en la formación del estudiante en el área de mantenimiento, con la dirección y guía del docente universitario como director del proyecto y el ingeniero encargado del entrenamiento dentro de la empresa. La metodología FMECA fue aplicada a una locomotora que opera en el campo petrolero Caño Limón ubicado en el departamento de Arauca, el cual es operado por OCCIDENTAL DE OLOMBIA, cuyo objetivo fue mejorar los actuales planes de mantenimiento, respondiendo a las primeras cuatro primera preguntas del RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) ¿Cuáles son las funciones del equipo? ¿Cuáles son los modos de falla asociados a estas funciones? ¿Cuáles son las posibles causas de falla o mecanismo de falla de cada uno de los modos de falla? ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?

Previo a la aplicación de la técnica RCM, se realizó una recopilación de antecedentes de mantenimiento e historial de fallas, apoyándose en la información del CMMS (gestión de mantenimiento asistido por ordenador), buscando las intervenciones correctivas durante un periodo de dos años y de este modo identificar que sistemas y/o componentes han fallado frecuentemente, costo de la reparación y el tiempo de inactividad del equipo. Posteriormente se definieron con la información disponible los diferentes sistemas que conforman el equipo iniciando el desarrollo la metodología FMECA, con la identificación de los

diferentes modos de fallo, estimando sus efectos y las posibles causas en los diferentes sistemas de la locomotora, determinando el valor de criticidad de acuerdo al número de prioridad de riesgo RPN y la tabla o matriz de criticidad que se maneja internamente en la empresa.

Una vez completada la hoja de trabajo FMECA se diseñó un manual de trabajos de cuidado y mantenimiento del motor diésel, al igual que una base de datos de fallas, causas y acciones correctivas del motor diésel de la locomotora como apoyo y complemento de la metodología FMECA para las buenas prácticas y eficiencia del mantenimiento.

## **2. JUSTIFICACION**

Un programa de gestión de confiabilidad, permite desarrollar técnicas y estrategias para la optimización de recursos y mejorar los indicadores de desempeño de un activo. Con la implementación de la metodología FMECA el proceso de identificación de fallas en el equipo es mucho más eficiente lo que proporcionara capacidad de respuestas para la mitigación y eliminación de fallas potenciales, mediante un sistema de gestión que identifique y prevenga las fallas probables, el efecto de la falla y la severidad como consecuencia de estas, identificando los componentes críticos esenciales y evitando a mediano plazo altos costos por reparaciones.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar mejoras al programa de mantenimiento de la locomotora Translok operada en campo caño limón departamento de Arauca, con base en la metodología de análisis de modos de falla, efecto y criticidad.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Evaluar la situación actual del programa de mantenimiento que se le aplica a la locomotora Translok.
- ✓ Desarrollar la metodología de análisis de los modos de falla, efecto y criticidad (FMECA)
- ✓ Mejorar el programa de mantenimiento de la locomotora Translok con base en los resultados del análisis FMECA.

## **4. MARCO CONCEPTUAL**

### **4.1 MANTENIMIENTO**

La Norma europea recientemente publicada relativa a la terminología del mantenimiento (UNE-EN 13306, 2011) lo define como la combinación de acciones técnicas, administrativas y de gestión a lo largo del ciclo de vida de un equipo, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida. Dicha función requerida se entiende como la función o combinación de funciones de un elemento que se consideran necesarias para proporcionar un servicio dado. Un aspecto clave de esta definición es el conocimiento del estado en que el equipo cumple con la función requerida. La pregunta sería: Si no conocemos este estado ¿Estamos haciendo mantenimiento? Mantener un equipo exige tanto conocer la condición del mismo en la que cumple con su función requerida como conocer dicha función.

Según (Guezuraga, 2004) identifica la función del mantenimiento como un área clave en las empresas, situado cada vez en más plantas en un nivel similar al área productiva, que tiene una incidencia directa en los resultados económicos de la empresa. Según el autor, el gasto de mantenimiento que se genera por esta actividad debe cumplir con unos atributos ideales, como son:

- Conseguir el máximo beneficio de la empresa con un óptimo nivel de disponibilidad.
- Preservar el correcto estado de los equipos.
- Predominar la actividad preventiva frente a la correctiva.
- Ser modulable en el tiempo.
- Tratar de que sea aproximadamente constante en el tiempo.

### **4.2 LA GESTION DEL MANTENIMIENTO**

La norma (UNE-EN 13306, 2011) define también la gestión del mantenimiento como aquellas actividades de la gestión que determinan los objetivos del mantenimiento, las estrategias y las responsabilidades. Estas actividades se realizan por medio de planificación, control y supervisión del mantenimiento, así como mediante la mejora de los métodos en la organización incluyendo los aspectos económicos.

Un aspecto clave de esta definición es el conocimiento de los objetivos del mantenimiento que dimanen de aquellos objetivos de la organización en general. Teniendo en cuenta que los objetivos del mantenimiento pueden cambiar tal y como cambian los objetivos empresariales, puede ocurrir que no se pueda conocer con exactitud los objetivos de la función en el futuro. Estos cambios en las

funciones pueden derivar también en un cambio en la criticidad de los equipos, lo cual puede derivar en un replanteamiento drástico de las labores de mantenimiento.

Para evitar esta incertidumbre es preciso que los gestores del mantenimiento alineen las actividades de gestión a los distintos niveles empresariales (estratégico, táctico y operativo), a los objetivos del mantenimiento y en última instancia de la empresa.

#### 4.2.1 Tipos de mantenimiento

Existen diversas clasificaciones para diferenciar los tipos de mantenimiento (J.B. Chilcott & A.H. Christer, 1991); (Gits, 1992); (Goti Elordi, Sánchez, & Astoreka, 2004); (Moubray, 1999); Sánchez 2000). Para la selección de tipos de mantenimiento se han tomado como base dos investigaciones anteriores (Goti Elordi, Sánchez, & Astoreka, 2004) Esta selección se debe a que las diferencias entre estas clasificaciones son reducidas y a que algunas de sus características se adaptan mejor al trabajo realizado en la tesis. De esta manera se han determinado los tipos de actividades operativas de mantenimiento de una forma esquemática. En la Figura 1 se diferencian los siguientes tipos de mantenimiento:

##### 4.2.1.1 Mantenimiento correctivo

Incluye el mantenimiento correctivo urgente y el mantenimiento programado, que difieren entre sí por el hecho que en el primero la máquina deja de cumplir con sus funciones principales, mientras que en el segundo pudiera seguir cumpliendo con dichas funciones, aunque sea en condiciones precarias.

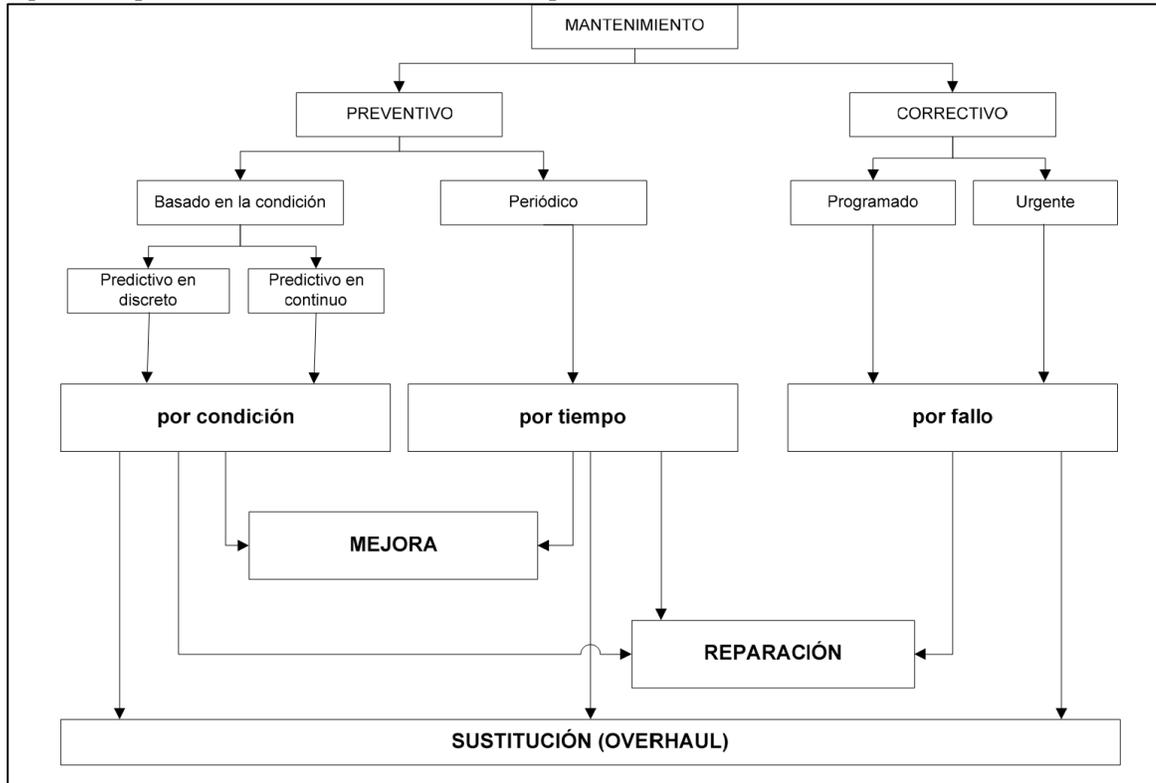
##### 4.2.1.2 Mantenimiento preventivo

En el que se diferencian el mantenimiento preventivo periódico con frecuencias de intervención preestablecidas y el mantenimiento preventivo basado en la condición o mantenimiento predictivo donde la vigilancia es función de la velocidad de degradación del componente. Dentro del mantenimiento predictivo se distinguen dos subtipos:

- Mantenimiento Predictivo continuo: Donde se vigila el componente monitorizando los parámetros (o las magnitudes imagen) de su deterioro en todo momento.
- Mantenimiento Predictivo discreto: Donde se revisan los parámetros (o las magnitudes imagen) de deterioro de un elemento mediante intervalos de análisis asociados a una frecuencia de muestreo que pueda detectar la evolución del deterioro.

- Mejoras: incluye todas las acciones orientadas a aumentar la disponibilidad o la capacidad productiva de los medios que no puedan considerarse como actividades de MC o MP.

Figura 1. Esquema de clasificación de los diferentes tipos de mantenimiento.



Fuente: (Goti Elordi, Sánchez, & Astoreka, 2004)

#### 4.2.2 Nivel de intervención

Un equipo se subdividirá en tantos niveles de intervención como sean necesarios para abordar su mantenimiento. A distintos niveles de intervención podremos luego asignar diferentes niveles de mantenimiento con distintas frecuencias y criterios de ejecución. Obviamente los niveles de intervención dependerán de aspectos distintos que tienen que ver con la complejidad del equipo en sí, o con las necesidades de diferentes recursos de mantenimiento en la organización, etc.

#### 4.2.3 Niveles de mantenimiento

Se pueden definir como el conjunto de acciones de mantenimiento a llevar a cabo en un nivel de intervención dado (Ej. Sustitución de componentes, Gran intervención (*overhaul*), revisión general, engrase,...). Serán desarrollados por distintos actores en cada caso, y en distintas localizaciones. Por lo general,

requerirán de distinta destreza y especialización en el personal que se encarga de cada uno de ellos.

En el siguiente ejemplo, se pueden apreciar los niveles de mantenimiento de una hipotética empresa multinacional de reconocido prestigio en la implantación de sistemas avanzados de gestión de Mantenimiento.

- Nivel 1 (Gestión Autónoma)
  - Limpieza, Inspección Lubricación
  - Reparaciones sencillas / sustituciones
  - Cambios de formato y ajustes
- Nivel 2 (Mantenimiento Correctivo)
  - Diagnóstico de averías
  - Remoción de etiquetas (anomalías)
  - Reparación de averías
- Nivel 3 (Mantenimiento Preventivo)
  - Mantenimiento Preventivo
  - Mantenimiento Predictivo
  - Grandes intervenciones (*overhauls*)
  - Formación Técnica y Estandarización
- Nivel 4 (Prevención del Mantenimiento)
  - Nuevas máquinas / componentes
  - Mejoras
  - *Early Equipment management*
  - Nuevas técnicas / sistemas
- Nivel 5 (Mantenimiento Contratado – Grandes averías y paradas)
  - Intervenciones externas
  - Intervenciones de proveedores

#### 4.2.4 Línea o escalón de mantenimiento

La línea o escalón de mantenimiento tiene que ver con la posición en que se realizan las distintas operaciones de niveles específicos de mantenimiento en una organización. Una posible definición podría ser “Posición en una organización en la que se llevan a cabo sobre un elemento los niveles de mantenimiento

especificados. Un aspecto muy importante de esta definición radica en que las líneas o escalones de mantenimiento se basan en la organización, no en los equipos. (Ej. En campo, en taller, en fábrica)

#### 4.2.5 Política de mantenimiento

Se pueden definir como aquella descripción de las relaciones entre líneas de mantenimiento, los niveles de intervención y los niveles de mantenimiento que intervienen en el mantenimiento de un equipo.

Es necesario observar que la definición de política de mantenimiento exige aclarar los niveles de intervención en los equipos y los niveles de mantenimiento a realizar a cada nivel de intervención. Todos estos términos son normalizados, resultado de la experiencia y del consenso de expertos internacionales en la materia.

### 4.3 INTRODUCCION AL AMEF

(Stamatis, 2003) El AMEF corresponde a los acrónimos de Análisis Modal de Fallos y Efectos, y consiste en una herramienta estructurada para la prevención de los defectos mediante el análisis de las formas en que puede fallar un producto o proceso, sus consecuencias y estudio de las causas que provocan esos modos de fallos, y con ello decidir sobre la toma de acciones recomendadas en función del nivel de importancia del modo de fallo.

Básicamente corresponde a analizar ante una situación determinada el preguntarse ¿qué puede ir mal? ¿Qué puede ocurrir si va mal? ¿Cuáles son las causas de que vaya mal? ¿Qué se puede hacer para prevenir o remediar el fallo? Fundamentalmente es una herramienta de prevención, ya que trata de encontrar los fallos antes de que aparezcan y poner acciones recomendadas para solucionar los fallos.

#### 4.3.1 Objetivos del AMEF

Los objetivos generales del AMEF son:

- Conocer el AMEF como una herramienta para la prevención de problemas.
- Aprender a mejorar la calidad, la fiabilidad y la seguridad de los productos y de los procesos.
- Saber aplicar el AMEF para un producto o proceso.
- Documentar las acciones realizadas para la reducción de los riesgos.
- Identificar los modos de fallos y la gravedad de sus efectos.

- Identificar las características especiales para ayudar a desarrollar planes de control.
- Priorizar las actuaciones a realizar para la prevención de los fallos (Stamatis, 2003).

#### 4.3.2 Historia del AMEF

De una manera formal, los primeros documentos de AMEF se empezaron a utilizar a inicios de la década de los 60, y aplicado en la industria aeronáutica sobre todo en lo relativo a temas de seguridad. Posteriormente se aplicó para aumentar la fiabilidad de los sistemas mediante la prevención de los problemas antes de que estos ocurran.

Debido al éxito de estas técnicas, a partir de los años 70 se divulga entre las empresas del sector del automóvil, en especial de la FORD, la cual imponen como requisito a sus proveedores el haber desarrollado el AMEF para todos sus productos, con objeto de garantizar productos fiables y que se han tenido en cuenta las distintas formas que puede tener lugar un fallo y que se han tomado la medidas oportunas.

Actualmente es una técnica que se aplica en todo tipo de empresas y enfocada no solamente a producto y procesos, sino además a servicio, a medios de producción y, en general, a cualquier situación para la prevención de problemas antes de que ocurran.

El AMEF también recibe el nombre de FMEA, que corresponde a las iniciales de las palabras en inglés "*Failure Modes and Effects Análisis*". Otro nombre relacionado es el de FMECA, que corresponde a las iniciales de "*Failure Modes and Effects and Criticality Análisis*". El FMEA estudia los modos de fallo, las causas y los efectos potenciales. El FMECA además estudia la gravedad de los efectos en términos de seguridad, extensión del daño y el impacto en el éxito de la misión. En este trabajo, el AMEF corresponde al FMEA y al FMECA (Stamatis, 2003) (Gutierrez, 2009).

#### 4.3.3 Equipo del AMEF

El AMEF de diseño está liderado por el ingeniero de diseño, pero es interesante que formen parte del equipo el ingeniero de producción, el ingeniero de proceso, mantenimiento, y todos aquellos especialistas que tengan que ver con el producto.

En la práctica se trata de un trabajo en equipo, el cual tiene que cumplimentar un impreso, que es el mismo para un AMEF de Diseño y para un AMEF de proceso, aunque con unas pocas modificaciones.

En el AMEF de diseño participan:

- Ingeniería de diseño
- Ingeniería de proceso
- Mantenimiento

En el AMEF de diseño, el equipo puede estar formado por miembros de:

- Ingeniería de proceso
- Diseño
- Mantenimiento
- Producción
- Proveedores

El equipo debe ser multidisciplinar y las revisiones del proceso pueden afectar a la revisión del AMEF de diseño (Stamatis, 2003).

#### 4.3.4 Inicio del AMEF

Los AMEF's se deben iniciar tan pronto como sea posible, a fin de detectar los fallos en las etapas iniciales, con lo cual su remedio siempre será menos costoso. El AMEF de diseño o producto se inician:

1. Cuando se diseña un nuevo sistema, producto o proceso, o se lanza una nueva tecnología.
2. Cuando hay un cambio en el producto o proceso.
3. Cuando el producto o proceso se va a utilizar en nuevas aplicaciones o entornos.
4. Cuando se ha definido un sistema, pero no se ha seleccionado el equipo.
5. Cuando se define un producto, pero aún no ha sido aprobado.
6. Cuando hay un diseño preliminar y se desarrolla un diagrama de flujo del proceso.
7. Cuando ocurre cualquier modificación o revisión del producto o proceso.
8. El AMEF es un proceso que nunca debe terminar.

En definitiva, el AMEF no es un documento estático, sino que en todo momento se debe estar actualizando y revisando.

Los AMEF'S se deben guardar como documentación del producto o proceso, de forma que cuando en la práctica se produce un fallo, se revisan todos los AMEF'S. El documento AMEF se debe guardar como mínimo 10 años después de la última unidad producida, para investigar posibles fallos futuros en las unidades.

El documento AMEF es un documento vivo que se debe actualizar continuamente. Se inicia un AMEF cuando hay un nuevo diseño, o un cambio de diseño, un cambio del proceso o bien cambios en las condiciones ambientales (Aguilar Otero, Torres Arcique, & Magaña Jimenez, 2010) (Stamatis, 2003) (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2012).

#### 4.3.5 Tipos de AMEF

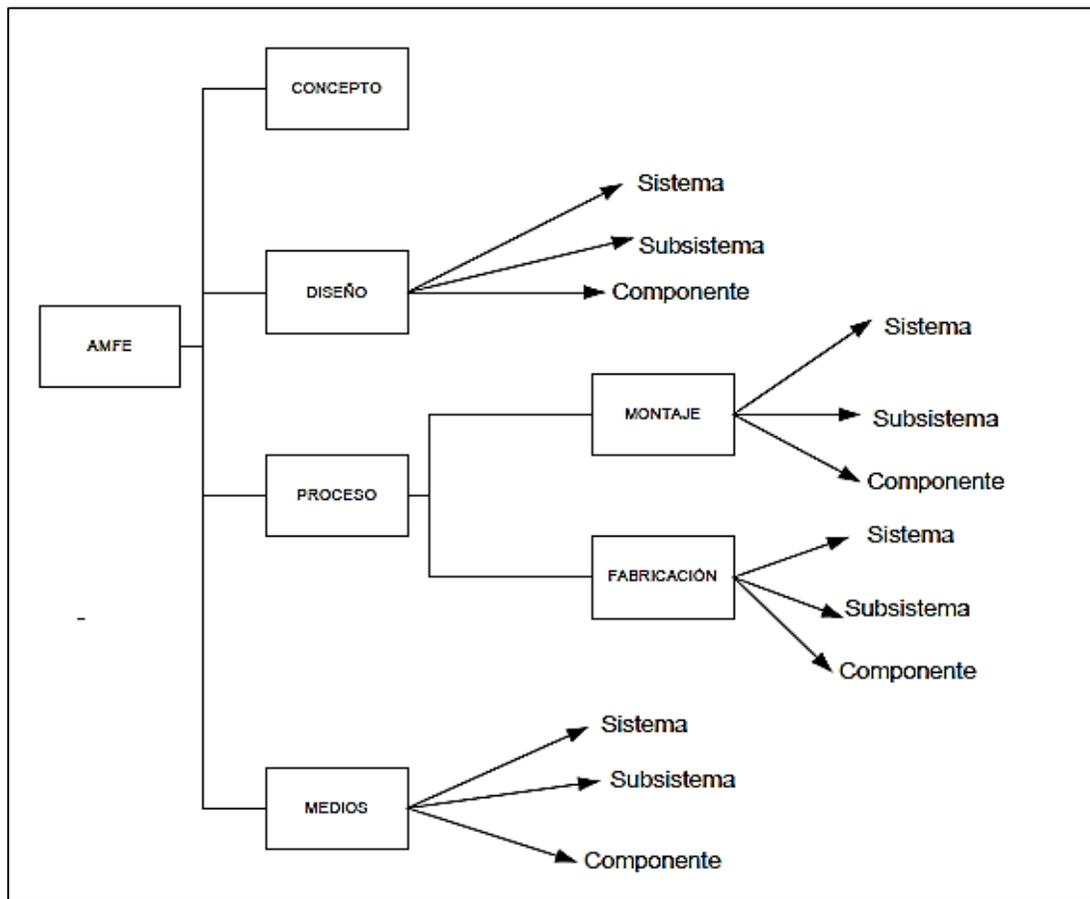
El AMEF es una herramienta para la prevención de fallos y se puede aplicar tanto a productos y servicios, como a los procesos de producción, así como a los medios para llevar a cabo dichos procesos. Para cada uno de ellos el AMEF se puede aplicar a nivel de sistema, subsistema o componente. Dentro del AMEF de proceso se distinguen los AMEF's de montaje y los de fabricación.

En algunas empresas también se realiza un AMEF de concepto, el cual se aplica para aquello que puede fallar en el inicio de un nuevo concepto de producto o servicio.

El AMEF de diseño se crea en las etapas iniciales de un producto o diseño. Nosotros solamente vamos a tratar los AMEF's de diseño, de producto y de medios (Stamatis, 2003)

Por todo ello la clasificación de los distintos AMEF's queda plasmada en la Figura 2.

**Figura 2. Tipos de AMEF.**



Fuente: (Stamatis, 2003)

#### 4.3.6 Beneficios del AMEF

Los beneficios que se pueden derivar del empleo de esta técnica son:

1. Reducción de los fallos de los productos y procesos.
2. Reducción de los costes de garantía.
3. Aumento de la fiabilidad de los productos
4. Aumento de la satisfacción de los clientes al recibir productos de alta calidad y fiabilidad.
5. Señala características que se deben controlar en los procesos (Stamatis, 2003).

#### 4.3.7 Estudio de las causas

El objetivo principal del AMEF es estudiar los modos de fallo según el esquema que se muestra en la Figura 3.

**Figura 3. Esquema de los modos de fallo.**



Fuente: (Stamatis, 2003)

El modo de fallo es la forma en que el producto o proceso no va a cumplir la función que tenía encomendada. El modo de fallo provoca unos efectos que se pueden trasladar al subsistema, al sistema, al producto, al medio ambiente, a la seguridad, al cliente, y en el caso del proceso, los efectos se transmiten al siguiente paso del proceso.

El modo de fallo está provocado por una causa, de modo que si ésta se da es muy probable que se presente el modo de fallo, y en consecuencia, los efectos. Un modo de fallo puede ser debido a varias causas.

Para el estudio de las distintas causas se puede recurrir al Diagrama de Ishikawa o bien al Diagrama de Relaciones. También es interesante aplicar la técnica del Diseño de Experimentos para confirmar aquellas causas que realmente influyen en el modo de fallo (Aguilar Otero, Torres Arcique, & Magaña Jimenez, 2010) (Stamatis, 2003).

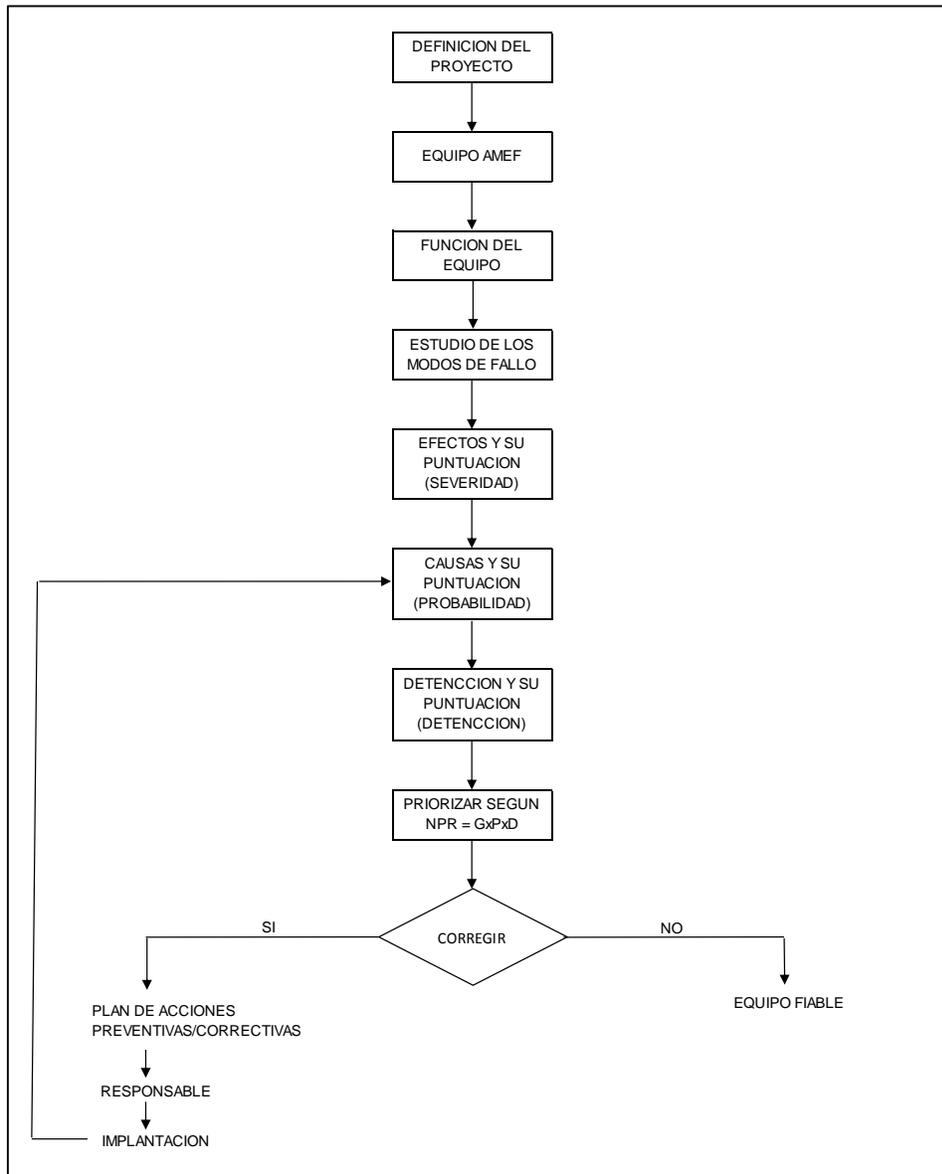
#### 4.3.8 AMEF de diseño

El AMEF de diseño se aplica en las etapas iniciales del producto o servicio, previniendo lo que puede fallar y analizando las distintas consecuencias de estos fallos, para hacer llegar al cliente productos que sean de alta fiabilidad.

#### 4.3.9 Etapas del AMEF

De un modo resumido, las etapas del AMEF se indican en el diagrama de flujo de la Figura 4.

**Figura 4.** Etapas de la elaboración del AMEF.



Fuente: Autor.

## 5. METODOLOGIA

El tipo de investigación que se implementó como referencia para el desarrollo del proyecto es de tipo descriptiva, la cual comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes, o sobre cómo una persona, grupo o cosa, se conduce o funciona en el presente. La investigación descriptiva trabaja sobre realidades y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta (Moguel, 2005).

La aplicación ordenada de este método de investigación contribuye a la obtención de los objetivos propuestos en el proyecto:

- ✓ Evaluar la situación actual del programa de mantenimiento que se le aplica a la locomotora Translok.
- ✓ Desarrollar la metodología de análisis de los modos de falla, efecto y criticidad (FMECA)
- ✓ Mejorar el programa de mantenimiento de la locomotora Translok con base en los resultados del análisis FMECA.

Las técnicas empleadas son cualitativas, cuantitativas y técnicas modernas de ingeniería de mantenimiento, son cuantitativos debido a que se realiza un análisis de datos obtenidos del CMMS (*Computerized Maintenance Management System*) de allí se obtienen los registros históricos de falla, antecedentes de mantenimiento e información relevante del equipo; cualitativos debido al desarrollo de la metodología FMECA.

### 5.1 PROGRAMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento se define habitualmente como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento (Garrido, 2010).

#### 5.1.1 Antecedentes de mantenimiento

El histórico de fallas es una fuente de información que nos brinda gran información a la hora de realizar o mejorar un programa de mantenimiento. Siempre es conveniente interactuar con cada uno de los miembros involucrados conociendo su opinión sobre las fallas más habituales, como estas se manifiestan (modos de falla) y las forman como las evitan o corrigen, aunque la documentación del equipo generalmente contiene un apartado en el cual se detalla esta información.

Por medio del CMMS (*Computerized Maintenance Management System*) se recopila la información de los antecedentes de fallos en un intervalo de dos años comprendido entre junio de 2014 hasta junio de 2016. Usando una herramienta ofimática como Microsoft Excel para el diseño de la base de datos, la realización y análisis de los diferentes gráficos requeridos en el estudio de los antecedentes.

A continuación se detalla el consecutivo para el desarrollo de esta actividad:

1. Recopilación a través del CMMS de toda la información necesaria y relevante sobre el historial de mantenimiento del equipo.
2. Diseño de la base de datos para la organización de la información.
3. Elaboración de gráficas.

## **5.2 DESCRIPCION DEL ANALISIS FMECA APLICADO A LA LOCOMOTORA TRANSLOK**

El objetivo principal es desarrollar la metodología de análisis de fallas FMECA para la locomotora Translok, con el fin de generar estrategias de mantenimiento preventivo que permitan mejorar los planes de mantenimiento actuales, ya sea con la incorporación de tareas de mantenimiento faltantes en los *Job Plan* establecidos o modificando las frecuencias de las actividades preventivas.

### **5.2.1 Descripción general**

El desarrollo de la metodología de trabajo se realizara de acuerdo al numeral 4.4.1 donde se definen las etapas para la elaboración del AMEF.

A continuación se comentan a detalle cada una de las etapas:

#### **5.2.1.1 Formar el equipo**

Es imposible que el AMEF se desarrolle por completo mediante el trabajo de una sola persona. Es una herramienta de trabajo en equipo multidisciplinar.

#### **5.2.1.2 Diseño de la hoja de trabajo**

Existen diversos formatos de trabajo, sin embargo, el formato se diseña de acuerdo a las necesidades e información indispensable del equipo, queda a criterio del equipo de trabajo FMECA.

#### **5.2.1.3 Unidad/función**

Aquí se indica la función que realiza el equipo, puede ser en forma de verbo por ejemplo: impulsar, energizar, transportar, etc.

#### 5.2.1.4 Modo potencial de fallo

Se identifica el modo de falla que puede afectar a la función especificada, sin embargo, un modo de falla puede ser producido por diferentes causas, o una causa de falla puede producir varios modos de falla.

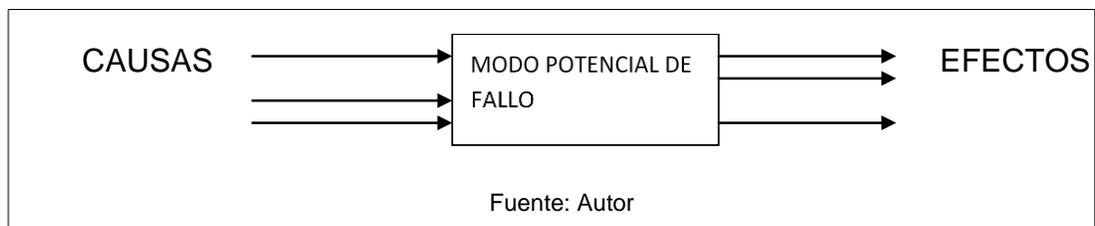
#### 5.2.1.5 Efecto potencial del fallo

Se indican los efectos o consecuencias de la ocurrencia del modo potencial de fallo. Un modo de fallo puede dar lugar a varios efectos. Se examinan los efectos en los componentes, sistemas, subsistemas, personas, medioambientes, incumplimiento de alguna ley, etc.

#### 5.2.1.6 Causa potencial del fallo

Para cada modo de fallo se analizan las causas que provocan dicho fallo. Si ocurre la causa es seguro que se va a producir el modo de fallo, el cual tendrá uno o varios efectos o consecuencias. Como lo indica la Figura 5.

**Figura 5. Diagrama de Causa-Efecto**



Para analizar las distintas causas del modo de fallo se utiliza herramientas como el Diagrama de Ishikawa (Causa-efecto), el Diagrama de Relaciones, o el Método de los 5 Porqués. Hay que intentar encontrar las causas raíces que provocan el modo de fallo.

#### 5.2.1.7 Severidad

En cada modo de fallo se apunta el valor del efecto más grave, ya que se supone que si ocurre el modo de fallo se producen todos los efectos señalados.

#### 5.2.1.8 Probabilidad

Para cada causa se evalúa el número de veces que puede tener lugar. Dicha evaluación es bastante subjetiva y debe estar apoyada en la experiencia. Su

puntuación va de 1 a 10, indicando 1 que no ocurre y el 10 que ocurre muy frecuentemente.

#### 5.2.1.9 Detención

Cada tipo de control tiene una fiabilidad de detectar la causa o el mecanismo de fallo. Así, una puntuación de 1 será para aquel control que con total seguridad va a detectar la causa o el modo de fallo; y la puntuación de 10 será para aquel control o verificación que en modo alguno detectará la causa o modo de fallo.

#### 5.2.1.10 Numero de prioridad de riesgo NPR

Corresponde a las siglas de Nivel de Prioridad de Riesgo, y se obtiene mediante la multiplicación de las puntuaciones obtenidas en las columnas de Gravedad, Ocurrencia y Detección. Esto es:

$$\text{NPR} = \text{Gravedad} \times \text{Ocurrencia} \times \text{Detección}$$

Este índice sirve para priorizar las acciones recomendadas. En principio, hay que prestar mayor atención a las acciones recomendadas para aquellos modos de fallo que tiene un mayor NPR. No obstante, es interesante que la priorización se haga por:

- Nivel de severidad.
- Nivel de probabilidad de ocurrencia.
- Nivel de detección.

Y en ese orden.

Otro índice que es útil es el de Criticidad, que se define como el producto de las puntuaciones de las columnas de Gravedad y Ocurrencia. Esto es:

$$\text{Criticidad} = \text{Gravedad} \times \text{Ocurrencia}$$

#### 5.2.1.11 Tareas de mantenimiento o acciones recomendadas

Se indican aquellas acciones recomendadas para eliminar o prevenir la causa/modo de fallo.

El objetivo de las acciones recomendadas es reducir la gravedad, reducir la ocurrencia o bien aumentar la posibilidad de detectar la causa o el modo de fallo.

Si no hay acciones recomendadas se indica mediante la palabra "Ninguna".

#### 5.2.1.12 Frecuencia

Si la tarea de mantenimiento es ya se viene ejecutando dentro de las rutinas, se ajusta la frecuencia de acuerdo a los resultados del NPR. Si la tarea es nueva dentro del plan de mantenimiento se indica la frecuencia de acuerdo al NPR y las recomendaciones del resultado del análisis FMECA.

#### 5.2.1.13 Responsable

Se debe indicar para cada acción recomendada o tarea de mantenimiento quién es el responsable de llevarla a cabo o la especialidad. La fecha límite de ejecución de la tarea viene dada por la frecuencia asignada.

### **5.3 MEJORAS AL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO**

Las mejoras al programa actual del mantenimiento son aquellas resultantes del análisis FMECA.

Como mejora de la excelencia operativa de las actividades de mantenimiento, se elabora un manual de trabajos de cuidado y mantenimiento del motor diésel de la locomotora.

### **5.4 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

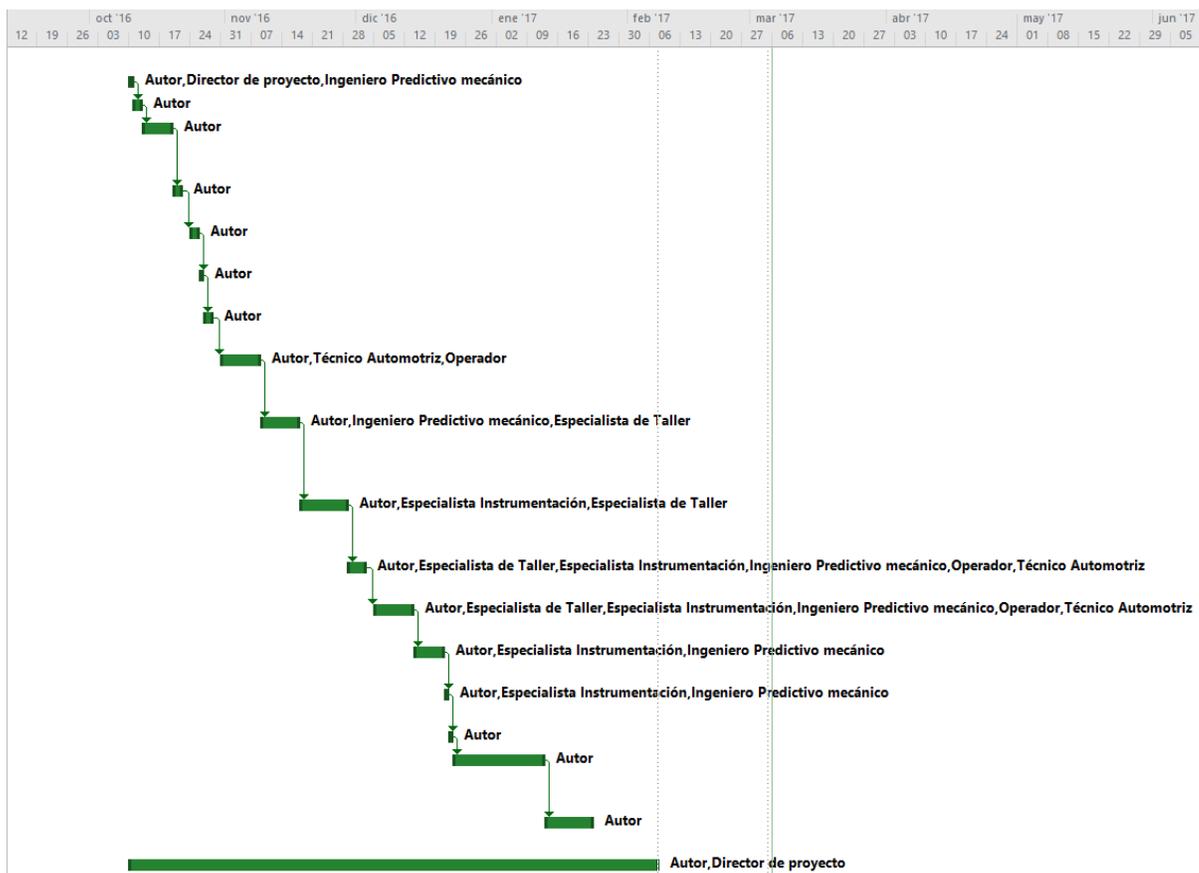
Diagrama de Gantt

**Tabla 1. Cronograma de actividades.**

Id	Nombre	Duración	Comienzo	Fin
1	Familiarización del proyecto	1 día	10 octubre 2016 9:00 a. m.	10 octubre 2016 7:00 p. m.
2	Reconocimiento del equipo	2 días	11 octubre 2016 9:00 a. m.	12 octubre 2016 7:00 p. m.
3	Búsqueda de antecedentes de mantenimiento e historial de fallas en la base de datos del CMMS	5 días	13 octubre 2016 9:00 a. m.	19 octubre 2016 7:00 p. m.
4	Recopilación de la información en la base de datos en Excel	2 días	20 octubre 2016 9:00 a. m.	21 octubre 2016 7:00 p. m.
5	Elaboración de tablas y gráficas	2 días	24 octubre 2016 9:00 a. m.	25 octubre 2016 7:00 p. m.
6	Formación del equipo FMECA	1 día	26 octubre 2016 9:00 a. m.	26 octubre 2016 7:00 p. m.
7	Diseño de la hoja de trabajo FMECA	2 días	27 octubre 2016 9:00 a. m.	28 octubre 2016 7:00 p. m.
8	Funciones del equipo y desglose de sistemas, y subsistemas y/o componentes	7 días	31 octubre 2016 9:00 a. m.	08 noviembre 2016 7:00 p. m.
9	Identificación de modos de fallo Sistemas de potencia, hidrostático, neumático, tren rodante y carrocería	7 días	09 noviembre 2016 9:00 a. m.	17 noviembre 2016 7:00 p. m.
10	Identificación de modos de fallo sistema de control / mando e instrumentación de la locomotora	7 días	18 noviembre 2016 9:00 a. m.	28 noviembre 2016 7:00 p. m.
11	Estimación del efecto y puntuación	4 días	29 noviembre 2016 9:00 a. m.	02 diciembre 2016 7:00 p. m.
12	Identificación de las posibles causas o mecanismo de fallo y su puntuación	7 días	05 diciembre 2016 9:00 a. m.	13 diciembre 2016 7:00 p. m.
13	Asignación de actividad de mantenimiento, recursos y su puntuación	5 días	14 diciembre 2016 9:00 a. m.	20 diciembre 2016 7:00 p. m.
14	Cálculo del número de prioridad de riesgo y su criticidad	1 día	21 diciembre 2016 9:00 a. m.	21 diciembre 2016 7:00 p. m.
15	Elaboración del FMECA	1 día	22 diciembre 2016 9:00 a. m.	22 diciembre 2016 7:00 p. m.
16	Elaboración del manual de trabajos de cuidado y mantenimiento del motor diésel y formato pre uso de revisión diaria	15 días	23 diciembre 2016 9:00 a. m.	12 enero 2017 7:00 p. m.
17	Tabla de apoyo de fallos, identificación del fallo y medio para corregir al motor diésel	7 días	13 enero 2017 9:00 a. m.	23 enero 2017 7:00 p. m.
18	Elaboración del libro	87 días	10 octubre 2016 9:00 a. m.	07 febrero 2017 7:00 p. m.

Fuente: autor.

Figura 6. Cronograma de actividades.



Fuente: autor

## 6. RESULTADOS

### 6.1 PROGRAMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO

El programa actual de mantenimiento de la locomotora Translok, se basa en las recomendaciones y manuales de fabricante. Se vienen ejecutando 4 rutinas de mantenimiento mecánico preventivo en intervalos de 250, 500, 1000 y 4000 horas de operación, cada una de las rutinas tiene sus respectivos *Job plan* en donde se enumera el consecutivo de actividades que se deben realizar. También se cuenta con una rutina de mantenimiento de instrumentación la cual se ejecuta cada 120 días.

Las actividades de mantenimiento 250, 500, 1000 y 4000 horas se llevan a cabo por el grupo de mecánicos automotrices de la empresa. El objetivo de estas rutinas es realizar mantenimiento preventivo a las partes mecánicas de la locomotora Translok con el fin de garantizar una operación continua en el tiempo y evitar fallas prematuras en este equipo.

La rutina de mantenimiento de instrumentación, tiene como objetivo efectuar el mantenimiento de la instrumentación asociada la locomotora Translok, tomando como criterio los procedimientos recomendados por el fabricante del equipo, con el fin de corregir debidamente las deficiencias encontradas.

Figura 7. Frecuencia de Rutinas de Mantenimiento Preventivo Mecánico en el Tiempo.

FRECUENCIA DE RUTINAS															
250	500	250	1000	250	500	250	1000	250	500	250	1000	250	500	250	4000
250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	3750	4000
TIEMPO TOTAL															

Fuente: Autor

### 6.1.1 Antecedentes de mantenimiento

Para el logro del primero objetivo del proyecto, se recopiló la información a través del CMMS de mantenimiento, en el cual se filtró la información de la locomotora, Asset del equipo, tipo de mantenimiento (correctivo planeado y correctivo reactivo) y rango de búsqueda (enero 2015 a diciembre de 2016). Seguidamente se exportó la información requerida:

**Figura 8. Filtro de búsqueda avanzada de antecedentes de mantenimiento.**

The screenshot displays a complex search interface with multiple sections of filters:

- Work Order Section:** Includes fields for Work Order, Description, Parent WO, Location, Search Location Hierarchy, Multi-Location, Environment, Asset (with value 28413), Search Asset Hierarchy, Multi-Asset, Asset Tag Number, WO Classification, Asset Classification, Percent Complete, MOC Required?, and MOC Number.
- Finance Section:** Includes Finance Project, Finance Task, Finance Project Type, Finance Charge Org, GL Account, Failure Class, Problem Code, Failure Remarks, Symptom, Maintainable Item, Vendor, Originating Record, Originating Record Class, Loss Reference, and Schedule Deviation?.
- Work Order Details Section:** Includes WO Priority, Work Type (with value =CMP=CMR), Work Category, Status, Status Date, Class (with value WORKORDER, A), Site (with value =00), History?, Is Task?, Safety Critical?, Environmentally Critical?, Commercially Critical?, Oil Rate (BBL/SD), Water Rate (BBL/SD), Gas Rate (MCF/D), Non-Operation?, and Review Required?.
- Regulations Section:** Includes Asset/Location Priority, Asset HES Critical?, WO Regulation, Location Regulation, Asset Regulation, Reason for Work, Matrix Priority, Matrix Priority Override?, and Matrix Priority Override Code.
- User Information Section:** Includes Reported By, On Behalf Of, Supervisor, Lead, Team Lead (or Designee), Area, Work Group, Planning Group, Lead Group, Job Plan, PM, Route, Safety Plan, Warranty Contract, Condition for Work, Assigned Labor, Plan Craft, Plan Materials, Plan Services, and Plan Tools.
- Dates Section:** Includes Reported Date (with value 1/1/2015 12:00:00 AM), Target Start, Target Finish, Scheduled Start, Scheduled Finish, Actual Start, Actual Finish, and PM Due Date.
- Miscellaneous Information Section:** Includes Misc WO, Misc Asset, Misc PM, Changed By, and Changed Date.

At the bottom of the interface, there are buttons for 'Find', 'Restore Application Defaults', 'Revisar', and 'Cancel'. A red arrow points to the 'Find' button.

Fuente: Máximo propiedad de OCCIDENTAL DE COLOMBIA.

Exportando esta información a la base de datos diseñada en Excel, se crea una tabla dinámica para mayor organización y análisis mediante las distintas gráficas.

**Tabla 2. Base de datos Excel.**

AÑO	MES	FECHA DE PARADA	DOWN TIME	PROBLEMA	ITEM MANTENIBLE	WO	COSTOS
2015	MARZO	3/7/2015	6	FUGAS EXTERNAS	MANOMETRO	CO55076206	\$ 40.50
2015	MARZO	3/1/2015	24	LECTURAS ANORMALES DE INSTRUMENTOS	MODULO TRANSISTORES	CO55076508	\$ 6,977.49
2015	MARZO	3/13/2015	24	LECTURAS ANORMALES DE INSTRUMENTOS	MODULO TRANSISTORES	CO55077767	\$ 2,548.59
2015	ABRIL	4/2/2015	32	FALLA PARA FUNCIONAR	CONECTOR	CO55080371	\$ 1,157.50
2015	FEBRERO	2/2/2015	16	LECTURAS ANORMALES DE INSTRUMENTOS	SWITCH DE TEMPERATURA	CO55108361	\$ 454.69
2015	SEPTIEMBRE	10/1/2016	8	FALLA PARA FUNCIONAR	FILTROS	CO55091867	\$ 427.50
2016	ABRIL	4/4/2016	4	FALLA PARA FUNCIONAR	BATERIA	CO55115521	\$ 716.00
2016	ABRIL	4/9/2016	8	DESVIACION DE PARAMETROS	RUEDAS	CO55115713	\$ 2,823.44
2016	JULIO	7/6/2016	34	FALLA PARA FUNCIONAR	BATERIA	CO55125470	\$ 50.00
2016	DICIEMBRE	12/20/2016	8	BAJA POTENCIA	BOBINAS	CO55183577	\$ 256.50

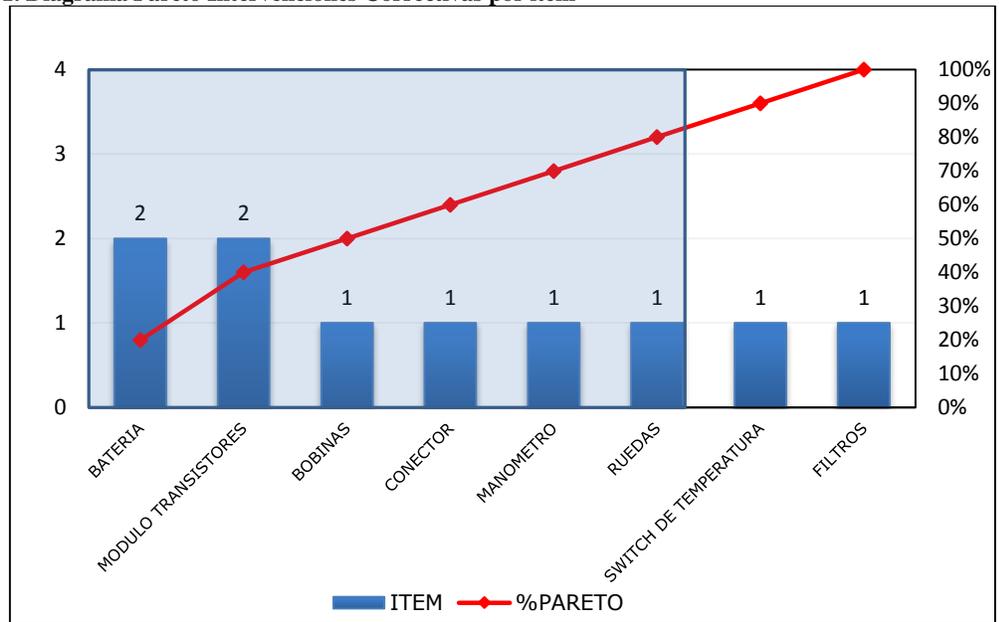
Fuente: autor.

**Tabla 3. Intervenciones correctivas ítem.**

ITEM	TRIPS	ACUMULADO	% PARETO
BATERIA	2	2	20%
MODULO TRANSISTORES	2	4	40%
BOBINAS	1	5	50%
CONECTOR	1	6	60%
MANOMETRO	1	7	70%
RUEDAS	1	8	80%
SWITCH DE TEMPERATURA	1	9	90%
FILTROS	1	10	100%

Fuente: autor.

**Gráfica 1. Diagrama Pareto Intervenciones Correctivas por ítem**



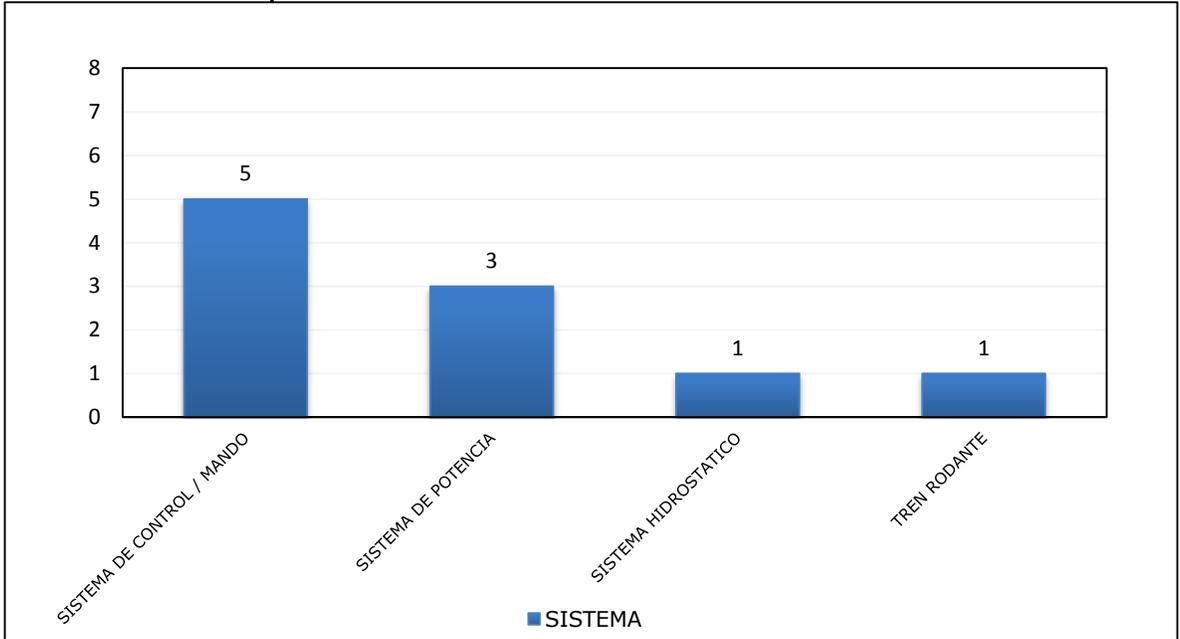
Fuente: autor.

**Tabla 4. Intervenciones por sistemas.**

ITEM	TRIPS	COSTO US\$
SISTEMA DE CONTROL / MANDO	5	\$ 11.394,77
BOBINAS	1	\$ 256,50
CONECTOR	1	\$ 1.157,50
MODULO TRANSISTORES	2	\$ 9.526,08
SWITCH DE TEMPERATURA	1	\$ 454,69
SISTEMA DE POTENCIA	3	\$ 1.193,50
BATERIA	2	\$ 766,00
FILTROS	1	\$ 427,50
SISTEMA HIDROSTATICO	1	\$ 40,50
MANOMETRO	1	\$ 40,50
TREN RODANTE	1	\$ 2.823,44
RUEDAS	1	\$ 2.823,44

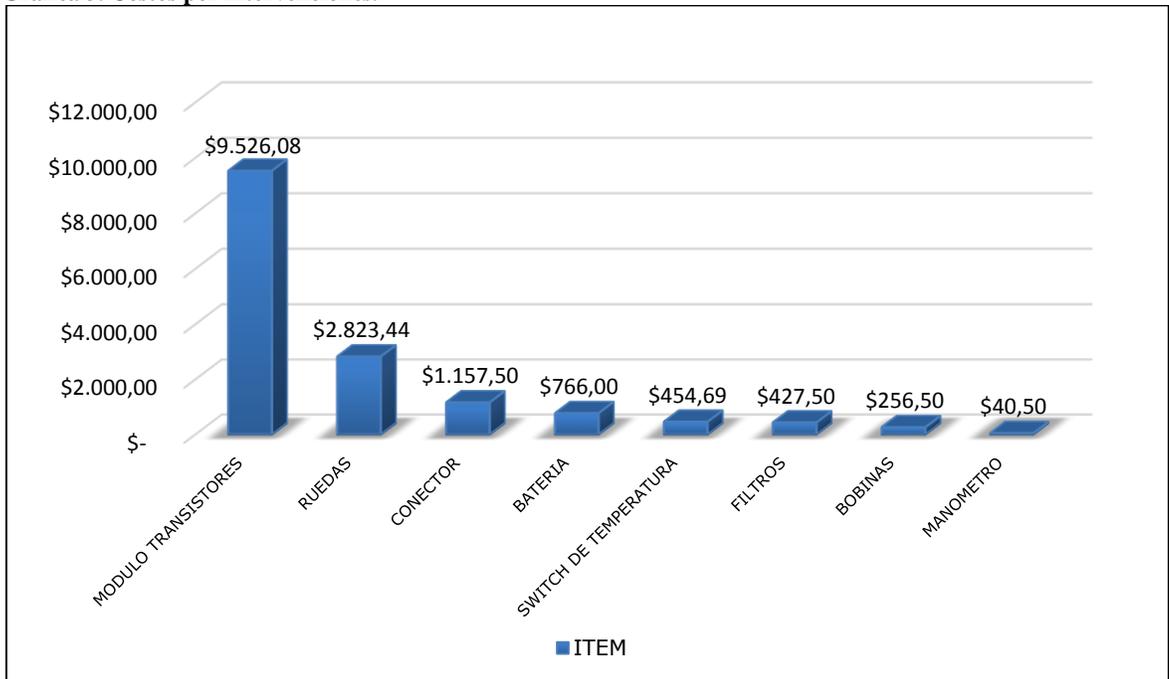
Fuente: autor

**Gráfica 2. Intervenciones pos sistemas.**



Fuente: autor.

**Gráfica 3. Costos por intervenciones.**



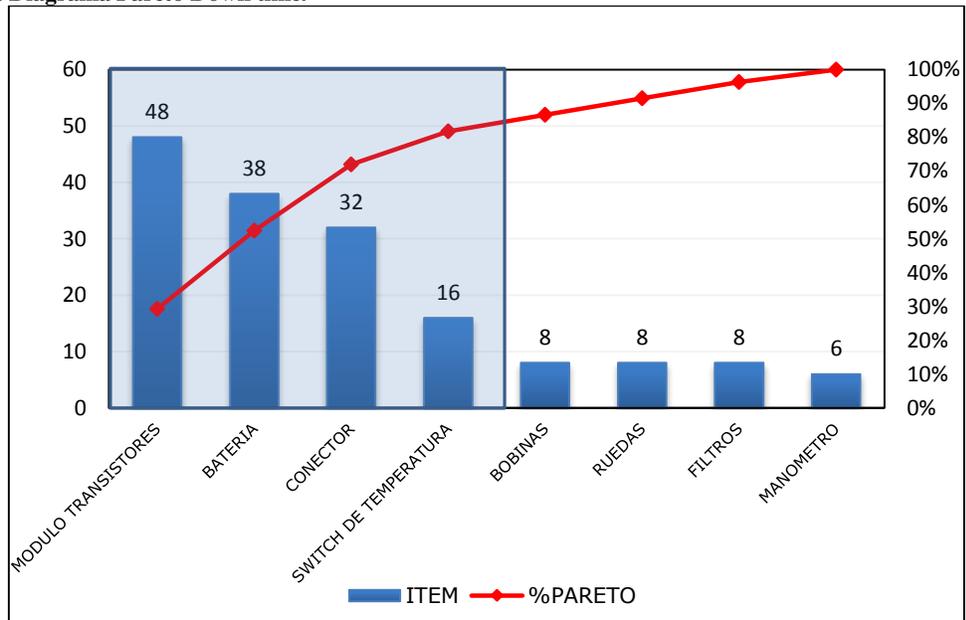
Fuente: autor.

**Tabla 5. Down time ítem.**

ITEM	DOWNTIME	ACUMULADO	% PARETO
MODULO TRANSISTORES	48	48	29%
BATERIA	38	86	52%
CONECTOR	32	118	72%
SWITCH DE TEMPERATURA	16	134	82%
BOBINAS	8	142	87%
RUEDAS	8	150	91%
FILTROS	8	158	96%
MANOMETRO	6	164	100%

Fuente: autor.

**Gráfica 4. Diagrama Pareto Down time.**



Fuente: autor.

## **6.2 RESULTADOS DEL ANALISIS FMECA APLICADO A LA LOCOMOTORA TRANSLOK**

### 6.2.1 Definición del proyecto

Actualmente existe un plan de mantenimiento definido para la Locomotora Translok basados en las recomendaciones del fabricante y tendencias en campo. Debido a que este equipo es crítico, es necesario revisar/mejorar las actividades de mantenimiento, utilizando la metodología FMECA (análisis de modos de fallo, efecto y criticidad), con el objetivo de identificar las posibles fallas que representen un mayor riesgo, para posteriormente seleccionar las tareas de mantenimiento y de esta manera garantizar la confiabilidad del equipo.

### 6.2.2 Consideraciones del análisis

Se toman como referencia las frecuencias actuales establecidas en los *Job Plan* de mantenimiento de la locomotora Translok, los antecedentes de mantenimiento, históricos de falla y manuales de fabricante.

### 6.2.3 Equipo de trabajo

- Ingeniero de Confiabilidad
- Ingeniero Predictivo
- Ingeniero Especialista de taller
- Técnico I Mecánico automotriz
- Especialista Instrumentación
- Maquinista Locomotora

### 6.2.4 Diseño de la hoja de trabajo FMECA

Como se expuso en el numeral 5.2.1.2, la hoja de trabajo FMECA o AMEF puede tener el diseño que se considere más apropiado para su análisis. En la figura 8 se observa la hoja de trabajo FMECA diseñada para la Locomotora Translok:

**Figura 9. Hoja de trabajo FMECA.**

HOJA DE TRABAJO FMECA				
ANALISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTO Y CRITICIDAD				
ELABORADO POR:	EQUIPO:	FUNCION:	FMECA N <sub>o</sub>	LOCO DE LA EMPRESA
FECHA:	UBICACION:	COD:	HOJA 1 DE 1	

SISTEMA	SUBSISTEMA	MODOS DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCION	NPR	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD

Fuente: autor.

### 6.2.5 Función del equipo

La función de diseño del equipo es la de tren locomotora. En la actualidad la locomotora opera en los pozos ubicados en Chipirón. Chipirón es un proyecto único en el país e innovador que consiste en una pequeña isla artificial en medio de un estero de 20.000 hectáreas a la cual se llega por medio de una vía férrea de unos 35 kilómetros suspendidas sobre pivotes sin afectar el medio ambiente.

**Tabla 6. Funciones principal y secundarias Locomotora Translok.**

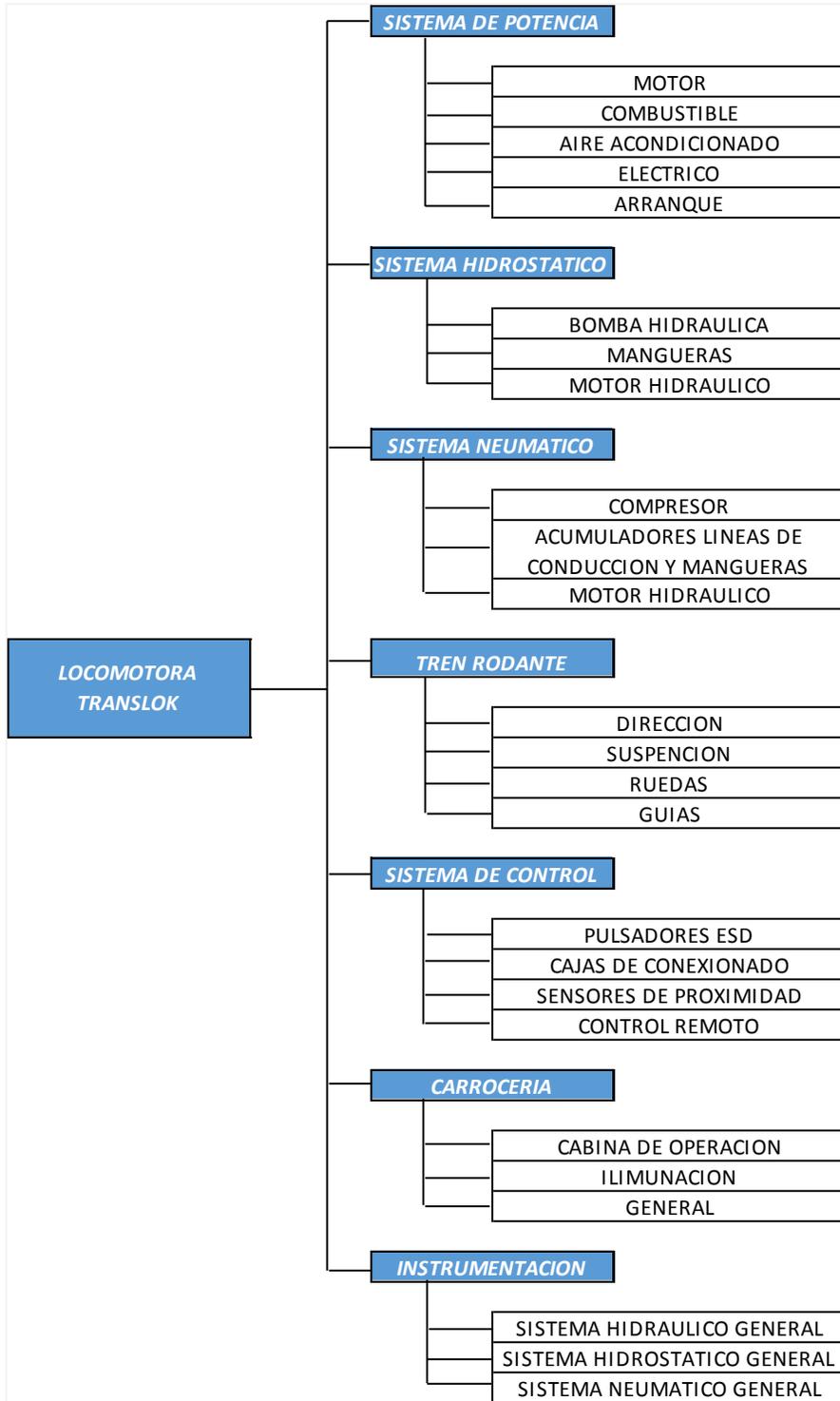
	<p><i>Función principal</i></p>	<p>Tren Locomotora</p>
<p><i>Funciones secundarias</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Transporte de personal,</li> <li>-Equipos de perforación,</li> <li>-Equipos y herramientas para el mantenimiento de las unidades de bombeo de crudo,</li> <li>-Seguridad e impacto ambiental y</li> <li>-Confort</li> </ul>	

Fuente: autor.

### 6.2.6 Sistemas y subsistemas y/o componentes

Para la identificación de los modos de fallo, se dividió la locomotora en siete sistemas y veinticinco subsistemas y/o componentes, esto para facilidad del análisis y organización de la información en la hoja de trabajo FMECA. A continuación en la figura 9 se observa el esquema de los diferentes sistemas y subsistemas identificados en la locomotora Translok:

Figura 10. Esquema de sistemas y subsistemas y/o componentes.



Fuente: autor.

### 6.2.7 Modos de falla

Se encontraron un total de 42 modos de falla repartidos en los diferentes sistemas y subsistemas y/o componentes de la locomotora Translok, algunos de los cuales se repiten, reduciéndolos a un total de 31 modos de falla distintos.

**Tabla 7. Modos de falla.**

MODOS DE FALLOS ENCONTRADOS	CANTIDAD
Alta temperatura del motor	1
Alta temperatura en bomba y aceite	1
Alta vibración	1
Alto consumo de aceite	1
Apagado del sistema de aire acondicionado	1
Baja eficiencia	3
Baja potencia	2
Caída de presión en el sistema	3
Daño en las barras	1
Daño en los amortiguadores	1
Deficiencia en el frenado / desplazamiento forzado	1
Deficiencia en sistema de iluminación	1
Descargue del banco de baterías	1
Desviación de parámetro. Mal contacto	1
Desviación de parámetros	1
Desviación de parámetros. Apertura de contactos.	2
Disparo del equipo por alta presión	3
Equipo no frena	1
Fugas externas	1
Fugas externas de aceite	1
Fugas por los racores o cilindros	1
General	1
Indicaciones erróneas	1
Lectura anormal de instrumento	2
No acciona el mando	1
No cierra puertas	1
No gira motor.	1
No se detiene/opera al momento de dar la orden. No acciona al momento de dar la orden.	1
Ruido / Vibración excesiva	1
Ruido en el alternador	1
Señal errónea. Sin señal.	3

Fuente: autor.

Los diferentes modos de fallos encontrados fueron identificados y analizados a través los históricos y antecedentes de mantenimiento, manual del fabricante, la experiencia del grupo de trabajo FMECA y personal de planeación y ejecución de los mantenimientos preventivos y correctivos.

#### 6.2.7.1 Modos de falla sistema de potencia

Para el sistema de potencia se encontraron un total de diez modos de falla de los cuales solo uno se repite para un total de nueve modos de falla diferentes.

**Tabla 8. Modos de falla sistema de potencia.**

MODOS DE FALLA SISTEMA DE POTENCIA	CANTIDAD
Alta temperatura del motor	1
Alto consumo de aceite	1
Apagado del sistema de aire acondicionado	1
Baja potencia	2
Deficiencia en sistema de iluminación	1
Descargue del banco de baterías	1
No gira motor.	1
Ruido / Vibración excesiva	1
Ruido en el alternador	1

Fuente: autor.

#### 6.2.7.2 Modos de falla sistema hidrostático

En el sistema hidrostático se encontró un total de seis modos de fallo distintos.

**Tabla 9. Modos de falla sistema hidrostático.**

MODOS DE FALLA SISTEMA DE POTENCIA	CANTIDAD
Alta temperatura en bomba y aceite	1
Alta vibración	1
Baja eficiencia	1
Deficiencia en el frenado / desplazamiento forzado	1
Equipo no frena	1
Fugas externas de aceite	1

Fuente: autor.

#### 6.2.7.3 Modos de falla sistema neumático

Para el sistema neumático se identificaron tres modos de fallas de los cuales 1 se repite.

**Tabla 10. Modos de falla sistema neumático.**

MODO DE FALLA SISTEMA NEUMATICO	CANTIDAD
Baja eficiencia	2
Fugas externas	1

Fuente: autor.

#### 6.2.7.4 Modos de falla tren rodante

En el sistema de tren rodante del equipo, se encontraron cuatro modos de fallas distintos.

**Tabla 11. Modos de falla tren rodante.**

MODO DE FALLA TREN RODANTE	CANTIDAD
Daño en las barras	1
Daño en los amortiguadores	1
Desviación de parámetros	1
Fugas por los racores o cilindros	1

Fuente: autor.

#### 6.2.7.5 Modos de falla sistema de control/mando

En este sistema al igual que el anterior, se encontraron un total de cuatro modos de fallas diferentes.

**Tabla 12. Modos de falla sistema de control/mando.**

MODO DE FALLA SISTEMA DE CONTROL/MANDO	CANTIDAD
Desviación de parámetro. Mal contacto	1
Lectura anormal de instrumento	1
No acciona el mando	1
No se detiene/opera al momento de dar la orden. No acciona al momento de dar la orden.	1

Fuente: autor.

#### 6.2.7.6 Carrocería

En la carrocería de la locomotora, se encontraron tres modos de falla, en el cual, el modo de falla general, se tienen en consideración todo lo referente a los accesorios y elementos como son: asiento, cinturón, pedales, palancas, espejos laterales, retrovisores, pintura, tapicería, escalones de acceso a la cabina.

**Tabla 13. Modos de falla en carrocería.**

MODO DE FALLA CARROCERIA	CANTIDAD
General	1
Indicaciones erróneas	1
No cierra puertas	1

Fuente: autor.

#### 6.2.7.7 Modos de falla instrumentación general del sistema

Se encontraron e identificaron un total de cinco modos de falla distintos en este sistema.

**Tabla 14. Modos de falla sistema hidráulico general**

MODOS DE FALLOS ENCONTRADOS	CANTIDAD
Caída de presión en el sistema	3
Desviación de parámetros. Apertura de contactos.	2
Disparo del equipo por alta presión	3
Lectura anormal de instrumento	1
Señal errónea. Sin señal.	3

Fuente: autor.

#### 6.2.8 Efectos y su puntuación (severidad)

Para cada efecto señalado se le asignó una puntuación de 1 a 10. Uno si no tiene ningún efecto y 10 si el efecto es muy grave. Como orientación para la asignación de dicha puntuación se toma los criterios de la tabla 15:

**Tabla 15. Tabla de puntuación de la severidad.**

SEVERIDAD [G]	CRITERIO	VALOR
<u>Muy Baja:</u> Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, la planta ni se daría cuenta del fallo.	1
<u>Baja:</u> Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente a la planta. Probablemente, se observaría un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
<u>Moderada:</u> Defectos de Relativa importancia	El fallo produce cierto malestar en la planta. Se observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6
<u>Alta</u>	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de problema elevado.	7-8
<u>Muy Alta</u>	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

Fuente: Confipetrol CLM.

### 6.2.9 Causas y su puntuación (probabilidad de ocurrencia)

Para la evaluación de las causas y la probabilidad de que están que presente, como orientación se tomó los criterios de la tabla 15:

**Tabla 16. Tabla de puntuación de la ocurrencia o probabilidad.**

PROBABILIDAD [P]	CRITERIO	VALOR
<u>Muy Baja</u> Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
<u>Baja</u>	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
<u>Moderada</u>	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida de componente/sistema	4-6
<u>Alta</u>	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado	7-8
<u>Muy Alta</u>	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	9-10

Fuente: Confipetrol CLM.

### 6.2.10 Detección y su puntuación

Para la detección a partir de las distintas tareas de mantenimiento como resultados del análisis FMECA aplicado a la locomotora Translok, se tomó como orientación la siguiente tabla:

**Tabla 17. Tabla puntuación de la detención.**

DETECTABILIDAD [D]	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El efecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
<u>Alta</u>	El efecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori	2-3
<u>Mediana</u>	El efecto es detectable y posiblemente no llegue a ocasionar un accidente importante	4-6
<u>Pequeña</u>	El efecto es detectable y posiblemente no llegue a ocasionar un accidente importante	7-8
<u>Improbable</u>	El efecto no puede detectarse. Casi seguro que conducirá a un accidente importante	9-10

Fuente: Confipetrol CLM.

### 6.2.11 Numero de prioridad de riesgo NPR

Los resultados obtenidos del producto de la severidad, la probabilidad y la detención nos indica el riesgo que implica las diferentes causas o consecuencias de los modos de falla en la locomotora si llegase a producirse, clasificando este riesgo mediante el cálculo del índice de criticidad; que de acuerdo con la tabla 17 se tiene que:

Tabla 18. Criterio de criticidad.

RANGO RPN	CRITICIDAD	CRITERIO
1 < RPN < 18	L	<b>LOW.</b> Riesgo menor de falla. Equipo Crítico. Equipo de Propósito General.
18 < RPN < 64	M	<b>MEDIUM.</b> Riesgo Medio ó moderado. Equipo Esencial. Requiere una evaluación del diseño ó caracterización del proceso para reducir el valor del RPN.
64 < RPN	H	<b>HIGH.</b> Riesgo Alto. Equipo Crítico: Requiere revisiones detalladas al diseño y ó proceso para reducir el valor del RPN.

Fuente: Confipetrol CLM.

Con el índice de criticidad asignado a cada NPR calculado, se obtuvo un total de catorce causas de falla consideradas como de riesgo menor, sesenta causas de falla de riesgo medio o moderado y trece causas de falla catalogadas en riesgo alto.

### 6.2.12 Sistemas críticos

De acuerdo al criterio de riesgo dado por el grupo de trabajo a cada uno de los efectos productos del modo de fallo si llegase a suceder por las diferentes causas estudiadas y analizadas, se encontraron un total de cuatro subsistemas y/o componentes críticos, teniendo como referencia la tabla anterior (criterio de criticidad). Estos son: motor diésel, bomba hidráulica y motores hidráulicos del equipo, ya que por la función que realizan dentro de la locomotora, si llegase a producirse los diferentes modos de fallo se afectaría el rendimiento del equipo, generando riesgo no solo a la integridad de los demás componentes, sino a la integridad humana y ambiental.

### 6.3 TAREAS DE MANTENIMIENTO RESULTANTES DEL ANALISIS FMECA

En la tabla 19 se observan las tareas adicionales para las diferentes rutinas, el sistema al que aplica, su frecuencia y especialidad:

**Tabla 19. Tareas adicionales resultado del análisis FMECA.**

SISTEMA	TAREA	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
POTENCIA	Verificar tensión y estado de las correas (bomba agua, compresor aire acondicionado) Cambiar si es necesario	250 horas	Automotriz
POTENCIA	Realizar inspección tubería de alimentación de combustible o cambio si lo requiere	250 horas	Automotriz
AIRE ACON.	Revisión de mangueras sistema aire acondicionado, cambiar si es necesario	250 horas	Aires y Elect.
AIRE ACON.	Limpieza condensador y evaporador del aire acondicionado	250 horas	Aires y Elect.
AIRE ACON.	Verificar tensión y estado de las correa del compresor aire acondicionado	250 horas	Aires y Elect.
AIRE ACON.	Revisión filtros, limpiar o cambiar si es necesario	250 horas	Aires y Elect.
POTENCIA	Toma de voltaje de salida en el alternador. Revisar línea de excitación. Revisar sensor de carga (cambiar si es necesario)	250 horas	Automotriz
POTENCIA	Ajustar o cambiar correa alternador si es necesario	250 horas	Automotriz
POTENCIA	Revisar banco de batería, voltaje y nivel del electrolito (Cargar si es necesario)	250 horas	Automotriz
POTENCIA	Revisión del cableado, limpieza / ajuste o cambio de bornes	250 horas	Automotriz
POTENCIA	Limpieza y ajuste de conexiones en el sistema de arranque	250 horas	Automotriz
POTENCIA	Revisión y prueba de termostato (Baño maría)	500 horas	Automotriz
POTENCIA	Revisión y limpieza en contactos de los fusibles y relés sistema eléctrico	500 horas	Automotriz

POTENCIA	Desmante de motor de arranque para mantenimiento preventivo	500 horas	Automotriz
TREN RODANTE	Ajuste de pernos de las conexiones de las barras de tracción	500 horas	Automotriz
POTENCIA	Revisión en los puntos de presión (Alto-Baja)	1000 horas	Aires y Elect.
POTENCIA	Revisar estado de los soportes del motor, ajustar o cambiar si es necesario	1000 horas	Automotriz
INST. GENERAL	Desmante switch TSH del sistema de aceite para verificar funcionamiento / calibración esquema general	120 días	Instrumentación
INST. GENERAL	Revisión bobinas solenoides y medición de corrientes esquema general	120 días	Instrumentación
INST. GENERAL	Simulación de transmisores de presión sistema hidráulico esquema general	120 días	Instrumentación
INST. HIDROSTATICO	Revisión bobinas solenoides y medición de corrientes sistema hidráulico - compresor hidrostático	120 días	Instrumentación
INST. COMPRESOR	Simulación de transmisores de presión sistema hidráulico - compresor hidrostático	120 días	Instrumentación
INSTRUMENTACION	Revisión bobinas solenoides y medición de corrientes - Sistema neumático	120 días	Instrumentación
INST. GENERAL	Simulación de transmisores de presión sistema neumático	120 días	Instrumentación

Fuente: autor.

En la tabla 20 se indican las diferentes actividades diarias como estrategia del mantenimiento autónomo al equipo, de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis FMECA:

**Tabla 20. Tareas diarias resultados del análisis FMECA.**

<i>SISTEMA</i>	<i>TAREA</i>	<i>FRECUENCIA</i>	<i>ESPECIALIDAD</i>
POTENCIA	Revisar nivel líquido Refrigerante	Diaria	Operación
POTENCIA	Verificar fugas en mangueras y bomba de agua	Diaria	Operación
POTENCIA	Ajustar tapa de radiador	Diaria	Operación

POTENCIA	Verificar fugas por el retenedor de la bomba de agua	Diaria	Operación
HIDROSTATICO	Inspección de la presión hidráulica	Diaria	Operación
HIDROSTATICO	Verificación de fugas en manguera y racores	Diaria	Operación
HIDROSTATICO	Inspección nivel de aceite hidráulico	Diaria	Operación
HIDROSTATICO	Verificación del ventilador enfriador de aceite	Diaria	Operación
HIDROSTATICO	Inspección sistema hidráulico para detectar fugas	Diaria	Operación
HIDROSTATICO	Inspección visual fugas en mangueras	Diaria	Operación
NEUMATICO	Revisión por fugas en válvulas de corte	Diaria	Operación
NEUMATICO	Inspección para detectar fugas de aire en el sistema	Diaria	Operación
NEUMATICO	Revisión agua de acumuladores-drenar si es necesario	Diaria	Operación
NEUMATICO	Revisión fugas por conectores	Diaria	Operación
TREN RODANTE	Revisión de fugas por racores	Diaria	Operación
SISTEMA CONTROL	Verificación/chequeo de control, limpieza	Diaria	Operación
CARROCERIA	Verificación de espejos laterales, asiento del conductor, luces de advertencia, limpia parabrisas	Diaria	Operación

Fuente: autor.

Para la ejecución de las actividades diarias de mantenimiento al equipo se diseñó un formato de inspección pre-operacional en el cual se describan las actividades diarias durante la semana (lunes a domingo). Por teoría de mantenimiento el tiempo estimado para la ejecución de tareas diarias de inspección se define entre 25 y 30 minutos diarios (ver anexo 1).

Como mejora de la excelencia operativa de las actividades de mantenimiento, se elaboró un manual de trabajos de cuidado y mantenimiento del motor diésel ya que el resultado del análisis en cuestión, muestra que hace parte de los sistemas críticos (Ver anexo 3).

## 7. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

En este capítulo se tiene en cuenta cada uno de los objetivos del proyecto realizando el análisis de resultados.

### 7.1 ANALISIS DEL RESULTADO DE LA EVALUACION DEL MANTENIMIENTO ACTUAL

Esta fase del proyecto se inició con el reconocimiento del equipo con una inspección visual de su estado actual, y su estado de operación (si estaba operando con normalidad o presentaba inconvenientes para realizar su función), las condiciones medioambientales de trabajo, etc. Posterior a la observación y reconocimiento se empezó a trabajar en la base de datos para adquiriendo y recopilando toda la información disponible sobre el equipo (datos técnicos, antecedentes de mantenimiento, historial de fallas, manuales de fabricante) esto a través del software de gestión de mantenimiento.

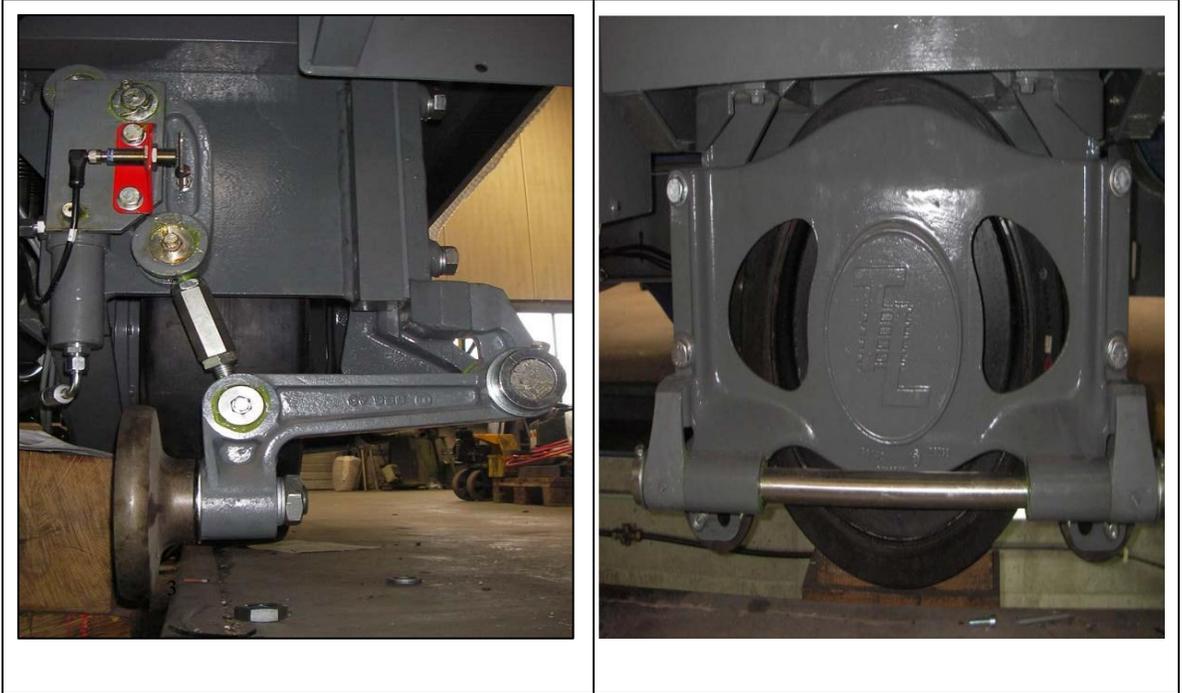
Figura 11. Vista general de la locomotora



Fuente: autor

El exterior y carrocería de la locomotora se encontró en buen estado (luces, pintura, espejos).

**Figura 12. Tren rodante**



Fuente: autor.

El sistema de tren rodante, se encontró en óptimas condiciones, el neumático sin grietas ni picaduras, guías, porta guías, rueda y tensor en buenas condiciones.

**Figura 13. Sistema de potencia.**



Fuente: autor

No se evidenciaron signos de falla en el motor diésel, compresores, cilindros de elevación de la cabina y en las diferentes mangueras y conectores de los sistemas hidráulicos y neumático.

**Figura 14. Filtros aceite motor, combustible y cartucho de combustible.**



Fuente: autor.

Se observan limpios y sin signos de contaminación.

**Figura 15. Cilindro de elevación y enfriador del aceite hidráulico.**



Fuente: autor.

El cilindro de elevación de la cabina se encontró con signos de corrosión y contaminación. El enfriador del aceite hidráulico se encontró en buenas condiciones sin indicaciones de falla.

**Figura 16. Motor hidráulico y compresor Knoor.**



Fuente: autor.

Estos dos componentes se encontraron en buen estado, operando normalmente.

**Figura 17. PLC y módulos transistores.**



Fuente: autor.

Estos componentes del sistema de instrumentación se observaron en buen estado sin evidencia de contaminación.

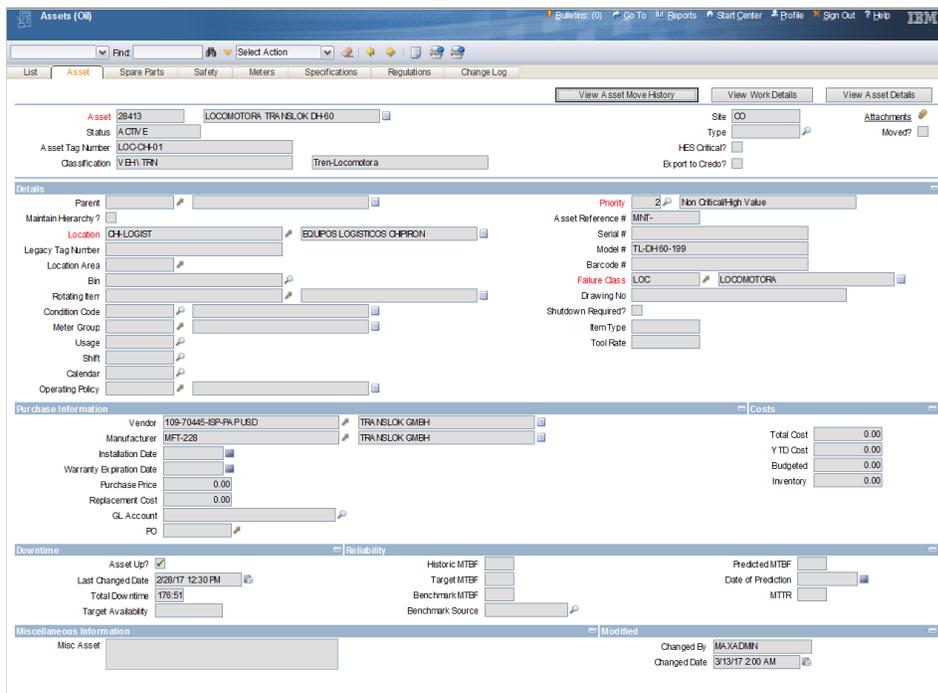
**Figura 18. Display control remoto/mando.**



Fuente: autor.

El display se encontró en buen estado, todos los componentes que lo conforman estaban funcionando y calibrados. El control remoto en buen estado, sus mandos operando sin desviaciones y falla.

**Tabla 21. Datos técnicos del equipo en el CMMS.**



Fuente: Máximo propiedad de OCCIDENTAL DE COLOMBIA

Una de los mayores inconvenientes referentes a la locomotora es la velocidad máxima alcanzada, la cual está en el rango de los 12 Km por hora, esto teniendo consecuencia en los tiempos de entrega y transporte de equipos e insumos para el trabajo en la plataforma petrolera.

### 7.1.1 Programa actual de mantenimiento

**Figura 19. Mantenimiento preventivo en el CMMS.**

The screenshot displays the 'Preventive Maintenance (Oil)' interface, showing a list of records. The table below represents the data shown in the screenshot:

PM #	Description	Status	Job Plans	Location	Asset	Asset Tag Number	Area	Work Type
AUT-VEH-28413	MANITTO MEC LOCOMOTORA TRANSLOK	ACTIVE	AUT-LOC-1-2		28413	LOC-CH-01	CH-WELL	PMT
INS-VEH-1-28413	MANITTO INS LOCOMOTORA TRANSLOK	ACTIVE	INS-LOC-1-1		28413	LOC-CH-01	CH-WELL	PMT

Fuente: Máximo propiedad de OCCIDENTAL DE COLOMBIA.

Como se observa en la figura 17, aquí se obtiene toda información referente a las diferentes rutinas actuales de mantenimiento preventivo que se ejecuta en el equipo por parte del personal automotriz e instrumentación.

**Figura 20. Orden del mantenimiento preventivo mecánico en el CMMS.**

Fuente: Máximo propiedad de OCCIDENTAL DE COLOMBIA.

En esta ficha (figura 18) se encuentra todo lo referente a los diferentes mantenimientos preventivos que se ejecutan en el equipo, el cual es programado de acuerdo a la secuencia de los *Job Plan* establecida como se observa en la figura 19.

**Figura 21. Secuencia del *Job Plan*.**

Job Plan	Description	Condition for Work	Reason for Work	Function	Sequence
AUT-LOC-1-2	MANTTO MEC 250 HRS LOCOMOTORA TRANSLOK				1
AUT-LOC-2-1	MANTTO MEC 500 HRS LOCOMOTORA TRANSLOK				2
AUT-LOC-3-1	MANTTO MEC 1000 HRS LOCOMOTORA TRANSLOK				4
AUT-LOC-4-1	MANTTO MEC 4000 HRS LOCOMOTORA TRANSLOK				16

Fuente: Máximo propiedad de OCCIDENTAL DE COLOMBIA.

Como se observa en la elipse roja de la figura 19, es la secuencia de los diferentes *Job Plan* aplicado a la locomotora Translok.

Las actividades de mantenimiento mecánico son ejecutadas con una frecuencia de horas de operación cada 250, 500, 1000 y 4000 horas.

Las actividades que se encuentran en el Job Plan de la rutina de 250 horas, son en general actividades de inspecciones y ajustes, algunas de estas actividades se mencionan a continuación:

- Verificación de niveles de aceite.
- Verificar desgastes en ruedas, grietas u otro tipo de deficiencia de las llantas.
- Verificar estado de mangueras hidráulicas.
- Limpiar ventanas y verificar la condición de limpia parabrisas, silla del conductor, puertas y espejos retrovisores.
- Revisar estado de filtros de aceite del motor y filtro de aire.
- Verificar condición de las barras de dirección y ajustes de pernos.

Para la rutina de mantenimiento mecánico cada 500 horas de uso, se realizan en mayor parte actividades de inspección y verificación, también se realiza cambio de filtros y aceite del motor e hidráulico. Algunas de las actividades que no se encuentran en la rutina de mantenimiento de 250 horas son:

- Estado de estabilizadores
- Verificación de fugas en sistema de alimentación de la suspensión.
- Verificación del chasis.
- Cambio de pre filtro de combustible y filtro de combustible.
- Cambio del filtro hidráulico del motor.
- Verificación de la empaquetadura de la culata del motor.

Para la rutina de mantenimiento preventivo mecánico cada 1000 horas de uso, se ejecutan las mismas actividades incluidas en el *Job Plan* de la rutina de mantenimiento mecánico cada 500 horas de uso.

En la rutina de mantenimiento preventivo mecánico cada 4000 horas de uso, es la rutina mayor que se ejecuta a la locomotora Translok, en la cual se realizan las siguientes actividades más relevantes:

- Verificar que la pintura este en buenas condiciones, remover y pintar nuevamente si es requerido.
- Cambiar el aceite hidráulico de la caja de engranajes de los motores hidráulicos de alta presión de las ruedas.
- Cambio de ruedas.

Para la rutina de mantenimiento preventivo de la instrumentación de la locomotora, se programa con otra orden de mantenimiento preventivo como se observa en la figura 20.

**Figura 22. Orden de mantenimiento preventivo instrumentación en el CMMS.**

The screenshot shows the 'Preventive Maintenance (PM)' form in the IBM CMMS. The form is titled 'MANITO INS LOCOMOTORA TRANSLOK' and is currently in 'ACTIVE' status. The 'Details' section includes fields for Location, Legacy Tag Number, Asset (28413), Asset Tag Number (LOC-CH-01), and Route. The 'Work Order Information' section shows Job Plan (INS-LOC-1-1), Work Type (PM), Work Order Status (PLAN), and Work Category (GM). The 'Resource Information' section lists Finance Project (1185193) and Finance Task (01040105). The form also includes fields for Last Start Date, Last Completion Date, and Earliest Next Due Date.

Fuente: Máximo propiedad de OCCIDENTAL DE COLOMBIA.

Para la ejecución de este mantenimiento preventivo a la instrumentación de la locomotora se lleva a cabo por tiempo y no por horas de operación como en la de mantenimiento preventivo mecánico. Su frecuencia de ejecución es cada cuatro meses lo que vendría siendo cada 120 días.

**Figura 23. Frecuencia ejecución de la rutina de instrumentación.**

The screenshot shows the 'Preventive Maintenance (PM)' form in the IBM CMMS, specifically the 'Frequency' section. The 'Time Based Frequency' tab is selected, and the 'Frequency' field is set to '120' with 'DAYS' as the unit. The 'Frequency Units' dropdown is also visible. The form also includes fields for Alert Lead (Days) and Estimated Next Due Date (6/28/17).

Fuente: Máximo propiedad de OCCIDENTAL DE COLOMBIA.

Las actividades que se desarrollan en esta rutina comprenden toda lo referente a la instrumentación del sistema hidráulico, neumático, compresor hidrostático, sensores de proximidad, pulsadores ESD, cajas de conexión y control remoto, estas actividades son de verificación, inspección y chequeo.

### 7.1.2 Antecedentes de mantenimiento e históricos de falla

En las distintas intervenciones correctivas (correctivo planeado, correctivo reactivo), se encontró un total de diez fallas durante el periodo establecido para el análisis de antecedentes. El 80% de las fallas corresponde a problemas en diferentes componentes del sistema de control y mando, representando el mayor número de intervenciones, costos por reparaciones, cambios y tiempo de inactividad del equipo. Concluyendo que el principal problema que afecta los componentes de este sistema son las condiciones medioambientales, ya que la región donde opera la locomotora está ubicada en el corazón de un pantano o estero, donde la contaminación por polvo y partículas biológicas de la zona es la principal causa de los problemas en este sistema.

Debido a que para la organización de la información y estandarización de fallas se cuenta en el CMMS con el código de fallas ISO 14224, norma internacional que brinda una base para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación transporte de petróleo y gas natural, con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias, estos códigos no aplican totalmente a la locomotora, porque en los reportes de falla se le asignaba un código de falla que no coincidía con el problema original y el ítem mantenible no era por el que se habría intervenido el equipo; convirtiéndose en un problema para la identificar que componente falló y por qué, por lo que se recurrió a los técnicos instrumentistas para lograr así la identificación de los ítems mantenibles que no se encuentran en el código ISO 14224 y así se ajustaron correctamente.

## 7.2 RESULTADO DEL ANALISIS FMECA

Posterior a la recopilación y análisis estadístico del histórico de fallas, se empezó a trabajar en el desarrollo de la metodología FMECA como herramienta para el inicio de un mantenimiento centrado en confiabilidad. A continuación se presenta cada uno de los pasos para la elaboración del análisis FMECA.

### 7.2.1 Definición del proyecto

Se definió en qué consistía, y cuál era el objetivo de aplicar la metodología FMECA, siendo la primera vez que se aplicaba esta técnica a la locomotora Translok, la cual es susceptible a cambios antes de ser implementada dentro del programa de mantenimiento.

### 7.2.2 Consideraciones para el análisis FMECA

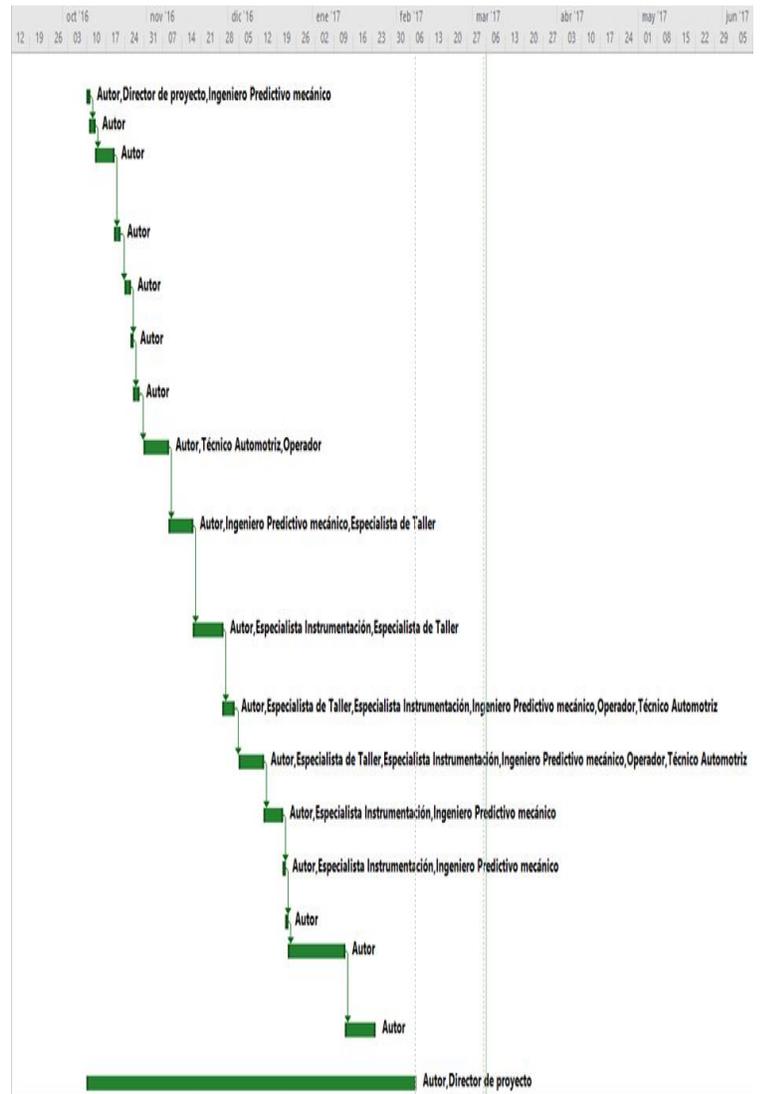
Para el análisis se usaron los planes actuales de mantenimiento, los antecedentes e históricos de falla del equipo. Los manuales de fabricante sirvieron como apoyo para la identificación de los sistemas que conforman la locomotora, así como los subsistemas y componentes, obteniendo los siguientes resultados (ver anexo 2).

### 7.2.3 Equipo de trabajo FMECA

De acuerdo a su especialidad y disponibilidad de tiempo, cada miembro del grupo apoyo la elaboración de análisis FMECA, logrando desarrollar exitosamente la metodología. Llevando a cabo las siguientes reuniones de acuerdo al Project elaborado:

**Figura 24. Project proyecto FMECA.**

Id	ACTIVIDAD
1	Familiarización del proyecto
2	Reconocimiento del equipo
3	Búsqueda de antecedentes de mantenimiento e historial de fallas en la base de datos del CMMS
4	Recopilación de la información en la base de datos en Excel
5	Elaboración de tablas y gráficas
6	Formación del equipo FMECA
7	Diseño de la hoja de trabajo FMECA
8	Funciones del equipo y desglose de sistemas, y subsistemas y/o componentes
9	Identificación de modos de fallo Sistemas de potencia, hidrostático, neumático, tren rodante y carrocería
10	Identificación de modos de fallo sistema de control / mando e instrumentación de la locomotora
11	Estimación del efecto y puntuación
12	Identificación de las posibles causas o mecanismo de fallo y su puntuación
13	Asignación de actividad de mantenimiento, recursos y su puntuación
14	Cálculo del número de prioridad de riesgo y su criticidad
15	Elaboración del FMECA
16	Elaboración del manual de trabajos de cuidado y mantenimiento del motor diésel y formato pre uso de revisión diaria
17	Tabla de apoyo de fallos, identificación del fallo y medio para corregir al motor diésel
18	Elaboración del libro



Fuente: autor.

### 7.2.4 Diseño de la hoja de trabajo

Para la elaboración de la hoja de trabajo FMECA, se presentaron diferentes propuestas de diseño elaborados en Excel, optando por el más simple, y de fácil entendimiento, ya que no existe un formato estandarizado, pero si debe contar con una información mínima:

- Nombre del equipo o elemento del sistema que se está analizando
- La función que realiza el equipo o elemento del sistema
- Número de identificación del equipo
- Modos de falla del equipo
- Causas de la falla
- Efectos de la falla sobre el sistema
- Métodos de detención de la falla
- Severidad de los efectos producidos por la falla.

Figura 25. Hoja de trabajo FMECA sistema tren rodante.

HOJA DE TRABAJO FMECA									
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA									
ELABORADO POR:	EQUIPO:	FUNCION:	FMECA No. 1		LOGO DE LA EMPRESA				
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA							
FECHA:	UBICACIÓN:	COD: LOC-CHI-01	HOJA 12 DE 25						
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON								
SISTEMA TREN RODANTE	SUBSISTEMA: DIRECCION	FUNCION: Orientar las ruedas							
MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Daño en las barras	Mal funcionamiento. Sin dirección.	Desajuste pernos dirección. Falla en barras de la dirección	5	3	4	60	Verificar la condición de las barras de la dirección, cambiar o reparar si es requerido	250 horas	Automotriz
			4	3	5	60	Verificar el ajuste de los pernos del cilindro de la dirección. Verificar que no existan fugas hidráulicas	250 horas	Automotriz

Fuente: autor.

### 7.2.5 Función del equipo

Se determinó que la función del equipo en campo es transportar personal, equipos de perforación y de mantenimiento de pozos, este se engancha con un *flat car*, que es una pieza de ferrocarril o de tren (plataforma). Las funciones de los diferentes subsistemas y/o componentes se registraron en las diferentes páginas de la hoja de trabajo FMECA. Las funciones se definen según el objeto de diseño de cada una de las piezas y componentes de la locomotora y son las siguientes:

**Tabla 22. Funciones de los distintos subsistemas y/o componentes que conforman la locomotora.**

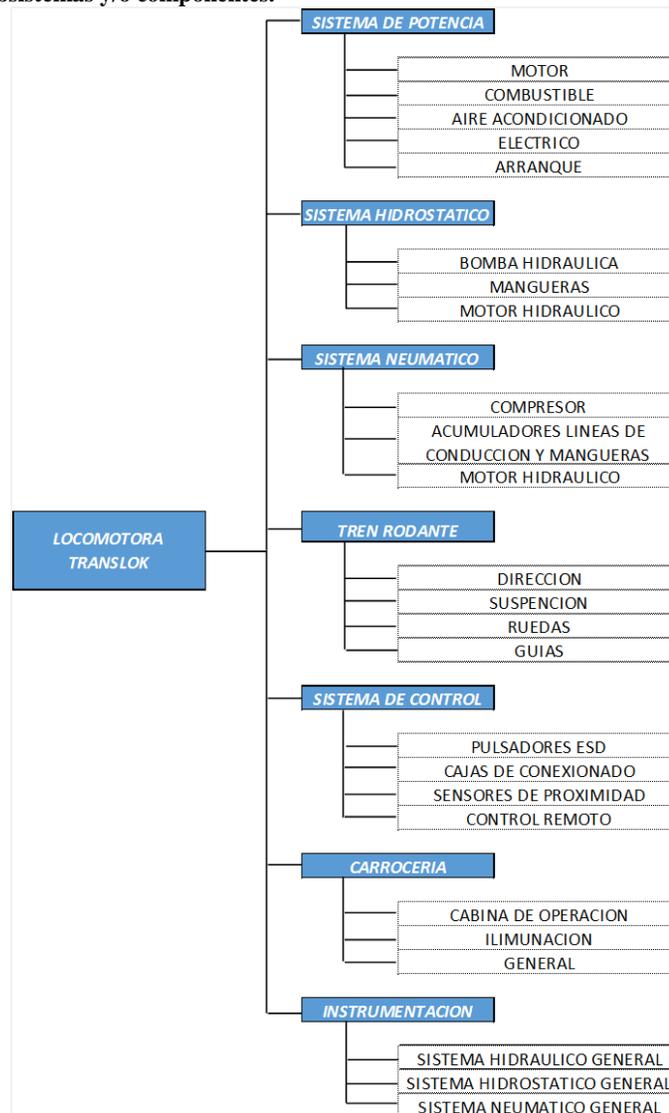
Subsistema y/o componente	Función
Motor diésel	Entregar potencia a 126 hp. Transformar la energía química en energía mecánica
Sistema de combustible	Generar energía por medio del proceso de combustión
Compresor aire acondicionando	Comprimir el fluido refrigerante para producir transferencia de calor
Eléctrico	Suministrar energía necesaria para arrancar el motor, accesorios eléctricos, instrumentos, luces e indicadores
Arranque	Regular la tensión y la corriente durante el arranque y parada del motor
Bomba hidráulica	Entregar potencia al sistema hidráulico. Suministrar caudal de aceite a presión requerida.
Mangueras	Transportar fluidos
Motor hidráulico	Convertir la presión hidráulica o energía hidráulica en energía mecánica
Compresor knoor	Suministrar energía al sistema neumático de frenos de aire del vagón de carga
Acumuladores líneas de conducción y mangueras	Acumular energía. Compensación de fugas de aceite, de volumen. Amortiguar pulsaciones de presión
Dirección	Orientar las ruedas
Suspensión	Mantener el peso de la locomotora y su estabilidad. Absorber impactos
Ruedas	Soportar peso. Transmitir potencia. Rodar. Guiar. Amortiguar.
Guías	Mantener la locomotora en la vía
Pulsadores ESD	Accionar mando
Cajas de conexionado	Proteger cables y empalmes
Sensores de proximidad	Detectar objetos y enviar señal.
Control remoto	Accionar. Transmitir señales
Cabina de operación	Resguardar tripulantes. Operar la locomotora
Iluminación	Mejorar la visibilidad. Indicar alarmas
General	Seguridad, confort.
Instrumentación hidráulico general	Medir presión, temperatura y niveles de fluidos
Instrumentación hidrostático general	Medir presión, temperatura y niveles de fluidos. Enviar señales de comportamiento del equipo
Instrumentación neumático general	Medir presión, temperatura y niveles de fluidos. Enviar señales de comportamiento del equipo

Fuente: autor.

## 7.2.6 Sistemas y subsistemas y/o componentes

En este caso el nivel de desagregación se basó en la información y datos disponibles. Se tomó como sistema menor a la locomotora ya que forma parte de un sistema de transporte el cual sería el sistema mayor. Se identificaron un total de siete sistemas menores. Los subsistemas y/o componentes fueron un total de veinticinco. Como se muestra a continuación:

Figura 26. Sistemas, subsistemas y/o componentes.



Fuente: autor.

Lo que permitió conocer las piezas que componen la totalidad del equipo.

### 7.2.7 Modos de falla

El modo de falla es la manifestación que se observa en el equipo después de que ocurra el mecanismo o causa de la falla. Se encontraron un total de cuarenta y dos modos de falla repartidos en los diferentes sistemas y subsistemas y/o componentes de la locomotora Translok, algunos de los cuales se repiten, de tal manera que se obtuvieron un total de treinta y uno modos de falla distintos. Los modos de fallo encontrados son generales e internos del equipo, pueden existir otros modos de fallo causados por factores externos a la operación.

Algunos de los modos de fallo más generales del equipo son:

- Baja potencia
- Baja eficiencia
- Altas temperaturas en cabina
- Ruidos
- Fugas
- Desviación de parámetros
- Lecturas anormales de instrumentos
- Señales erróneas
- Equipo no frena
- Alta vibración

Los factores externos que pueden generar algún modo de falla en el equipo se pueden presentar por:

- Factores biológicos (animales, temperatura ambiente, condiciones del terreno)
- Factores humanos (inadecuada operación, procedimiento de mantenimiento defectuoso, etc.)

Por ejemplo, un animal volador (murciélago o ave) puede chocar contra el parachoques de la locomotora lo que ocasionaría un problema de operación y visibilidad del maquinista.

Cuando la locomotora se encuentre en *stan by*, algún roedor u otro animal puede deteriorar una manguera (mordiéndola) causando fugas.

Un procedimiento inadecuado de mantenimiento podría generar diferentes modos de fallo, por ejemplo inadecuada limpieza o cambio de filtros, cambios de mangueras con ángulos inadecuado, torque inadecuado en pernos de la rueda,

operación del equipo con bajo nivel de refrigerante y aceite hidráulico y de motor, etc.

#### 7.2.8 Efectos de la falla

Para cada efecto de la falla se asignó una puntuación teniendo como referencia los criterios de severidad que se manejan dentro de la empresa. Estos efectos son una estimación de lo que se produce si llegase a ocurrir el modo de fallo. Los de mayor severidad fueron:

##### Sistema de potencia

- Mal funcionamiento. La unidad trabaja forzosamente
- Emisiones color azul
- Mal funcionamiento. Baja potencia. Ruido extraño
- Deficiencia en el encendido. Luces no encienden. Unidad fuera de servicio
- Daño de rodamientos alternador
- No gira el motor

##### Sistema hidrostático

- Mal funcionamiento. La unidad trabaja forzosamente. Puede detener el sistema
- Mal funcionamiento
- Mal funcionamiento. La unidad trabaja forzosamente. Puede detener el sistema. Pérdida de nivel
- La unidad trabaja forzosamente. Fuera de parámetros

##### Tren rodante

- Mal funcionamiento. Sin dirección
- Descarrilamiento

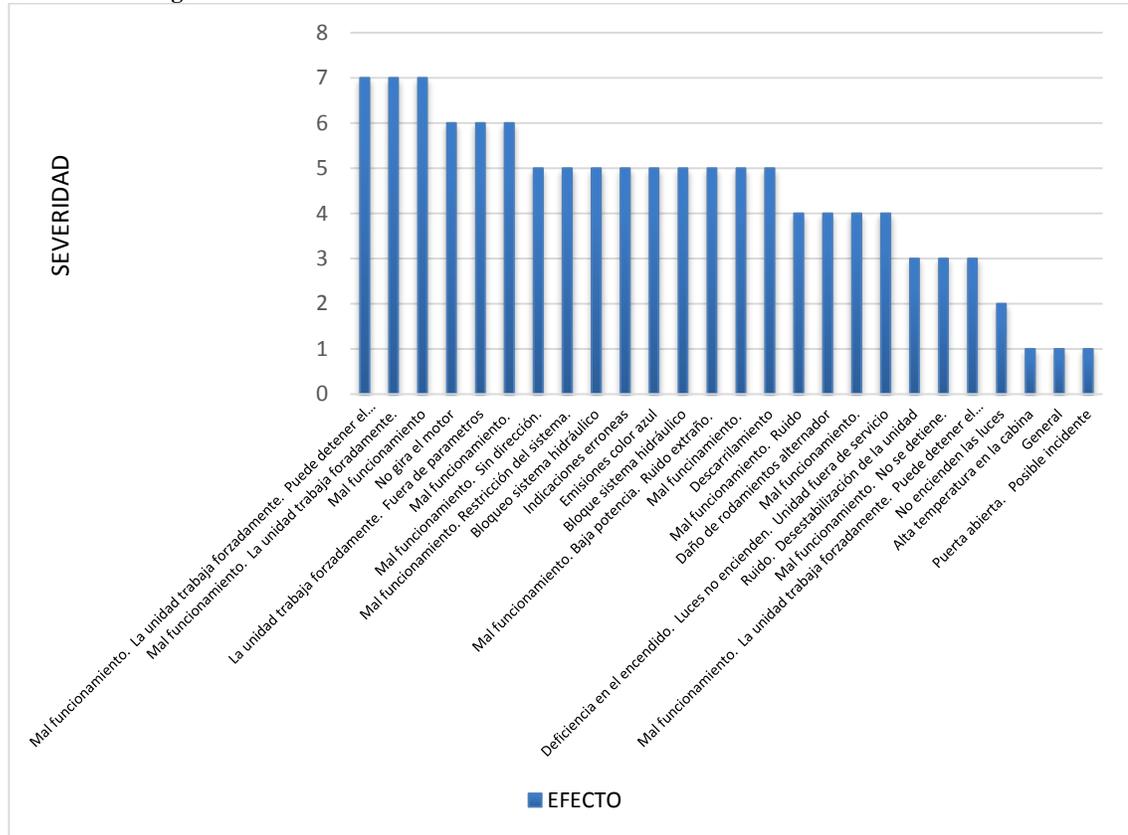
##### Sistema de control/mando

- Indicaciones erróneas

##### Instrumentación general

- Mal funcionamiento.
- Indicaciones erróneas
- Mal funcionamiento. Restricción del sistema.
- Bloqueo sistema hidráulico

**Gráfica 5. Histograma severidad del efecto.**

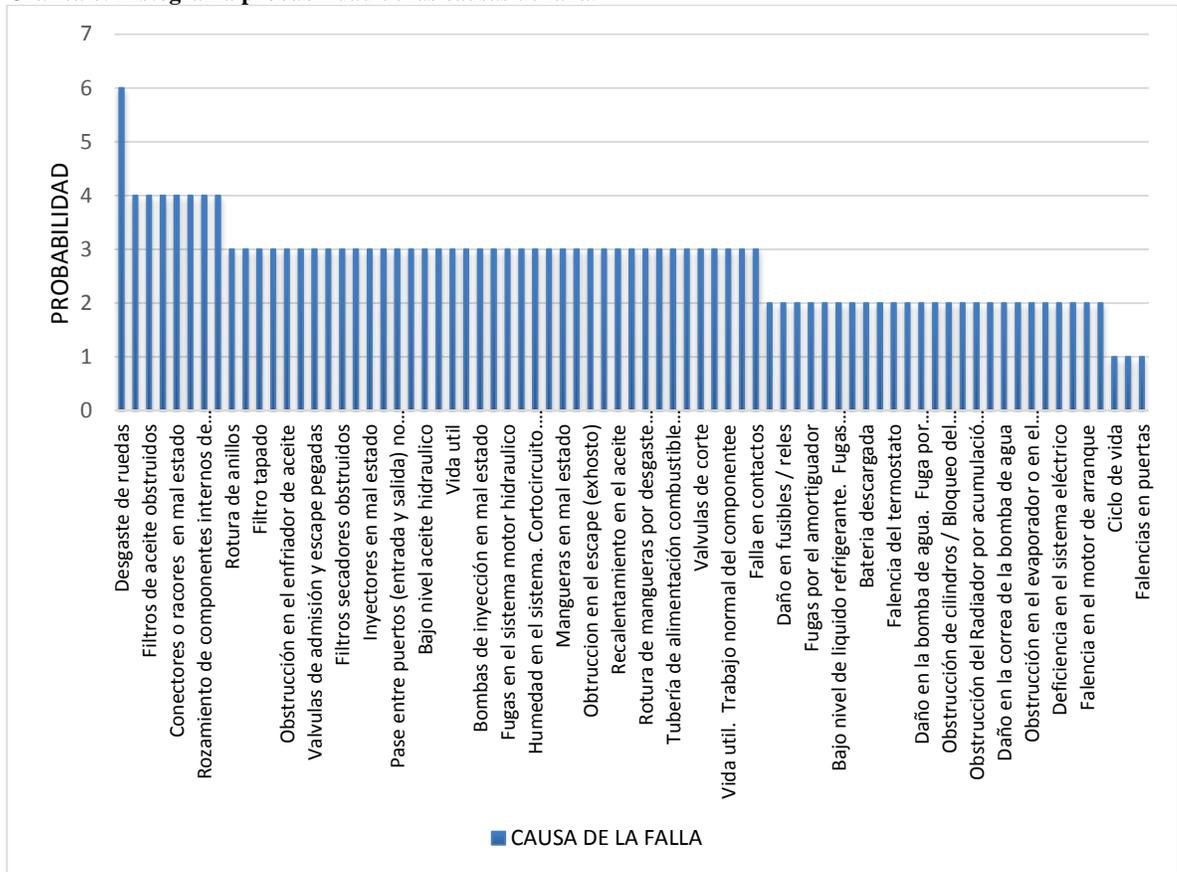


Fuente: autor.

### 7.2.9 Causas de la falla

Las causas de las fallas o mecanismos de fallo son los eventos que conducen al fallo funcional, los cuales se manifiestan con un modo de fallo. Un total de ochenta y seis causas de falla se tuvieron en cuenta en el análisis. Su puntuación viene dado por el criterio de probabilidad de ocurrencia del mecanismo de fallo, criterio que se maneja internamente en la empresa.

**Gráfica 6. Histograma probabilidad de las causas de falla.**



Fuente: autor.

### 7.2.10 Detención y su puntuación

Las tareas de mantenimiento como resultado del análisis FMECA, son aquellas que junto a las actuales permiten detectar anomalías que pudieran de algún modo provocar un evento indeseado en la operación del equipo. La puntuación de la detención fue determinada siguiendo el ejemplo de la tabla 17 del capítulo 6 de este documento. Estas tareas adicionales se incluirán una vez sea aprobado en su totalidad el proyecto por parte del cliente de la empresa, por el momento se quedara en estudio para futuros proyectos de mejoras y optimizaciones. Las tareas resultantes del analisis FMECA que no se encuentran en los *Job plan* actuales se muestran en el capítulo 6, subcapítulo 6.3 de este documento.

### 7.2.11 Número de prioridad de riesgo y criticidad

La multiplicación de la severidad, la probabilidad y la detención dan como resultado el número de prioridad de riesgo *NPR*. En los sistemas evaluados se obtuvieron tres niveles de criticidad a partir del *NPR* en concordancia con la tabla de criticidad (tabla 18 capítulo 6), estos subsistemas críticos son los que merecen mayor atención y cuidados en el mantenimiento, no obstante, como se evidencia en los historiales de falla, estos subsistemas críticos están por fuera del 80% de las fallas.

Los sistemas de mayor criticidad son:

**Tabla 23. Subsistemas y/o componentes con mayor NPR y criticidad.**

Subsistema/componente	RPN
Bomba hidráulica	140
Motores hidráulicos	120
Motor hidráulico	90
Motor	84

Fuente: autor.

## **7.3 MEJORAS AL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO**

Los resultados del análisis FMECA arrojaron un total de veinticuatro tareas de mantenimiento adicionales al Job Plan actual, además se crearon tareas de inspección diarias como medida preventiva y mejoramiento continuo del mantenimiento del equipo. Solo se realizó el estudio, no se contempla en este proyecto la implementación de las nuevas tareas de mantenimiento.

### **7.3.1 Manual de trabajos de cuidado y mantenimiento**

El resultado de este manual aplicado al motor diésel de la locomotora permitirá aumentar la seguridad y eficiencia de los trabajos de mantenimiento, se desarrolló para el sistema de lubricación, sistema de combustible, sistema de refrigeración, filtro de aire de admisión, transmisión por correa y operación de ajustes (ver anexo 3). Adicional se creó una tabla de fallos del motor diésel como apoyo a la metodología FMECA en las actividades de identificación del origen del fallo y subsanar o corregir el fallo (ver anexo 4).

## 8. CONCLUSIONES

Se logró recopilar la información de antecedentes de mantenimiento e históricos de falla de la locomotora, a través del CMMS de mantenimiento del cliente, extrayendo toda la información del equipo, programación y planeación de las distintas actividades de mantenimiento preventivos, correctivos, proyectos de mejora y otras actividades, aunque en algunos reportes de falla cargados en el CMMS se registraba un componente diferente al que falló, debido al uso de los códigos de falla de la ISO 14224, norma internacional que brinda una base para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación transporte de petróleo y gas natural, con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias, pero no aplicando satisfactoriamente a toda la locomotora.

Como el equipo es complejo y tiene distintos sistemas y componentes, se deben identificar los modos de fallas más generales que se pueden encontrar, incluyendo aquellos modos de falla externos a la operación de la locomotora, como las condiciones ambientales porque son un factor clave para la conservación del equipo, ya que los cambios de filtros (aceite, combustible) se llevan a cabo cada 250 horas y no a las 500 horas como recomendaba el fabricante, debido a que en los históricos de intervenciones por mantenimientos correctivos la gran mayoría de fallas se debe a problemas de contaminación y altas temperaturas en los sistemas de instrumentación y eléctricos del equipo.

Las causas de los distintos modos de falla pueden ser generales como por ejemplo desgaste de cilindros motrices, anillos y pistones del motor, generando un mal funcionamiento del motor diésel, aunque existen causas de fallo más profundas como tolerancias inadecuadas entre pistón y camisas, anillos enfrentados entre otros.

Para la asignación de la severidad del modo de fallo, la probabilidad de ocurrencia y la detención se usó como referencia en la puntuación las distintas tablas y matrices que se manejan internamente en la empresa, además del criterio de los diferentes miembros del grupo de trabajo FMECA, siendo las de mayor número de prioridad de riesgo RPN de acuerdo a la matriz de criticidad, el motor diésel, el sistema hidráulico y neumático de frenos, siendo los más críticos porque si llegasen a producirse estos modos de fallo se afecta la operación normal del equipo.

El proyecto abarcó solo el diseño y desarrollo de la metodología FMECA como propuesta de mejora al programa de mantenimiento actual de la locomotora, su implementación se llevara a cabo siempre y cuando el cliente dé el visto bueno para la modificación y actualización de los *Job Plan* de mantenimiento establecidos en las rutinas de 250, 500, 1000 y 4000 horas.

Al ajustar los tiempos de realización de las diferentes tareas se requiere la adición de horas hombre, quedando pendiente por parte de la empresa su análisis e implementación.

## 9. RECOMENDACIONES

Dado que la metodología AMEF o FMECA es la primera etapa para diseñar un mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, por tanto, es importante que un profesional capacitado y entrenado en RCM sea quien oriente y guíe el grupo de trabajo.

Las acciones de mejoramiento para disminuir la criticidad y el número de prioridad de riesgo se basan en creación de nuevas tareas de mantenimiento ajustables a las condiciones actuales y recomendaciones de fabricante, así como el rediseño o diseño de componentes y piezas más fiables, por lo cual se debe de actualizar la hoja de trabajo FMECA con las nuevas piezas y componentes modificados.

Incluir dentro del análisis FMECA un análisis de vulnerabilidad de componentes y subsistemas para mayor identificación y comprobación de mecanismos que eventualmente pudieran conducir a fallos.

Para un análisis más profundo de la metodología FMECA, realizar un FMECA a cada subsistema de la locomotora o sistemas con el número de prioridad de riesgo más crítico, como por ejemplo al motor diésel enfriado por agua.

Investigar procedimientos que permitan reducir la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de fallos a pesar de los esfuerzos destinados a prevenirlos (Diseños más fiables, políticas de mantenimiento e inspección, etc., como por ejemplo estudios de confiabilidad, análisis estadísticos, tiempos medios, implementación de mantenimiento predictivo como técnica para detectar fallos, estos incluyen: análisis de vibraciones, análisis de aceite, termografía).

Realizar un estudio de los tiempos de intervenciones de mantenimiento preventivo por tiempo PMT, esto con el fin de verificar si las actividades de mantenimiento se están ejecutando para el tiempo en que fueron programadas.

Extender el desarrollo de la metodología a demás equipos catalogados como críticos de atención inmediata y no críticos de alto valor en el campo caño limón Arauca.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Formatos del AMFE: QS-9000. (s.f.). normas MIL-STD-1629. *la SAE JA1011 y la SAE JA1012*.
- Aguilar Otero, J. R., Torres Arcique, R., & Magaña Jimenez, D. (2010). Failure mode and effects and criticality analysis (FMECA) for maintenance planning using risk and safety criteria. *Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.*
- Confipetrol S.A.S. (2011). *Confipetrol S.A.S.* Obtenido de [http://www.confipetrol.com/PortalWeb/Pages/Page\\_HomeEs.aspx](http://www.confipetrol.com/PortalWeb/Pages/Page_HomeEs.aspx)
- Cuatrecasas, L. (2010). *Gestión integral de la calidad*. Barcelona: Profit Editorial.
- Fernández, F. J. (2005). *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado* (Segunda edición ed.). Madrid: Fundación Confemetal.
- Garrido, S. G. (2010). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Gits, C. (1992). Design of maintenance concepts. *International Journal of Production Economics*, 217-226.
- Goti Elordi, A., Sánchez, A., & Astoreka, J. L. (2004). *Modelo Económico de Mantenimiento (I). Ingeniería y Gestión de MANTENIMIENTO*. Madrid: Ed. Alción.
- Grima Cintas, P., & Martorell Llabres, J. T. (1995). *Técnicas para la gestión de la calidad*. Madrid: Díaz de Santos.
- Guezuraga, V. M. (2004). *Los planes plurianuales de mantenimiento como instrumento para optimizar la gestión. MANTENIMIENTO: Ingeniería Industrial y edificios*. Madrid: Ed. Puntex.
- Gutierrez Pulido, H., & De La Vara Salazar, R. (2009). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma* (Segunda edición ed.). México, D. F: McGRAW-HILL.
- Gutierrez, L. A. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. Bogotá: Alfa Omega S.A.
- J.B. Chilcott, & A.H. Christer. (1991). Modelling of condition based maintenance at the coal face. *International Journal of Production Economics*, 1-11.
- León, F. C. (1998). *Tecnología del Mantenimiento Industrial*. Murcia: Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones, 1998.
- Márquez, A. C. (2007). *The Maintenance Management Framework*. Seville: Springer Science.
- Moguel, E. A. (2005). *Metodología de la Investigación*. Mexico D.F.
- Moubray, J. (1999). *Reliability centred maintenance*. Oxford.: Butterworth-Heinemann.
- Parra Márquez, C. A., & Crespo Márquez, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*. Sevilla.
- S, J. T., & R, B. (2009). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Barcelona: Paidós Ibérica, S.A.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory Execution* (Second edition ed.). Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.
- UNE-EN 13306. (Marzo de 2011). *Mantenimiento. Terminología del mantenimiento*. AENOR.

## **11.ANEXOS**

**11.1 FORMATO PRE-OPERACIONAL LOCOMOTORA**

**11.2 HOJAS DE TRABAJO FMECA**

**11.3 MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE TRABAJOS DE CUIDADO Y  
MANTENIMIENTO DEL MOTOR DIESEL**

**11.4 TABLAS DE FALLOS, CAUSAS Y ACCIONES CORRECTIVAS DEL  
MOTOR DIESEL**

LOGO EMPRESA  NIT: 900.179.369-6	NOMBRE DE LA EMPRESA		Código: Versión: 1 Fecha: 28-Febrero-2017 Pág. 1 de 1												
	FORMATO DE INSPECCION PRE-OPERACIONAL LOCOMOTORA														
Nombre del operador:		Equipo:		Localización:											
SEMANA DEL:		AL	DE												
<p>FACTOR HUMANO: Señor conductor antes de revisar las condiciones del equipo, haga una auto-evaluación de su estado de salud física y mental. No opere el equipo si Ud. Está fatigado, trasnochado o si se encuentra bajo los efectos de alcohol o drogas... Recuerde que en casa alguien lo espera!</p>															
ITEM		Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado		Domingo	
		B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M
CARROCERIA	En buen estado (sin abolladura, grietas, rayones profundos, rebabas)														
	Luces delanteras- alta y baja														
	Luces traseras														
	Luz de estacionamiento														
	Luces indicadoras de dirección de marcha														
	Luces amarillas de advertencia														
EQUIPO DE PREVENCIÓN Y SEGURIDAD	Luces rojas de advertencia														
	Botiquín completo														
	Extintor de incendios														
	Equipo de señales de carretera														
MOTOR DIESEL	Tacos														
	Nivel de aceite														
	Presión de aceite														
	Nivel de líquido refrigerante														
	Temperatura del refrigerante														
	Filtro de aire en baño de aceite y seco														
SISTEMA HIDRAULICO	Radiador														
	Nivel de aceite hidráulico														
	Presión del aceite hidráulico														
	Estado de mangueras, racores y conectores														
SISTEMA NEUMATICO	Ventilador														
	Válvulas de corte														
	Estado de mangueras y conectores														
RUEDAS	Acumuladores (drenar si es necesario)														
	En buen estado (sin grietas, desgaste excesivo, que tenga todos los tornillos )														
CABINA	Asiento del conductor y cinturón de seguridad en perfecto estado														
	Espejos laterales														
	Limpia parabrisas														
	Bocina														
	Control remoto														
HOROMETRO	Aire acondicionado														
	HOROMETRO DIARIO INICIAL														
OBSERVACIONES															

<b>FIRMA OPERADOR</b>		<b>FIRMA SUPERVISOR</b>	
<b>Nota:</b> Toda anomalía u observación debe ser registrada y reportada a logística utilizando el formato de estado de equipo.			

HOJA DE TRABAJO FMECA				
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA				
ELABORADO POR:	EQUIPO:	FUNCION:	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
FECHA:	UBICACIÓN:	COD: LOC-CHI-01	HOJA 1 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON			
SISTEMA DE POTENCIA	SUBSISTEMA: MOTOR DIESEL	FUNCION: Entregar potencia a 126 Hp. Trasformar la energía química en energía mecánica		

MODOS DE FALLA	EFFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Baja potencia	Mal funcionamiento. La unidad trabaja forzadamente.	Cumplimiento del ciclo de vida de los componentes del motor	7	3	4	84	Cambio de motor por condición	Condición	Automotriz
		Desgaste cilindros motrices, anillos y pistones	7	3	4	84	Tomar muestras de aceite para análisis	250 horas	Automotriz
			7	3	4	84	Cambio de aceite y filtros	250 horas	Automotriz
			7	3	4	84	Verificar residuos	Condición	Automotriz
			7	3	4	84	Verificar estado del filtro de aire (Limpiar o aire comprimido o reemplazar por contaminación excesiva)	250 horas	Automotriz
			7	3	4	84	Pruebas y análisis de compresión cilindros motrices	Condición	Automotriz
			7	3	4	84	Tomar metrología camisas motor	Condición	Automotriz

Alto consumo de aceite	Emisiones color azul	Desgaste de cilindros motrices y anillos	5	3	5	75	Tomar muestras de aceite para análisis	Condición	Automotriz
			5	3	5	75	Pruebas y análisis de compresión cilindros motrices	Condición	Automotriz
			5	3	5	75	Tomar metrología camisas motor	Condición	Automotriz
		Rotura de anillos	5	3	5	75	Pruebas y análisis de compresión cilindros motrices	Condición	Automotriz
Alta temperatura del motor	Mal funcionamiento. Baja potencia. Ruido extraño.	Bajo nivel de líquido refrigerante. Fugas por el sistema de refrigeración del motor.	5	2	2	20	Revisar niveles de líquido refrigerante	Diario	Operación
			5	2	2	20	Verificar fugas en mangueras y bomba de agua	Diario	Operación
			5	2	2	20	Ajustar tapa de radiador	Diario	Operación
		Obstrucción del Radiador por acumulación de residuos	5	2	2	20	Lavado de radiador	250 horas	Automotriz
		Falencia del termostato	5	2	4	40	Revisión y prueba de termostato (Baño maría)	500 horas	Automotriz
			5	2	4	40	Revisión sensor de temperatura	Condición	Automotriz
		Falencia en sensor de presión de aceite	4	2	3	24	Cambio por condición	Condición	Automotriz
		Daño en la correa de la bomba de agua	4	2	6	48	Verificar tensión y estado de la correa	250 horas	Automotriz
			4	2	6	48	Cambio por condición	Condición	Automotriz
		Daño en la bomba de agua. Fuga por retenedor	4	2	6	48	Verificar fugas por el retenedor de la bomba de agua	Diario	Operación
			4	2	6	48	Cambio por condición	Condición	Automotriz

Ruido / Vibración excesiva	Mal funcionamiento.	Desgaste gomas del soporte del motor	4	2	3	24	Revisar estado de los soportes del motor, ajustar o cambiar	250 horas	Automotriz
		Desajuste en componentes	4	2	3	24	Revisar ajuste soportes de cada componente (Alternador, compresor, bombas y poleas tensoras, blower o extractor de calor)	250 horas	Automotriz
		Filtro de admisión de aire obstruido	3	3	3	27	Verificar estado del filtro de aire (Limpiar o aire comprimido o reemplazar por contaminación excesiva)	250 horas	Automotriz
		Obstrucción en el escape (exhosto)	3	3	4	36	Revisar o reparar si lo requiere	250 horas	Automotriz

## HOJA DE TRABAJO FMECA

### ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA

<b>ELABORADO POR:</b>	<b>EQUIPO:</b>	<b>FUNCION:</b>	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
<b>FECHA:</b>	<b>UBICACIÓN:</b>	<b>COD:</b> LOC-CHI-01	HOJA 2 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON	<b>FUNCION: Generar energía por medio de la combustión.</b>		
<b>SISTEMA DE POTENCIA</b>	<b>SUBSISTEMA: COMBUSTIBLE</b>			

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Baja potencia	Mal funcionamiento	Obstrucción de sistema de escapes de gases	4	1	3	12	Inspección y limpieza sistema de escape	250 horas	Automotriz
			4	1	3	12	Revisar el estado del aislamiento del exhosto y reparar si es requerido	250 horas	Automotriz
			4	1	3	12	Revisar fijación del exhosto y reapretar los pernos de fijación del sistema	250 horas	Automotriz
		Bombas de inyección en mal estado	5	3	4	60	Cambio de bomba de inyección de combustible si lo requiere	Condición	Automotriz
			3	3	4	36	Cambio de filtro de combustible	500 horas	Automotriz
		Inyectores en mal estado	4	3	5	60	Cambio de inyectores si lo requiere	Condición	Automotriz
		Tubería de alimentación combustible obstruida	3	3	4	36	Realizar inspección o cambio si lo requiere	250 horas	Automotriz
		Filtro de admisión de aire obstruido	3	3	3	27	Verificar estado del filtro de aire (Limpiar o aire comprimido o reemplazar por contaminación excesiva)	250 horas	Automotriz
		Obstrucción en el escape (exhosto)	3	3	4	36	Revisar o reparar si lo requiere	250 horas	Automotriz

HOJA DE TRABAJO FMECA				
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA				
ELABORADO POR:	EQUIPO:	FUNCION:	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
FECHA:	UBICACIÓN:	COD: LOC-CHI-01	HOJA 3 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON	FUNCION: Comprimir el fluido refrigerante para producir transferencia de calor.		
SISTEMA DE POTENCIA	SUBSISTEMA: COMPRESOR AIRE ACONDICIONADO			

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Apagado del sistema de aire acondicionado	Alta temperatura en la cabina	Daño en correa	1	2	1	2	Verificar tensión y estado de la correa	250 horas	Automotriz
		Daño compresor	1	2	5	10	Cambio por condición	Condición	Aires y electricidad
		Descargue en sistema por fuga	1	2	2	4	Revisión en los puntos de presión (Alta-Baja)	1000 horas	Aires y electricidad
			1	2	2	4	Revisión en las mangueras, cambiar si es necesario	250 horas	Aires y electricidad
		Obstrucción en el evaporador o en el condensador	1	2	2	4	Limpieza por suciedad	250 horas	Aires y electricidad
			1	2	2	4	Cambio por condición	Condición	
		Suciedad en filtros	1	2	2	4	Lavarlos o cambiarlos si lo requiere	250 horas	Aires y electricidad

HOJA DE TRABAJO FMECA					
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA					
ELABORADO POR:	EQUIPO:	FUNCION:	FMECA No. 1		LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA			
FECHA:	UBICACIÓN:	COD: LOC-CHI-01	HOJA 4 DE 25		
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON	FUNCION: Suministrar energía necesaria para arrancar el motor, accesorios eléctricos, instrumentos, luces e indicadores			
SISTEMA DE POTENCIA	SUBSISTEMA: ELECTRICO				

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Descargue del banco de baterías	Deficiencia en el encendido. Luces no encienden. Unidad fuera de servicio	Daño en el alternador	4	3	5	60	Toma de voltaje de salida. Revisar línea de excitación. Revisar sensor de carga (cambiar si es necesario)	250 horas	Automotriz
		Falla de la correa del alternador	4	3	4	48	Ajustar o cambiar correa si es necesario	250 horas	Automotriz
		Batería descargada	4	2	3	24	Revisar banco de batería. (Recargar si es necesario). Revisar voltaje y niveles del electrolito	250 horas	Automotriz
			4	2	3	24	Revisión del cableado y ajuste de terminales	250 horas	Automotriz
			4	2	3	24	Cambio de batería por condición	Condición	Automotriz
		Sulfatación o desajuste en bornes	4	2	2	16	Limpieza / ajuste o cambio de bornes	250 horas	Automotriz
Ruido en el alternador	Daño de rodamientos alternador	Vida útil	4	2	5	40	Cambiar rodamientos alternador	Condición	Automotriz
Deficiencia en sistema de iluminación	No encienden las luces	Sulfatación o desajuste en bornes	2	2	2	8	Limpieza / ajuste o cambio de bornes	250 horas	Automotriz
		Bombillo en mal estado	2	2	1	4	Cambio por condición	Condición	Automotriz
		Daño en fusibles / relés	2	2	2	8	Revisión y limpieza en contactos de los fusibles y relés	500 horas	Automotriz
			2	2	2	8	Cambio por condición	Condición	Automotriz

## HOJA DE TRABAJO FMECA

### ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA

<b>ELABORADO POR:</b>	<b>EQUIPO:</b>	<b>FUNCION:</b>	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
<b>FECHA:</b>	<b>UBICACIÓN:</b>	<b>COD: LOC-CHI-01</b>	HOJA 5 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON	<b>FUNCION: Regular la tensión y la corriente durante el arranque y parada del motor</b>		
<b>SISTEMA DE POTENCIA</b>	<b>SUBSISTEMA: ARRANQUE</b>			

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
No gira motor.	Falla para funcionar	Deficiencia en el sistema eléctrico	6	2	2	24	Revisar banco de batería. (Recargar si es necesario). Revisar voltaje y niveles del electrolito	250 horas	Automotriz
		Falso contacto en conexiones / terminales	6	2	2	24	Limpieza y ajuste de conexiones del sistema de arranque	250 horas	Automotriz
		Obstrucción de cilindros / Bloqueo del sistema motriz	6	2	5	60	Cambio de motor de arranque por condición	Condición	Automotriz
		Falencia en el motor de arranque	6	2	5	60	Desmote de motor de arranque para mantenimiento preventivo	500 horas	Automotriz
			6	2	3	36	Cambio por condición	Condición	Automotriz

HOJA DE TRABAJO FMECA				
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA				
<b>ELABORADO POR:</b>	<b>EQUIPO:</b>	<b>FUNCION:</b>	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
<b>FECHA:</b>	<b>UBICACIÓN:</b>	COD: LOC-CHI-01	HOJA 6 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON			
<b>SISTEMA HIDROSTATICO</b>	<b>SUBSISTEMA: BOMBA HIDRAULICA</b>	<b>FUNCION: Entregar potencia al sistema hidráulico. Suministrar caudal de aceite a presión requerida.</b>		

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Baja eficiencia	Mal funcionamiento. La unidad trabaja forzadamente. Puede detener el sistema	Desgaste internos bomba hidráulica	7	4	5	140	Reemplazo de componente internos de la bomba o cambio de bomba por condición.	Condición	Automotriz
			7	4	5	140	Cambio de bomba hidráulica por condición	Condición	Automotriz
			7	4	5	140	Inspección de la presión hidráulica	Diario	Operación
		Filtros de aceite obstruidos	4	4	3	48	Cambio de filtro de la bomba hidráulica	500 horas	Automotriz
			4	4	3	48	Cambio de aceite sistema hidráulico	500 horas	Automotriz
		Fugas en el sistema	3	4	2	24	Ajuste de mangueras y verificaciones de racores	250 horas	Automotriz
			3	4	2	24	Verificación de fugas en manguera y racores	Diario	Operación
		Bajo nivel de aceite	3	2	2	12	Inspección nivel de aceite hidráulico	Diario	Operación

Alta vibración	Mal funcionamiento	Desgaste internos bomba hidráulica	5	3	5	75	Reemplazo de componente internos de la bomba o cambio de bomba por condición.	Condición	Automotriz
Alta temperatura en bomba y aceite	Mal funcionamiento	Rozamiento de componentes internos de la bomba	7	4	5	140	Cambio de bomba hidráulica	Condición	Automotriz
		Obstrucción en el enfriador de aceite	3	3	4	36	Verificación del ventilador enfriador de aceite	Diario	Operación
		Falla en rodamientos	7	2	4	56	Cambio de bomba hidráulica	Condición	Automotriz

HOJA DE TRABAJO FMECA									
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA									
ELABORADO POR:		EQUIPO:		FUNCION:		FMECA No. 1		LOGO DE LA EMPRESA	
CONFIPETROL S.A.S		LOCOMOTORA TRANSLOK		TREN LOCOMOTORA					
FECHA:		UBICACIÓN:		COD: LOC-CHI-01		HOJA 7 DE 25			
28-FEBRERO-2017		CANO LIMON							
SISTEMA HIDROSTATICO		SUBSISTEMA: MANGUERAS		FUNCION: Transportar fluidos					

MODOS DE FALLA	EFFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Fugas externas de aceite	Mal funcionamiento. La unidad trabaja forzadamente. Puede detener el sistema. Perdida de nivel	Empaquetaduras en mal estado	3	4	3	36	Inspección sistema hidráulico para detectar fugas	Diario	Operación
		Conectores o racores en mal estado	3	4	3	36	Reemplazo de conectores en mal estado	Condición	Automotriz
		Rotura de mangueras por desgaste normal del trabajo	4	3	3	36	Inspección visual fugas en mangueras	Diario	Operación
			4	3	3	36	Inspección visual-cambio por condición	Condición	Automotriz
			4	3	3	36	Cambio de mangueras sistema hidráulico	Condición	Automotriz

HOJA DE TRABAJO FMECA				
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA				
ELABORADO POR:	EQUIPO:	FUNCION:	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
FECHA:	UBICACIÓN:	COD: LOC-CHI-01	HOJA 8 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON			
SISTEMA HIDROSTATICO	SUBSISTEMA: MOTOR HIDRAULICO	FUNCION: Convertir la presión hidráulica o energía hidráulica en energía mecánica		

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Deficiencia en el frenado / desplazamiento forzado	La unidad trabaja forzadamente. Unidad no se detiene	Baja presión en la bomba	6	4	5	120	Ajuste de mangueras y verificaciones de racores	250 horas	Automotriz
			6	4	5	120	Verificación de fugas en manguera y racores	Diario	Operación
			6	4	5	120	Inspección nivel de aceite hidráulico	Diario	Operación
			6	4	5	120	Reemplazo de componente internos de la bomba o cambio de bomba por condición.	Condición	Automotriz
		Bajo nivel aceite hidráulico	6	3	5	90	Inspección nivel de aceite hidráulico	Diario	Operación
		Recalentamiento en el aceite	6	3	5	90	Cambio de aceite sistema hidráulico	250 horas	Automotriz
			6	3	5	90	Toma muestra de aceite hidráulico	250 horas	Automotriz
Equipo no frena	Mal funcionamiento.	Fugas en el sistema	6	3	5	90	Ajuste de mangueras y verificaciones de racores	250 horas	Automotriz
			6	3	5	90	Verificación de fugas en manguera y racores	Diario	Operación

## HOJA DE TRABAJO FMECA

### ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA

<b>ELABORADO POR:</b>	<b>EQUIPO:</b>	<b>FUNCION:</b>	<b>FMECA No. 1</b>	LOGO DE LA EMPRESA
<b>CONFIPETROL S.A.S</b>	<b>LOCOMOTORA TRANSLOK</b>	<b>TREN LOCOMOTORA</b>		
<b>FECHA:</b>	<b>UBICACIÓN:</b>	<b>COD: LOC-CHI-01</b>	<b>HOJA 9 DE 25</b>	
<b>28-FEBRERO-2017</b>	<b>CANO LIMON</b>			
<b>SISTEMA NEUMATICO</b>	<b>SUBSISTEMA: COMPRESOR</b>	<b>FUNCION: Suministrar energía al sistema neumático de frenos de aire del vagón de carga</b>		

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Baja eficiencia	Mal funcionamiento	Válvulas de admisión y escape pegadas	5	3	4	60	Desmonte de compresor por condición	Condición	Automotriz
			5	3	4	60	Cambio de aceite de lubricación del compresor	250 horas	Automotriz
		4	3	4	48	Cambio filtro admisión de aire	250 horas	Automotriz	
		4	3	4	48	Drenar trampa de aire	250 horas	Automotriz	
		5	3	4	60	Desmonte de compresor por condición	Condición	Automotriz	

HOJA DE TRABAJO FMECA				
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA				
<b>ELABORADO POR:</b>	<b>EQUIPO:</b>	<b>FUNCION:</b>	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
<b>FECHA:</b>	<b>UBICACIÓN:</b>	COD: LOC-CHI-01	HOJA 10 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON			
SISTEMA NEUMATICO	SUBSISTEMA: ACUMULADORES LINEAS DE CONDUCCION Y MANGUERAS	FUNCION: Acumular energía. Compensación de fugas de aceite, de volumen. Amortiguar pulsaciones de presión		

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Fugas externas	Mal funcionamiento. Ruido	Falla en racores	4	3	3	36	Revisión y ajuste de racores	250 horas	Automotriz
		Filtros secadores obstruidos	4	3	3	36	Cambiar filtros secadores de aire	500 horas	Automotriz
		Válvulas de corte	4	3	3	36	Revisión por fugas en válvulas de corte	Diario	Operación
		Mangueras en mal estado	5	3	3	45	Cambio de mangueras por condición	Condición	Automotriz
			5	3	3	45	Inspección para detectar fugas de aire en el sistema	Diario	Operación
		Agua en acumuladores	4	3	3	36	Revisión agua de acumuladores-drenar si es necesario	Diario	Operación

## HOJA DE TRABAJO FMECA

### ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA

<b>ELABORADO POR:</b>	<b>EQUIPO:</b>	<b>FUNCION:</b>	<b>FMECA No. 1</b>	LOGO DE LA EMPRESA
<b>CONFIPETROL S.A.S</b>	<b>LOCOMOTORA TRANSLOK</b>	<b>TREN LOCOMOTORA</b>		
<b>FECHA:</b>	<b>UBICACIÓN:</b>	<b>COD: LOC-CHI-01</b>	<b>HOJA 11 DE 25</b>	
<b>28-FEBRERO-2017</b>	<b>CANO LIMON</b>			
<b>SISTEMA NEUMATICO</b>	<b>SUBSISTEMA: MOTOR HIDRAULICO</b>	<b>FUNCION: Convertir la presión hidráulica o energía hidráulica en energía mecánica</b>		

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Baja eficiencia	Mal funcionamiento	Fugas en el sistema motor hidráulico	6	3	5	90	Revisión fugas por conectores	Diario	Operación
		Desgaste interno de componentes	6	3	5	90	Cambio de motor por condición	Condición	Automotriz

## HOJA DE TRABAJO FMECA

### ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA

<b>ELABORADO POR:</b>	<b>EQUIPO:</b>	<b>FUNCION:</b>	<b>FMECA No. 1</b>	LOGO DE LA EMPRESA
<b>CONFIPETROL S.A.S</b>	<b>LOCOMOTORA TRANSLOK</b>	<b>TREN LOCOMOTORA</b>		
<b>FECHA:</b>	<b>UBICACIÓN:</b>	<b>COD: LOC-CHI-01</b>	<b>HOJA 12 DE 25</b>	
<b>28-FEBRERO-2017</b>	<b>CANO LIMON</b>			
<b>SISTEMA TREN RODANTE</b>	<b>SUBSISTEMA: DIRECCION</b>	<b>FUNCION: Orientar las ruedas</b>		

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Daño en las barras	Mal funcionamiento. Sin dirección.	Desajuste pernos dirección. Falla en barras de la dirección	5	3	4	60	Verificar la condición de las barras de la dirección, cambiar o reparar si es requerido	250 horas	Automotriz
			4	3	5	60	Verificar el ajuste de los pernos del cilindro de la dirección. Verificar que no existan fugas hidráulicas	250 horas	Automotriz

## HOJA DE TRABAJO FMECA

### ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA

<b>ELABORADO POR:</b>	<b>EQUIPO:</b>	<b>FUNCION:</b>	<b>FMECA No. 1</b>	LOGO DE LA EMPRESA
<b>CONFIPETROL S.A.S</b>	<b>LOCOMOTORA TRANSLOK</b>	<b>TREN LOCOMOTORA</b>		
<b>FECHA:</b>	<b>UBICACIÓN:</b>	<b>COD: LOC-CHI-01</b>	<b>HOJA 13 DE 25</b>	
<b>28-FEBRERO-2017</b>	<b>CANO LIMON</b>			
<b>SISTEMA TREN RODANTE</b>	<b>SUBSISTEMA: SUSPENSION</b>	<b>FUNCION: Mantener el peso de la locomotora y su estabilidad. Absorber impactos.</b>		

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Daño en los amortiguadores	Ruido. Desestabilización de la unidad	Fugas por el amortiguador	4	2	4	32	Revisión del estado de los amortiguadores	250 horas	Automotriz
		Falla en barras de tracción	4	2	4	32	Ajuste de pernos de las conexiones de las barras de tracción	500 horas	Automotriz

## HOJA DE TRABAJO FMECA

### ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA

<b>ELABORADO POR:</b>	<b>EQUIPO:</b>	<b>FUNCION:</b>	<b>FMECA No. 1</b>	LOGO DE LA EMPRESA
<b>CONFIPETROL S.A.S</b>	<b>LOCOMOTORA TRANSLOK</b>	<b>TREN LOCOMOTORA</b>		
<b>FECHA:</b>	<b>UBICACIÓN:</b>	<b>COD: LOC-CHI-01</b>	<b>HOJA 14 DE 25</b>	
<b>28-FEBRERO-2017</b>	<b>CANO LIMON</b>			
<b>SISTEMA TREN RODANTE</b>	<b>SUBSISTEMA: RUEDAS</b>	<b>FUNCION: Soportar peso. Transmitir potencia. Rodar. Guiar. Amortiguar.</b>		

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Desviación de parámetros	Mal funcionamiento	Desgaste de ruedas	4	6	1	24	Verificar el desgaste, grietas u otro tipo de deficiencias de las llantas, si es requerido avisar al supervisor encargado para programar el cambio	250 horas	Automotriz
			4	6	1	24	Revisar ajuste de tornillos de las ruedas	250 horas	Automotriz

HOJA DE TRABAJO FMECA				
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA				
ELABORADO POR:	EQUIPO:	FUNCION:	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
FECHA:	UBICACIÓN:	COD: LOC-CHI-01	HOJA 15 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON			
SISTEMA TREN RODANTE	SUBSISTEMA: GUIAS	FUNCION: Mantener la locomotora en la vía		

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Fugas por los racores o cilindros	Descarrilamiento	Desajuste por vibración	5	3	3	45	Ajuste / revisión de conectores, abrazaderas	250 horas	Automotriz
			5	3	3	45	Verificación de guías para evitar soltura en ruedas	250 horas	Automotriz
			5	3	3	45	Verificar el juego de las guías sobre los bujes	500 horas	Automotriz
		Degradación de sellos, pérdida de presión	5	3	3	45	Revisión de fugas por racores	Diario	Automotriz
		Daño en cilindro	5	3	3	45	Cambio por condición	Condición	Automotriz

HOJA DE TRABAJO FMECA				
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA				
ELABORADO POR:	EQUIPO:	FUNCION:	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
FECHA:	UBICACIÓN:	COD: LOC-CHI-01	HOJA 16 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON			
SISTEMA DE CONTROL / MANDO	SUBSISTEMA: PULSADORES ESD	FUNCION: Accionar mando		

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
No acciona el mando	Mal funcionamiento	Desajuste, suciedad, humedad	3	3	3	27	Revisión de pulsadores ESD	120 días	Instrumentación

HOJA DE TRABAJO FMECA				
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA				
ELABORADO POR:	EQUIPO:	FUNCION:	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
FECHA:	UBICACIÓN:	COD: LOC-CHI-01	HOJA 17 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON			
SISTEMA DE CONTROL / MANDO	SUBSISTEMA: CAJAS DE CONEXIONADO	FUNCION: Proteger cables y empalmes		

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Desviación de parámetro. Mal contacto	Mal funcionamiento	Desajuste, suciedad, humedad	3	3	3	27	Revisión cajas de paso	120 días	Instrumentación

HOJA DE TRABAJO FMECA				
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA				
ELABORADO POR:	EQUIPO:	FUNCION:	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
FECHA:	UBICACIÓN:	COD: LOC-CHI-01	HOJA 18 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON			
SISTEMA DE CONTROL / MANDO	SUBSISTEMA: SENSORES DE PROXIMIDAD	FUNCION: Detectar objetos y enviar señal.		

MODOS DE FALLA	EFEECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Lectura anormal de instrumento	Indicaciones erróneas	Desajuste, suciedad, falencia en el sensor	4	3	4	48	Revisión de los controladores de proximidad	120 días	Instrumentación

HOJA DE TRABAJO FMECA				
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA				
ELABORADO POR:	EQUIPO:	FUNCION:	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
FECHA:	UBICACIÓN:	COD: LOC-CHI-01	HOJA 19 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON			
SISTEMA DE CONTROL / MANDO	SUBSISTEMA: CONTROL REMOTO	FUNCION: Accionar. Transmitir señales.		

MODOS DE FALLA	EFEECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
No se detiene/opera al momento de dar la orden.	Mal funcionamiento. No se detiene.	Falla en contactos	3	3	2	18	Revisión control remoto / control de mando	Semestral	Instrumentación

No acciona al momento de dar la orden.			3	3	2	18	Verificación / chequeo de control	Diario	Operación
--	--	--	---	---	---	----	-----------------------------------	--------	-----------

HOJA DE TRABAJO FMECA										
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA										
<b>ELABORADO POR:</b>	<b>EQUIPO:</b>	<b>FUNCION:</b>					FMECA No. 1		LOGO DE LA EMPRESA	
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA					HOJA 20 DE 25			
<b>FECHA:</b>	<b>UBICACIÓN:</b>	COD: LOC-CHI-01								
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON									
<b>SISTEMA CARROCERIA</b>	<b>SUBSISTEMA: CABINA DE OPERACION</b>	<b>FUNCION: Resguardar tripulantes. Operar la locomotora.</b>								

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
No cierra puertas	Puerta abierta. Posible incidente	Falencias en puertas	1	1	1	1	Verificar apertura de puertas	250 horas	Automotriz
			1	1	1	1	Verificar y engrasar las guías de las puertas	250 horas	Automotriz

HOJA DE TRABAJO FMECA										
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA										
<b>ELABORADO POR:</b>	<b>EQUIPO:</b>	<b>FUNCION:</b>					FMECA No. 1		LOGO DE LA EMPRESA	
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA					HOJA 21 DE 25			
<b>FECHA:</b>	<b>UBICACIÓN:</b>	COD: LOC-CHI-01								
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON									
<b>SISTEMA CARROCERIA</b>	<b>SUBSISTEMA: ILUMINACION</b>	<b>FUNCION: Mejorar la visibilidad. Indicar alarmas.</b>								

MODOS DE FALLA	EFFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Indicaciones erróneas	Indicaciones erróneas	Ciclo de vida	2	1	1	2	Verificar operación de todas las luces de la locomotora. Reemplaza si es necesario	250 horas	Automotriz

HOJA DE TRABAJO FMECA										
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA										
<b>ELABORADO POR:</b>	<b>EQUIPO:</b>	<b>FUNCION:</b>					FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA		
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA								
<b>FECHA:</b>	<b>UBICACIÓN:</b>	COD: LOC-CHI-01					HOJA 22 DE 25			
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON									
<b>SISTEMA CARROCERIA</b>	<b>SUBSISTEMA: GENERAL</b>	<b>FUNCION: Seguridad, confort.</b>								

MODOS DE FALLA	EFFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
General	General. Deterioro	Ciclo de vida	1	1	1	1	Verificación de espejos laterales, asiento del conductor, luces de advertencia, limpia parabrisas	Diario	Operación

HOJA DE TRABAJO FMECA				
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA				
ELABORADO POR:	EQUIPO:	FUNCION:	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
FECHA:	UBICACIÓN:	COD: LOC-CHI-01	HOJA 23 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON			
INSTRUMENTACION DEL SISTEMA	SUBSISTEMA: INSTRUMENTACION HIDRAULICO GENERAL	FUNCION: Medir presión, temperatura y niveles de fluidos.		

MODOS DE FALLA	EFFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Desviación de parámetros. Apertura de contactos.	Mal funcionamiento.	Vida útil	5	3	4	60	Revisión de Switchs de presión	120 días	Instrumentación
Lectura anormal de instrumento	Indicaciones erróneas	Descalibración del manómetro	5	3	4	60	Revisión de Manómetros	120 días	Instrumentación
Desviación de parámetros. Apertura de contactos.	Mal funcionamiento.	Vida útil. Trabajo anormal del componente	5	3	4	60	Revisión de Interruptor de temperatura	120 días	Instrumentación
Caída de presión en el sistema	Mal funcionamiento. Restricción del sistema.	Humedad en el sistema. Cortocircuito. Mala operación.	5	3	4	60	Revisión bobinas solenoides y medición de corrientes	120 días	Instrumentación
Señal errónea. Sin señal.	Bloque sistema hidráulico	Vida útil. desgaste normal del transmisor	5	3	4	60	Simulación de transmisores de presión	120 días	Instrumentación
Disparo del equipo por alta presión	Mal funcionamiento	Pase entre puertos (entrada y salida) no opera	5	3	4	60	Revisión conjunto de válvulas y actuador	120 días	Instrumentación

HOJA DE TRABAJO FMECA				
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA				
ELABORADO POR:	EQUIPO:	FUNCION:	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
FECHA:	UBICACIÓN:	COD: LOC-CHI-01	HOJA 24 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON			
INSTRUMENTACION DEL SISTEMA	SUBSISTEMA:INSTRUMENTACION HIDROSTATICO GENERAL	FUNCION: Medir presión, temperatura y niveles de fluidos. Enviar señales de comportamiento del equipo		

MODOS DE FALLA	EFFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Caída de presión en el sistema	Mal funcionamiento. Restricción del sistema.	Humedad en el sistema. Cortocircuito. Mala operación.	5	3	4	60	Revisión bobinas solenoides y medición de corrientes sistema hidráulico - compresor hidrostático	120 días	Instrumentación
Señal errónea. Sin señal.	Bloque sistema hidráulico	Vida útil. desgaste normal del transmisor	5	3	4	60	Simulación de transmisores de presión sistema hidráulico - compresor hidrostático	120 días	Instrumentación
Disparo del equipo por alta presión	Mal funcionamiento	Pase entre puertos (entrada y salida) no opera	5	3	4	60	Chequeo válvulas	120 días	Instrumentación

HOJA DE TRABAJO FMECA				
ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA				
ELABORADO POR:	EQUIPO:	FUNCION:	FMECA No. 1	LOGO DE LA EMPRESA
CONFIPETROL S.A.S	LOCOMOTORA TRANSLOK	TREN LOCOMOTORA		
FECHA:	UBICACIÓN:	COD: LOC-CHI-01	HOJA 25 DE 25	
28-FEBRERO-2017	CANO LIMON			
INSTRUMENTACION DEL SISTEMA	SUBSISTEMA: INSTRUMENTACION NEUMATICO GENERAL	FUNCION: Medir presión, temperatura y niveles de fluidos. Enviar señales de comportamiento del equipo		

MODOS DE FALLA	EFECTO	CAUSA DE LA FALLA	SEVERIDAD	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	RPN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
Caída de presión en el sistema	Mal funcionamiento. Restricción del sistema.	Humedad en el sistema. Cortocircuito. Mala operación.	5	3	4	60	Revisión bobinas solenoides y medición de corrientes - Sistema neumático	120 días	Instrumentación
Señal errónea. Sin señal.	Bloque sistema hidráulico	Vida útil. desgaste normal del transmisor	5	3	4	60	Simulación de transmisores de presión sistema neumático	120 días	Instrumentación
Disparo del equipo por alta presión	Mal funcionamiento	Pase entre puertos (entrada y salida) no opera	5	3	4	60	Chequeo válvulas	120 días	Instrumentación

<b>DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO</b>	
<b>MANUAL DE PROCEDIMIENTO TRABAJO DE CUIDADO Y MANTENIMIENTO</b>	
<b>MOTOR DIESEL DEUTZ BF4M 1013</b>	
Versión 1	Pagina 1 de 17

## 1. PROPOSITO

Asegurar que los trabajos de cuidado y mantenimiento del sistema de lubricación, sistema de combustible, sistema de refrigeración, filtro de aire de admisión, transmisión por correa y las operaciones de ajustes del motor diésel cumpla con las buenas prácticas de mantenimiento y políticas HESQ.

## 2. ALCANCE

Aplica para el motor diésel DEUTZ BF4M 1013 de la locomotora Translok.

## 3. PERSONAL

Para efectuar el procedimiento de trabajos de cuidado y mantenimiento del Motor Diésel DEUTZ BF4M 101, se necesita de

- Un técnico automotriz líder I.
- Un técnico automotriz base o junior.

## 4. PRECAUSIONES DE SEGURIDAD (EPP)

<b>TIPO DE PROTECCION</b>	<b>EPP</b>
Protección Cabeza	Casco Tipo II
Protección Visual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gafas Uvex</li> <li>• Gafas Wilson</li> </ul>
Protección Extremidades Inferiores	Botas De Seguridad De Cuero, Puntera Reforzada Y Con Suela Antideslizante. Certificadas
Protección Cuerpo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pantalón De Dril</li> <li>• Camisa Manga Larga De Dril</li> <li>• Guantes De Vaqueta</li> </ul>

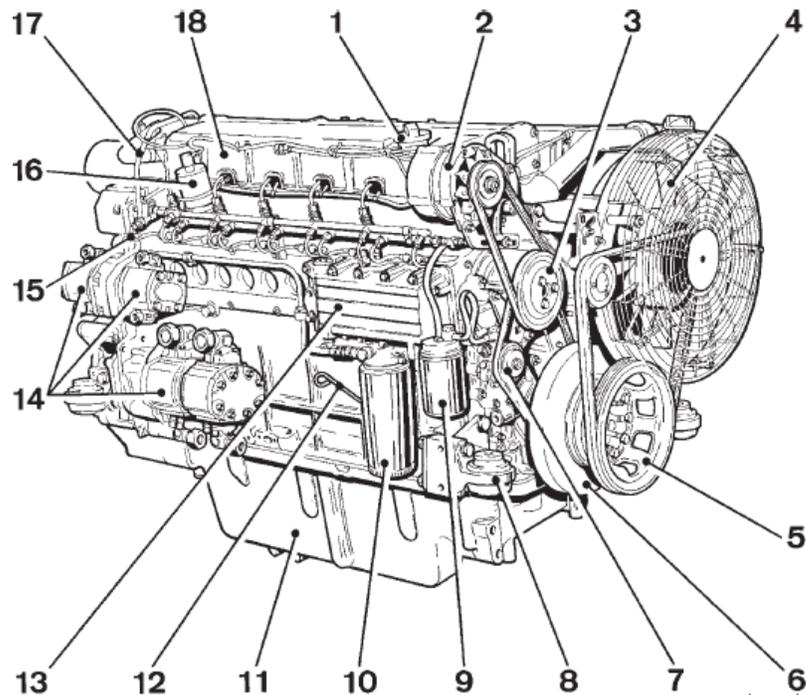
## 5. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

- Caja de herramienta de mecánico completa.
- Aparato medidor de tensión de correa trapezoidal.

## 6. PERMISOS REQUERIDOS

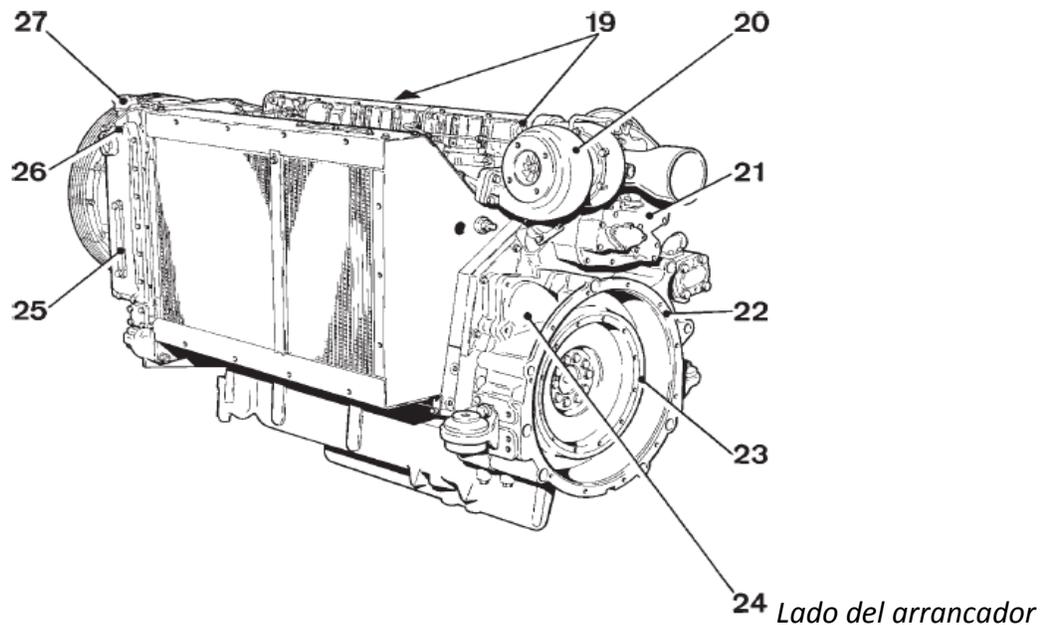
- Permiso de trabajo aprobado y firmado por el supervisor.
- Diligenciar formato HES: panorama de peligros y riesgos.
- Reportar a supervisores la existencia de irregularidades.

## 7. ESQUEMA DEL MOTOR DIESEL DEUTZ BF4M 1013



*Lado de manejo*

- 1 BOCA DE LLENADO DE ACEITE
- 2 ALTERNADOR
- 3 BOMBA DE LÍQUIDO REFRIGERANTE
- 4 VENTILADOR
- 5 POLEA ACANALADA
- 6 AMORTIGUADOR DE VIBRACIONES (DAMPER)
- 7 BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE
- 8 SUSPENSIÓN DEL MOTOR
- 9 FILTRO DE COMBUSTIBLE
- 10 FILTRO DE ACEITE LUBRICANTE
- 11 CARTER DE ACEITE
- 12 VARILLA DE MEDICIÓN DE NIVEL DE ACEITE
- 13 REFRIGERADOR DE ACEITE LUBRICANTE
- 14 BOMBA HIDRÁULICA Y COMPRESOR
- 15 TUBERIA DE COMBUSTIBLE
- 16 SOLENOIDE
- 17 TUBERIA DE ACEITE LUBRICANTE AL TURBO COMPRESOR
- 18 CULATA



- 19 DISPOSITIVO DE TRANSPORTE
- 20 TURBO COMPRESOR
- 21 REGULADOR DE VELOCIDAD
- 22 CARTER
- 23 VOLANTE
- 24 ARRANCADOR
- 25 INDICADOR DE NIVEL DE REFRIGERANTE
- 26 VALVULA DE PURGA DE AIRE
- 27 TAPA DE CIERRE DE BOCA DE LLENADO DE LÍQUIDO REFRIGERANTE

## **7. SISTEMA DE LUBRICACION**

### **7.1 INTERVALOS ENTRE CAMBIO DE ACEITE**

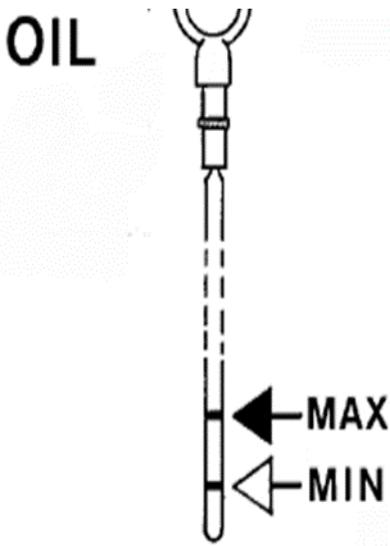
Los plazos para cambio de aceite se deben ejecutar cada 250 horas de operación del equipo.

En caso de pérdida de nivel antes de las 250 horas, completar niveles y verificar existencias de fugas.

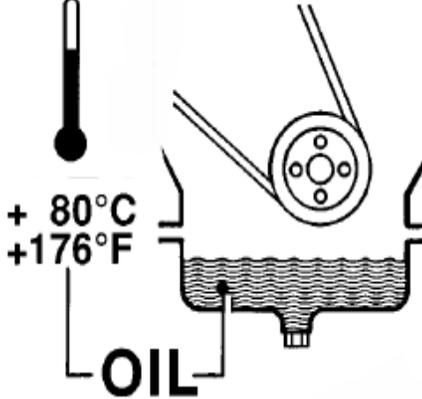
Los cambios de aceite deben hacerse con el motor detenido y calentado por el funcionamiento (temperatura del aceite lubricante, aprox. 80°C).

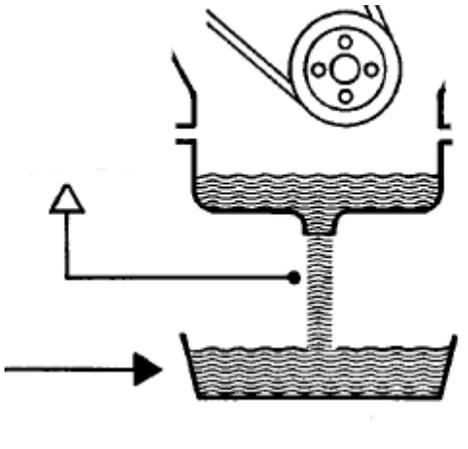
### **7.2. CONTROLAR EL NIVEL DE ACEITE/ CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR**

#### **7.2.1. Controlar el nivel de aceite**

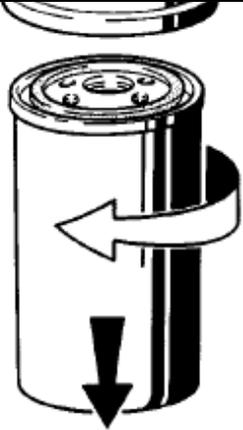
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivelar horizontalmente el motor o el vehículo.</li> <li>- <b>Motor caliente:</b> Apagar el motor, esperar 5 minutos y controlar el nivel de aceite</li> <li>- <b>Motor frío:</b> Controlar el nivel de aceite, para esto: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Extraer la varilla de medición del nivel de aceite.</li> <li>• Limpiarla con un trapo limpio y sin fibras.</li> <li>• Introducir la hasta el tope y extraerla nuevamente.</li> <li>• Controlar el nivel de aceite, agregar aceite, en caso necesario, hasta la marca <b>MAX</b>.</li> </ul> </li> <li>- También se deberá agregar aceite, cuando el nivel de aceite este escasamente por encima de la marca <b>MIN</b>.</li> </ul>
<p><b>Nota:</b> el nivel de aceite no debe bajar más allá de la marca <b>MIN</b></p>	

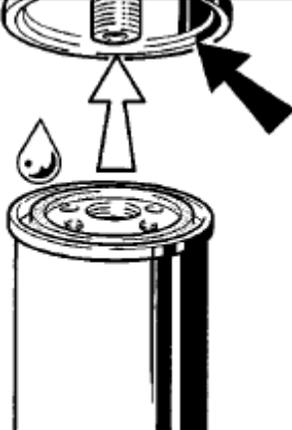
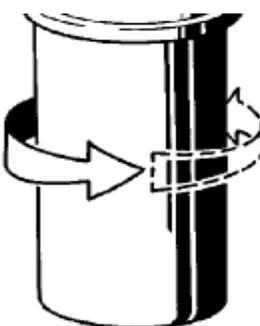
### 7.2.2. Cambio de aceite de motor

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dejar el motor en marcha hasta que caliente.</li> <li>• Colocar el motor, o bien el vehículo en posición horizontal.</li> <li>- Temperatura del aceite lubricante 80°C aproximadamente.</li> <li>• Parar el motor.</li> </ul>
---	--

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar un recipiente colector de aceite debajo del motor.</li> <li>• Desatornillar el tapón roscado de vaciado de aceite hacia la derecha.</li> <li>• Vaciar el aceite.</li> <li>• Colocar e tapón de vaciado de aceite con un nuevo anillo de junta y apretarlo (par de apriete 29 Nm).</li> <li>• Agregar aceite lubricante (capacidad de 7.2 L).</li> <li>• Controlar el nivel de aceite.</li> </ul>
	<p>Cuidado al vaciar el aceite caliente: ¡Peligro de quemaduras! ¡Recoger el aceite usado, no dejarlo escurrirse en el suelo! ¡Evacuar el aceite usado de acuerdo con las prescripciones y normas!</p>

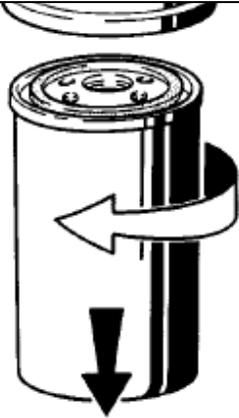
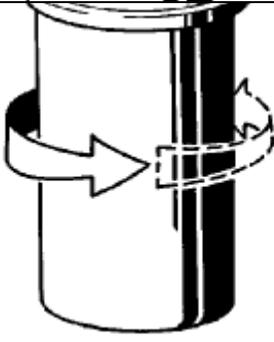
### 7.2.3. Cambio de filtro de aceite

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aflojar los tornillos de sujeción y quitar hacia abajo las abrazaderas de sujeción.</li> <li>• Aflojar el cartucho de aceite lubricante mediante una herramienta adecuada o con las manos y desenroscarlo.</li> <li>• Recoger el aceite que pueda salir.</li> </ul>
	<p>Tener cuidado con el aceite caliente: ¡peligro de quemaduras!</p>

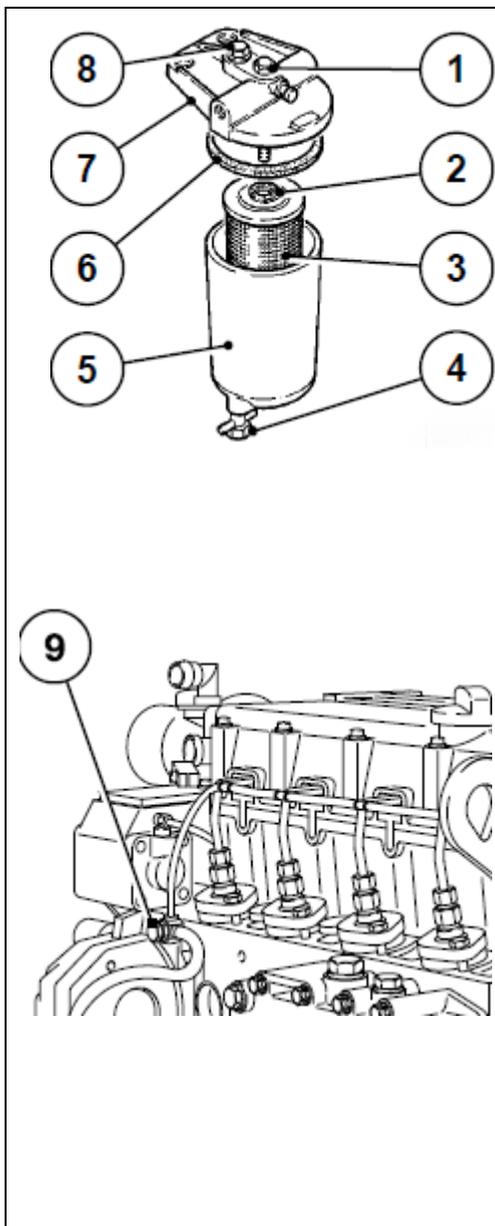
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpiar la superficie del porta filtro de posible ensuciamiento.</li> <li>• Untar con un poco de aceite la junta de goma del cartucho filtrante nuevo</li> <li>• Enroscar el cartucho filtrante con la mano, hasta que la junta se haya asentado bien.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apretar el cartucho del filtro de aceite lubricante, dándole otra media vuelta.</li> <li>• Poner las abrazaderas de sujeción en su lugar y apretarlas con los tornillos de sujeción</li> <li>• Verificar el nivel de aceite (7.2.1)</li> <li>• Verificar la presión del aceite (0.8 bar).</li> <li>• Verificar la hermeticidad de la junta del cartucho de filtro de aceite.</li> </ul>

## 8. SISTEMA DE COMBUSTIBLE

### 8.1. Cambio de filtro de combustible

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cerrar el grifo de combustible</li> <li>• Aflojar el cartucho del filtro de combustible con herramienta apropiada o con las manos y desenroscarlo.</li> <li>• Recoger el combustible que pueda salir.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpiar la superficie del porta filtro de posible ensuciamiento.</li> <li>• Untar con un poco de aceite la junta de goma del cartucho filtrante nuevo</li> <li>• Enroscar el cartucho filtrante con la mano, hasta que la junta se haya asentado bien.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apretar el cartucho del filtro de combustible, dándole otra media vuelta.</li> <li>• Abrir el grifo de combustible.</li> <li>• Verificar la hermeticidad</li> </ul>
	<p>Al trabajar en el sistema de combustible, no acercar llama abierta. No fumar.</p>

## 8.2. Filtro primario para combustible, limpiar o sustituir el cartucho filtrante



- Cerrar el grifo de cierre para combustible.
- Colocar el receptor de combustible debajo del pre filtro. Aflojar el tornillo de purga 4 y dejar salir el combustible.
- Desatornillar el tornillo tensor 1 hacia la derecha; retirar la cuba 5 con el cartucho 3.
- Limpiar la superficie del porta filtro 7 y de la cuba 5 si fuera necesario.
- Colocar reten 6 nuevo y volver a poner en su sitio el cartucho 3 ( también nuevo si fuera necesario o cada 250 horas)
  - Deslizar el cartucho sobre la guía de la cuba 5 hasta situarlo aprox. 3 cm encima del borde de la misma.
- Apretar la cuba 5 con el cartucho 3 y el retén 6 contra el porta filtro 7 y atornillar el tornillo tensor (par de apriete 25 Nm). Volver a apretar el tornillo 4.
- Abrir el grifo de cierre de combustible.
- Comprobar la estanqueidad después de la puesta en marcha del motor.

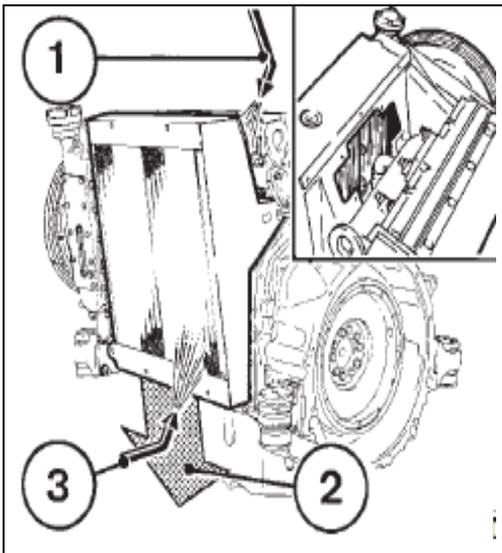
**Purgar el agua:**

- Colocar el receptor de combustible debajo del filtro primario.
- Aflojar el tornillo de purga 4 y observar; volver a apretar el tornillo cuando pase de agua a carburante.
- Comprobar estanqueidad tras la puesta en marcha del motor

	<p><b>Purgar el aire:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Antes de la primera puesta en marcha, o en caso de que el depósito de combustible haya sido vaciado, habrá que purgar el aire del sistema de combustible.</li> <li>• Abrir el grifo de cierre</li> <li>• Poner en marcha el motor y dejarlo encendido aprox. 2 minutos.</li> <li>• Colocar el receptor de combustible debajo del filtro.</li> <li>• Aflojar el tornillo para purgar el aire hasta que el combustible salga sin burbujas.</li> <li>• Apretar el tapón roscado 8 y la válvula de mantenimiento de presión 9 (par de apriete 15 Nm).</li> <li>• Tras la puesta en marcha del motor comprobar estanqueidad</li> </ul>
	<p>¡No hacer fuego mientras se trabaje en la instalación del carburante! ¡No fumar! ¡Deshágase del combustible viejo sin hacer daño al medio ambiente!</p>

## 9. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

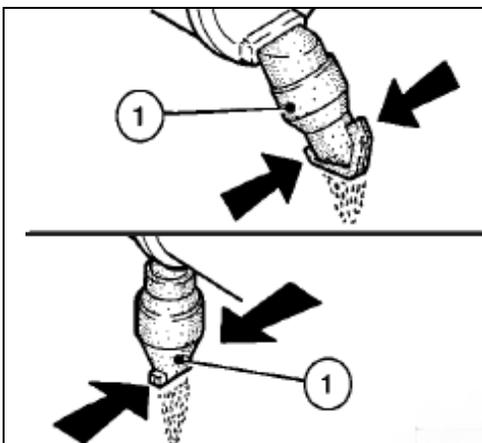
### 9.1. Limpieza del sistema de refrigeración



- Colocar un recipiente para recoger la suciedad, por debajo del intercambiador de calor en la posición 2.
- Quitar la tapa de mantenimiento en la parte superior del intercambiador de calor (ver el recorte de la figura).
- Soplar el intercambiador de calor con aire comprimido (primero desde la posición 3 y después de la posición 1), cuidando especialmente de no dañar las aletas de refrigeración del mismo.
- Quitar las partículas de suciedad, con un chorro de agua (presión máxima del chorro 100 bar).

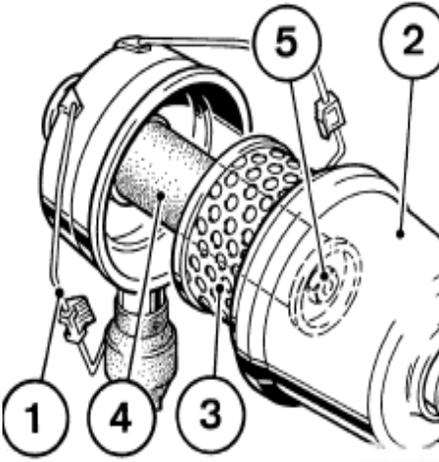
## 10. FILTRO DE AIRE DE ADMISIÓN

### 10.1. Filtro de aire seco



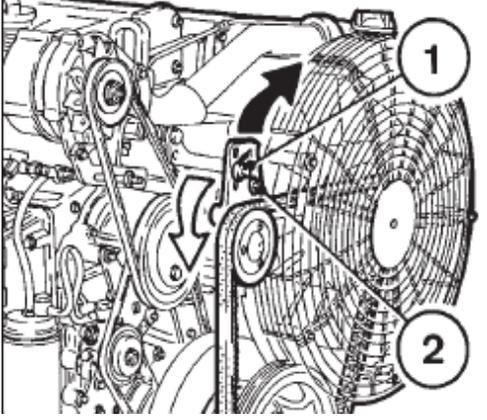
#### Válvula evacuadora de polvo:

- Vaciar la válvula evacuadora de polvo (1), oprimiendo la ranura de descarga como indican las flechas.
- Limpiar cada 250 horas la ranura de descarga
- Quitar eventualidades pegaduras de polvo, oprimiendo la parte superior de la válvula.

	<p><b>Cartucho filtrante:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abrir los estribos de sujeción (1).</li> <li>• Quitar la caperuza (2) del filtro y extraer el cartucho filtrante (3).</li> <li>• Limpiar el cartucho filtrante (3) o cambiarlo de acuerdo a la frecuencia o por su estado.</li> <li>• Limpieza del cartucho filtrante (3)             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Soplarlo desde adentro hacia afuera con aire comprimido seco (máx. 5 bar) o bien golpearlo (solo en caso de emergencia), cuidando de no dañar el cartucho o bien lavarlo completamente.</li> </ul> </li> </ul>
	<p>¡En ningún caso, se lava el cartucho filtrante con gasolina ni tampoco con líquidos calientes!</p>

## 11. TRANSMISIÓN POR CORREA

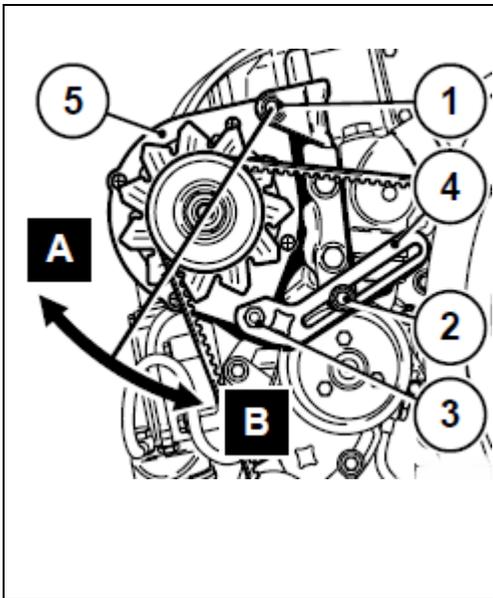
### 11.1. Tensado/cambio de la correa trapezoidal del ventilador

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aflojar los tornillos 1 y 2.</li> <li>- Para el tensado, meter la llave de macho cuadrado en la hembra cuadrada y tirar de la llave en dirección de la flecha hasta que se haya alcanzado la tensión correcta de la correa.</li> <li>- Para el cambio, meter la llave de macho cuadrado en la hembra cuadrada y aflojar accionando la llave en sentido contrario al que indica la flecha. Ajustar la tensión correcta de la correa (450/300<sup>+50</sup> N), apretar tornillos.</li> </ul>
---	--

11.2. Tensado de la correa trapezoidal de la bomba de combustible/  
líquido refrigerante

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aflojar los tornillos 1 y 2</li> <li>• Empujar la bomba de combustible (3) en la dirección indicada por la flecha (A) hasta que se haya alcanzado la tensión correcta de la correa (450/300<sup>+50</sup> N)</li> <li>• Volver a apretar los tornillos 1 y 2.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quitar la correa trapezoidal del ventilador/alternador según se describe en 11.1 y 11.3.</li> <li>• Aflojar los tornillos 1 y 2.</li> <li>• Empujar la bomba de combustible (3) en la dirección indicada por la flecha (B).</li> <li>• Quitar la correa trapezoidal y colocar una nueva.</li> <li>• Empujar la bomba de combustible en la dirección indicada por la flecha (A) hasta que se haya alcanzado la tensión correcta de la correa (450/300<sup>+50</sup> N).</li> <li>• Volver a apretar los tornillos 1 y 2.</li> <li>• Colocar la correa trapezoidal del ventilador/alternador y tensarla según se describe en 11.1 y 11.3.</li> </ul>
	<p>Verificar/tensar/cambiar correas trapezoidales sólo con el motor parado. Volver a montar la protección de correas si corresponde.</p>

## 11.3. Tensado/cambio de la correa trapezoidal del alternador

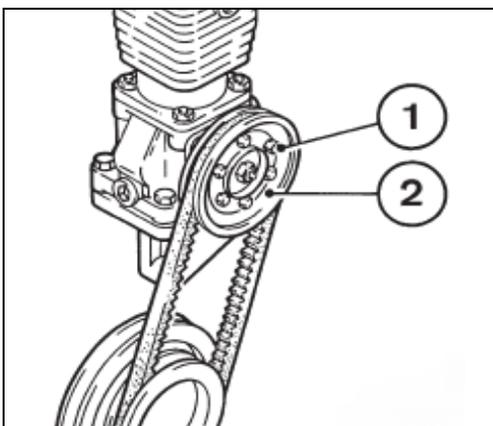
**Tensado:**

- Aflojar los tornillos 1, 2 y 3.
- Empujar el alternador (5) en la dirección de la flecha (A) hasta que se haya alcanzado la tensión correcta de la correa ( $450/300^{+50}$  N).
- Volver a apretar los tornillos 1, 2 y 3.

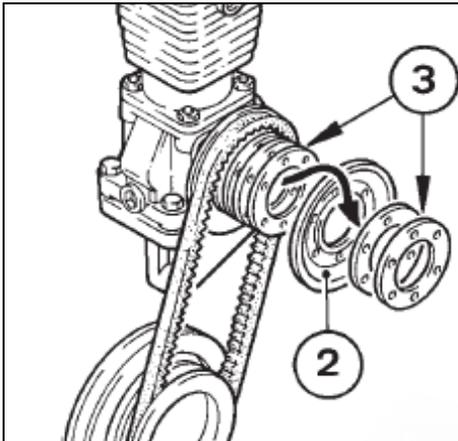
**Cambio:**

- Aflojar los tornillos 1, 2 y 3.
- Empujar el alternador (5) en la dirección de la flecha (B) hasta que la correa se ponga floja.
- Quitar la correa. Colocar la correa nueva y tensarla ( $450/300^{+50}$  N).
- Volver a apretar los tornillos 1, 2 y 3.

## 11.4. Tensado/ cambio de la correa trapezoidal del compresor de aire



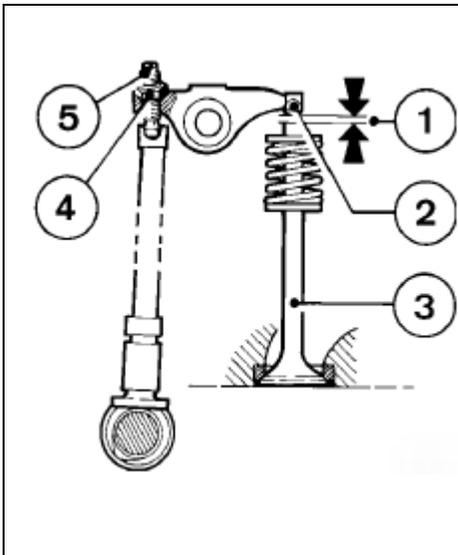
- Desenroscar los tornillos hexagonales (1).
- Quitar la mitad exterior de la polea.
- Cambiar la correa.
- Tensión de la correa: ( $4550/375^{+50}$  N).



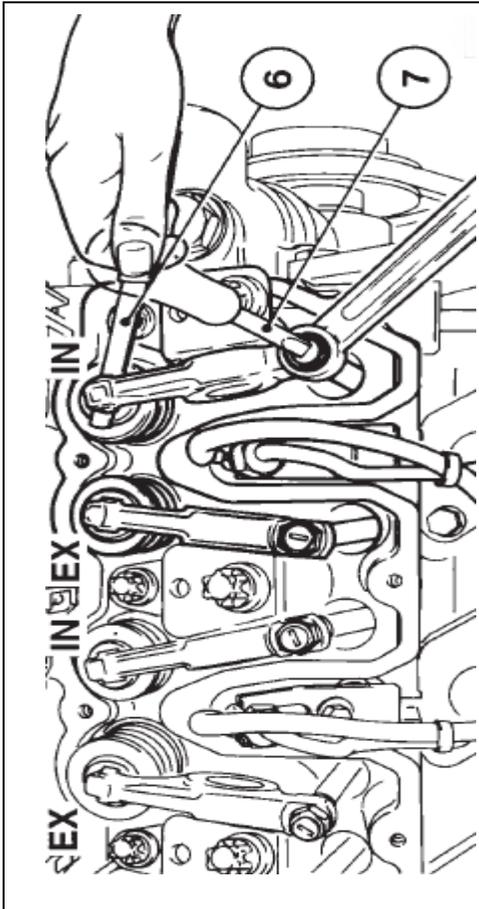
- Para ajustar la tensión, retirar una, o en su caso varias arandelas intermedias (3). Colocar las arandelas quitadas exteriormente sobre la mitad de la polea (2) que se había desmontado.
- Volver a apretar los tornillos (1), mientras se gira el motor manualmente para evitar el aplastado de la correa trapezoidal.

## 12. OPERACIÓN DE AJUSTES

### 12.1 verificación y ajustes del juego de válvulas

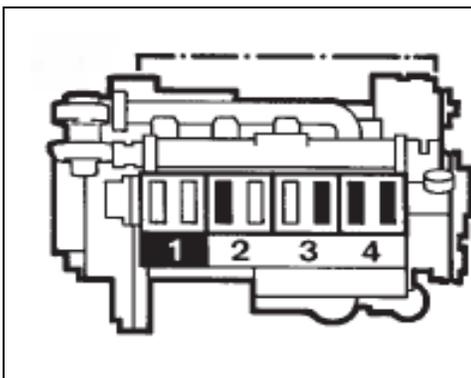


- Aflojar la válvula de ventilación y girarla hacia el lado.
- Desmontar la tapa de culatas, según procedimiento.
- Posición del cigüeñal según el esquema de ajuste en 12.2.
- Antes de proceder el ajuste de juego de válvulas, déjese enfriar el motor por lo menos 30 minutos, la temperatura del aceite debe ser inferior a 80°C.
- Controlar el juego de válvulas (1) introduciendo una galga (6) entre el dedo de balancín (2) y la válvula (3) (la galga debe poderse introducir con poca resistencia).



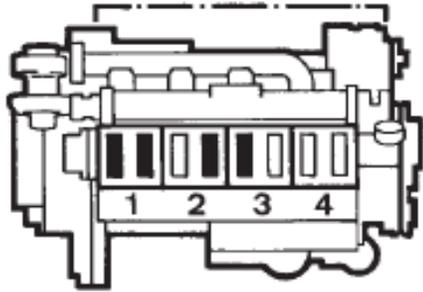
- Juego de válvulas: admisión  $0.3^{+0.1}$  mm; escape  $0.5^{+0.1}$  mm.
- Si es necesario, ajustar el juego de válvulas de la siguiente manera:
  - Aflojar la contratuerca (4).
  - Sirviéndose de un destornillador (7), regular el tornillo de ajuste (5), de tal manera que se obtenga un juego correcto (1) de la válvula de la contratuerca (4) apretada.
- Realizar las operaciones de verificación y en su caso, de ajuste en cada cilindro.
- Volver a montar la tapa de culatas (con una junta nueva si es necesario).
- Girar la válvula de ventilación a su posición y fijarla.

### 12.2. Esquema para el ajuste del juego de válvulas



#### Posición del cigüeñal 1

Girar el cigüeñal hasta que se cruce el movimiento de ambas válvulas del cilindro 1 (la válvula de escape aún no está cerrada y la de admisión comienza a abrirse). En tal punto, se pueden ajustar las válvulas marcadas en negro según esquema. Marcar el balancín en el que se haya efectuado el ajuste para fines de control.



**Posición 2 del cigüeñal**

Darle otra vuelta al cigüeñal (360°)

En tal punto, se pueden ajustar las válvulas marcadas en negro según esquema.

Fallos										Medidas a tomar		
El motor no arranca o lo hace con dificultad										Verificar	V	
El motor arranca, pero gira irregularmente o se para										Ajustar	A	
El motor se sobrecalienta. Reacciona la alarma de sobretemperatura										Cambiar	C	
El motor no desarrolla suficiente potencia										Limpiar	L	
El motor no trabaja con todos sus cilindros										Llenar	LI	
El motor no tiene presión de aceite o la presión es muy baja										Reducir	R	
El motor consume demasiado aceite												
El motor echa humos azules												
El motor echa humos blancos												
El motor echa humos negros												
Causas										ITEM		
x										No esta desembragado	Manejo	V
x							x			Temperatura limite para el arranque no alcanzada		V
x			x							Solenoides defectuosos		V
		x			x					Nivel de aceite demasiado bajo		LI
		x	x			x	x			nivel de aceite demasiado elevado		R
					x	x	x			Inclinación excesiva del motor		V/A
x										Ajustar palanca de maniobra		V/A
		x	x						x	Filtro de aire sucio/turbo compresor defectuoso	Aire admisión	V/C
		x	x						x	Interruptor/indicador de mantto de filtro de aire, defectuoso		V
		x	x						x	Tubería de aire de sobrealimentación con fugas		V/C
		x								Bomba de líquido refrigerante defectuosa	Refrigeración	V/L
			x						x	Refrigerador de aire de admision sucio		V/L
		x								Intercambiador de calor de líquido refrigerante sucio		V/L
x	x	x	x	x						Ventilador defectuoso, correa rota o floja (bomba de combustible)		V/C
		x	x							Calentamiento del aire de refrigeración		V
x										Batería degectuosa o descargada	Electricidad	V

Fallos										Medidas a tomar		
El motor no arranca o lo hace con dificultad										Verificar	V	
El motor arranca, pero gira irregularmente o se para										Ajustar	A	
El motor se sobrecalienta. Reacciona la alarma de sobretemperatura										Cambiar	C	
El motor no desarrolla suficiente potencia										Limpiar	L	
El motor no trabaja con todos sus cilindros										Llenar	LI	
El motor no tiene presión de aceite o la presión es muy baja										Reducir	R	
El motor consume demasiado aceite												
El motor echa humos azules												
blancos												
negros												
<b>Causas</b>										<b>ITEM</b>		
X										Emplames de cables sueltos u oxidados en el circuito de arranque	Electricidad	V
X										Arrancador defectuoso o piñon no engrana		V
X	X		X					X	X	Juego de válvulas incorrecto		A
X	X		X	X						Fugas en tubería de inyección		V
		X								Tubería de purga de aire obstruido (I.C. líquido refrigerante)		V/L
X								X		Bujías de espiga de incandescencia defectuosas	Motor	V
X	X	X	X	X				X	X	Inyector defectuoso		V/C
X	X		X	X						Aire en el sistema de combustible		V/C
X	X		X	X						Filtro/depurador previo de combustible sucio		V/L/C
		X								Filtro de aceite defectuoso		C
X					X	X				Calidad incorrecta del aceite lubricante	Medios de servicio	C
X	X		X					X		Calidad de combustible no corresponde		V/C
		X								Falta de líquido refrigerante		V/LI