

FACULTAD DE INGENIERÍA
DPTO.INGENIERÍA MECÁNICA

MEJORAS AL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL CAMIÓN ZIL 131

Trabajo de Diploma

Autor: Carlos Julio Torres Leyva.

Tutores: Dr.C Elio Rafael Hidalgo Batista.

MSc. Julio César Tabares Arias.

Holguín, 2019

DEDICATORIA

A mis padres Carlos Enrique Torres Zaldívar y Nancy Leyva Leyva por todo el esfuerzo que han realizado para guiar mi vida y por todos los valores que me han inculcado.

A mi esposa por su apoyo constante y motivación.

El autor

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por haberme permitido realizar este trabajo de diploma, a mis padres y esposa. Al Dr.C Elio Rafael Hidalgo Batista por su ayuda invaluable como tutor, al MSc Jorge Enrique Labañino Fernández por toda la ayuda y el tiempo dedicado. A los ingenieros Julio César Tabares Árias y Wilmer Matos Utrias por todas sus orientaciones y las enseñanzas que en todo momento supieron transmitir. A cada profesor, oficial, chofer y mecánico que me ayudó con sus explicaciones y aclaraciones oportunas.

PENSAMIENTO

“La magnitud de lo que logramos, no depende de lo que tengamos para hacerlo, sino de la intención y de lo que sepamos hacer con lo que tenemos.”

Ernesto Guevara de la Serna

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio para mejorar el plan de mantenimiento del camión ZIL 131, se utilizaron métodos de la Ingeniería de Mantenimiento como el diagrama de Pareto para determinar el sistema más crítico del equipo y el Análisis de Modos de Fallos y Efectos (AMFE), lo que propició el conocimiento de los fallos más significativos, las causas que los provocan y las consecuencias que ocasionarían a la seguridad, al medioambiente, o a la operación de la máquina. Los métodos aplicados permitieron elaborar el plan de acción y definir las tareas de mantenimiento precisas y necesarias.



ABSTRACT

In the present work a study is made to improve the maintenance plan of the ZIL 131 truck, maintenance engineering methods were used as the Pareto diagram to determine the most critical system of the equipment and the Analysis of Failure and Effects Modes, which led to the knowledge of the most significant failures, the causes that cause them and the consequences that they would cause to safety, the environment, or the operation of the machine. The methods applied allowed to elaborate the action plan and define the precise and necessary maintenance tasks.



ÍNDICE	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
1.1. Vehículos de transporte	4
1.2. Camiones ZIL 131	5
1.3. Herramientas para el análisis de criticidad	6
1.3.1. Clasificación de los fallos.....	6
1.3.2. Métodos de análisis de fallos	7
1.3.2.1. Diagrama de Pareto	8
1.3.2.2. Análisis de Modo Efectos y Fallos (AMEF)	9
1.3.2.3. Análisis de Causa Raíz	12
1.3.3. Fallas de los diferentes sistemas del camión ZIL 131.....	14
1.4. Mantenimiento	17
1.4.1. Objetivos del Mantenimiento.....	18
1.5. Sistemas de Mantenimiento	18
1.6. Conclusiones del capítulo	22
2.MEJORAS AL PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL DEL CAMIÓN ZIL131	
CONOCIENDO EL SISTEMA MÁS CRÍTICO	23
2.1. Caracterización del ZIL 131	23
2.2. Recogida de datos	24
2.2.1. Elaboración de la tabla y el Diagrama de Pareto.....	27
2.2.2. Interpretación de los resultados.....	28
2.3. Componentes del sistema eléctrico	28
2.4. Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE) del camión ZIL 131	29
2.4.1. Clasificación de las fallas del sistema eléctrico del camión ZIL 131.. ..	30
2.4.2. Análisis lógico para la toma de decisiones.....	32



2.4.3. Análisis de los fallos para facilitar la propuesta de mejoras al plan de mantenimiento actual del ZIL 131.....	34
2.4.4. Selección de la política de mantenimiento según el análisis de fallos.	36
2.4.5. Mejoras propuestas al plan de mantenimiento.....	37
2.4.6. Consideraciones de las mejoras propuestas.....	38
2.5. Valoración económica.....	39
2.6. Valoración del impacto ambiental.....	39
2.7. Contribución de la Investigación a la defensa de la Patria.....	39
CONCLUSIONES	41
RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	45
ANEXO 1 Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE).....	45
ANEXO 2 Clasificación de las fallas del sistema eléctrico.....	50
ANEXO 3 Análisis de los fallos.....	53
ANEXO 4 Políticas de Mantenimiento.....	63



INTRODUCCIÓN

El transporte terrestre es el que se realiza sobre la superficie terrestre, la gran mayoría se realiza sobre ruedas. Los tipos de transporte terrestre son el ferroviario y por carretera. En el transporte ferroviario se pueden utilizar tranvía, tren y el metro y por carretera se pueden utilizar medios tales como la tracción animal, el ciclismo, las motocicletas, los automóviles, los autobuses y los camiones. En nuestros días el camión se ha convertido en un vehículo imprescindible para el transporte de personas y mercancías. Existen diversas clasificaciones de camiones, como, por ejemplo, clasificados por su peso, por su volumen o capacidad de carga y por la función que desempeñan. También se puede hacer una clasificación de acuerdo a su estructura como, 1) camiones articulados y 2) camiones rígidos. Los primeros de ellos son utilizados para carga pesada tanto de líquidos como material seco o a granel. Los camiones rígidos están diseñados para el transporte de carga liviana y de menos peso que los anteriores y generalmente son usados para el transporte de carga frágil (Manual de Tanque y Transporte, 2002).

Estos vehículos pueden ser usados tanto en la vida civil, como en la esfera militar de cada país, es por ello que el Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias (FAR) posee muchos de los vehículos de estas clasificaciones por todo el país tanto del material de guerra fundamental y no fundamental, el cual a través de la especialidad de Tanques y Transporte en la Logística de las FAR estudia y ejecuta los principios, las normas y los procedimientos de las funciones de dirección que se cumplen en interés del aseguramiento técnico a los vehículos militares, con el objetivo de garantizar la disposición técnica de estos, en tiempo de paz y en situaciones excepcionales, con lo cual contribuye al aseguramiento de la disposición combativa de las FAR. Los vehículos de las FAR son todos los artefactos móviles que forman parte del material de guerra y del sistema empresarial militar.

Los vehículos militares se clasifican en vehículos blindados y de transporte, estos últimos se designan para el transporte de personal y carga, en los que se incluyen de carga sólida y líquida, especiales, ligeros, equipos de manipulación de cargas, remolques, semirremolques, y otros equipos especiales montados sobre sus bases. Dentro de la flota de vehículos de las FAR se encuentra el camión ZIL 131, el mismo presta servicio como vehículo de carga sólida ya que se puede utilizar como camión de volteo, también se utiliza para el transporte de carga líquida ya que prestan servicio



como abastecedores de combustibles, de aceite (comestibles o lubricantes), de agua y de otros líquidos especiales. Por otra parte, pueden ser clasificados como vehículos especiales ya que pueden ser utilizados como auto grúas, camiones cuña, grúas remolque, vehículos de talleres, de puesto de mando y de dirección, vehículos antena, radares, vehículos cocinas móviles, vehículos contra incendios y otros (Manual de Tanque y Transporte, 2002).

La organización de los mantenimientos técnicos a los vehículos de las FAR está regida por la Circular Técnica No. 2/2018 del MINFAR, la misma establece como se han de cumplir los trabajos de limpieza, comprobación, cuidado y restablecimiento del estado técnico de los vehículos pero, no menciona como deben realizarse los mantenimientos técnicos por vehículos, ya que dependiendo de los sistemas más críticos de los vehículos hay que prestarle mayor atención a los componentes que más fallen en estos de forma tal que el plan de mantenimiento registre las acciones a realizar para disminuir las horas de mantenimiento de los vehículos, surgiendo así el problema siguiente:

Problema: ¿Cómo realizar mejoras al plan de mantenimiento del camión ZIL 131 conociendo el sistema más crítico?

Objeto de estudio: El camión ZIL 131.

Campo de estudio: El sistema más crítico del camión ZIL 131.

Hipótesis: Si se utilizan técnicas de análisis de fallos tales como el Diagrama de Pareto y el Análisis de Modos y Efectos de Fallos es posible determinar el sistema más crítico en el camión ZIL 131 y realizarle mejoras al sistema de mantenimiento de este sistema crítico.

Objetivo: Mejorar el plan de mantenimiento conociendo el sistema más crítico del camión ZIL 131.

Tareas de investigación:

1. Búsqueda bibliográfica para fundamentar teóricamente la hipótesis planteada.
2. Recopilar datos.
3. Analizar los fallos en el camión ZIL 131.
4. Determinar el sistema más crítico del camión.
5. Proponer mejoras al plan de mantenimiento actual del camión ZIL 131.
6. Valoración del impacto ambiental, económico y el aporte a la defensa de la Patria.
7. Elaborar el Informe.



Métodos empíricos:

1. Observación científica: Se verificaron las condiciones físicas reales de trabajo y explotación del camión ZIL 131.
2. Consulta de expertos: Se tuvieron en cuenta opiniones, criterios, sugerencias de ingenieros y técnicos de mantenimiento, así como personal del Departamento de Tanques Y Transporte de la unidad militar donde se realizó el estudio y de la Región Militar de Holguín.

Métodos teóricos:

1. Análisis y síntesis: Se procesa la información teórica, el fundamento teórico y las conclusiones de la investigación.
2. Histórico – lógico: Facilita conocer la evolución y desarrollo del objeto de la investigación y llegar a un análisis lógico.
3. Hipotético – deductivo: Para proponer la hipótesis a partir del conjunto de datos y conocimientos generales iniciales que se tienen, arribando a conclusiones primarias, a partir de dicha hipótesis que luego pueden ser comprobadas durante el desarrollo del trabajo.

Resultados esperados:

Con la aplicación del análisis de los fallos a través del Diagrama de Pareto y el Análisis de Modos y Efectos de Fallos se podrá conocer el sistema más crítico del camión ZIL 131 y proponer mejoras al plan de mantenimiento del camión.



1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El objetivo de este capítulo es realizar una búsqueda de literatura especializada y otras fuentes de información relacionadas con los diferentes métodos de análisis de fallos; para definir los que se utilicen en el proyecto, de forma tal que permitan comprender y explicar la esencia de la investigación.

1.1. Vehículos de transporte

Según el Manual de Tanques y Transporte de las FAR, los vehículos de transporte son aquellos que se designan para el transporte de personal y carga. En correspondencia con el lugar que ocupan los vehículos militares en la envergadura de las FAR, se clasifican en tres categorías:

1. Los que se designan para las estructuras combativas.
2. Los que están fuera de la estructura combativa (reserva).
3. Los de otros destinos.

Los vehículos de transporte que pertenecen a la categoría de reserva y de otros destinos, se emplean como fuente fundamental de tránsito para la reducción o formación de nuevas unidades, la reposición, la modernización o fondo de reparación general.

Teniendo en cuenta el grupo de explotación al que pertenecen los vehículos de las FAR, también se clasifican en:

Grupo de explotación combate: agrupan los vehículos que constituyen el material de guerra fundamental de combate y se emplea para causar pérdidas al enemigo durante el cumplimiento de las misiones combativas y su aseguramiento, el cual se encuentra preservado, protegido y conservado en buen estado técnico.

Grupo de explotación auxiliar de combate: agrupa a los vehículos militares especiales que constituyen material de guerra fundamental, que en tiempo de paz se explotan por necesidades del servicio, con normas reducidas, entre los que se encuentran los talleres móviles, vehículos contra incendios, abastecedores de combustibles y otros.

Dentro de este grupo se encuentran los camiones ZIL 131, ya que los mismos prestan servicios como talleres móviles para reparar otros vehículos tanto en tiempo de paz como en tiempo de guerra.

Grupo de explotación instrucción: agrupa los vehículos militares que se emplean en la instrucción de las tropas y de los alumnos de las instituciones docentes en tiempo de



paz. En tiempo de guerra pueden ser usados en la estructura de combate o de reserva de las unidades.

Grupo de explotación instrucción-combate: agrupa a los vehículos militares que forman parte de la estructura combativa de la unidad y se destinan a la preparación del personal en tiempo de guerra y paz.

1.2. Camiones ZIL 131

La producción de los camiones ZIL 131 comenzó en 1966, pero a pesar de su edad el ZIL-131 es ampliamente utilizado por empresas y ejércitos de muchos países. Este camión fue fabricado sobre la base del anterior ZIL-157; pero tenía una mayor capacidad de carga, motor más potente, dirección asistida, distancia entre ejes más corta, encendido a prueba de agua y el sistema de inflado de los neumáticos central (CTIS). El eje delantero se activa automáticamente cuando el conductor selecciona la primera marcha y el conductor también puede comprometer el eje delantero de forma manual cuando el vehículo necesitara una sobre marcha. Este se utiliza para el transporte de carga o personal y para remolcar artillería como el obús 122 mm D-30. El ZIL-131 es impulsado por un motor de gasolina V8, y desarrolla 108 kW. El motor está acoplado a una caja de cambios manual de 5 velocidades. Debido a los años de explotación de dicho camión, se hace necesario conocer a ciencia cierta cuales son los principales problemas a los que se ve sometido durante su vida útil para así tener un historial de fallas del vehículo y tener la información necesaria a la hora de realizar un mantenimiento.

Principales variantes del ZIL 131

Sus modelos son camiones de carga general, camión tractor-remolque, camión de combustible, camión volquete y un camión de remolque. Se ha utilizado como plataforma lanzadora de cohetes también.

El ZIL-131 fue producido a partir de 1 966 hasta 1 986, cuando apareció su variación el ZIL-131N.

Para el ZIL-131 (con cabrestante y sin él), hubo varias variantes básicas tales como:

ZIL-131A Vehículo con sistema eléctrico, no hermético, a partir de 1 986 se produjo como ZIL-131NA.

Camiones con remolque ZIL-131V y ZIL-131NV - desarrollados en 1 986.



Las variantes ZIL-131S, ZIL-131NS, ZIL-131AS, ZIL-131NAS y ZIL-131NVS, fueron creadas especialmente para climas fríos.

Camión de bomberos AC-3,0-40 (131) M9-AR-01 es fabricado por la planta ucraniana de extinción de incendios, PozhMashina, sobre chasis ZIL-131. Es AC-40 (131) -137, la bomba es capaz de bombear 40 litros de agua por segundo. La cabina se ajusta a 7 bomberos. El depósito de agua tiene 2 400 litros de agua y 150 litros de espuma. Está equipado con un monitor estacionario.

Además, una gran cantidad de la producción tiene el chasis para el montaje de equipos especiales diversos, tales como: Abastecedores de combustible ATZ-131-3 ,4-131, DTA-4,4-131, DTA-4-131, camión contenedor MH-131 cisterna AC-4 ,0-131, AC-4 ,3-131 y otros (Gogoliev, 2018)

1.3. Herramientas para el análisis de criticidad

Para realizar un correcto análisis de las fallas es necesario conocer primeramente el concepto y las clasificaciones de la misma, por lo cual se debe consultar las normas establecidas del tema que se estudia.

El fallo puede ser definido como la pérdida de capacidad para realizar las funciones requeridas, o bien la pérdida de capacidad para satisfacer los requisitos especificados.

La Norma Cubana 92-10 de 1978 define al fallo como el cese del estado de capacidad de trabajo del artículo.

Esta misma norma define la clasificación de los fallos por su modo de manifestación respecto al tiempo de la forma siguiente:

1.3.1. Clasificación de los fallos

1. Fallo repentino: Fallo caracterizado por la variación brusca de una o varias de las especificaciones del artículo.
2. Fallo gradual: Fallo caracterizado por la variación gradual o paulatina de una o varias de las especificaciones del artículo.
3. Fallo intermitente: Fallo que se manifiesta repetidamente y durante un período limitado al final del cual el artículo recobra su estado de capacidad de trabajo sin haber sido sometido a reparación.

Clasificación de los fallos según la Norma Cubana 92-10 de 1978 por su modo de manifestarse respecto a su intensidad.



1. Fallo total: Fallo que inhabilita completamente el artículo para el cumplimiento de las funciones establecidas hasta su ulterior reparación.
2. Fallo parcial: Fallo que determina que una o varias de las especificaciones del artículo se encuentren fuera de los límites establecidos, pero que no imposibilita su utilización.

La norma española UNE-EN 13306 define al fallo de la forma siguiente:

Fallo: Cese en la capacidad de un elemento para desarrollar una función requerida.

La norma española define la clasificación de los fallos por su modo de manifestación de la forma siguiente:

1. Fallo por desgaste: Fallo cuya probabilidad de aparición se incrementa con el tiempo de operación, o con el número de operaciones del elemento o con las tensiones aplicadas.
2. Fallo por envejecimiento: Fallo cuya probabilidad de aparición se incrementa con el paso del tiempo. Este tiempo es independiente del tiempo de operación del elemento.
3. Fallo por causa común: Fallos de diferentes elementos resultado de la misma causa directa que no son consecuencia los unos de los otros.
4. Fallo primario: Fallo de un elemento no causado directa o indirectamente por un fallo o avería de otro elemento.
5. Fallo secundario: Fallo de un elemento causado directa o indirectamente por un fallo o avería de otro elemento.
6. Fallo repentino: Fallo que no podría anticiparse por examen o monitorización previos.

1.3.2. Métodos de análisis de fallos

Uno de los aspectos más trascendentes que corresponde al análisis de fallos y riesgos en la fase de la Ingeniería de Mantenimiento, es la identificación de fallos, su evaluación, y la proposición de medidas de control. Los métodos de análisis de fallos son mecanismos lógicos y sistematizados, estructurados para detectar las desviaciones de un determinado proceso. El análisis de fallos puede ser realizado en tres fases, que son:

1. Identificación del fallo.
2. Evaluación de las consecuencias del fallo.
3. Aplicación de medidas de control.



El análisis de fallo y operatividad examina toda posible desviación en el funcionamiento y comportamiento de un proceso. Su objetivo es prever las consecuencias de las desviaciones en la operación normal de un proceso, es de tipo cualitativo. Algunas de las principales técnicas de análisis utilizados para el estudio de riesgo/fallo de operabilidad son:

1. El Diagrama de Pareto.
2. El Análisis de Modo Efectos y Fallos (AMEF).
3. El Análisis de Causa Raíz (ACR).

1.3.2.1. Diagrama de Pareto

El Diagrama de Pareto es una gráfica que representa en forma ordenada el grado de importancia que tienen los diferentes factores en un determinado problema, tomando en consideración la frecuencia con que ocurre cada uno de dichos factores. Su nombre se debe a Wilfredo Pareto, un economista italiano que centraba su atención en el concepto de los "pocos vitales" contra los "muchos triviales". Los primeros se refieren a aquellos pocos factores que representan la parte más grande o el porcentaje más alto de un total, mientras que los segundos son aquellos numerosos factores que representan la pequeña parte restante (Maldonado, 2019).

En otras palabras un pequeño porcentaje de las causas, el 20 %, producen la mayoría de los efectos, el 80 %. Se trataría de identificar ese pequeño porcentaje de causas "vitales" para actuar prioritariamente sobre él.

Los pasos para realizar el Diagrama de Pareto son:

1. Determinar el problema o efecto a estudiar.
2. Investigar los factores o causas que provocan ese problema y como recoger los datos referentes a ellos.
3. Anotar el número de defectos de cada factor.
4. Ordenar los factores de mayor a menor en función de la magnitud de cada uno de ellos.
5. Calcular la magnitud del conjunto de factores.
6. Calcular el porcentaje real que representa cada factor, así como el porcentaje acumulado.
7. Un equipo puede utilizar la gráfica de Pareto para varios propósitos durante un proyecto para lograr mejoras:



- Para analizar las causas.
- Para estudiar los resultados.
- Para planear una mejora continua.
- Como foto de antes y después para demostrar que progresos se han logrados (Pillco Suarez, 2006).

1.3.2.2. Análisis de Modo Efectos y Fallos (AMEF)

La disciplina del AMEF fue desarrollada en el ejército de los Estados Unidos por los ingenieros de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, conocida por su nombre en inglés, *National Agency of Space and Aeronautical* (NASA), y era conocido como el procedimiento militar MIL-P-1629, titulado "Procedimiento para la Ejecución de un Modo de Falla, Efectos y Análisis de Criticabilidad" y elaborado el 9 de noviembre de 1949; este era empleado como una técnica para evaluar la confiabilidad y para determinar los efectos de las fallas de los equipos y sistemas, en el éxito de la misión y la seguridad del personal o de los equipos. En 1988 la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), publicó la serie de normas ISO 9000 para la gestión y el aseguramiento de la calidad; los requerimientos de esta serie llevaron a muchas organizaciones a desarrollar sistemas de gestión de calidad enfocados hacia las necesidades, requerimientos y expectativas del cliente, entre estos surgió en el área automotriz el QS 9000, éste fue desarrollado por la *Chrysler Corporation*, la *Ford Motor Company* y la *General Motors Corporation* en un esfuerzo para estandarizar los sistemas de calidad de los proveedores; de acuerdo con las normas del QS 9000 los proveedores automotrices deben emplear Planeación de la Calidad del Producto Avanzada (APQP), la cual necesariamente debe incluir AMEF de diseño y de proceso, así como también un plan de control (Ortega , 2017).

El AMFE aplicado al mantenimiento.

El análisis de los modos de fallos en mantenimiento para evitar errores en las fases o procesos preventivos o correctivos se identifica con el denominado AMFE que, a su vez se fundamenta en los estudios de árboles de fallos y modos y repercusiones de éstos. Como se desarrolla en las técnicas organizativas denominadas RCM, este análisis trata de evitar los fallos acaecidos en nuestros procesos de mantenimiento, revisando de forma metodológica los mismos y la experiencia acumulada. Es un medio esencial para lograr bucles de calidad, tanto a nivel de Ingeniería de Mantenimiento como de la propia



ejecución o producción de mantenimiento, aprendiendo de fallos anteriores tras realizar el análisis constructivo de los mismos, sin ánimo de búsqueda de culpables sino de causas de fallos, definiendo medidas correctoras y preventivas para que no se repitan.

La implantación y estudios de fallos, causas y medidas correctoras no pueden llevarse a cabo desde un Departamento de Ingeniería de Mantenimiento ajeno a la realidad propia de la institución, de su entorno, del contexto y de la manera que producción explota los sistemas mantenidos.

Obviamente el análisis de los fallos de mantenimiento mediante AMFE deben ser estructurados, plasmando su desarrollo y conclusiones en informes elaborados al efecto, que obliguen, a reflejar de forma rigurosa y auditable las conclusiones y la propuestas de soluciones correspondientes.

Al realizar un análisis de los fallos mediante AMFE aplicado al mantenimiento se sugiere crear una hoja de trabajo que contenga información que permitirá más adelante poder llegar a conclusiones decisorias, una vez conocida cuales son las fallas funcionales, por que ocurrieron y las afectaciones a las que conllevan, así como la actividad de mantenimiento que se realiza o que se propone realizar para eliminar las mismas (ver tabla 1.1).

Tabla 1.1. Tabla para información primaria (Labañino, 2013).

Fallo Funcional	Modo de Fallo	Parte del equipo afectada	Causas de fallo	Efecto de fallo	Actividad de mantenimiento a realizar
------------------------	----------------------	----------------------------------	------------------------	------------------------	----------------------------------------------

Fallo Funcional: “El fallo funcional es la incapacidad del activo de cumplir con una función dada a un nivel de rendimiento que sea aceptable para el usuario” (Cabrera 2003).

De esta definición se infiere que el fallo funcional puede ser total o parcial, cuando la pérdida de la función es respectivamente total o parcial. El fallo funcional total casi siempre está asociado a una causa diferente de la del fallo funcional parcial y sus consecuencias también pueden ser diferentes, por lo que para atenderlos diferenciadamente deben registrarse por separado.

Modo de Fallo: Son todos aquellos hechos que puedan haber causado la falla funcional. Se incluyen todas las fallas posibles que han ocurrido en el equipo o en equipos



iguales, así como las fallas que aún no han ocurrido pero existe la posibilidad de que así sea.

Efecto o consecuencia del fallo: Es la consecuencia que el modo de fallo tiene sobre la operación, función o estado de una pieza o equipo. Esto permite decidir la importancia de cada fallo; por tanto qué nivel de mantenimiento sería necesario.

Las consecuencias de los fallos funcionales se clasifican en cuatro grupos.

1. Consecuencias operacionales: una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.

2. Consecuencias no operacionales: las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación.

3. Consecuencias de las fallas no evidentes: las fallas que no son evidentes no tienen impacto directo; pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas.

4. Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente.

Si un fallo tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, sería importante preguntar que tareas serían necesarias para prevenirlo. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento que no sea el de las rutinas básicas de servicio y lubricación.

Al evidenciar que tipo de consecuencia se encuentra asociada con el modo de falla, se determina que tarea de mantenimiento es la más adecuada para lo cual debe cumplir con las siguientes condiciones:

1. Ser factible técnicamente. ¿Existe una tarea realizable que reduzca el efecto de la falla a un nivel tolerable?



2. Merecer la pena. ¿La tarea de mantenimiento reduce las consecuencias de un modo de falla a un nivel que justifique los costos directos e indirectos del mismo? (Labañino, 2013).

Los tipos de tareas son las siguientes:

Tarea a condición. Este tipo de tarea se define en el monitoreo de condiciones físicas identificables que indican que una falla está por ocurrir o están en el proceso de ocurrir.

Tarea de reacondicionamiento cíclico. Este tipo de tarea consiste en volver a fabricar un componente o reparar un conjunto antes de un límite de edad específico sin importar su condición en ese momento.

Tarea de sustitución cíclica. Este tipo de tarea implica sustituir un componente antes de un límite de edad específico; más allá de su condición en ese momento.

Tarea de búsqueda de fallas. Este tipo de tarea implica la revisión periódica de funciones ocultas para determinar si han fallado.

Rediseño. Este tipo de tarea implica hacer cambios una sola vez a las capacidades iniciales de un sistema. Esto incluye cambios en la instalación y de procedimientos.

Ningún mantenimiento programado. Este tipo de tarea implica dejar que ocurra para luego realizar un mantenimiento correctivo (Labañino, 2013).

Resultados de la aplicación del AMFE al mantenimiento.

La aplicación de un sistema de análisis de fallos aplicado al mantenimiento puede traer los siguientes resultados:

1. Necesidad de modificar los planes y estrategias de mantenimiento de los equipos.
2. Revisión de los procedimientos de operación para producción.
3. Una lista de cambios que deben hacerse al diseño del activo físico, o a la manera en que es operado para lidiar con situaciones en las que no puede proporcionar el funcionamiento deseado en su configuración actual (Labañino, 2013).

1.3.2.3. Análisis de Causa Raíz

El Análisis de Causa Raíz (ACR o RCA en sus siglas en inglés) es un método para la resolución de problemas que intenta evitar la recurrencia de un problema o defecto a través de identificar sus causas.



Existen varias medidas efectivas (métodos) que abordan las causas raíz de un problema, Por lo tanto ACR es un proceso reiterativo y una herramienta para la mejora continua.

Esta metodología es usada normalmente en forma reactiva para identificar la causa de un evento, para revelar problemas y resolverlos. El análisis se realiza después de ocurrido el evento. Con un buen entendimiento de los ACR permite que la metodología sea preventiva y pronosticar eventos probables antes de que sucedan.

El análisis de causa raíz no es una metodología simple y definida; hay muchas herramientas, procesos y filosofías a la hora de realizar un ACR. Sin embargo, existen varios abordajes de amplia definición o corrientes que pueden identificarse por su tratamiento sencillo o su campo de origen: basados en la seguridad, basados en la producción, basados en los procesos, basados en las fallas, y basados en los sistemas.

- ACR basados en la seguridad provienen del campo de los accidentes y de la seguridad y salud laboral
- ACR basados en la producción se origina en los campos del control de calidad para la manufactura industrial.
- ACR basados en los procesos es una variación de los ACR basados en la producción, pero con un alcance que se expandió para incluir a los procesos de los negocios.
- ACR basados en las fallas surge de las prácticas del análisis de fallas como se emplea en la ingeniería y mantenimiento.
- ACR basados en los sistemas es el resultado de la mezcla de corrientes anteriores, en conjunto a ideas tomadas de campos como gestión de cambios, gestión de riesgos y análisis de sistemas.

Principios generales del análisis de causa raíz.

1. El objetivo primario del ACR es identificar los factores que resultaron en la naturaleza, la magnitud, la ubicación, el momento (las consecuencias) de un evento o más para poder identificar comportamientos, acciones, inacciones o condiciones necesarias que cambien. De esa manera prevenir la reiteración de eventos dañinos similares y poder identificar las lecciones a aprender para promover el logro de mejores consecuencias. (Se define el "éxito" como la certeza casi absoluta de la prevención de la reiteración de un evento.)



2. Para ser efectivo, un ACR debe realizarse en forma sistemática, por lo general como parte de cualquier investigación, con conclusiones y causas raíces que sean comprobadas por medio de evidencia documentada.
3. Pueden haber más de una causa raíz por evento o problema, la dificultad se encuentra en demostrar la persistencia y mantener el esfuerzo para resolverlos.
4. El propósito de identificar todas las soluciones a un problema es prevenir la reaparición al menor costo, de la manera más simple. Si existen alternativas que son igualmente efectivas, siempre se elegirá la del menor costo.
5. Las causas raíces identificadas van a depender de la manera en que se defina el problema o el evento. Se requiere una efectiva declaración del problema, así también como una efectiva descripción del evento.
6. Para ser efectivo, el análisis debe establecer la secuencia de eventos o línea del tiempo para entender las relaciones entre los factores contribuyentes (causales), la causa raíz y el problema o evento definido.
7. El análisis de causa raíz ayuda a transformar una cultura reactiva (que actúa en consecuencia a problemas) a una cultura proactiva que resuelve problemas antes de que ocurran o escalen a problemas mayores. Además, reduce la frecuencia en que ocurren los problemas.
8. Los ACR pueden ser recibidos como una amenaza en varias culturas y ambientes. Un cambio de cultura siempre encuentra resistencias. En casos así, se debe trabajar en brindar soporte constante de la gestión de ACR para lograr efectividad y éxito, así también como utilizar políticas no punitivas al encontrar problemas.
(Hernández Paneque, 2016)

1.3.3. Fallas de los diferentes sistemas del camión ZIL 131.

Para utilizar cualquiera de los análisis de fallas antes mencionado es necesario conocer primeramente las fallas que ocurren por sistemas y la frecuencia con la que ocurre en un periodo de tiempo determinado. En este caso se utilizará el Diagrama de Pareto ya que el mismo ayuda a identificar cuáles son los aspectos prioritarios que hay que tratar, además de que nos brinda cuantitativamente los datos necesarios para realizar un estudio de los principales problemas y que se puede hacer para disminuir la incidencia de los mismos al conocer que porcentaje pertenece a los sistemas más críticos, e incluso dentro de cada sistema permite conocer cuál de los subsistemas es el de mayor



probabilidad de fallos. Según entrevistas realizadas al jefe de Tanques y Transporte de la unidad, a varios oficiales de este centro y a los explotadores del vehículo se recopiló las fallas que han ocurrido en el vehículo objeto de estudio durante su explotación.

Principales fallas en el motor.

1. Paso excesivo de gases al cárter.
2. Continúa trabajando después de apagado.

Principales fallas en el mecanismo biela- manivela.

1. Disminución de la presión de aceite.

Fallas en el mecanismo de distribución de los gases.

1. Escape de gases por la junta de tapa de bloque.

Fallas en el sistema de lubricación.

1. Salideros
2. Excesivo nivel de aceite en el cárter.
3. Presencia de carbonilla en la cámara de combustión producto del excesivo aceite en el cárter.

Fallas del sistema de alimentación.

1. Baja frecuencia de rotación.
2. Inestabilidad en el funcionamiento del motor en toda la gama de frecuencia de rotación de trabajo.

Fallas en el sistema de refrigeración.

1. Sobrecalentamiento del motor.
2. Escape de vapor de agua a través del radiador.
3. El reloj de temperatura en la pizarra de control no funciona.

Fallas del distribuidor de corriente.

1. Los contactos del distribuidor se queman.
2. Se deterioran las piezas de plástico.

Fallas de las bujías.

1. Aislador de la bujía cubierta de hollín o carbonilla.
2. Holguras grandes en las bujías.
3. Bujía con rotura del pie del aislador.
4. Se dobla el electrodo central o se rompe el aislador.



Falla de la bobina.

1. Rotura a causa de un elevado calentamiento.

Fallas de la batería.

1. Estropeamiento de los bornes de salida.
2. Rotura de los puentes entre las placas.
3. Sulfatación de las placas.
4. Desprendimiento de las placas por endurecimiento.

Fallas de los conectores de alta tensión.

1. Disrupción del aislamiento de los cables.

Fallas del interruptor general.

1. No se alimenta la pizarra de control.

Fallas del Alternador.

1. Desarreglo en el cableado o en los empalmes de contacto.
2. No hay contacto entre las escobillas y los aros.
3. Escobillas desgastadas.
4. Tensado excesivo o ladeo de la correa de accionamiento.
5. Cojinetes desgastados o deteriorados.

Fallas del regulador de voltaje.

1. Cortocircuito en el interior del regulador.

Fallas del sistema de alumbrado.

1. No se encienden algunas luces o no funciona todo el sistema.
2. Las lámparas se funden con frecuencia.

Fallas de los instrumentos de medición y control.

1. No correspondencia de las indicaciones.
2. No funcionan los indicadores.

Fallas en la transmisión de fuerza.

Embrague

1. Tirones y vibraciones en el momento de conexión de embrague.
2. Avance con dificultad cuando se conectan las velocidades.

Caja de velocidad

1. Dificultad durante conexión de la velocidad.
2. Ruidos en la caja.



Fallas en la suspensión

1. Golpes secos y vibraciones fuertes al pasar el vehículo por irregularidades en la vía.
2. Golpes secos en los amortiguadores.

Fallas en el tren de rodaje

1. Desgaste irregular de las bandas de los neumáticos.

Fallas del sistema de dirección.

1. Incremento del juego libre del volante.
2. Desplazamientos axiales del volante.
3. Atrancamiento del volante.

Fallas en los frenos.

1. Pérdida de la capacidad de frenado.
2. Frenado no uniforme.
3. Calentamiento de la tambora.

Fallas del motor de arranque.

1. Se altera el contacto en el circuito de alimentación del motor de arranque.
2. Cortocircuito entre las espiras en el devanado del relé de tracción del motor de arranque.
3. Mal funcionamiento del relé.
4. Contactos del relé del motor de arranque en mal estado.

1.4. Mantenimiento

El mantenimiento industrial es el conjunto de actividades realizadas que permiten conservar el buen funcionamiento de bienes, equipos e instalaciones de una empresa, o restablecerlo de manera que se garantice la producción y buena calidad del bien o servicio. Otros autores afirman que mantenimiento, es la actividad humana que conserva la calidad del servicio que prestan las máquinas, instalaciones y edificios en condiciones seguras, eficientes y económicas, puede ser correctivo si las actividades son necesarias debido a que dicha calidad del servicio ya se perdió y preventivo si las actividades se ejecutan para evitar que disminuya la calidad de servicio. Mientras que otros especialistas afirman que el mantenimiento no es más que la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantiene en, o se restablece a, un estado en el que puede realizar las funciones designadas. El conjunto de estas labores de mantenimiento es conocido como proceso de mantenimiento, en el



cual la entrada está representada por el equipo o sistema cuyo funcionamiento debe ser conservado por el usuario, y las salidas por el equipo o sistema en estado de funcionamiento (Ortega, 2017).

1.4.1. Objetivos del Mantenimiento

1. Mejora de la disponibilidad del equipo productivo.
2. Disminución de los costos de mantenimiento.
3. Aprovechamiento del recurso humano.
4. Maximización de la vida de la máquina.
5. Asegurar que el proceso opere dentro de control estadístico.
6. Reparar y restaurar la capacidad productiva que se haya deteriorado.
7. Reemplazar o reconstruir la capacidad productiva agotada.

En el caso del mantenimiento su organización e información debe estar encaminada a la permanente consecución de los objetivos mencionados (Ortega, 2017).

1.5. Sistemas de Mantenimiento

Los sistemas de mantenimiento han ido evolucionando con el tiempo y hoy no pueden dejarse de lado en ninguna de sus variadas formas y versiones, si pretendemos una manufactura de clase mundial. Actualmente existen variados sistemas para encarar el servicio de mantenimiento de las instalaciones en operación, algunos de ellos no solamente centran su atención en la tarea de corregir las fallas, sino que también tratan de actuar antes de la aparición de las mismas haciéndolo tanto sobre los bienes, tal como fueron concebidos, como sobre los que se encuentran en la etapa de diseño, introduciendo en éstos últimos, las modalidades de simplicidad en el diseño, diseño robusto, análisis de su mantenibilidad, diseño sin mantenimiento, y otros.

Hay varios tipos de mantenimiento, entre los cuales encontramos:

GENERAL lubricación, inspecciones, calibraciones.

CORRECTIVO de emergencia o programado.

PREVENTIVO verificaciones con desarmes programados.

PREDICTIVOS controles programados con rutinas y análisis.

MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM).

Mantenimiento general: es el que nace del criterio de preservación de todos aquellos bienes o útiles que constituyen el patrimonio o elementos de desgaste en la producción. Requieren en su faz práctica de un plan lógico que tienda a minimizar aquellos factores



que reducen su vida útil. Entre las tareas que se pueden realizar en este tipo de mantenimiento encontramos los ajustes, limpiezas y lubricaciones.

Mantenimiento correctivo: es el que se realiza siempre que un equipo o sistema deja de trabajar por causas desconocidas, poniéndolo en el menor tiempo posible en funcionamiento intentando localizar el motivo por el que dejó de funcionar. Y generando acciones que eviten la avería.

Mantenimiento preventivo: es el que se realiza según datos entregados por los fabricantes y que establecen que, en determinados momentos, ya sea horas de uso, repeticiones de una tarea, etc. se deben realizar determinadas tareas para evitar los entorpecimientos de las funciones específicas. Mediante este tipo de mantenimiento se trata de evitar los efectos de causas conocidas de averías. Con los exámenes periódicos o recambios que se efectúan rutinariamente se prolonga la vida útil de los equipos.

Mantenimiento predictivo: consiste en un conjunto de estudios que se van realizando, sin detener el normal funcionamiento de los equipos, con el fin de poder predecir anomalías en el desempeño de las tareas específicas. Llegado el caso en que se necesite realmente realizar alguna reparación en la máquina es posible elegir el mejor momento, es decir, el que produzca las menores pérdidas posibles. Las técnicas utilizadas en el control pasan por realizar mediciones más o menos complejas según el caso y las posibilidades de la empresa.

Mantenimiento Productivo Total: se presenta como una respuesta de mantenimiento frente al avance de las teorías de calidad que proponen una nueva modalidad de participación del operario.

Los diferentes tipos de mantenimiento se pueden combinar de forma tal que se obtenga el máximo rendimiento de las instalaciones. Es decir, podemos realizar estudios constantes sobre las variables de funcionamiento de los equipos como para anticipar cualquier posible falla, y adelantando a retrasando un poco las tareas que establece el mantenimiento preventivo (de forma que no se tengan que detener las máquinas en el momento de mayor producción) (Sitio web 1).

En la siguiente tabla se pueden apreciar algunas de las ventajas y desventajas de estos mandamientos.



Tabla 1.2 Ventajas y desventajas de los distintos tipos de mantenimientos (Sitio web 1).

Mantenimiento	Concepto	Ventajas	Desventajas	Aplicación
Correctivo	Se ejecuta en caso de falla notable en el rendimiento operativo del equipo o inactividad total.	Genera costo ante falla existente.	Incertidumbre sobre cuándo se producirá la falla, que puede ser en el momento más inconveniente e involucrar un alto costo.	En todos los casos.
Preventivo	Considera el historial de fallas en máquinas iguales para la programación de paradas y verificación.	El mantenimiento es programado para el momento productivo oportuno.	El mantenimiento puede ser innecesario.	Generalizada. No aplicable cuando las posibles averías no generan grandes gastos comparados con los de mantenimiento.
Predictivo	Monitoreo programable de variables indicativas del funcionamiento	Se evitan desarmes innecesarios y se conoce el estado de la máquina.	Un monitoreo mal implementado o mal llevado puede permitir que la maquinaria falle.	Cuando el costo de paradas justifica la implementación de este tipo.

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

Según la norma SAE JA1011 (2009), “RCM es un proceso específico utilizado para identificar las políticas que deben ser implementadas para el manejo de los modos de falla que pueden causar una falla funcional de cualquier activo físico en un contexto operacional dado”

Según esta norma, las 7 preguntas básicas del proceso RCM son:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?



6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?

7. ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva?

Es posible encontrar aún más definiciones relativas a la confiabilidad operativa como por ejemplo esta de RCM II: “Proceso utilizado para determinar los requerimientos y estrategias de mantenimiento de los activos logrando mejorar la confiabilidad y los resultados empresariales en aspectos económicos, de seguridad y medioambientales” (Soporte & Cia, 2012).

Incluso en Wikipedia, es posible encontrar una definición de RCM, aunque solo de forma indirecta:

“El RCM tiene como principal objetivo preservar la funcionalidad del sistema, pero sin embargo existen actividades y objetivos paralelos para alcanzar este objetivo principal. La metodología RCM facilita la identificación de modos de falla ayudando a priorizar estos, reflejando la importancia de los mismos hacia la funcionalidad del sistema, además se dice que se deben de alcanzar estos objetivos identificando la necesidad de ser efectivos en los costos de las actividades preventivas realizadas.” la esencia de la confiabilidad operativa puede presentarse de la siguiente manera:

El RCM orienta las acciones no solo a la reparación de fallas, sino a encontrar las causas raíz de ellas y a evitarlas o minimizarlas es decir trabajar sobre las causas raíz en lugar de hacerlo sobre las fallas o síntomas.

Lo anterior, se realiza creando un sistema, a través de la recopilación ordenada de datos, análisis estructurados y utilizando herramientas y modelos matemáticos para la toma de decisiones.

El análisis de una instalación, basándose en la metodología de RCM y la aplicación práctica de las medidas preventivas y paliativas que emanan de este riguroso estudio, tiene una serie de ventajas sobre otras formas de abordar el mantenimiento de una instalación y de evitar las averías y sus daños colaterales. Estas ventajas tienen mucho que ver con el rigor con el que se realiza el estudio y con el hecho de que se trata de un plan de mantenimiento que considera no solo los equipos, sino la instalación como un todo que va más allá de una simple suma de equipos. A la vez presenta algunos inconvenientes que es necesario conocer antes de comenzar una posible implantación.



Ventajas

Permite que haya un aumento de la seguridad en la unidad, así como una mejora en el impacto ambiental, aumenta de fiabilidad de la instalación, disminuye los costos de mantenimiento, posibilita tener un mayor conocimiento de la instalación y posibilita que exista una disminución de la dependencia de los fabricantes.

Desventajas

El RCM no es la panacea ni la solución a todos los problemas de la humanidad. Es una simple técnica de ingeniería del mantenimiento que tiene indudables ventajas e inconvenientes.

El primero de los inconvenientes tiene mucho que ver con la profundidad técnica del análisis a realizar: no puede ser llevado a cabo por cualquier técnico, sino que necesariamente ha de ser realizado por profesionales con mucha experiencia en mantenimiento de instalaciones industriales, porque solo ellos conocen de verdad los problemas de las instalaciones. El número de este tipo de técnicos es, hoy por hoy, pequeño.

El segundo de los inconvenientes está relacionado con el tiempo que se requiere para llevarlo a cabo. Un estudio de esta profundidad requiere tiempo y dedicación. Como simple referencia, un equipo de tres ingenieros con dedicación exclusiva puede tardar más de diez meses en completar un plan de mantenimiento basado en RCM de una planta industrial completa, cuando por otras técnicas apenas se realiza en dos.

El tercer gran inconveniente es el coste. Mucho tiempo de dedicación de profesionales caros y escasos no puede ser nunca barato. Que no sea barato no quiere decir que no sea rentable, ya que la inversión se recupera rápidamente en forma de aumento de producción y disminución de coste de mantenimiento, pero es necesario realizar una inversión inicial en tiempo de recursos valiosos (Santiago, 2016).

1.6. Conclusiones del capítulo

1. Existen diferentes métodos o teorías para el análisis de las fallas, pero de ellos los más integradores a los objetivos de la investigación son el Análisis de Pareto y el Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) y su aplicación en el mantenimiento.



2. MEJORAS AL PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL DEL CAMIÓN ZIL 131 CONOCIENDO EL SISTEMA MÁS CRÍTICO

2.1. Caracterización del ZIL 131.

Algunas de las características técnicas de este camión que permiten conocer más acerca de ellos son:

Estos camiones tienen tracción total, contando con una fórmula de ruedas 6 X 6, el motor se encuentra en la parte delantera del vehículo, el mismo dispone de una capacidad de 3 personas en la cabina. El peso en vacío de estos camiones es de 6 700 kg mientras que la capacidad de carga es de 5 000 kg con remolque 5 000 kg (en la carretera), o 3 500 kg más remolque 4 000 kg fuera de carretera. La suspensión que utilizan estos vehículos es de ejes sólidos con ballestas. Por otro lado el motor que utilizan según la posición de los cilindros es V8 de gasolina, con una potencia máxima de 112 kW a 3 200 min^{-1} , el torque máximo es de 36 N·m en el (1 800-2 000) min^{-1} .

Otras de las especificaciones técnicas que tiene el ZIL 131 es que cuenta con una cilindrada de 6 960 cm^3 , un Diámetro / Carrera: 100 / 95 mm y una relación de compresión: 6,5: 1.

Los frenos que utiliza este modelo de camión son frenos de tambores, con control neumático, la distancia de frenado (a 35 km / h) es de 12 m, las medidas de neumático es 12,00 x 20 y los mismos son 305R20, y tienen una presión de (0,05-0,42) MPa (controlada)

El vehículo objeto de estudio cuenta con varias características que le permiten tener una maniobrabilidad, tales como un radio de giro 33' 5,6", un enfoque de ángulo de 36 grados y un ángulo de salida de 40 grados. El máximo ángulo de ascenso 31 grados (con 3 750 kg (8 267 libras) de carga). También cuenta con dos tanques de combustibles con una capacidad de 170 litros, la economía de combustible: 40 L / 100 km (ciudad), de 50 a 100 litros / 100 km (zonas rurales) (Gogoliev, 2018)

A continuación se representa el ZIL 131 en la figura 2.1, donde se puede apreciar las principales dimensiones de este camión siendo observado desde varias vistas para facilitar la comprensión de las dimensiones del mismo.



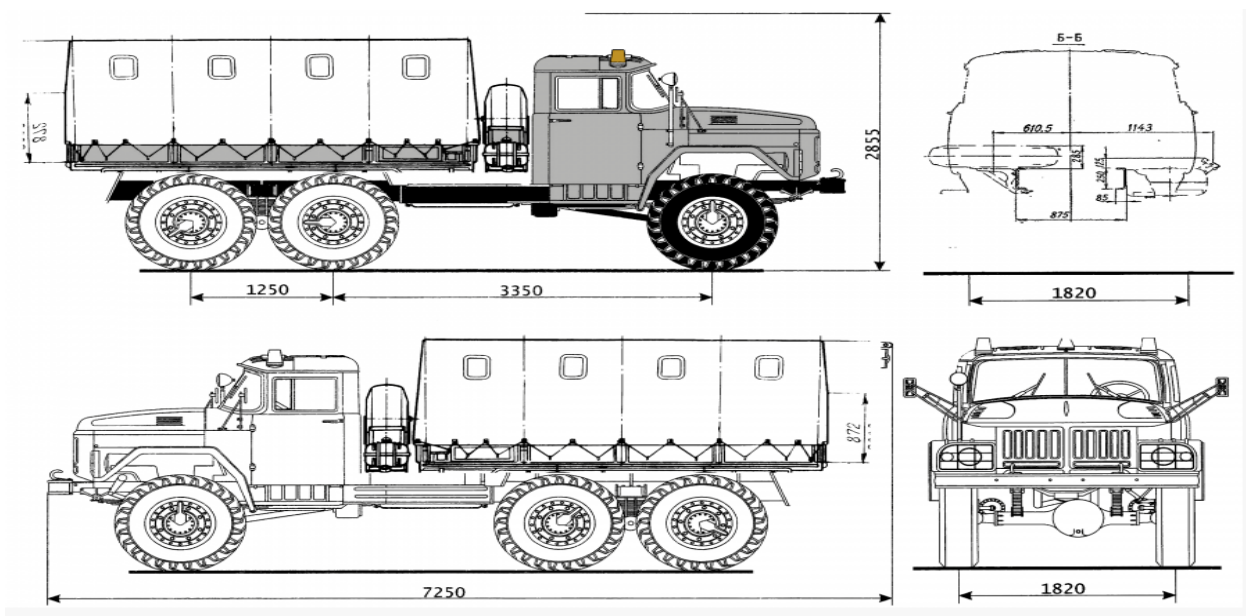


Fig 2.1. Dimensiones del ZIL 131 (Gogoliev, 2018).

Para identificar el sistema más crítico, así como los componentes con mayores incidencias del mismo se decidió utilizar como herramienta de análisis el Diagrama de Pareto, ya que el objetivo del mismo es el identificar los "pocos vitales" o ese 20% de tal manera que la acción correctiva que se tome, se aplique donde nos produzca un mayor beneficio para dedicar los mayores esfuerzos a estudiar las causas y consecuencias de las fallas, así como las tareas a realizar para darle solución a cada problema. El Diagrama de Pareto, al catalogar los factores por orden de importancia facilita una correcta toma de decisiones para el cual se siguieron los siguientes pasos:

1. Recogida de datos.
2. Elaboración de la tabla y el diagrama de Pareto.
3. Interpretación de los resultados.

Una vez que se conocen cuáles son los fallos por sistemas y los componentes que pueden fallar, es necesario conocer la frecuencia con la que fallan, en el presente estudio se utilizan el total de fallas por sistemas en el periodo de un año, desde junio de 2017 hasta junio de 2018.

2.2. Recogida de datos

En la siguiente tabla se recoge los principales fallos ocurridos en el período antes mencionado, siendo la misma de vital importancia para determinar cuál de estos sistemas es el más crítico.



Tabla 2.1. Principales sistemas del camión ZIL 131 y las cantidades de fallos en el período de estudio (Elaboración Propia).

Sistemas	Componentes	Número de fallos
Sistema eléctrico	Motor de arranque	8
	Alternador	9
	Distribuidor de corriente	9
	Bujías	4
	Cable de las bujías	3
	Batería acumuladora	8
	Interruptor general	0
	Bobina de encendido o de alta presión	3
	Regulador de voltaje	4
Sistema de alimentación de combustible	Depósito de combustible	1
	Filtro sedimentador de combustible	4
	Filtro de depuración fina de combustible	4
	Bamba de combustible	4
	Carburador	3
	Radiador y tapa de radiador	4
	Tuberías, mangueras y presillas	3
	Filtro de aire	2
Sistema de refrigeración o de enfriamiento	Bomba de agua	3
	Tuberías, mangueras y presillas	5
	Ventilador	2
	Termostato	1
	Transmisión por correas	1
Motor	Bloque de cilindros del motor	1
	Culata del bloque de cilindros	1
	Pistones	1
	Bulones del pistón	1
	Segmentos del pistón	1
	Bielas	1



Tabla 2.1. Principales sistemas del camión ZIL 131 y las cantidades de fallos en el período de estudio (Elaboración Propia).

Sistemas	Componentes	Número de fallos
Motor	Cojinetes	1
	Cigüeñal	1
	Volante	1
	Válvulas	1
Sistema de lubricación	Bomba de aceite	3
	Filtro de aceite	3
	Radiador de aceite	3
	Tuberías	1
Sistema de alumbrado	Luces	4
	Instrumentos de medición y control	5
Sistema de transmisión de fuerza	Embrague	8
	Caja de velocidad o caja de cambio	4
	Transmisión cardánica	3
	Puentes	3
Sistema de suspensión	Soportes de la ballesta	1
	Bulón del amortiguador	1
	Amortiguador	1
Tren de rodaje	Bandas de los neumáticos	1
	Aros laterales y llantas	1
Sistema de dirección	Árbol cardánico de dirección	1
	Bomba del servo hidráulico	1
	Depósito de la bomba	1
	Conmutador de los indicadores de dirección	2
	Cuña de fijación del árbol cardánico	1
Sistema de frenos	Compresor	1
	Regulador de presión	1
	Tambor de frenos	1
	Zapata de frenos	1
	Manómetro de control de la presión en las cámaras de freno	1



2.2.1. Elaboración de la tabla y el Diagrama de Pareto

Para la elaboración de la tabla de Pareto se tomaron las fallas en cada sistema y se determinó su porcentaje de contribución para lo cual se dividió el número de fallas de cada sistema entre el número de fallas total y se multiplicó por 100. El porcentaje acumulado se determina por la suma del porcentaje de fallas de los sistemas anteriores.

Tabla 2.2 Número de fallas y el porcentaje que representan las mismas
(Elaboración Propia).

Sistema	Número de fallas	Número de fallas acumuladas	% Total	% Total Acumulado
Eléctrico	48	48	32,00	32,00
Alimentación de combustible	21	69	14,00	46,00
Transmisión de fuerza	18	87	12,00	58,00
Enfriamiento	16	103	10,66	68,66
Motor	10	113	6,67	75,33
Lubricación	10	123	6,67	82,00
Alumbrado	9	132	6,00	88,00
Dirección	6	138	4,00	92,00
Frenos	6	144	4,00	96,00
Suspensión	3	147	2,00	98,00
Rodaje	3	150	2,00	100,00

De esta tabla se concluye que el sistema eléctrico es el que más falla con un total de 48 fallos en el período estudiado, lo que representa el 32 % de los fallos acumulados.



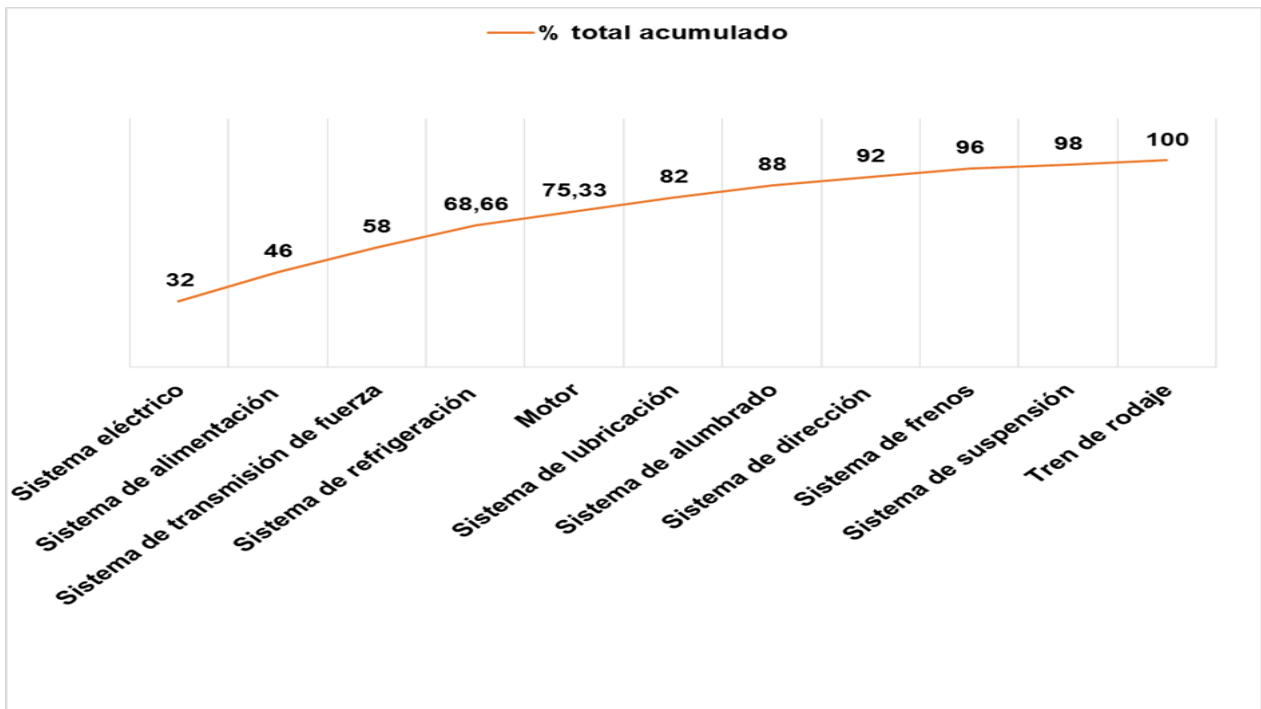


Fig 2.1 Diagrama de Pareto (Elaboración Propia).

2.2.2. Interpretación de los resultados.

Como se puede observar en el Diagrama de Pareto los sistemas que más inciden en las fallas son el sistema eléctrico, el sistema de alimentación de combustible, el sistema de transmisión de fuerza, el sistema de refrigeración o de enfriamiento, el motor y el sistema de lubricación, ya que el 18 % de las causas resuelven el 82 % de los problemas y el 82 % de las causas solo resuelven el 18 % del problema que le ocurren al camión ZIL 131, es decir que estos sistemas antes mencionados constituyen los pocos vitales ya que representan un elevado porcentaje de las fallas, mientras que los demás son muchos triviales cuyas incidencias de las fallas son menores. De ellos el sistema más crítico es el eléctrico, dentro de este sistema los componentes con mayor número de fallos son el alternador y el distribuidor de corriente.

2.3. Componentes del sistema eléctrico.

El sistema eléctrico del camión ZIL 131 está compuesto por los siguientes componentes, los que fueron establecidos de acuerdo a su principio de funcionamiento para facilitar el análisis de los fallos (ver figura 2.2).





Fig 2.2. Componentes del sistema eléctrico (Elaboración propia).

2.4. Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE) del camión ZIL 131

Se realizó una identificación de las distintas fallas del sistema eléctrico que resultaron críticas y las consecuencias de las mismas, además, permitió identificar las formas en que puede fallar el equipo, sus clasificaciones según la ocurrencia, las causas y los efectos que puede provocar cada una de estas fallas y las actividades de mantenimiento para corregir estas.

La tabla 2.3 muestra la información antes mencionada para el alternador y en el caso de los demás componentes aparecen en los anexos.



Tabla 2.3 Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE) (Elaboración propia).

Alternador					
Falla Funcional	Modo de falla (síntomas)	Parte del equipo afectada	Causas de falla	Efecto de falla	Actividad de mantenimiento a realizar
No genera la intensidad de la corriente para producir la chispa	El alternador no da corriente de carga	Empalmes y cables	Desajuste en el cableado o en los empalmes de contacto en el alternador	La batería no carga correctamente y el camión no recibe el suministro eléctrico necesario para su correcto funcionamiento	Comprobar el ajuste de cables y empalmes
	El alternador carga pero no asegura buena carga de la batería de acumuladores	Escobillas, resorte de las escobillas	No hay contacto entre las escobillas y los aros.		Cambiar las escobillas
			Escobillas desgastadas		
	Ruidos de los cojinetes de bola durante el funcionamiento del alternador	Cojinetes de bola, correa	Tensado excesivo o ladeo de la correa de accionamiento	Se deteriora la correa y esto provoca que la batería no cargue	Regular el tensado de la correa y centrar la polea
			Cojinetes desgastados o deteriorados		Sustituir los cojinetes

2.4.1 . Clasificación de las fallas del sistema eléctrico del camión ZIL 131.

La clasificación de las fallas del sistema eléctrico es de vital importancia para poder asignar el tipo de mantenimiento adecuado a ejecutar en cada caso. Para ello se utilizó como criterio de clasificación la frecuencia de ocurrencia de las mismas (ver figura 2.3).



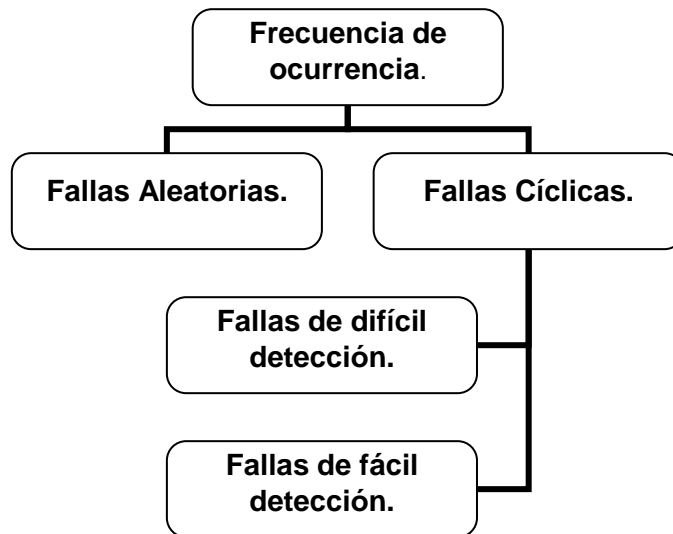


Fig 2.3 Criterio de clasificación de las fallas.

Según este criterio de clasificación las fallas se pueden denominar como cíclicas y aleatorias.

Fallas aleatorias: por lo general no siguen un patrón previsible, por lo que es muy difícil estimar en qué momento se van a presentar, por ejemplo falla de componentes eléctricos y electrónicos, atascamientos, golpes de los equipos con objetos externos, etcétera.

Fallas cíclicas: están relacionadas al deterioro por fatiga, desgaste, desajuste o falta de calibración del equipo o pieza. Estas fallas se dividen a la vez en fallas de difícil detección y fallas de fácil detección.

Fallas de difícil detección: por las condiciones de operación y montaje del equipo la identificación de la falla es de alta complejidad.

Fallas de fácil detección: son aquellas fallas que se pueden ubicar rápidamente, es decir, es fácil conocer el momento en que se presentan.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos basados en la clasificación expuesta, tabla 2.4



Tabla 2.4 Clasificación de las fallas del sistema eléctrico (Elaboración Propia).

Alternador			Clasificación de la Falla	
Fallas Funcionales	Parte del equipo afectada	Causa de la Falla	Según Frecuencia	Según detección
No genera la intensidad de la corriente para producir la chispa	Empalmes y cables	Desajuste en el cableado o en los empalmes de contacto en el alternador	Cíclica	fácil
	Escobillas, resorte de las escobillas	No hay contacto entre las escobillas y los aros	Cíclica	difícil
		Escobillas desgastadas	Cíclica	difícil
	Cojinetes de bola, correa	Tensado excesivo o ladeo de la correa de accionamiento	Aleatoria	
		Cojinetes desgastados o deteriorados	Aleatoria	

2.4.2. Análisis lógico para la toma de decisiones.

La figura que a continuación se ilustra permite efectuar una correcta toma de decisiones para la aplicación del mantenimiento que se ha de seleccionar en este estudio. En esta figura aparecen de forma organizada, lógica y detallada cada una de las interrogantes y condiciones a tener en cuenta en el proceso de análisis de los fallos, sus causas y consecuencias y el actuar posterior en la solución de los mismos.

El proceso tiene como objetivo la búsqueda de las tareas de mantenimientos técnicos, a través de la determinación de los requerimientos de mantenimiento de los elementos físicos de los equipos y máquinas, en dependencia del contexto operacional en que son explotados, para que continúen funcionando.



Si el fallo no afecta la seguridad o al medio ambiente se evaluaría su comportamiento respecto a las operaciones (parada de la producción, afectación de la calidad, afectación del servicio al cliente, afectación de los costos operacionales).

De fallar algo, y detener o disminuir los niveles de producción o afectar la calidad, se debe estimar si es más barato prevenir el fallo que los costos que se generarían por la inactividad del sistema. Las tareas de mantenimiento se realizarían de ser muy elevados los costos por inactividad del sistema. En caso contrario, lo lógico es esperar hasta que falle el sistema.

Si el fallo no detiene o disminuye significativamente los niveles productivos, se valoraría si es más económico prevenir el fallo que los costos que se generarían por la acción directa para el restablecimiento del sistema, habría que hacer las tareas preventivas; de lo contrario se esperaría hasta que falle el sistema.

2.4.3. Análisis de los fallos para facilitar la propuesta de mejoras al plan de mantenimiento actual del ZIL 131.

Al proponer algunas mejoras al plan de mantenimiento actual, es necesario definir las tareas precisas y necesarias para evitar los fallos y mantener la funcionalidad y funcionabilidad del camión, para lo cual se hizo un análisis de los fallos utilizando el diagrama del proceso de decisión lógica. Los resultados de este análisis se pueden ver en la tabla 2.5.



Tabla 2.5 Análisis de los fallos (Elaboración Propia).

Alternador									
Fallo	¿Se puede detectar?	Afectación			¿Se puede prevenir?		Tareas planificadas		Esperar Fallo
	Sí	No	Seg. Medio Ambiente.	Operacional	Sí	No	Condi c.	Cíclic.	
El alternador no da corriente de carga porque los cables o los empalmes de contacto están desarreglados	X			X	X			X	
El alternador carga pero, no asegura buena carga de la batería porque no hay contacto entre las escobillas y los aros		X		X		X		X	
El alternador carga pero, no asegura buena carga de la batería porque las escobillas están desgastadas		X		X		X		X	
Hay ruido de los cojinetes de bola durante el funcionamiento del alternador por el tensado excesivo o ladeo de la correa de accionamiento	X			X	X			X	
Hay ruido de los cojinetes de bola durante el funcionamiento del alternador porque los cojinetes están desgastados o deteriorados	X			X	X			X	



Atendiendo a la información que brinda la tabla anterior, se concluye que en el sistema eléctrico los fallos pueden ser prevenidos por medio de tareas de mantenimiento, ya sean de tipo cíclicas o por su estado de condición, y en algunos casos se puede esperar la ocurrencia del fallo.

2.4.4. Selección de la política de mantenimiento según el análisis de fallos.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto se selecciona la política de mantenimiento a seguir según sea el tipo de fallo, tabla 2.6.

Tabla 2.6 Política de mantenimiento (Elaboración Propia).

Alternador			
Fallo	Políticas de Mantenimiento		
	Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Predictivo
El alternador no da corriente de carga porque los cables o los empalmes de contacto están desarreglados		X	
El alternador no da corriente de carga porque no hay contacto entre las escobillas y los aros		X	
El alternador da corriente de carga pero, no asegura buena carga a la batería porque las escobillas están desgastadas		X	
Hay ruido de los cojinetes de bola durante el funcionamiento del alternador por el tensado excesivo o ladeo de la correa de accionamiento		X	
Hay ruido de los cojinetes de bola durante el funcionamiento del alternador porque los cojinetes están desgastados o deteriorados		X	



Luego de seleccionar la política de mantenimiento a seguir, se obtiene que las mejoras a realizar al plan de mantenimiento han de estar compuesto por una combinación de varios tipos de mantenimiento como se puede observar en la figura 2.5.

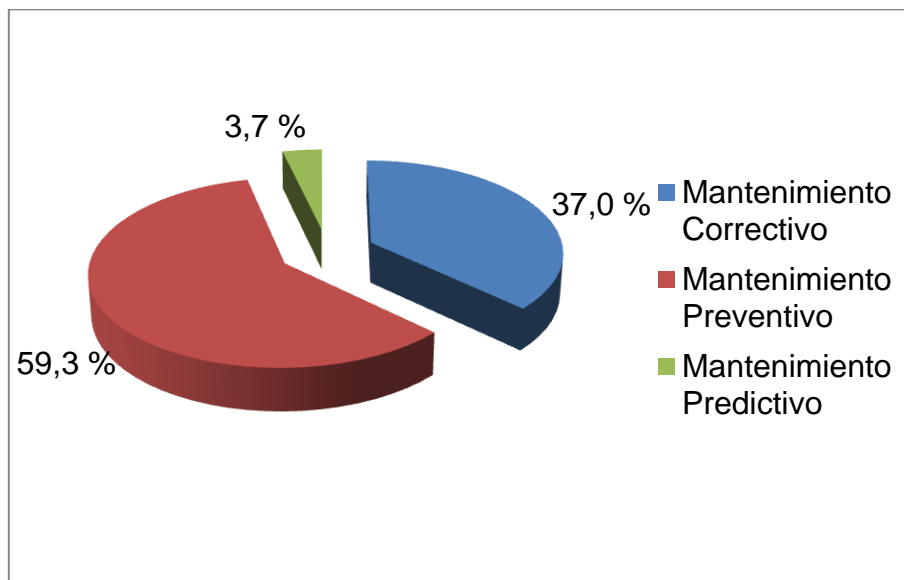


Fig 2.5 Políticas de mantenimiento.

De acuerdo a la gráfica anterior se puede apreciar que el mantenimiento a aplicar está compuesto por un 59,3 % del mantenimiento preventivo, un 37,0 % del mantenimiento correctivo y un 3,7 % del mantenimiento predictivo.

2.4.5. Mejoras propuestas al plan de mantenimiento.

Alternador

1. Comprobar el ajuste del cableado, tensado de la correa y estado de los cojinetes.
2. Revisar los portaescobillas, así como el grado de desgaste de las escobillas.

Motor de arranque

1. Comprobar las uniones de contacto del circuito y, si es necesario, limpiarlas y apretarlas.
2. Corregir las bases de los dientes del volante o cambiar la corona del volante de ser necesario.
3. Comprobar el funcionamiento del relé.



4. Limpiar los contactos del relé del motor de arranque o sustituir de ser necesario.

Bujías

1. En caso de el aislador de la bujía está cubierta de hollín o carbonilla, limpiar las bujías.
2. Si se dobla el electrodo central o se rompe el aislador, corregir la holgura del electrodo central o cambiar las bujías de ser necesario.

Conductores de alta tensión.

1. Cambiar los cables que no se encuentran en buen estado.
2. Comprobar que la longitud del cable esté entre (70-75 mm) desde el extremo del terminal hasta la testa de la turca racor de la manga, oprimida hacia el lado del terminal del cable.

Baterías

1. Comprobar el estado de los bornes y la longitud del cable.
2. En caso de que haya rotura de los puentes entre las placas, sulfatación o desprendimiento de estas es necesario cambiar las baterías.

Bobina de encendido

1. En caso de rotura por calentamiento es necesario corregir los aprietes de los cables y sustituir de ser necesario el condensador.

Distribuidor de corriente

1. Si la chispa salta entre los contactos hay que comprobar que el condensador se conecte correctamente.
2. Cambiar la tapa del distribuidor y el rotor.

Regulador de voltaje

1. En caso de que no se conecte correctamente, sustituir el regulador de voltaje.

2.4.6. Consideraciones de las mejoras propuestas.

1. Implica la aplicación de un mantenimiento más adecuado a las características del equipo.
2. Debe garantizar un trabajo sin fallos hasta el momento en que se haya previsto que se debe realizar una reparación.
3. Disminuye las posibilidades de provocar desajustes y errores al evitar el arme y desarme con una regularidad no siempre necesaria.



4. Permite tener un mejor manejo del inventario de piezas de repuestos e insumos de mantenimiento, aumentando también el tiempo de trabajo del equipo.

2.5. Valoración económica

En este trabajo de diploma se mencionan las principales fallas por sistema y por qué ocurren, así como la frecuencia de las mismas, lo que permite conocer que se puede hacer para la eliminación paulatina de los fallos que ocurren durante la explotación del vehículo, lo cual disminuirá los gastos generados por las reparaciones que se realizan o la compra de nuevas piezas para que estos camiones puedan encontrarse en estado óptimo. El sistema eléctrico que es el que mayor número de fallas presenta, de no prestarle la debida atención a sus fallas puede generar una pérdida anual de \$ 573,20 por vehículo, lo que generaría una pérdida total de \$ 6 878,05 ya que en la unidad hay 12 de estos camiones. Además este estudio permite conocer las acciones que se pueden realizar para ejecutar un mantenimiento centrado en las características del vehículo, así como conocer el número de piezas de repuesto necesarias para no incurrir en gastos de compras y de almacenamiento excesivos.

2.6. Valoración del impacto ambiental

Durante el mantenimiento de los elementos que componen el sistema eléctrico se deben observar las normas de protección medio ambiental, con un manejo adecuado de los residuos sólidos desechados (correas y cables), y prestando especial atención a los desechos peligrosos, como el ácido y las placas de plomo de las baterías. El reciclaje, y la utilización y la disposición final de estos desechos contribuyen a evitar la generación de efectos ambientales indeseables.

2.7. Contribución de la Investigación a la defensa de la Patria

Con la realización de este trabajo de diploma se ha determinado cuales son los sistemas más críticos del camión ZIL 131, el cual es un vehículo que, aunque se ha utilizado en la vida civil, es un vehículo de guerra que presta servicio en la unidad de tanques y transporte de la Región Militar, por lo cual se ha de encontrar en perfecto estado, ya que pertenece a una flota de camiones que deben estar listos en todo momento por si se decreta el estado de guerra en nuestro país. Al conocer los principales fallos se puede elaborar un plan de mantenimiento basado en la explotación



que reciben estos vehículos para así disminuir el tiempo que deben estar parados por mantenimientos, sabiendo además la cantidad de piezas de repuesto que se debe tener para el arreglo de cada uno de los sistemas del camión, ya que los mismos son carros-talleres que en su interior portan un taller móvil con equipos que brindan servicios a otros carros que puedan tener algún fallo en combate.



CONCLUSIONES

1. Se comprobó a través del Diagrama de Pareto que el sistema eléctrico es el más críticos con el 32 % de las fallas que le ocurren al vehículo.
2. Con el Análisis de Modos de Fallas y Efecto se identificaron un total de 27 causas de fallas y sus consecuencias, lo que sirvió de base para la selección de las actividades de mantenimiento correspondientes.
3. Para cumplir las expectativas de mantenimiento del sistema eléctrico se propone algunas mejoras que combinan las políticas de mantenimiento tradicionales (59,3 % del mantenimiento preventivo, un 37,0 % del mantenimiento correctivo y un 3,7 % del mantenimiento predictivo).



RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio para determinar la periodicidad de las acciones propuestas.
2. Implementar las mejoras realizadas al plan de mantenimiento del ZIL 131.
3. Determinar el *stock* de repuestos necesarios para efectuar el mantenimiento al equipo.
4. Realizar este análisis a otros sistemas del vehículo.



BIBLIOGRAFÍA

1. Cabrera Gómez, Jesús (2003). Plataforma básica para un mantenimiento centrado en la confiabilidad. Ed. Vibrosoft. CEIM-CUJAE. Ciudad Habana (Soporte digital).
2. Colectivo de Autores (1996). Diagnóstico Técnico de los carros militares. Centro de Administración para la Defensa.
3. Colectivo de Autores (2002). Manual de Tanques y Transporte. Centro de Administración para la Defensa.
4. Douglas, John (1995). Integración del RCM (Reliability Centered Maintenance) dentro de un programa de TPM (Total Productive Management) (Soporte digital).
5. Gaceta Oficial de la República de Cuba. (s.f.). Ley N. 81 DEL MEDIO AMBIENTE Medio Ambiente (<http://www.medioambiente.cu/legislacionE/leyes/L-81.htm>)
6. Gogoliev L. D. (2018) Vehículos para Soldados: Ensayos sobre la historia del desarrollo y la aplicación de los vehículos militares.
7. Hernández Paneque, Yurima (2016). “Sistema de mantenimiento para la línea de extrusión de polietileno de alta densidad (PEAD) en Holplast”. Tesis presentada en opción al Título Académico de Ingeniero Mecánico. Sede Oscar Lucero Moya de Holguín, Departamento de Ingeniería Mecánica.
8. Hernández, Héctor (2016). Tipos de fallas de Mantenimiento. Disponible en: <https://prezi.com/-t1jdfnxd6c9/tipos-de-fallas-de-mantenimiento>[Consultado 6/2/2019].
<http://es.slideshare.net/oluyar/94542210-normasaeja1012>
9. Labañino Fernández, Jorge Enrique (2013). Análisis del sistema de mantenimiento del decorador 6CMPX800 de la Empresa de Envases de Aluminio (Enval). Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Mantenimiento y Reacondicionamiento de Máquinas.
10. Ley No 81 junio (1995). Ley del Medio Ambiente.
11. López Bryan, Salazar (2016). Análisis del Modo y Efectos de Fallas, Colombia.
12. Maldonado, José Ángel (2019). Gestión de procesos. (Soporte digital)
13. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad]. Disponible en:
14. Milán, Esteban (2018). Recomendaciones metodológicas para la elaboración del informe de los trabajos de diploma. Universidad de Holguín, Cuba.



15. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. (2007). Estrategia Ambiental Disponible en: (<http://www.educambiente.co.cu>)
16. NC 92-10 (1978). Control de la calidad.
17. Normas ISO 14000. Gestión ambiental aplicada a la empresa. Disponible en <http://www.ecured.cu/Normas> 14000.
18. NORMA SAE JA1011 (2009). *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM)*.
19. Ortega Ñahuin, Deycy Gady (2017). Determinación de fallas funcionales de los equipos críticos del transporte de mineral grueso en minera las bambas SA. Tesis presentada en opción al Título Académico de Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional del Centro de Perú. Departamento de Ingeniería Mecánica. (Soporte digital)
20. Pillco Suarez, Xavier (2006) Conferencias magistrales. Universidad de Guayaquil, Ecuador.
21. Poveda Guevara, Alejandro J. (s/f). Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para el desarrollo de Planes de Mantenimiento. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec> [Consultado 15 de abril de 2019].
22. Resolución 130 junio (1995). Reglamento para la inspección estatal.
23. Santiago García Garrido (2016). Ventajas e inconvenientes de la aplicación de RCM. (Soporte digital)
24. Sitio Web 1: Mantenimiento TPM [Disponible en <http://tpmisp.blogspot.com/2013/04/> consultado el 21/11/18, 10:20 am].
25. Soporte & Cia. SAS. (2012). Página institucional. Recuperado de <http://www.soorteycia.com/rcm2-7/libro-rcm2>
26. UNE-EN13306.
27. Wiley, Limusa (2000). Sistemas de Mantenimiento planeación y control. México.



ANEXOS

ANEXO 1 Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE) (Elaboración propia).

Motor de arranque

Falla Funcional	Modo de falla (síntomas)	Parte del equipo afectada	Causas de falla	Efecto de falla	Actividad de mantenimiento a realizar
No vence la resistencia inicial de los componentes cinemáticos del motor, por lo que no facilita el encendido del motor de combustión interna.	El motor de arranque no se conecta	Relé auxiliar	Corte en el circuito del relé auxiliar	El motor eléctrico se quema por trabajar un tiempo muy prolongado	Comprobar el circuito del relé auxiliar
		Contactos del circuito	Se altera el contacto en el circuito de alimentación del motor de arranque		Comprobar las uniones de contacto del circuito y, si es necesario, limpiar y apretar
	Después de la puesta en marcha del motor principal el motor de arranque no se desconecta	Devanado inductor	Cortocircuito entre las espiras en el devanado del relé de tracción del motor de arranque	El motor de arranque no funciona correctamente, por lo que el motor principal no enciende o lo hace con dificultad	Sustituir el devanado inductor
	Cuando se conecta el motor de arranque se oye un chirrido característico o del metal	Corona del volante	Están embotados los dientes del volante		Corregir las bases de los dientes del volante o cambiar la corona del volante de ser necesario
	Cuando se conecta el motor de arranque se oyen chasquidos repetidos del relé de tracción	Relé de tracción (solenoides)	Patinaje de accionamiento	El piñón no se acopla a la corona del motor de arranque en el volante del motor.	Comprobar el funcionamiento del relé y de ser necesario cambiar el relé



ANEXO 1 Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE) (Elaboración Propia).Continuación.
Motor de arranque

Falla Funcional	Modo de falla (síntomas)	Parte del equipo afectada	Causas de falla	Efecto de falla	Actividad de mantenimiento a realizar
No vence la resistencia inicial de los componentes cinemáticos del motor, por lo que no facilita el encendido del motor de combustión interna.	El motor de arranque gira pero, no gira al cigüeñal del motor principal	Árbol del motor de arranque, piñón	Mal funcionamiento del relé	No arranca el motor principal	Sustituir el relé
	Cuando se conecta el motor de arranque, el relé de tracción funciona, pero el motor de arranque gira lentamente el cigüeñal del motor principal	Contactos del relé	Contactos del relé del motor de arranque en mal estado		Limpiar los contactos del relé del motor de arranque o sustituir de ser necesario
		Inducido o rotor	Cortocircuito entre las espiras del motor de arranque		Sustituir el inducido o rotor

Regulador de voltaje.

Falla Funcional	Modo de falla (síntomas)	Parte del equipo afectada	Causas de falla	Efecto de falla	Actividad de mantenimiento a realizar
No incrementa o disminuye la cantidad de corriente necesaria que pasa a la batería	No regula correctamente el voltaje	Regulador de voltaje	Cortocircuito en el interior del regulador	Problema en el arranque	Sustituir el regulador de voltaje



ANEXO 1 Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE) (Elaboración Propia).
Bujías

Falla Funcional	Modo de falla (síntomas)	Parte del equipo afectada	Causas de falla	Efecto de falla	Actividad de mantenimiento a realizar
No proporciona un arco de corriente óptimo entre los electrodos para que ocurra una chispa con intensidad suficiente	Se dobla el electrodo central o se rompe el aislador	Aislador y electrodo central	Mucha carga térmica por preencendido	Se produce la autoignición	Corregir la holgura del electrodo central, cambiar las bujías de ser necesario
	Aislador de la bujía cubierta de hollín o carbonilla	Aislador de las bujías	El proceso de combustión no ocurre correctamente	Impide que ocurra el salto de la chispa	Limpiar las bujías
	Holgura excesiva en las bujías	Punta de encendido de la bujía	Desgaste provocado por la chispa		Corregir la holgura o de ser necesario cambiar las bujías
	Bujía con rotura del pie del aislador	Aislador de las bujías	Manipulación inadecuada o por servicio excesivamente continuado	Pérdida del aislamiento de la bujía	Cambiar las bujías

Bobina de encendido

Falla Funcional	Modo de falla (síntomas)	Parte del equipo afectada	Causas de falla	Efecto de falla	Actividad de mantenimiento a realizar
No eleva el voltaje que se necesita para que se logre el arco eléctrico	Rotura por calentamiento	Bobina de encendido	Los cables de alta tensión están flojos o el condensador (capacitor) está deteriorado	La corriente no llega a las bujías con la intensidad requerida	Corregir los aprietes de los cables y sustituir de ser necesario el condensador



ANEXO 1 Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE) (Elaboración Propia)

Distribuidor de corriente

Falla Funcional	Modo de falla (síntomas)	Parte del equipo afectada	Causas de falla	Efecto de falla	Actividad de mantenimiento a realizar
No recibir la corriente eléctrica procedente de la bobina para poder distribuirla a las bujías	La chispa salta entre los contactos	Contactos del distribuidor de corriente	Quemado de los contactos del distribuidor	No envía el flujo de corriente hacia el bobinado primario de la bobina de encendido al ritmo de las revoluciones del motor.	Comprobar que el condensador se conecte correctamente
	Deterioro de las piezas plásticas de alto voltaje	Tapa del distribuidor y el rotor	Desgaste por el uso	Distribuye menos corriente hacia la bujía, falta de potencia y consumo excesivo	Cambiar la tapa del distribuidor y el rotor



Batería

Falla Funcional	Modo de falla (síntomas)	Parte del equipo afectada	Causas de falla	Efecto de falla	Actividad de mantenimiento a realizar
	Bornes de salida en mal estado	Bornes de la batería	Mal estado de los bornes o haber utilizado un cable muy rígido o corto para unir la batería con el motor de arranque	Autodescarga excesiva de la batería	Comprobar el estado de los bornes y la longitud del cable
	Rotura de los puentes entre las placas	Placas de la batería	Cortocircuito interno o en sus bornes que produce curvatura en las placas		La batería no carga correctamente
	Sulfatación de las placas		Por permanecer descargada la batería o porque el nivel de electrolito es bajo		
	Desprendimiento de las placas por endurecimiento		Mala fijación de la batería al vehículo, lo que hace que en las sacudidas se desgasten los separadores así como los apoyos de las placas	Autodescarga excesiva	



ANEXO 2 Clasificación de las fallas del sistema eléctrico (Elaboración Propia).

Motor de arranque			Clasificación de la Falla	
Fallas Funcionales	Parte del equipo afectada	Causa de la Falla	Según Frecuencia	Según detección
No vence la resistencia inicial de los componentes cinemáticos del motor, por lo que no facilita el encendido del motor de combustión interna.	Relé auxiliar	Corte en el circuito del relé auxiliar	aleatoria	
	Contactos del circuito	Se alteró el contacto en el circuito de alimentación del motor de arranque	cíclica	fácil
	Relé de tracción (selenoide)	Cortocircuito entre las espiras en el devanado del relé de tracción del motor de arranque	aleatoria	
	Corona del volante	Están embotados los dientes del volante	aleatoria	
	Relé de tracción (selenoide)	Patinaje de accionamiento	aleatoria	
	Árbol del motor de arranque, piñón	Mal funcionamiento del relé	aleatoria	
	Contactos del relé	Contactos del relé del motor de arranque en mal estado	aleatoria	
	Inducido o rotor	Cortocircuito entre las espiras del motor de arranque	aleatoria	



ANEXO 2 Clasificación de las fallas del sistema eléctrico (Elaboración Propia).

Bujías			Clasificación de la Falla	
Fallas Funcionales	Parte del equipo afectada	Causa de la Falla	Según Frecuencia	Según detección
No proporciona un arco de corriente óptimo entre los electrodos para que ocurra una chispa con intensidad y duración suficientes para inflamar la mezcla aire y combustible dentro de los cilindros	Aislador de las bujías y electrodo central	Mucha carga térmica por preencendido	aleatoria	
	Aislador de las bujías	El proceso de combustión no ocurre correctamente	aleatoria	
	Punta de encendido de la bujía	Desgaste provocado por la chispa	aleatoria	
	Aislador de las bujías	Manipulación inadecuada o por servicio excesivamente continuado	aleatoria	

Conductores de alta tensión			Clasificación de la Falla	
Fallas Funcionales	Parte del equipo afectada	Causa de la Falla	Según Frecuencia	Según detección
Mala conducción de la corriente eléctrica entre la bobina y la bujía	Conductores de alta tensión y la tapa del distribuidor de corriente	Chisporroteo entre el terminal del cable y la derivación de alta tensión que lleva la tapa de plástico	aleatoria	
	Conductores de alta tensión	Disrupción del aislamiento de los cables	aleatoria	



ANEXO 2 Clasificación de las fallas del sistema eléctrico (Elaboración Propia).

Bobina de encendido			Clasificación de la Falla	
Fallas Funcionales	Parte del equipo afectada	Causa de la Falla	Según Frecuencia	Según detección
No eleva el voltaje que se necesita para que se logre el arco eléctrico	Bobina de encendido	Los cables de alta tensión están flojos o el condensador (capacito) está deteriorado	aleatoria	

Baterías de acumuladores			Clasificación de la Falla	
Fallas Funcionales	Parte del equipo afectada	Causa de la Falla	Según Frecuencia	Según detección
	Bornes de la batería	Mal estado de los bornes de salida	aleatoria	
	Placas de la batería	Desprendimiento de las placas por endurecimiento	aleatoria	
		Sulfatación de las placas	aleatoria	
		Roturas de los puentes entre las placas	aleatoria	



ANEXO 2 Clasificación de las fallas del sistema eléctrico (Elaboración Propia).

Distribuidor de corriente			Clasificación de la Falla	
Fallas Funcionales	Parte del equipo afectada	Causa de la Falla	Según Frecuencia	Según detección
No recibir la corriente eléctrica procedente de la bobina para poder distribuirla a las bujías en el establecido	Contactos del distribuidor de corriente	Quemado de los contactos del distribuidor	aleatoria	
	Tapa del distribuidor y el rotor	Desgaste de las piezas de plástico de alto voltaje por el uso	aleatoria	

Regulador de voltaje			Clasificación de la Falla	
Fallas Funcionales	Parte del equipo afectada	Causa de la Falla	Según Frecuencia	Según detección
No incrementa o disminuye la cantidad de corriente necesaria que pasa a la batería	Regulador de voltaje	Cortocircuito en el interior del regulador	aleatoria	



ANEXO 3 Análisis de los fallos (Elaboración Propia).

Tabla 2.5

Motor de arranque									
Fallo	¿Se puede detectar?		Afectación		¿Se puede prevenir?		Tareas planificadas		Esperar Fallo
	Sí	No	Seg. Medio Ambient e.	Operacional	Sí	No	Con-dic.	Cíclic.	
El motor de arranque no se conecta porque hay un corte en el circuito del relé auxiliar		X		X		X			X
El motor de arranque no se conecta porque se altera el contacto en el circuito de alimentación del motor de arranque		X		X		X		X	
El motor de arranque gira pero, no gira al cigüeñal del motor principal porque hay un mal funcionamiento del relé	X			X	X		X		
El relé de tracción funciona pero el motor de arranque gira lentamente el cigüeñal del motor principal porque los contactos del relé del motor de arranque están en mal estado		X		X		X		X	
El relé de tracción funciona pero el motor de arranque gira lentamente el cigüeñal del motor principal porque hay cortocircuito entre las espiras del motor de arranque		X		X		X			X

ANEXO 3 Análisis de los fallos (Elaboración Propia).

Tabla 2.5 Motor de arranque. Continuación.

Fallo	¿Se puede detectar?		Afectación		¿Se puede prevenir?		Tareas planificadas		Esperar Fallo
	Sí	No	Seg. Medio Ambiente.	Operacional	Sí	No	Con dic.	Cíclic.	
Después de la puesta en marcha del motor principal el motor de arranque no se desconecta porque hay un cortocircuito entre las espiras en el devanado del relé de tracción del motor de arranque		X		X		X			X
Cuando se conecta el motor de arranque se oye un chirrido característico del metal porque están embotados los dientes del volante		X		X		X			X
Cuando se conecta el motor de arranque se oye un chirrido característico del metal porque el piñón no se acopla a la corona del motor de arranque en el volante del motor		X		X		X			X

Regulador de voltaje									
Fallo	¿Se puede detectar?		Afectación		¿Se puede prevenir?		Tareas planificadas		Esperar Fallo
	Sí	No	Seg. Medio Ambiente.	Operacional	Sí	No	Con-dic.	Cíclic.	
Cortocircuito en el interior del regulador de voltaje		X		X		X			X

Bujías

Fallo	¿Se puede detectar?		Afectación		¿Se puede prevenir?		Tareas planificadas		Esperar Fallo
	Sí	No	Seg. Medio Ambiente.	Operacional	Sí	No	Con dic.	Cíclic.	
Se dobla el electrodo central o se rompe el aislador porque hay mucha carga térmica por preencendido		X		X		X		X	
Aislador de la bujía cubierta de hollín o carbonilla porque el proceso de combustión no ocurre correctamente		X		X	X				X
Holgura grande en las bujías a causa del desgaste provocado por la chispa	X			X	X			X	
Bujía con rotura del pie del aislador por una manipulación inadecuada o por servicio excesivamente continuado	X			X	X			X	



Conductores de alta tensión									
Fallo	¿Se puede detectar?		Afectación		¿Se puede prevenir?		Tareas planificadas		Esperar Fallo
	Sí	No	Seg. Medio Ambiente.	Operacional	Sí	No	Con dic.	Cíclic.	
Chisporroteo entre el terminal del cable y la derivación de alta tensión que lleva la tapa de plástico porque el cable está durante mucho tiempo introducido en el alojamiento de la bobina y no hasta el tope	X			X	X			X	
Disrupción del aislamiento de los cables porque la distancia entre los cables y las partes metálicas menor de 6 mm	X			X	X			X	

Distribuidor de corriente									
Fallo	¿Se puede detectar?		Afectación		¿Se puede prevenir?		Tareas planificadas		Esperar Fallo
	Sí	No	Seg. Medio Ambiente.	Operacional	Sí	No	Con dic.	Cíclic.	
La chispa salta entre los contactos porque se han quemado los contactos del distribuidor		X		X		X			X
Deterioro de las piezas plásticas de alto voltaje por el uso de estas	X			X	X			X	



Batería									
Fallo	¿Se puede detectar?		Afectación		¿Se puede prevenir?		Tareas planificadas		Esperar Fallo
	Sí	No	Seg. Medio Ambiente.	Operacional	Sí	No	Con dic.	Cíclic.	
Bornes de salida en mal estado por haber utilizado un cable muy rígido o corto para unir la batería con el motor de arranque	X			X	X			X	
Rotura de los puentes entre las placas a causa de un cortocircuito interno o en sus bornes que produce curvaturas en las placas		X		X		X			X
Sulfatación de las placas por permanecer descargada la batería o porque el nivel de electrolito es bajo		X		X		X			X
Desprendimiento de las placas por endurecimiento a causa de una mala fijación de la batería al vehículo, lo que hace que en las sacudidas se desgasten los separadores así como los apoyos de las placas	X			X	X			X	

Bobina de encendido									
Fallo	¿Se puede detectar?		Afectación		¿Se puede prevenir?		Tareas planificadas		Fallo Esperar
	Sí	No	Seg. Medio Ambiente.	Operacional	Sí	No	Con dic.	Cíclic.	
Rotura por calentamiento debido a que los cables de alta tensión están flojos o el condensador (capacito) está deteriorado	X			X	X			X	

ANEXO 4 Políticas de Mantenimiento

Motor de arranque

Fallo	Políticas de Mantenimiento		
	Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Predictivo
El motor de arranque no se conecta porque hay un corte en el circuito del relé auxiliar	X		
El motor de arranque no se conecta porque se altera el contacto en el circuito de alimentación del motor de arranque		X	
El motor de arranque gira, pero, no gira al cigüeñal del motor principal porque hay un mal funcionamiento del relé			X
El relé de tracción funciona pero el motor de arranque gira lentamente el cigüeñal del motor principal porque los contactos del relé del motor de arranque están en mal estado		X	
El relé de tracción funciona pero el motor de arranque gira lentamente el cigüeñal del motor principal porque hay cortocircuito entre las espiras del motor de arranque	X		
Cuando se conecta el motor de arranque se oye un chirrido característico del metal porque están embotados los dientes del volante	X		
Cuando se conecta el motor de arranque se oye un chirrido característico del metal porque el piñón no se acopla a la corona del motor de arranque en el volante del motor	X		

ANEXO 4 Políticas de Mantenimiento

Motor de arranque (Continuación)

Fallo	Políticas de Mantenimiento		
	Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Predictivo
Después de la puesta en marcha del motor principal el motor de arranque no se desconecta porque hay un cortocircuito entre las espiras en el devanado del relé de tracción del motor de arranque	X		

Bujías

Fallo	Políticas de Mantenimiento		
	Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Predictivo
Se dobla el electrodo central o se rompe el aislador porque hay mucha carga térmica por preencendido		X	
Aislador de la bujía cubierta de hollín o carbonilla porque el proceso de combustión no ocurre correctamente	X		
Holgura grande en las bujías a causa del desgaste provocado por la chispa		X	
Bujía con rotura del pie del aislador por una manipulación inadecuada o por servicio excesivamente continuado		X	

ANEXO 4 Políticas de Mantenimiento

Conductores de alta tensión

Fallo	Políticas de Mantenimiento		
	Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Predictivo
Chisporroteo entre el terminal del cable y la derivación de alta tensión que lleva la tapa de plástico porque el cable está durante mucho tiempo introducido en el alojamiento de la bobina y no hasta el tope		X	
Disrupción del aislamiento de los cables porque la distancia entre los cables y las partes metálicas menor de 6 mm		X	

Batería

Fallo	Políticas de Mantenimiento		
	Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Predictivo
Bornes de salida en mal estado por haber utilizado un cable muy rígido o corto para unir la batería con el motor de arranque		X	
Rotura de los puentes entre las placas a causa de un cortocircuito interno o en sus bornes que produce curvatura en las placas	X		
Sulfatación de las placas por permanecer descargada la batería o porque el nivel de electrolito es bajo	X		
Desprendimiento de las placas por endurecimiento a causa de una mala fijación de la batería al vehículo, lo que hace que en las sacudidas se desgasten los separadores así como los apoyos de las placas		X	

ANEXO 4 Políticas de Mantenimiento

Distribuidor de corriente

Fallo	Políticas de Mantenimiento		
	Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Predictivo
La chispa salta entre los contactos porque se han quemado los contactos del distribuidor	X		
Deterioramiento de las piezas plásticas de alto voltaje por el uso de estas		X	

Regulador de voltaje

Fallo	Políticas de Mantenimiento		
	Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Predictivo
Cortocircuito en el interior del regulador	X		

Bobina de encendido

Fallo	Políticas de Mantenimiento		
	Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Predictivo
Rotura por calentamiento debido a que los cables de alta tensión están flojos o el condensador (capacito) está deteriorado		X	