

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL ENFOQUE RCM
APLICADO A UNA FLOTA DE CAMIONETAS OPERANDO EN MINA PARA
MEJORAR SU DISPONIBILIDAD OPERACIONAL**

JONATHAN ANDRÉS GUTIÉRREZ MARRIAGA

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

2020

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL ENFOQUE RCM
APLICADO A UNA FLOTA DE CAMIONETAS OPERANDO EN MINA PARA
MEJORAR SU DISPONIBILIDAD OPERACIONAL**

JONATHAN ANDRÉS GUTIÉRREZ MARRIAGA

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

Director:

ANTONIO SALTARÍN JIMÉNEZ

Magíster en Ingeniería

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

2020

DEDICATORIA

A Dios Todo Poderoso a quien le debo todo lo que soy.
A mis padres y hermana que me brindaron en el seno del hogar
amor y calidez de familia.
A mi esposa Laura Durán por su apoyo incondicional.

Jonathan Andrés Gutiérrez Marriaga

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos van dirigidos a la institución UIS y al distinguido grupo de ingenieros que hacen parte del plantel educativo, quienes nos brindaron y compartieron sus conocimientos para hoy lograr alcanzar este título.

Al ingeniero Antonio Saltarín por su valioso aporte en este proyecto.

Contenido

INTRODUCCIÓN	12
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2. OBJETIVOS	16
1.2.1. Objetivo General	16
1.2.2. Objetivos Específicos	16
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	16
1.4. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA PRODECO.....	17
1.4.1. Operaciones de soporte.....	21
1.4.2. Mantenimiento del parque de camionetas en Prodeco.....	21
2. MARCO REFERENCIAL.....	30
2.1. MARCO TEÓRICO.....	30
2.2. MARCO CONCEPTUAL	41
3. METODOLOGÍA.....	47
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	60
4.1. RESULTADOS Y ANÁLISIS PARA EL DESEMPEÑO ACTUAL DE LA FLOTA....	60
4.2. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA FASE RCM PARA EL COMPONENTE MOTOR.....	61
4.2.1. Análisis de Criticidad para el Motor.....	66
4.2.2. Plan RCM para el motor	68
4.3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA FASE RCM PARA EL CHASIS Y LA SUSPENSIÓN.....	81
4.4. RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DEL PLAN RCM.....	91
5. CONCLUSIONES.....	98
6. RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	102
ANEXOS	104

Lista de Tablas

Tabla 1. Acciones diarias de mantenimiento.....	23
Tabla 2. Mantenimiento de fabricante para recorrido entre 5000 y 45000 km.	25
Tabla 3. Mantenimiento de fabricante para recorrido entre 45.000 y 100.000 km.	26
Tabla 4. Actividades para recorrido entre 100.000 y 140.000 km.	27
Tabla 5. Detalles de un plan preventivo de fabricante.	31
Tabla 6. Modelo de hoja AMEF.....	37
Tabla 7. Valores sugeridos de factores del NPR.....	38
Tabla 8. Características técnicas de las camionetas Nissan Frontier 4x4.....	48
Tabla 9. Modelo AMEF aplicado.	53
Tabla 10. Cálculo de criticidad de las fallas.	54
Tabla 11. Detalles del plan RCM.....	55
Tabla 12. Formato para estimar MTBF por camioneta.....	57
Tabla 13. Formato para estimar MTTR por camioneta al mes.	58
Tabla 14. Detalles para estimar costos de reparación por mantenimiento.....	59
Tabla 15. AMEF del motor.	62
Tabla 16. NPR para el motor.....	66
Tabla 17. Plan RCM para el motor.....	69
Tabla 18. Valores de concentración de esfuerzo para cordones de soldadura.....	88
Tabla 19. Propiedades mecánicas para el acero del chasis.	89
Tabla 20. Plan RCM según disponibilidad y costo esperado.	93
Tabla 21. Formato para calcular MTBF y MTTR.	96

Lista de figuras

Figura 1. Localización de minas y puerto de Prodeco.....	18
Figura 2. Esquema del proceso productivo.	19
Figura 3. Vista de explosión controlada para voladura.....	20
Figura 4. Transporte de carbón a clientes.....	21
Figura 5. Taller mina la Jagua.....	23
Figura 6. Esquema RCM para elaborar un plan de mantenimiento.	39
Figura 7. Diagrama de decisión RCM para definir acciones para fallas a controlar.	40
Figura 8. Fases del proyecto.....	47
Figura 9. Camioneta Nissan Frontier 4x4.....	48
Figura 10. Evolución de la disponibilidad operacional.....	50
Figura 11. Evolución de costos para la flota de camionetas.	50
Figura 12. Perfil de salidas del servicio para el período.....	51
Figura 13. Taller de mantenimiento en la Jagua.	56
Figura 14. Pareto de los componentes basado en costos.....	60
Figura 15. Motor de las camionetas Nissan Frontier 4x4.....	61
Figura 16. Esquema para soporte de asignación del valor NPR.....	68
Figura 17. Esquema del motor de arranque.....	71
Figura 18. Medida de desgaste límite de las válvulas del motor.....	73
Figura 19. Esquema del sistema de enfriamiento de Nissan Frontier.	74
Figura 20. Esquema sistema combustible Nissan Frontier.	75
Figura 21. Esquema del sistema de lubricación del motor Nissan Frontier.....	76
Figura 22. Vista del filtro de aceite del motor.	77
Figura 23. Vista de carcasa de filtro de aire.....	78
Figura 24. Vista de toma de aire exterior del sistema de admisión de aire.	78
Figura 25. Esquema de sistema de escape.....	79
Figura 26. Vista culata y bloque del motor Nissan Frontier.....	80
Figura 27. Orden de apriete de tornillos durante el montaje de culata.....	81
Figura 28. Ruta RCM para falla crónica.....	82
Figura 29. Grietas en el chasis de las camionetas Frontier.....	83

Figura 30. Vista de grietas en viga cantiléver del chasis.....	84
Figura 31. Diagrama causas – efecto para análisis de rotura del chasis.	84
Figura 32. Tope de caucho para la suspensión.	85
Figura 33. CAD de la viga cantiléver a analizar.	86
Figura 34. Medición fuerza de rotura de caucho e impacto pieza - pieza.	87
Figura 35. Perfil de esfuerzos en viga cantiléver para carga de 13.5 kN.	88
Figura 36. Cadena de causas para la rotura del chasis.	90
Figura 37. Costos de la flota a mitad de contrato o un año de operación.	91

Lista de Anexos

Anexo A. Disponibilidad de referencia vehículos nuevos años 2015 - 2017	105
Anexo B. Apreciación sobre el Número Prioritario de Riesgo NPR	106
Anexo C. Ensayo de dureza al material del chasis	109
Anexo D. Ensayo de impacto al material del chasis utilizando un péndulo tipo Charpy	109
Anexo E. Ensayo de composición química para material del chasis utilizando pistola PMI electrónica	110
Anexo F. Máquina universal de ensayo capacidad 60 toneladas calibrada y certificada	110
Anexo G. Ensayo de ultrasonido para detectar grietas internas del chasis.....	111
Anexo H. Prueba de tintas penetrantes para revelar grietas superficiales	111

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL ENFOQUE RCM APLICADO A UNA FLOTA DE CAMIONETAS OPERANDO EN MINA PARA MEJORAR SU DISPONIBILIDAD OPERACIONAL*

AUTOR: JONATHAN ANDRÉS GUTIÉRREZ MARRIAGA**

CONCEPTOS CLAVES: Enfoque RCM, camionetas, confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad integradas.

El objetivo empresarial de la empresa Prodeco relacionado con sus activos es lograr la máxima disponibilidad productiva de los mismos al menor costo posible durante el ciclo de vida esperado. Esto se logra con una alta confiabilidad de los equipos, la cual depende fuertemente del diseño de los equipos y de la mantenibilidad que es función en parte del diseño para facilitar la detección y las reparaciones y por otro lado del sistema de mantenimiento, dónde personal capacitado ejecuta el diagnóstico y las reparaciones dentro de estándares de tiempos de referencia.

En el análisis del parque de camionetas, se tomaron como variables de control la confiabilidad de las camionetas, mejorada mediante la aplicación del enfoque de mantenimiento RCM, lo que permite identificar causas de fallas no controladas por el plan de mantenimiento preventivo del fabricante y aumentada con la aplicación de la citada metodología. La otra variable de control es la mantenibilidad que define las acciones de mantenimiento según la metodología aplicada y las herramientas, equipos y procedimientos para reducir los tiempos de reparaciones planeadas y correctivas. Adicionalmente se aplicó un análisis causa-raíz a una falla crónica en el chasis de las camionetas para reducir el perfil de riesgo y el costo del departamento de mantenimiento a valores cercanos a lo presupuestado para el ciclo de vida de la flota.

Los resultados de mejora logrados, evidenciaron un aumento de la disponibilidad desde 80% al inicio del proyecto hasta 91%, con una reducción de costos del 90%, lo cual mejora la competitividad de la empresa Prodeco al elevar sus ingresos netos periódicos. Además se aumenta la calidad del servicio prestado por el parque de camionetas, el cual se mide mediante la disponibilidad mensual del parque base de los vehículos contratados.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Antonio Saltarín Jiménez. Magíster en Ingeniería.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A MAINTENANCE PLAN BASED ON THE RCM APPROACH APPLIED TO A FLEET OF TRUCKS OPERATING IN THE MINE TO IMPROVE ITS OPERATIONAL AVAILABILITY*

AUTHOR: JONATHAN ANDRÉS GUTIÉRREZ MARRIAGA**

KEY CONCEPTS: Integrated RCM approach, trucks, reliability, availability and maintainability.

The business objective of Prodeco company related to its assets is to achieve the maximum productive availability of them at the lowest possible cost during the expected life cycle. This is achieved with a high reliability of the equipment, which strongly depends on the design of the equipment and the maintainability that is a function in part of the design to facilitate detection and repairs and on the other hand of the maintenance system where trained personnel execute diagnosis and repairs within reference time standards.

In the analysis of the truck fleet, the improved reliability through the application of the RCM maintenance approach is taken as control variables, which allows identifying causes of failures not controlled by the manufacturer's preventive maintenance plan and improved with the application of the aforementioned methodology. The other control variable is maintainability, which defines the maintenance actions according to the applied methodology and the tools, equipment and procedures to reduce the times of planned and corrective repairs. Additionally, a root cause analysis is applied to a chronic failure in the chassis of the trucks to reduce its risk profile and the cost of the department to values close to what is budgeted for the life cycle of the fleet.

The improvement results achieved show an increase in availability from 80% at the beginning of the project to 91%, with a cost reduction of 90%, which improves the competitiveness of the company. I proceed by increasing its periodic net income, in addition to the quality of the service provided by the fleet of trucks, which is measured by the monthly availability of the base fleet of vehicles.

* Degree Work

** Faculty of Physical Mechanical Engineering. Mechanical Engineering School. Director: Antonio Saltarín Jiménez
Master degree in Engineering.

INTRODUCCIÓN

La empresa Prodeco pertenece al sector de la energía en Colombia, específicamente al sector del carbón, con minas a cielo abierto en las zonas de los municipios Calenturitas y la Jagua en el departamento del Cesar, región caribe de Colombia. Desde el año 2000 cuando inicia operaciones ha sostenido un aumento progresivo del tonelaje explotado.

Para garantizar las operaciones de áreas básicas como: Explosivos, enfermería, comedores, alojamientos, inspecciones, soporte técnico, mantenimiento a equipo liviano y pesado y otros, es necesario disponer de un parque de camionetas contratadas en modalidad Renting, donde la empresa se hace cargo de los costos relacionados con operación y mantenimiento durante los 2 años de vigencia del contrato con un proveedor externo.

Los problemas de mantenimiento en la flota de camionetas se evidencian cuando la disponibilidad del parque base de 110 vehículos por mina se reduce por debajo del 90%, que es la cifra estimada como punto de equilibrio para controlar el uso de camionetas de soporte adicionales o de reserva que representa un costo extra al presupuesto. La disponibilidad real al momento del análisis mediante el proyecto es de 80%, representando una cifra de sobrecostos para mantenimiento del parque de vehículos que supera el doble de la cifra estimada, lo cual se pretende corregir con la solución de plan de mantenimiento basado en enfoque RCM propuesto.

El departamento de mantenimiento toma las camionetas nuevas y aplica de manera estricta y sostenida el plan de mantenimiento entregado por el fabricante en su manual de operación y mantenimiento preventivo, sin embargo, las fallas correctivas que se presentan, evidencia que es necesario ajustar el plan original aplicado.

El enfoque de mantenimiento centrado en la confiabilidad define una metodología para desarrollar un plan de mantenimiento proactivo que tiene en cuenta el contexto

operativo de los equipos para mejorar la disponibilidad operacional y reducir los costos correspondientes, por lo cual se aplica la metodología propuesta al parque de camionetas, logrando mejorar los indicadores de desempeño requeridos.

El capítulo 1 presenta las generalidades del proyecto, desde la definición del problema, los objetivos hasta su justificación. El capítulo 2 muestra el marco referencial sobre el que se basa el desarrollo del proyecto, específicamente describe los fundamentos y aplicación del enfoque RCM para desarrollar un plan de mantenimiento acorde con el ambiente dónde operan los vehículos. El capítulo 3 describe cómo aplicar la metodología RCM al parque de camionetas. El capítulo 4 trata los resultados obtenidos con la aplicación del enfoque RCM y los análisis derivados para mejorar la disponibilidad y reducir los costos del plan de mantenimiento.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema físico de mantenimiento a mejorar consiste en un parque de camionetas Diésel marca Nissan Modelos Frontier del año 2017, en versión tracción 4 x 4, prestando servicios de soporte logístico a la empresa Prodeco. Al interior de la empresa minera se tiene un taller interno en cada una de las dos minas en producción de carbón a cielo abierto (Calenturitas y la Jagua). Con 3 mecánicos y 2 electricistas certificados, más 8 ayudantes que resuelven los problemas mecánicos y eléctricos comunes sin incluir reparaciones mayores de motores y chasis. Se tiene un almacén de repuestos y un almacenista, siendo administrado cada taller por un ingeniero mecánico con experiencia en el área automotriz. La flota de 110 vehículos se utiliza para movilizar personal y recursos de las áreas de alimentos, administración, medicina, explosivos, vigilancia, mantenimiento a equipos y otros. Es apoyada por 10 camionetas adicionales de soporte, las cuales operan remplazando vehículos que estén en talleres por daños mecánicos y/o eléctricos. Actualmente por mes opera en promedio una base de 75 vehículos y 35 permanecen en talleres. En promedio, en talleres hay 17 camionetas por mantenimiento al día, pero la mayoría alrededor de 12 vehículos están por daños inesperados o correctivos, que evidencian la baja efectividad del plan de mantenimiento preventivo actual aplicado, por lo que se debe aumentar el número de las camionetas de respaldo de 10 a 25 unidades. Este entorno operativo eleva los costos reales de la flota a más del doble de lo presupuestado anualmente y la disponibilidad operacional estimada resulta cercana al 78% en promedio al mes, valor inferior al requerido de 95% para no aumentar el número de camionetas de soporte y no superar el costo presupuestado anual.

El referente para el plan de mantenimiento preventivo actual es el definido por el fabricante, el cual según los bajos resultados obtenidos debe ser actualizado para mejorar, por lo que inicialmente se contacta al distribuidor de la marca en la ciudad de Valledupar para conseguir un apoyo o propuesta sobre mejorar el plan actual de

mantenimiento. El concesionario de la marca alega que las condiciones operacionales propias de las minas son excepcionales para una camioneta de cualquier marca y modelo, porque no existen camionetas diseñadas para trabajar en minas por lo que la empresa debe resolver internamente este problema. El soporte que brinda a sus productos es asegurar existencia de repuestos y talleres de servicio para reparaciones menores y mayores. Esta opción no es viable por la larga distancia desde la ciudad de Valledupar a los talleres de la mina. Además, los elevados costos hacen prohibitiva esta opción para la competitividad de la empresa.

Tratando de resolver la situación al interior de la empresa, se revisa el manual de mantenimiento preventivo y en este se expresa textualmente “si las condiciones operativas son anormales, como: excesiva lluvia, caminos en mal estado, temperaturas elevadas, barro, arena mojada, polvo, el usuario deberá ajustar el plan de mantenimiento propuesto y se pierde la garantía entregada sobre el vehículo”. Sin embargo, el fabricante ni el representante de la marca entregan indicaciones adicionales a los propietarios y/o usuarios de como ajustar el plan de mantenimiento original del vehículo, dejando esta responsabilidad en manos del usuario. Por lo tanto, la opción viable para la empresa es desarrollar un plan de mantenimiento propio, que mejore la disponibilidad operacional, reduzca los costos y reduzca el número de varadas para aumentar la seguridad vial.

Para resolver la situación problema planteada se formula el siguiente interrogante ¿Qué medios o herramientas permiten generar un plan de mantenimiento preventivo que mejore la disponibilidad actual de la flota de camionetas y reduzca los costos de mantenimiento mensuales teniendo en cuenta el entorno operacional de este tipo de activos? Esto permite proponer la siguiente hipótesis ¿puede un plan de mantenimiento preventivo basado en el enfoque centrado en la confiabilidad o (RCM por sus siglas en inglés) elevar la actual disponibilidad del parque de camionetas de la mina y reducir los costos correspondientes?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General. Diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en el enfoque RCM aplicado a una flota de camionetas en operación minera para aumentar su disponibilidad y lograr una reducción simultánea de costos operacionales.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar una auditoría a los datos de daños correctivos en la flota de camionetas para identificar tipología e incidencia de las fallas no previstas en la disponibilidad y los costos de mantenimiento aplicando técnica de Pareto.
- Desarrollar un análisis de modos, efectos y criticidad de las fallas o AMEFC para complementar el mapa de fallas actuales y potenciales de la flota y priorizar el perfil de fallas atendidas por el plan propuesto.
- Elaborar un plan de mantenimiento preventivo basado en el enfoque RCM cuantificando el impacto esperado en la mejora de la disponibilidad y la reducción relacionada de los costos de mantenimiento.
- Establecer un sistema de información para controlar el desempeño del plan de mantenimiento alineado con el proceso interno de gestión de la empresa que permitan su efectiva supervisión, monitoreo y logro de las mejoras esperadas.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Teniendo en cuenta que las condiciones operativas de la mina en épocas de lluvia son críticas y que ocasionalmente se tienen vehículos varados, lo cual expone la integridad del vehículo y los ocupantes, es necesario mejorar la seguridad mediante la reducción de daños inesperados en las vías. Esto porque el parque de camionetas se opera en modalidad Renting (arriendo temporal con opción final de compra por parte del usuario de los activos), lo cual coloca en riesgo a la empresa por posibles demandas contractuales, lo que sería grave para la permanencia de las operaciones mineras. Esta situación es la que justifica ampliamente mejorar el accionar del departamento de mantenimiento de vehículos livianos mediante aplicar un nuevo plan de mantenimiento

centrado en la confiabilidad. Los resultados esperados de mejora en la seguridad vial, mayor disponibilidad de las camionetas base y reducción de los costos operacionales que incluyen el mantenimiento, asegura mayor competitividad de la empresa minera, dado que se reducen las probabilidades de accidentes por varadas, aspecto crucial en el sector minero donde un incidente grave o peor un accidente, inmediatamente detiene las operaciones y pone en riesgo la continuidad del servicio de la flota.

1.4. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA PRODECO

Prodeco es un grupo empresarial conformado por: C.I. Prodeco S.A., propietaria de la mina Calenturitas y de la operación ferroviaria de transporte de carbón; Carbones de la Jagua S.A., Consorcio Minero Unido S.A. y Carbones El Tesoro S.A., propietarias de la mina La Jagua; y Sociedad Portuaria Puerto Nuevo S.A., propietaria del puerto de exportación de carbón Puerto Nuevo.

El grupo maneja las operaciones de la multinacional Glencore en Colombia para la exportación de carbón térmico y metalúrgico y su infraestructura asociada. Explora, produce, transporta y embarca sus productos con destino a los mercados en Europa, América y Asia.

Prodeco tiene ventajas operativas, al ser propietario de toda su infraestructura operacional esencial, incluyendo la infraestructura férrea (mediante una participación en la propiedad de la infraestructura ferroviaria y la propiedad del equipo rodante) así como de la totalidad del equipo minero e instalaciones en las minas. También tiene la totalidad de la participación accionaria en Puerto Nuevo S.A., que proyecta construir un nuevo puerto público en el municipio de Ciénaga, el cual reemplazará a Puerto Zúñiga.

La figura 1 presenta las minas y el puerto marítimo localizado en la ciudad de Santa Marta.

Figura 1. Localización de minas y puerto de Prodeco



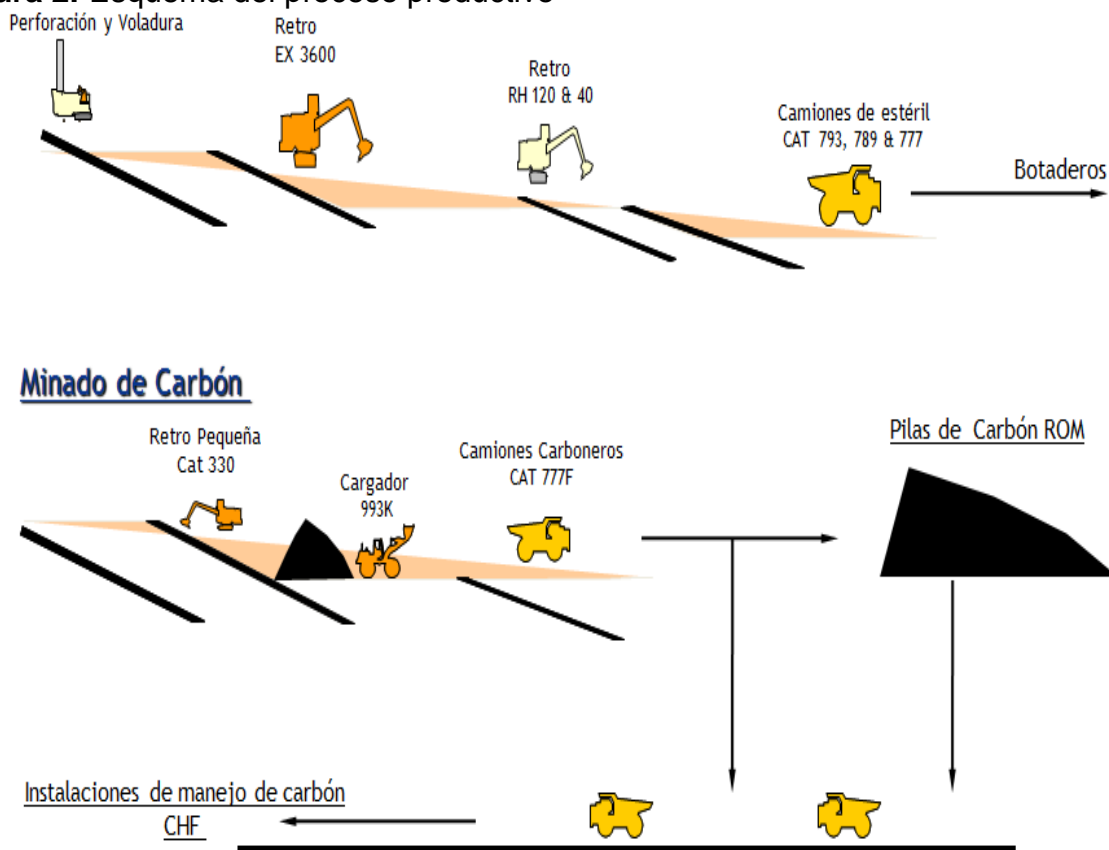
Fuente. Empresa Prodeco.

Los datos consolidados para el año 2019 indican la explotación de 11.2 millones de toneladas de carbón, con una inversión de USD \$261 millones, más una contribución por regalías e impuestos de USD \$198 millones, con un total de 7.980 empleados directos.

En razón al impacto de la pandemia COVID-19, la empresa solicita a la Agencia Nacional de Minería (ANM) la suspensión temporal de operación dada la reducción mundial de la demanda en productos energéticos de origen mineral como el petróleo y sus derivados, el carbón mineral, el gas natural y otros.

La figura 2 presenta el esquema del proceso de explotación del carbón para mina a cielo abierto. Estas son operaciones misionales de la empresa, necesarias para comercializar el producto manejado, el carbón mineral en diversos grados de calidad.

Figura 2. Esquema del proceso productivo



Fuente. Empresa Prodeco.

La fase inicial de perforación y voladura emplea la técnica de explosión bajo manto debido a las condiciones geológicas y geométricas de estas minas. Para ello, se utiliza una serie de parámetros para la perforación como: diámetro de perforación, quemador, espaciamento, factor de carga y porcentaje de esmeril movido; los cuales dependen de las características propias del sitio. Para las voladuras bajo manto se debe tener en cuenta diferentes patrones (burden y espaciamento) para materiales duros, medios y blandos. Las cargas de explosivos situadas bajo manto no deben estar a menos de 6.5 metros de la superficie del terreno, salvo cuando se coloque una mínima carga entre dos mantos. El tipo de explosivo utilizado es una emulsión que se llama foris coal 70/30 y los taladros son TEREX con broca 7-7/8". Las explosiones controladas se producen al medio día hora de almuerzo general por razones de seguridad.

La figura 3 muestra una explosión controlada con la cual se logra romper el manto de carbón en piedras de carbón y material estéril.

Figura 3. Vista de explosión controlada para voladura



Fuente. Empresa Prodeco.

En esta fase se utilizan en promedio 10 camionetas marca Nissan modelos Frontier con tracción 4x4 propulsadas por un motor Diésel con caja de cambios manual de 5 velocidades que siguen estrictos protocolos de seguridad.

Resultado de la explosión, encima del manto de carbón queda material estéril en forma de rocas y similares que son cargados y transportados a botaderos de estéril que a futuro conforman un espacio a tratar para recuperar como zonas verdes que mitigan el impacto ambiental de las operaciones de minera de carbón a cielo abierto.

Las piedras de carbón visibles al retirar el material estéril que las cubre se cargan, transportan y almacenan en forma de pilas de carbón. Posteriormente este material se lleva al laboratorio para determinar su calidad como carbón térmico o metalúrgico. Posterior a la clasificación se tritura el carbón a tamaños según pedidos de los clientes, se carga y transporta el carbón a los vagones que por medio de las líneas férreas llevan el producto a los barcos localizados en puertos marítimos para transportarlo a los mercados internacionales según compromisos adquiridos. La figura 4 presenta la fase final de transporte a puerto marítimo mediante el tren de carga.

Figura 4. Transporte de carbón a clientes



Fuente. Empresa Prodeco.

1.4.1. Operaciones de soporte. Por razones de seguridad, logísticas y productividad, entre otras, el personal operativo de la mina permanece dentro de las instalaciones en diversas modalidades. Lo típico es trabajar internado 10 días y salir en descanso remunerado 5 días o modalidad 10x5. También se programan otras opciones. Esta situación crea operaciones adicionales de apoyo como: transporte de explosivos y personal especializado, comedores, dormitorios de personal, salud, mantenimiento de equipos diversos que apoyan las operaciones misionales, seguridad interna y otras. Para ello, utilizan 2 parques de camionetas, un parque de 105 camionetas base en la mina de Calenturitas y el otro de 98 camionetas base en la mina de la Jagua. Además, en caso de daños o mantenimiento preventivo a las camionetas base, se tienen camionetas de reserva que representan un costo adicional por su uso ocasional.

1.4.2. Mantenimiento del parque de camionetas en Prodeco. Las camionetas utilizadas en las operaciones de apoyo se tienen en propiedad temporal mediante contratos de arriendo con proveedores externos. Cada vehículo de la flota representa un dinero a cancelar mensualmente durante el periodo de 2 años que dura cada contrato. Los conductores, combustible y mantenimiento preventivo base como: lavados, cambio de aceite y recambio de partes desgastables como correas, rodamientos, frenos, suspensión corren por cuenta de la empresa Prodeco, usaría y

responsable temporal de los vehículos. Aspectos de documentos como seguros obligatorios SOAT, tarjetas de propiedad y otros, corren por cuenta del proveedor.

La figura 5 presenta el taller de mantenimiento preventivo de Prodeco localizado en la mina la Jagua. Se tiene capacidad para atender 8 camionetas y un patio donde se pueden ubicar 50 vehículos adicionales. Se tienen 3 mecánicos, 2 electricistas con títulos de técnico y experiencia promedio de 6 años en vehículos equivalentes y 6 ayudantes en modalidad aprendiz SENA. Se tiene equipos de balanceo y alineación además de un herramental completo para realizar reparaciones a los sistemas de suspensión, dirección, frenos, embrague, cajas de velocidades, diferenciales, sincronización de motores, arreglo de alternadores, motores de arranque eléctricos y componentes menores. Reparaciones mayores a carrocerías, motores y chasis se dejan al concesionario Nissan en la ciudad de Valledupar.

La tabla 1 presenta las acciones preventivas del plan actual que corresponde ejecutarlas al conductor de la camioneta. Son acciones estandarizadas y cada conductor debe llenar un formato diario que entrega al departamento de mantenimiento para facilitar el seguimiento individual y evolución de cada unidad vehicular.

Figura 5. Taller mina la Jagua



Fuente. Empresa Prodeco.

Tabla 1. Acciones diarias de mantenimiento

Acción	Controla	Observación
Revisión de documentos del vehículo: Tarjeta de propiedad, SOAT, Revisión tecnomecánica	Legalidad para circular	Responsable Conductor
Revisión nivel de refrigerante del motor	Fugas indeseables para sistema de refrigeración	Responsable Conductor
Revisión nivel de líquido de frenos	Fugas indeseables para sistema de dirección hidráulica	Responsable Conductor
Revisión recorrido de pedal de freno	Estimación indirecta del desgaste de sistema de frenos	Responsable Conductor

Chequeo de presión y desgaste de neumáticos	Estimación indirecta para condición de sistema de suspensión	Responsable Llantería
Revisión de bornes de batería	Eliminar posible sulfatación eléctrica	Responsable Conductor
Revisión de espejos	Identificar daños	Responsable Auxiliar de Patio
Revisión de daños a pintura y carrocería	Identificar daños	Responsable Auxiliar de Patio

Fuente: Empresa Prodeco.

La tabla 2 presenta las acciones de mantenimiento para los recorridos entre 5.000 a 45.000 km. Se observan actividades de tipo genérico que tienen como fin controlar el desgaste del motor cambiando el aceite cada 6.000 km o mensualmente lo que se cumpla primero, recomendando aceites multigrado con clasificación SAE 20W / 40. También controlar desgaste de partes de la transmisión cambiando los aceites tipo valvulina. Sin embargo, no se define la vida útil esperada de estos componentes bajo las condiciones de mantenimiento especificadas.

Las actividades sobre mantenimiento de los sistemas de freno y suspensión, se soportan en el conocimiento y experiencia del personal operativo. Al ser tan ambiguas estas acciones en relación a duración o vida de estos componentes, dado el impacto que las condiciones de las vías dónde circulan las camionetas tiene en relación con la duración, para el posterior análisis se utilizan datos estadísticos para ajustar puntualmente el mantenimiento de estos sistemas.

Todas las tablas de seguimiento que define el fabricante contienen la columna de observaciones, dónde el personal responsable puede realizar anotaciones que crea aportan a mejorar el control de mantenimiento.

Tabla 2. Mantenimiento de fabricante para recorrido entre 5.000 y 45.000 km

N°	VERIFICACIONES Y TAREAS	Ejecutado		OBSERVACIONES
		Si	No	
1	Cambio filtro y aceite del motor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
2	Cambio filtro de aire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
3	Cambio fluido refrigerante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
4	Chequeo luces, plumas, accesorios estándar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
5	Chequeo presión y desgaste de neumáticos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
6	Engrasar Cardán	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
7	Chequeo Niveles: líquido de frenos, dirección	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
8	Suspensión, embrague, limpiaparabrisas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
9	Chequeo frenos y regulación o cambio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
10	Inspección filtro Calefacción y Aire Acondicionado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		

LEYENDA:

= A Inspeccionar

= Inspeccionado

= Programado

_____ Firma Mecánico Responsable

_____ Firma del Supervisor

Fuente. Manual de operación Nissan Frontier. Año 2018.

La tabla 3 muestra el mantenimiento que corresponde al recorrido entre 45.000 y 100.000 km. Se enfatiza en cambio de componentes e insumos para los sistemas de refrigeración del motor y de aire acondicionado para la cabina del vehículo.

Tabla 3. Mantenimiento de fabricante para recorrido entre 45.000 y 100.000 km

N°	VERIFICACIONES Y TAREAS	Ejecutado		OBSERVACIONES
		Si	No	
1	Cambio filtro y aceite del motor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
2	Cambio filtro de aire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
3	Cambio fluido refrigerante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
4	Chequeo luces, plumas, accesorios estándar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
5	Chequeo presión y desgaste de neumáticos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
6	Engrasar Cardán	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
7	Chequeo Niveles: líquido de frenos, dirección	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
8	Suspensión, embrague, limpiaparabrisas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
9	Chequeo frenos y regulación o cambio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		
10	Inspección filtro Calefacción y Aire Acondicionado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha: _____		

LEYENDA:

= A Inspeccionar
 = Inspeccionado
 = Programado

_____ Firma Mecánico Responsable
 _____ Firma del Supervisor

Fuente. Manual de operación Nissan Frontier. Año 2018.

La tabla 4 presenta las actividades que corresponden al recorrido entre 100.000 a 140.000 km.

Tabla 4. Actividades para recorrido entre 100.000 y 140.000 km

N°	VERIFICACIONES Y TAREAS	Ejecutado		OBSERVACIONES
		Si	No	
1	Cambio filtro y aceite del motor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
2	Cambio filtro de aire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
3	Cambio fluido refrigerante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
4	Chequeo luces, plumas, accesorios estándar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
5	Chequeo presión y desgaste de neumáticos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
6	Engrasar Cardán	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
7	Balacas, tambores y discos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
8	Cinturones de seguridad, extractores y ajustadores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
9	Cubre polvos de la flechas de velocidad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
10	Líquido frenos y embrague	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
11	Manguera de vacíos, conexiones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
12	Válvula de retención de servofreno	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
13	Mecanismos varillaje y dirección	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
14	Partes del eje y suspensión delantera y trasera	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
15	Sistema de carga, arranque y acumulador	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
16	Revisar condición y presión de neumáticos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		
17	Sistema de escape	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Fecha:		

LEYENDA:

= A Inspeccionar
 = Inspeccionado
 = Programado

Firma Mecánico Responsable

Firma del Supervisor

Fuente. Manual de operación Nissan Frontier. Año 2018.

El presupuesto anual para mantenimiento se define teniendo en cuenta el plan preventivo definido en el manual del fabricante. Con esto se define elementos y repuestos como:

- Aceites para motor
- Aceites para cajas de velocidades

- Aceites para diferenciales
- Aceite para dirección hidráulica
- Líquido para frenos
- Refrigerante para el motor
- Refrigerante R 134A para sistema de refrigeración de cabina
- Filtros para aceite del motor
- Filtros de combustible
- Correas de alternador
- Correas bomba de agua y dirección hidráulica
- Correas compresor aire acondicionado
- Pastillas para frenos de disco
- Bandas para freno de tambor
- Kit de embrague; incluye: prensa, disco y rodamiento
- Bujes de suspensión
- Rotulas para suspensión
- Topes para suspensión
- Bases para soporte del motor
- Kit bomba de dirección hidráulica
- Kit caja de dirección hidráulica
- Juego de inyectores de combustible para el motor

El jefe de mantenimiento con base en estos artículos, el número de camionetas, los intervalos de tiempo para cambio según la gama propuesta por el fabricante, establece el presupuesto para el ciclo de uso de dos años y el correspondiente costo mensual según el kilometraje recorrido por cada vehículo. De esta manera se tiene un estimado que incluye un 5% de imprevistos para totalizar un valor de \$2.500 millones COP para dos años de operación en modalidad Renting de la flota total de 208 camionetas base.

Se tienen un adicional de 10 camionetas de reserva que adicionan un presupuesto estimado de \$300 millones COP que incluyen mantenimiento de fabricante y alquiler

diario por uso. En total, el presupuesto base estimado para realizar el mantenimiento de la flota es de \$2.800 millones COP para los 2 años de contrato de la flota de camionetas. No se incluye lo relacionado con la carga laboral que corresponde al departamento de mantenimiento porque esto no se afecta con el plan propuesto según enfoque RCM. Tampoco los costos operativos relacionados con el consumo de combustible por la misma razón.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

El inevitable deterioro de las máquinas puestas en servicio es causado por diversos factores internos y externos de degradación, que crean la necesidad de realizar acciones que eliminen o mitiguen esas causas y las consecuencias negativas derivadas. Esas acciones para lograr el control del deterioro y las fallas de los activos productivos es lo que se denomina mantenimiento. Para su ejecución se requiere una cuidadosa administración que inicia con definir objetivos, planear, organizar, ejecutar, controlar y ajustar las acciones consideradas necesarias para obtener los resultados deseados en relación a la disponibilidad de los equipos y el control de los costos del departamento.¹

Los fabricantes de equipos comerciales tienen la obligación de asegurar al cliente una garantía sobre la calidad de sus productos. En ese documento definen cuáles son sus responsabilidades si el equipo no entrega el desempeño promocionado. En relación con daños prematuros normalmente expresan que responden por repuestos y mano de obra sin costo al cliente, pero no cubren los costos por lucro cesante, siempre que se demuestre que el daño en el producto es causado por defectos de fábrica. Además, para que la garantía mantenga su validez por el período asignado, el fabricante impone ciertas condiciones al dueño y/o usuario final, entre las cuales el cliente se compromete a cumplir lo expresado en el manual de operación según dice la fábrica lo que puede incluir realizar curso de entrenamiento especializado y también realizar los mantenimientos preventivos según defina el manual de mantenimiento preventivo del fabricante. Para asegurar la ejecución del mantenimiento de fábrica en el caso de vehículos, los fabricantes acostumbran en el manual de mantenimiento preventivo a colocar una tabla programa en miles de kilómetros, definiendo actividades por gamas o etapas de recorrido de los vehículos, expresados como: 1.000, 5.000, 10.000 hasta

¹ ALLALID Hamid, D. Propuesta de un plan de mantenimiento para la flota Megalog. Valencia (España), año 2016. Trabajo final de Master (mantenimiento). Universidad Politécnica de Valencia. 110 p.

150.000 o más kilómetros o millas, según cada caso. Ver tabla 5. Para facilitar el control sobre la ejecución oportuna, en las tablas de mantenimiento preventivo de los manuales del fabricante se marca con un punto negro o símbolo apropiado si la actividad planeada se ejecutó según lo programado.

Tabla 5. Detalles de un plan preventivo de fabricante.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO		TORITO 205				
TABLA DE MANTENIMIENTO PERIÓDICO						
N°	Servicio	Kilometraje recorrido del vehículo				
		500	2.500	5.000	8.000	11.000
1	Servicios de mantenimiento obligatorios	●	●	●	●	●
2	Revisión de líquido de frenos en TMC, rellenar si es	●	●	●	●	●
3	Revisión del amortiguador delantero / trasero	●	●	●	●	●
4	Revisión / ajuste barra telescópica	●	●	●	●	●
5	Revisión y ajuste de cables de control	●	●	●	●	●
6	Revisión y ajuste de tuercas, pernos, tornillos	●	●	●	●	●
7	Revisión de presión de compresión del motor			●	●	●
8	Revisión de dispositivos eléctricos	●	●	●	●	●
9	Revisión de nivel de electrolito de batería	●	●	●	●	●
10	Revisión de ralentí / gases CO / HC	●	●	●	●	●
11	Revisión y ajuste de holgura de válvulas de ser nec	●	●	●	●	●
12	Bujía: limpieza y ajuste de luz	●	●	●	●	●
13	Limpieza del elemento filtrante del filtro de aire	●	●	●	●	●
14	Limpieza de enfriador de aceite desde el exterior		●	●	●	●
15	Reemplazo de bujías				Cada 10.000 km	
16	Reemplazo de filtro de combustible		●		●	
17	Reemplazo del elemento filtrante del filtro de aire				Cada 10.000 km	
18	Reemplazo de filtro de aceite	●	●	●	●	●
19	Descarbonización del motor				Cada 20.000 km	
20	Rotación de neumáticos				Cada 10.000 km	

● Indica Servicio a realizar

NOTA: Cuando se maneja en condiciones de exceso de polvo se debe limpiar con mayor frecuencia.

Fuente. Fabricante de vehículos Torito.

Este proceder de aplicar lo expresado por el fabricante en relación al qué hacer en mantenimiento parece lógico, dado que se presume que la mejor fuente de información para el mantenimiento es el fabricante y/o concesionario. Sin embargo, en muchos casos como el de la empresa minera Prodeco, a pesar de aplicar el plan del fabricante estrictamente, las frecuentes fallas correctivas evidencian que con el plan de mantenimiento preventivo del fabricante no se conocen y/o no se tiene control sobre algunas causas, efectos y consecuencias de estas fallas imprevistas.

Para las empresas lo importante es la disponibilidad de los equipos, entendida esta como la capacidad operativa normal de los activos, para obtener de ellos los productos o servicios y la rentabilidad derivada que justifican su adquisición. Cualquier evento de falla o intervención imprevista al equipo que lo inactive para entregar su función causa pérdida de la disponibilidad. Por lo tanto, la disponibilidad depende de la confiabilidad de los equipos entendida esta como la capacidad del equipo de presentar pocas fallas en un periodo de uso en razón su diseño (confiabilidad intrínseca) y de la mantenibilidad entendida esta como la capacidad del sistema de mantenimiento y del diseño del equipo para facilitar o retrasar las labores de mantenimiento. Por esto, debe tenerse equipos confiables y/o de fácil mantenibilidad para pretender tener una alta disponibilidad operacional (Do). La ecuación 1 define cómo calcular este indicador de desempeño para la flota.

Ecuación 1

$$Do = \left[\frac{\text{hrs reales de operación por mes}}{\text{hrs calendario para operar por mes}} \right]$$

Se contabilizan las horas de operación al mes para la flota de camionetas base y se divide entre las horas calendario en turno de trabajo al mes para esa flota base. El numerador de las horas reales de operación por mes se aplica a las 110 camionetas base de la flota., estas se calculan tomando las horas calendario por mes y restándole las horas totales por mes dedicadas en mantenimiento de la flota total. Las horas calendario para operar por mes del numerador se calculan tomando los días laborados

por mes, multiplicándolas por 8 horas de trabajo al día por vehículo y se totaliza para la flota total que opera cada mes. Ver anexo 1.

Un modo alternativo de expresar la ecuación 1 se presenta en la ecuación 2. En este caso, el numerador se expresa como horas calendario por mes menos horas dedicadas a realizar los mantenimientos preventivos y correctivos, lo que incluye tareas como: diagnóstico para localizar las piezas dañadas, desarme, limpieza, armado, puesta a punto y pruebas para entregar los vehículos a servicio normal. No se deben incluir las horas dedicadas a adquirir repuestos por no estar en control del departamento de mantenimiento. Posee la ventaja de identificar, controlar y reducir las horas perdidas en relación a las actividades de mantenimiento, lo cual posibilita aplicar mejoras para reducir estos tiempos y elevar la disponibilidad, reduciendo simultáneamente los costos en el departamento de mantenimiento.

Ecuación 2

$$Do = \frac{\text{hrs calendario para operar por mes} - \text{hrs dedicadas a realizar los mtto por mes sean prev o correct}}{\text{hrs calendario para operar por mes}}$$

La ecuación 3 es una manera alternativa para calcular la disponibilidad operacional mensual. Es apropiada cuando se anotan fechas de las camionetas cuando ingresan a taller y fechas donde son entregadas para continuar su servicio. También, en relación a los tiempos promedios para realizar las acciones de mantenimiento (MTTR) puede por sí mismo ser un indicador para aplicar en el taller.

Ecuación 3

$$Do = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Dónde: MTBF (Mean Time Between Failures) o tiempo promedio entre fallas y MTTR (Mean Time To repair) o tiempo promedio para reparar. El MTBF en la flota se calcula tomando las horas de operación de la flota al mes y dividiéndola entre 110 camionetas.

El tiempo promedio para reparar se calcula tomando las horas mes de mantenimiento correctivo y preventivo, dividiendo entre el número de trabajos de mantenimiento realizados al mes para la flota total.

Para propósitos del proyecto, se considera el concepto de confiabilidad operacional (C_o) con la relación expresada por la ecuación 4. El numerador se estima tomando las horas calendario para operar por mes, restándole las horas de mantenimiento preventivo que define el fabricante en su plan preventivo por mes para la cantidad de camionetas atendidas ese mes. Esto implica que se asume realizar el mantenimiento según define el fabricante en el turno normal de trabajo y no se hacen trabajos en días festivos o dominicales, exceptuando emergencias por imprevistos o fuerza mayor. El numerador se calcula como la ecuación 1 ajustando las horas de operación esperada como el valor máximo posible en el supuesto que no ocurren fallas imprevistas.

Ecuación 4

$$C_o = \left[\frac{\text{hr calendario para operar por mes} - \text{hr por mes en mtto preventivo segun plan del fabricante}}{\text{hr calendario para operar por mes}} \right]$$

Es evidente que la confiabilidad operacional como se define, establece el valor máximo de la disponibilidad operacional, en el supuesto que el plan de mantenimiento preventivo del fabricante controla todas las posibles fallas y no existe intervención correctiva, lo cual por supuesto es un valor ideal. Este valor de disponibilidad ideal debe ser mayor al requerido por la empresa para alcanzar sus objetivos económicos, de seguridad, calidad y otros, a través de la explotación de los activos en servicio. Esto debe ser así para que pueda existir tiempo extra para cubrir las fallas imprevistas. Por lo tanto, cualquier plan de mantenimiento preventivo debe tener como objetivo reducir o mantener al mínimo la cantidad y severidad de las paradas correctivas para asegurar acercarse al ideal de la máxima disponibilidad. Por otro lado, tener un sistema de mantenimiento que responda rápido para reducir las horas perdidas en disponibilidad.

Especialmente en maquinaria utilizada de manera intensiva durante el año como ocurre en la empresa analizada.

En el caso de presentarse fallas imprevistas en los equipos, que lleven a bajar la disponibilidad y aumentar costos por mantenimiento y lucro cesante, a pesar de seguir estrictamente lo recomendado en el manual del fabricante y en el caso crítico de tener cada mes una disponibilidad menor a la requerida, lo cual no es sostenible en el tiempo para alcanzar una empresa competitiva comercialmente. Debe recurrirse a agentes o ayudas diferentes al fabricante para elaborar un plan de mantenimiento que incluya el contexto operativo de los activos para definir las acciones y frecuencia de mantenimiento requeridas, en este caso por la flota de camionetas. Aquí es donde resulta relevante incluir el enfoque de mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM por sus siglas en inglés. Éste enfoque, en relación a los resultados observados en industrias de diversos tipos, puede verse como una metodología convertida en una herramienta de conocimiento estratégico, dado que permite alinear los objetivos de mantenimiento con los de la empresa, desarrollada para ayudar a elaborar un plan de mantenimiento que tenga en cuenta el contexto operacional del equipo y su diseño, para aumentar la confiabilidad y disponibilidad relacionada de las instalaciones y equipos industriales, pero sin elevar los correspondientes costos del departamento de mantenimiento.²

La filosofía RCM para aumentar la confiabilidad desde el mantenimiento se basa en el criterio que el personal a cargo posea el mayor conocimiento técnico y funcional del equipo o instalación a mano para comprender al máximo sus posibles fallas y causas, así como su control, lo cual es facilitado por la estructura que brinda este enfoque de mantenimiento. La premisa es que, a mayor conocimiento funcional del equipo, mayor capacidad para identificar posibles fallas y causas relacionadas. Posteriormente se

² MONTES VILLADA, Juan David. Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de integra s.a. Usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Pereira, 2013. Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de ingeniería mecánica. 132 p.

priorizan las fallas a controlar y se definen acciones de mantenimiento según diversas tácticas propias de RCM para controlar y/o eliminar esas causas.

Para realizar el análisis funcional del equipo y su relación con las causas de fallas. En la metodología RCM se definen las tablas AMEF (análisis de modo y efecto de las fallas), las cuales pueden dividir un equipo en módulos, componentes o partes (llamadas genéricamente subsistemas), según la profundidad de análisis requerida en relación con su correspondiente función y falla funcional derivada. Este criterio permite deducir todas las posibilidades de fallo de un sistema incluso al nivel de piezas si es necesario y desarrollar las acciones preventivas que tratan de evitar las fallas correctivas y las potenciales, de forma jerarquizada para minimizar los recursos invertidos en mantenimiento, ya sean daños producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales. Por supuesto debe existir en el equipo de trabajo del plan de mantenimiento, personal técnico del más alto nivel para facilitar un proceso exitoso.

La tabla 6 presenta un modelo para realizar el análisis AMEF en un equipo. En la primera columna de la anterior tabla se define la función del módulo. En la segunda columna se define como se percibe la falla funcional de cada módulo. Se recomienda que se exprese la función física del componente en análisis, acompañada de la que corresponde a su función productiva. Con esto se conecta la función empresarial del activo con su correspondiente estructura que es lo que realmente interesa. La columna modo de falla comprende las causas de falla ocurridas y las potenciales derivadas del análisis AMEF. Las demás columnas se aclaran en el capítulo de resultados.

La severidad de una falla se relaciona con la dimensión del daño causado a la máquina y la dificultad para recuperar el equipo. La criticidad se relaciona con el impacto de la falla sobre la calidad, la producción o servicio y el daño ambiental. La ocurrencia se relaciona con la cantidad mensual o anual a la que ocurre cada falla.

Tabla 6. Modelo de hoja AMEF

Módulo _____		Realiza AMEFC _____								
Fecha _____		Revisa _____								
Observaciones _____		N° _____								
		Resultados								
Función	Modo de Falla	Efecto	Consecuencia	Causa falla	Tipo	Detección	Acciones	Responsable	Falla en control	Resultados
										Seriv

Fuente. RCM Guidebook.³

La cuantificación de la criticidad de una falla se define con el concepto de número prioritario de riesgo NPR, calculado con lo expresado en la ecuación 5.

Ecuación 5

$$NPR = F * G * D$$

Dónde: F = frecuencia de la falla. G = gravedad de la falla y D = detectabilidad de la falla.

La tabla 7 permite asignar valores a los factores F, G y D. Las escalas de estos factores van del 1 al 10. Por lo tanto, el máximo valor posible NPR es 100 (10*10*10).

³ JIM AUGUST P.E. RCM Guidebook. Editorial Pennwell. Año 2004. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. 2012.214 P.

Tabla 7. Valores sugeridos de factores del NPR

Componente del NPR	Clasificación	Peso
Frecuencia de ocurrencia	Improbable	1
	Muy pequeña	2 a 3
	Pequeña	4 a 6
	Media	7 a 8
	Alta	9 a 10
Gravedad de falla (G)	Apenas imperceptible	1
	Poca importancia	2 a 3
	Moderadamente grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremadamente grave	9 a 10
Detectabilidad (D)	Alta	1
	Moderada	2 a 5
	Pequeña	6 a 8
	Muy pequeña	9
	Improbable	10
Índice de Riesgo (NPR)	Bajo	1 a 50
	Medio	50 a 100
	Alto	100 a 200
	Muy alto	200 a 1000

Fuente. Propuesta de un plan de mantenimiento para la flota Megalog.⁴

La figura 6 presenta el esquema que se sugiere tener como referencia para elaborar un plan de mantenimiento basado en el enfoque RCM.

Se observa que la aplicación de AMEF llega hasta la fase de análisis de fallos. La cual se complementa con un análisis de criticidad para filtrar las fallas a atender con el plan que asegura elevar la disponibilidad y reducir los costos, identificadas con la aplicación de la metodología RCM.

Es de anotar, que para elaborar el plan final se tienen en cuenta aspectos de formación, ajuste en equipo, creación de procedimientos que mejoren la mantenibilidad. El manual de mantenimiento se revisa el plan del fabricante y se confronta con las fallas correctivas de la flota para determinar si existen acciones de mantenimiento a

⁴ . ALLALID Hamid, D. Propuesta de un plan de mantenimiento para la flota Megalog. Valencia (España), año 2016. Trabajo final de Master (mantenimiento). Universidad Politécnica de Valencia. 110 p

ajustar para controlar algunas de las causas. Si no existen acciones preventivas. Con los valores NPR de cada falla se logra priorizar el mapa de fallas.

Figura 6. Esquema RCM para elaborar un plan de mantenimiento



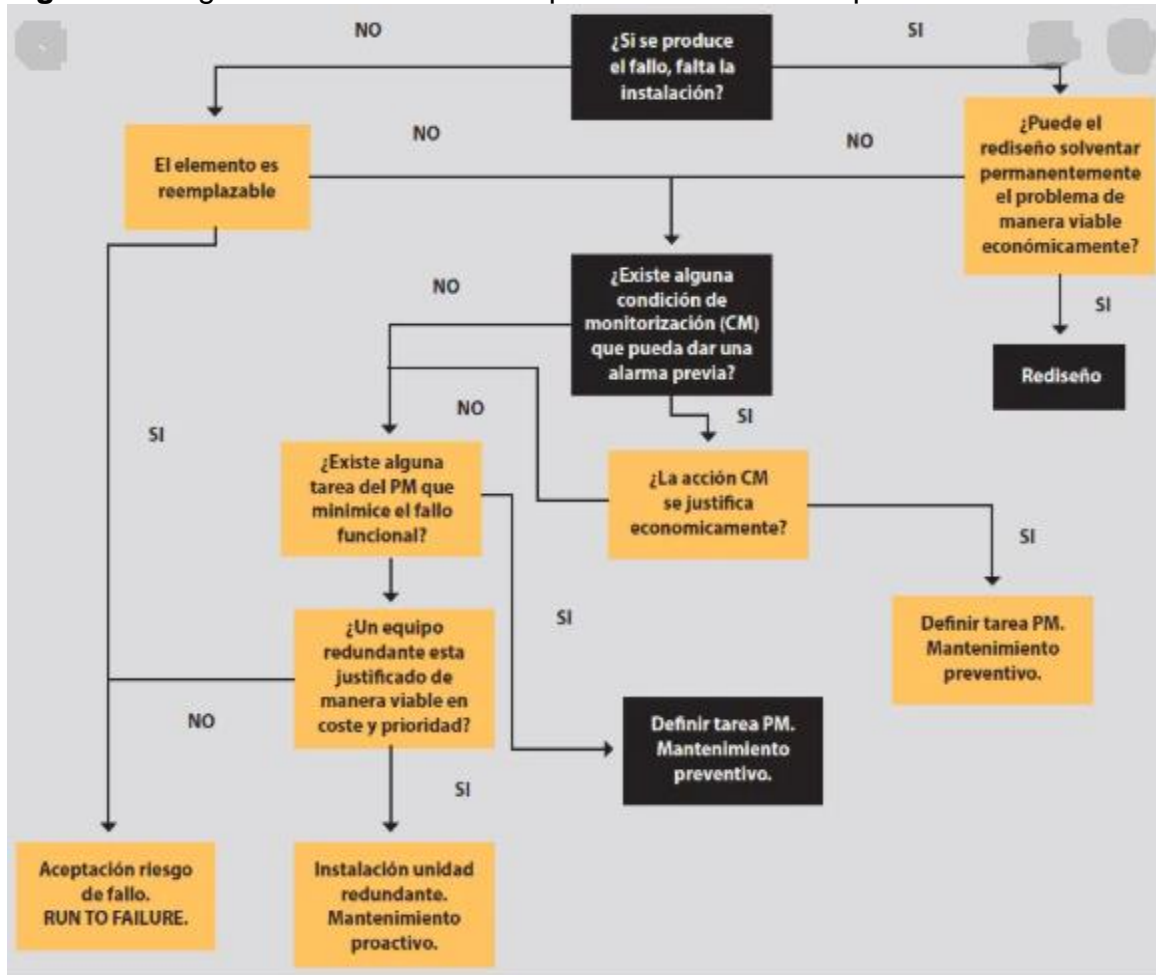
Fuente. Programa de mantenimiento basado en la metodología RCM para el motor eléctrico del sistema de bombeo en la refinería de Ecopetrol en Barrancabermeja utilizando software iRCMS.⁵

La figura 7 presenta el procedimiento a seguir para definir cuál es el tipo de acción de mantenimiento según cada falla a atender con la priorización realizada. Se observa que se definen varios tipos de acciones como: correctivas, preventivas, modificativas, redundantes, de detección, entre otras.

⁵ VERGARA OSORIO, John Fredy. Medellín, 2016. Programa de mantenimiento basado en la metodología RCM para el motor eléctrico del sistema de bombeo en la refinería de Ecopetrol en Barrancabermeja utilizando software iRCMS. Trabajo de grado (maestría en ingeniería, énfasis mantenimiento). Universidad Eafit. 135 P.

El diagrama de decisión permite que el analista defina el plan preventivo complementado con acciones de detección, modificación y otras, según el comportamiento del equipo observado en el contexto operacional.

Figura 7. Diagrama de decisión RCM para definir acciones para fallas a controlar



Fuente. Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de Integra S.A. Usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)⁶

⁶ MONTES VILLADA, Juan David. Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de Integra S.A. Usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Pereira, 2013. Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de ingeniería mecánica. 132 P.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Activo de producción: es un bien con valor contable del que se puede disponer en cualquier momento. En el caso particular de Prodeco los activos de producción son las camionetas de la flota analizada.

Análisis: Estudio aplicado a un sistema con el propósito de comprobar la existencia y consistencia de los requerimientos del mismo y/o posibilidades de mejoramiento.

Análisis de criticidad: es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su importancia para los objetivos de la empresa, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se calcula el número prioritario de riesgo NPR.

Causa: es el factor físico que a través de su incidencia en el tiempo lleva a la falla. Muchas veces se detectan defectos antes que la causa lleve a la falla y mediante algún tipo de inspección puede el analista anticiparse a la ocurrencia de falla mediante la detectabilidad.

Confiabilidad: Según SAE JA 1012: “Es la probabilidad que el equipo tiene de trabajar sin problemas durante un intervalo de tiempo definido por el fabricante, operando en unas condiciones definidas como estándar”. Si las condiciones operativas difieren de lo que el fabricante especifica como estándar, el perfil de confiabilidad real no será el dado por el fabricante y deberá ser ajustado estadísticamente por el usuario en función del perfil de fallas que se presente en el contexto operativo de los equipos.

En términos prácticos la confiabilidad define la disponibilidad máxima de los equipos, obtenida al restar los tiempos de mantenimiento preventivo estandarizado del tiempo calendario de trabajo, expresado como porcentaje del mismo.

Confiabilidad operacional: es la capacidad de una instalación o sistema (integrados por procesos, tecnología y gente), para cumplir su función dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico.

Consecuencia de una falla: Es el impacto negativo de una falla sobre la seguridad, la calidad, la productividad, el medio ambiente, entre otros.

Defecto: Es la diferencia entre el estado real y el estado original de un equipo. La diferencia puede llevar a la falla.

Disponibilidad: Según SAE JA 1012: Es la probabilidad que, en cualquier instante de tiempo especificado, incluyendo o excluyendo el mantenimiento proactivo, una máquina no falle. La disponibilidad de los equipos depende tanto de la confiabilidad que define el número de fallas en un periodo calendario, como de la mantenibilidad, que define la duración de los tiempos utilizados para ejecutar las operaciones de mantenimiento.

Detectabilidad: indica el grado de facilidad en la detección de la falla y/o defecto.

Disponibilidad: indicador de eficacia del mantenimiento, que expresa la relación entre el Tiempo Planeado de Producción (*TPP*) y el Tiempo de Paradas No Programadas (*TPNP*).

Efecto: síntoma generado por la ocurrencia de una falla potencial o funcional (ruido, vibración, goteo o fuga, elevación o disminución de una temperatura, etc.). La diferencia con consecuencia es que el efecto es lo que sucede en el momento mismo de la falla y consecuencia es el evento último que desencadena el efecto primero de la falla.

Eficacia: Es una medida de si las cosas o actividades que se realizan son correctas o se alinean en función de objetivos previamente trazados.

Eficiencia: Es una medida del grado de resultado de las actividades que se han realizado. Debe relacionar el éxito de las salidas con las entradas.

Estrategia de mantenimiento: Combinación de políticas de mantenimiento y paradigmas de confiabilidad que una empresa aplica para tener los resultados esperados a mediano y largo plazo.

Falla funcional: tipo de desperfecto o avería que reduce a cero la capacidad de cualquier elemento físico de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado. Dicho de otra manera, es el tipo de falla por la cual un equipo deja de funcionar totalmente.

Falla parcial (potencial): tipo de desperfecto o avería, o condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir una falla funcional. Estas fallas están por encima o por debajo de los parámetros identificados para cada función. Por ejemplo, el elemento no cumple un estándar o parámetro establecido de su servicio.

Frecuencia: es la probabilidad de ocurrencia de la falla. Idealmente debiera extraerse a partir de estadísticas de falla, en caso contrario debe conocerse con muy buena aproximación el patrón de falla del equipo/proceso y la fase por la cual está pasando actualmente.

Gravedad o severidad de la falla: indica como la falla afecta al usuario o cliente (desde el punto de vista de la producción, de los daños al equipo y daños colaterales, daños al medio ambiente y seguridad industrial).

Indicador de gestión: Es un medidor de gestión que la expresa de manera cuantitativa el comportamiento y desempeño de un proceso, cuya magnitud, al ser comparada con algún nivel de referencia, señala una desviación sobre la cual se toman acciones correctivas o preventivas según el caso.

Mantenibilidad: Según SAE JA 1012: Es la probabilidad de realizar en un tiempo estandarizado, una actividad de mantenimiento estandarizada. Esta definición se convierte en un indicador de desempeño del sistema de mantenimiento. En términos prácticos la mantenibilidad se define como la relación entre el tiempo estándar referido al tiempo real en la realización de las operaciones de mantenimiento.

Mantenimiento: conjunto de acciones técnicas y administrativas, incluyendo las acciones de supervisión, destinadas a retener la condición operativa de un activo, o restaurarlo a un estado en el que se puede realizar una función requerida. (IEC 60050-191, 1996).

Mantenimiento centrado en confiabilidad: Es una filosofía de mantenimiento desarrollado para la industria aeronáutica, y en la actualidad utilizada en los sistemas asociados a plantas industriales, de forma de poder reforzar la Confiabilidad Operacional en el contexto de los objetivos de la empresa.

Mantenimiento correctivo: Acciones de mantenimiento, ejecutada después que ha ocurrido una falla concreta no planeada (evento inesperado).

Mantenimiento planeado: Acciones de mantenimiento planeada con asignación de los procedimientos y recursos necesarios.

Mantenimiento predictivo: Acción de mantenimiento proactivo provocada por el monitoreo de una condición. También se conoce como mantenimiento basado en la condición.

Mantenimiento preventivo: Acción de mantenimiento proactivo ejecutada con el propósito de eliminar o controlar una futura falla.

Mantenimiento proactivo: Acción de mantenimiento ejecutada antes de que ocurra una falla, realizada con el propósito de controlar la falla y sus consecuencias.

Mantenimiento programado: Acción de mantenimiento proactivo con tiempo asignado.

Modo de falla. Este concepto posee un significado concreto en la metodología RCM, que lo define como una falla funcional de un módulo o componente del sistema analizado, expresada de manera cualitativa anexando cifras relevantes d sobre la pérdida funcional.

Operaciones de mejora: Actividades de mantenimiento que modifican el diseño original, con las cuales se pretende mejorar el rendimiento del equipo o eliminar fallas de tipo crónico.

Plan de mantenimiento (PM): el PM es un conjunto de acciones a ejecutar con cierta periodicidad (hasta un año) para anticiparse a la salida de servicio de equipos, herramientas y elementos de uso corriente, o al deterioro pronunciado de las instalaciones.

Política de mantenimiento: Decisión de aplicar algún tipo de mantenimiento como el correctivo, preventivo o predictivo.

Programa de mantenimiento: Es el conjunto de acciones de mantenimiento con asignación de recursos y tiempos para su ejecución según el plan previo definido.

Requerimiento: un requerimiento es una condición o necesidad que exhibe o posee un sistema para satisfacer un contrato, estándar, especificación, u otra documentación formalmente impuesta. En este caso, el correcto funcionamiento del vehículo.

Tiempo medio entre fallas (MTBF por sus siglas en inglés). Dada una serie de estados operativos intercalados con estados de mantenimiento (no operativos), se tienen que cada una de las duraciones en uno u otro estado posee valores diferentes. El valor promedio para los estados operativos se define como el MTBF.

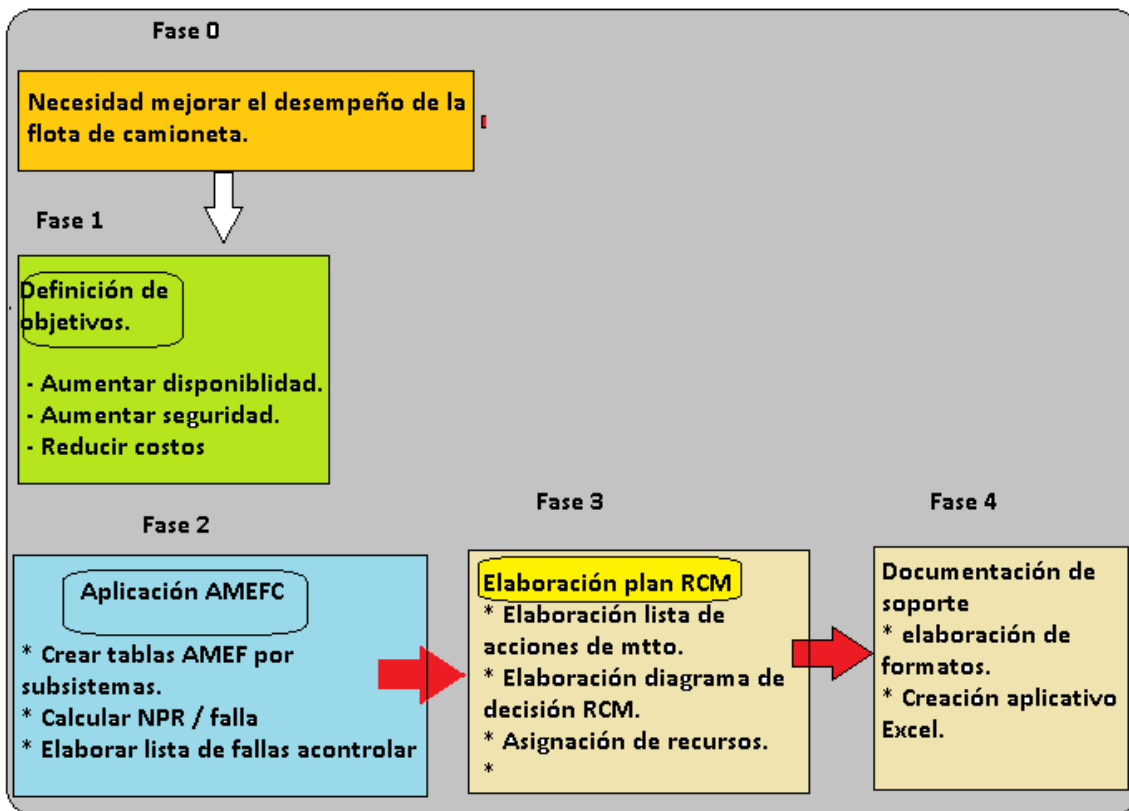
Tiempo medio para reparar (MTTR por sus siglas en inglés). Dada una serie de estados operativos intercalados con estados de mantenimiento (no operativos), se tienen que cada una de las duraciones en uno u otro estado posee valores diferentes. El valor promedio para los estados no operativos se define como el MTTR. Los valores de MTBF y MTTR se utilizan profusamente para calcular la disponibilidad inherente en un determinado periodo de tiempo.

Verificación: constatación de que los requerimientos especificados son correctos.

3. METODOLOGÍA

El conjunto de procedimientos aplicados de manera ordenada y sistemática con el fin de alcanzar los objetivos específicos y el objetivo general de este trabajo, se basa en la metodología RCM. Las etapas que se proponen para desarrollar el proyecto se observan en la figura 8.

Figura 8. Fases del proyecto



Fuente. Elaboración propia.

3.1. Fase 0

La figura 9 presenta el tipo de activo a analizar. Se observa el vehículo original en concesionario, También las modificaciones para operar en mina dadas las altas exigencias en seguridad con las que debe operarse en estos sitios. Por obligación las llantas originales para camino pavimentado deben cambiarse por unas de alta tracción para operar en caminos destapados secos y fangosos. También se agregan defensas

para absorber probables impactos con animales y rejillas en vidrios de la cabina para proteger de impactos por piedras. Además, luces y calcomanías de reflectivas de señalización, así como baliza de presencia.

Figura 9. Camioneta Nissan Frontier 4x4

Vehículo en concesionario



Vehículo preparado para mina



Fuente. Empresa Prodeco S.A.

La tabla 8 presenta las características técnicas de las camionetas analizar.

Tabla 8. Características técnicas de las camionetas Nissan Frontier 4x4

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
CAPACIDAD DE CARGA (kg)	1.000
PESOS Y DIMENSIONES	
Peso vacío (kg)	1.830
Peso bruto vehicular (kg)	2.830
Distancia entre ejes (mm)	2.950
Distancia mínima (mm) al piso (con ruedas originales). Factibles de modificar	225
Largo (mm)	5.080
Ancho (mm)	1.825
Alto (mm)	1.710
Capacidad tanque combustible (gal / litros)	18,5 / 70
MOTOR	
Disposición	Longitudinal
Número de cilindros	4 en línea
Cilindrada en cc	2.500

Potencia en HP	150 HP @ 3.400 RPM
Torque del motor (N-m)	315 @ 2.000 RPM
Relación de la caja en primera	3,58
Relación del bajo	3,636
Relación del diferencial	4,375
Torque total en las ruedas con el cambio colocado en primera y bajo aplicado si existe (N-m)	$315 * 3,58 * 3,636 * 4,375 =$ 17.938,9
Árbol de levas	Doble en la culata mando por cadena
Filtro de aire	Elemento seco toma de aire lateral
Tecnología del motor	Inyección de combustible directa - Sistema Common Rail con un turbocargador
EMBRAGUE	Prensa de diafragma. Mono disco seco. Accionamiento hidráulico
CAJA DE VELOCIDADES	Manual de 5 velocidades hacia adelante sincronizadas y reversa
TRANSMISIÓN	Rueda libre automática, semiejes ruedas delanteras y eje rígido ruedas traseras. Tracción en las cuatro ruedas conectable con palanca, reducción y bloqueo de diferencial
SUSPENSIÓN DELANTERA	Independiente. Doble tijera con tope para tijeras superior e inferior, barra de torsión, barra de tensión, amortiguadores telescópicos, barra estabilizadora. Esférica inferior hacia abajo
SUSPENSIÓN TRASERA	Eje rígido, resortes de 5 ballestas, tope contacto en las puntas tipo cono. Amortiguadores telescópicos
DIRECCIÓN	Hidráulica, tipo bolas recirculantes. Varillaje múltiple
RADIO DE GIRO (m)	6,0
FRENOS	Delanteros de disco / Traseros de tambor
RUEDAS	Rin de acero

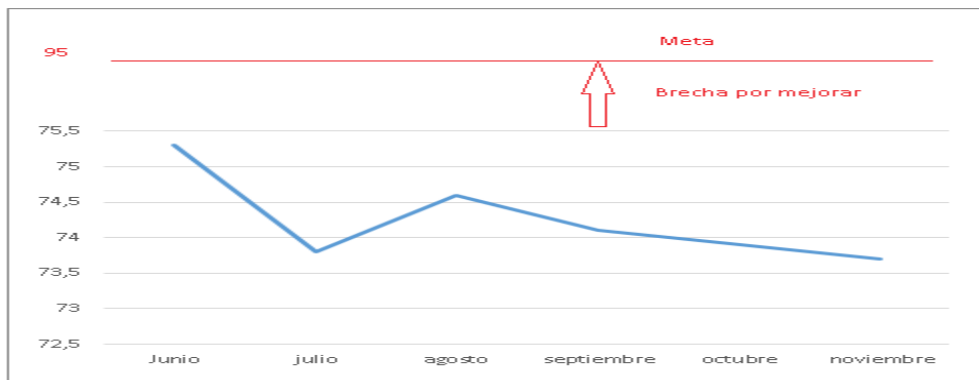
Fuente. Concesionario Nissan Barranquilla.

3.2. Fase 1

En la fase de definición de objetivos, se realiza una auditoria a los indicadores claves de desempeño (KPI) que se aplican en el departamento de mantenimiento, según gerencia define para evaluar mensualmente. La figura 10 presenta el historial mensual

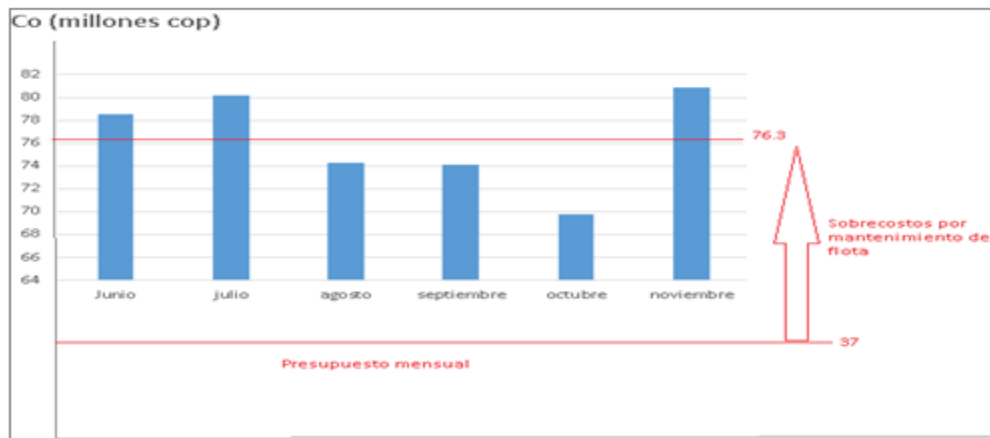
de mantenimiento para los últimos 6 meses del año 2019, correspondiente a la disponibilidad operacional, estimada con la ecuación 1 que es lo permitido por la manera en que se tienen los datos base para estimarla. Se observa una brecha por mejorar de aproximadamente el 20%. En la figura 11 se presenta el costo mensual para el mismo periodo de la disponibilidad. Se observa un sobrecosto de 2 (se duplica el presupuesto). El objetivo es elevar paulatinamente la disponibilidad igual o mayor al 95% y los costos que no superen los \$40 millones COP mensuales.

Figura 10. Evolución de la disponibilidad operacional



Fuente. Elaboración propia.

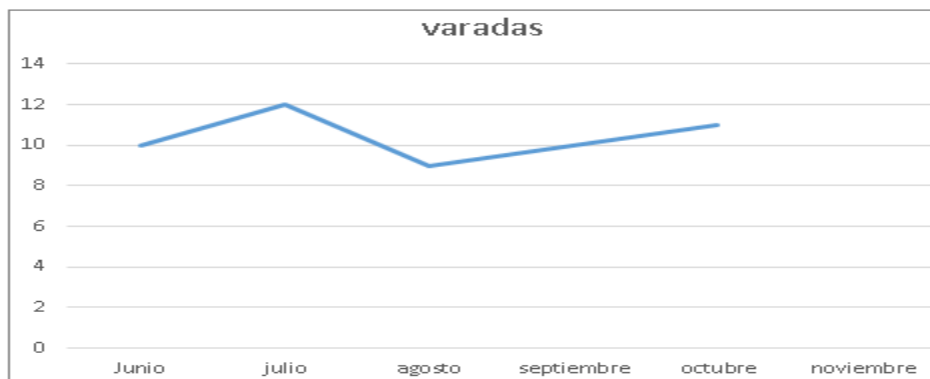
Figura 11. Evolución de costos para la flota de camionetas



Fuente. Elaboración propia.

En el estimado de costos correspondientes a mantenimiento no se consideran accidentes viales dado que estos son cubiertos por seguros contractuales. Tampoco lo correspondiente a documentación de tránsito de los vehículos. La figura 12 presenta el perfil de camionetas fuera de servicio por daños imprevistos que las imposibilitan sea en las vías internas y externas a las minas, que corresponden a tiempos de trabajo (horario laboral). El ideal es cero camionetas varadas en vía.

Figura 12. Perfil de salidas del servicio para el periodo



Fuente. Elaboración propia.

En el análisis de componentes de los vehículos causantes de las varadas, se tiene que son de tipo eléctrico, básicamente alternadores que no generan potencia eléctrica y se agota la batería o motor de arranque que se quema y las camionetas quedan inmovilizadas en la vía.

3.3. Fase 2

Se aplica el análisis AMEF y criticidad por subsistemas de las camionetas. Estos son:

- Motor. Incluye componentes eléctricos: alternador y motor de arranque.
- Embrague
- Caja de velocidades
- Diferencial
- Chasis
- Frenos

- Suspensión
- Dirección
- Sistema electico

La tabla 5 presenta el modelo para análisis AMEF. Se tiene el cuidado de expresarse en lenguaje técnico entendible por los mecánicos y eléctricos en general. Esto asegura máxima utilidad del material generado.

Al definir la función se expresa el funcionamiento normal del componente analizado, tratando de cuantificar en lo posible los indicadores de buen funcionamiento que aplique según cada tipo, definiendo el valor o rango que según el fabricante se considera aceptable. La falla funcional entonces se define como valores representativos de la función que quedan por fuera de un rango considerado normal. La columna modo de falla define cuales son las posibles causas que llevan a los indicadores técnicos a estar fuera del rango de normalidad. Esta actividad requiere profundo conocimiento técnico sea de los mecánicos propios, d expertos externos, de manuales del fabricante, entre otros. Una herramienta base para clarificar casos crónicos y complejos es la metodología llamada análisis causa raíz de fallas o RCFA por sus siglas en ingles. En esta fase del proceso debe identificarse si la respectiva falla funcional ha ocurrido o es potencial, así como las consecuencias negativas diversas que pueden ocurrir. La columna efecto de la falla se relaciona con la posibilidad de detectar mediante indicadores técnicos de la función si el componente tiene un nivel de degradación aceptable o está cercano a la ocurrencia de la falla.

La columna actividad preventiva se expresa en relaciona la manera que desde el mantenimiento pueden aplicarse acciones proactivas que controlen o eliminen las causas de las fallas identificadas.

Tabla 9. Modelo AMEF aplicado

PRODECO minas La **Hoja AMEF N° / Componente** _____
Jagua y Calenturitas **Realiza** _____
Dpto. mtto **Revisa** _____
Año _____ **Fecha** _____
Activo: Camioneta Nissan Frontier 4 x 4. Modelo 2018

Función	Falla funcional	Modo de falla (causa) y ocurrencia	Acción preventiva plan fabricante	Efecto de la falla
		O (ocurre)	O existe	
		P (potencial)	X no existe	
		C1		
		C2		
		.		
		.		
		.		
		Cn		

Fuente. Elaboración propia.

El análisis se ha definido aplicar para los componentes identificados como críticos, porque así se aprovecha al máximo la especialización de los mecánicos, eléctricos y ayudantes del departamento de mantenimiento.

La información obtenida de las tablas AMEF permite identificar las fallas potenciales y las que han ocurrido. Además, si existen actividades preventivas o no según plan de mantenimiento del fabricante para controlarlas. La tabla complementaria 10 relaciona las fallas identificadas por AMEF con aspectos complementarios sobre severidad de la falla medida por su impacto negativo sobre la disponibilidad y costo de reparación más lucro cesante de las camionetas. También si ha ocurrido o aun es una falla potencial. Se complementa con la posibilidad de tener alguna indicación de desarrollo de esa falla antes que ocurra mediante algún tipo de detección. Con esta información y los valores sugeridos en la tabla 2 (marco teórico), se define el número prioritario de riesgo (NPR modificado ver anexo 2) por falla y se tiene la lista de fallas a atender categorizada.

Tabla 10. Cálculo de criticidad de las fallas

Modo de falla	Severidad (consecuencia)	Ocurrencia		NPR (Ecuación 3 modificada)
		A: Actual P: Potencial Riesgo	Detección Sí / No	

Fuente. Elaboración propia.

El valor NPR modificado teniendo en cuenta lo mostrado en el anexo 1 define la lista de fallas a atender. Un Pareto para los componentes analizados permitirá realizar una depuración final de la lista de fallas atender.

3.4. Fase 3

Definida la lista de fallas a atender con el plan, se aplica el diagrama de decisión RCM de la figura 7 (capítulo 2). Con esto, se identifica el tipo de acción de mantenimiento según cada falla, permitiendo asignar recursos físicos, humanos y económicos para calcular su costo de ejecución. Adicionalmente se asignan frecuencias a las actividades. Con esto puede calcularse el costo mensual y carga de trabajo por mes del plan propuesto. Finalmente se realiza un estimado de la disponibilidad esperada aplicando el plan. Esto permite realizar el comparativo final entre disponibilidad y costo mensual contra los estimados del plan RCM desarrollado según tabla 11.

Figura 13. Taller de mantenimiento en la Jagua



Fuente. Empresa Prodeco S.A.

La carga de trabajo se distribuye entre los técnicos disponibles por día. La mayor parte de las horas, 70% en promedio se dedica a resolver fallas correctivas. Por ello se aumenta el personal base con 2 ayudantes del SENA que se encarguen de realizar las tareas básicas anotadas. Algunas veces, las reparaciones no se pueden realizar por la no existencia de repuestos en el almacén interno. Otras veces ocurre falta de herramientas apropiadas para diagnóstico, desarme o armado. Estos aspectos negativos impactan la disponibilidad de los vehículos base y aumenta el número de camionetas de reserva. Entonces, el objetivo además del plan propuesto que se ajuste a las condiciones operacionales de las minas según el enfoque RCM, requiere una organización de la documentación y de la reasignación de responsabilidades a los conductores.

La ecuación 1 para el cálculo de la disponibilidad es apropiada para los datos actuales disponibles. Refleja el valor de este indicador mensualmente. Sin embargo, la ecuación 3 basada en los tiempos promedio entre fallas MTBF y tiempo promedio para reparar MTTR, son en sí mismo indicadores. El MTBF es apropiado para medir la confiabilidad de las camionetas dado que a mayor valor menor cantidad de fallas. Por

otro lado, el MTTR es apropiado para medir el desempeño del departamento de mantenimiento. Por ello se define elaborar los formatos de las tablas 12 y 13. La base para medir estos indicadores en el proyecto será el kilometraje y no las horas de operación. Esto se basa en que el kilometraje es un valor fácilmente medible en las camionetas y no existe una correlación conocida entre kilometraje y horas de uso del vehículo. El responsable de estas cifras es el conductor del vehículo con la supervisión del jefe del departamento.

Tabla 12. Formato para estimar MTBF por camioneta

Kilometraje inicio mes de operación	Kilometraje fin mes de operación	N° visitas a taller / mes

Fuente. Elaboración propia.

El MTBF se calcula tomando la diferencia entre los dos valores de kilometraje al mes, dividiéndolo por el número de visitas al taller por cualquier motivo técnico. Al calcular por camioneta puede hacerse con la flota base un Pareto que permite identificar el 20% de estas (22 camionetas) que representan el 80% de visitas al taller. Un posterior seguimiento a cómo actúa el personal de mantenimiento con estos equipos podría permitir identificar la causa real del bajo valor MTBF para estas camionetas crítica. También, como manejan esas camionetas sus conductores y porque vías y en qué condiciones transitan para tomar medidas técnicas y/u organizacionales que mejoren el comportamiento.

La figura 8 permite tener datos para calcular el MTTR. Este indicador en este caso solo puede evaluarse por tiempo dado que en taller el kilometraje se mantiene constante. De manera complementaria se toma el tiempo en horas que los actuales formatos entregan para las camionetas por mes y dividirlo entre el mismo número de visitas al

taller. Este valor MTBF está basado en el tiempo y no en kilometraje. Con estas cifras puede calcularse la disponibilidad de la flota.

Tabla 13. Formato para estimar MTTR por camioneta al mes

Camioneta placa _____ Técnico _____					
Día y hora de entrada	Día y hora de salida	Componente intervenido	N° visitas al taller / mes	hr / intervención	Costo estimado de la reparación

Fuente. Elaboración propia.

Con estos datos el MTTR se calcula totalizando todas las horas en taller al mes, dividiéndolas entre el número de visitas al mes por camioneta. Estos datos los llena el jefe de taller y el conductor de la camioneta. A partir de los datos por camioneta puede calcularse el valor promedio MTTR para las camionetas.

Nuevamente se puede realizar un Pareto con estos datos para tratar de identificar el 20% de las camionetas bases que consumen el 80% del tiempo en mantenimiento. Este valor debe tener concordancia con el MTBF.

Finalmente se elabora un aplicativo en ambiente Excel al cual se alimenta con los datos aquí capturados y que automáticamente procese los perfiles de disponibilidad, MTBF y MTTR por camioneta y por grupo base. De esta manera, el director de mantenimiento puede observar comportamientos individuales y de grupo.

La tabla 14 permite calcular los costos por reparación que incluyen el correspondiente al lucro cesante. Este dato se anexa a la última columna de la anterior tabla.

Tabla 14. Detalles para estimar costos de reparación por mantenimiento

Repuestos	Cantidad	Valor unitario \$ COP	Subtotal \$ COP	Camioneta de reserva \$ COP

Fuente. Elaboración propia.

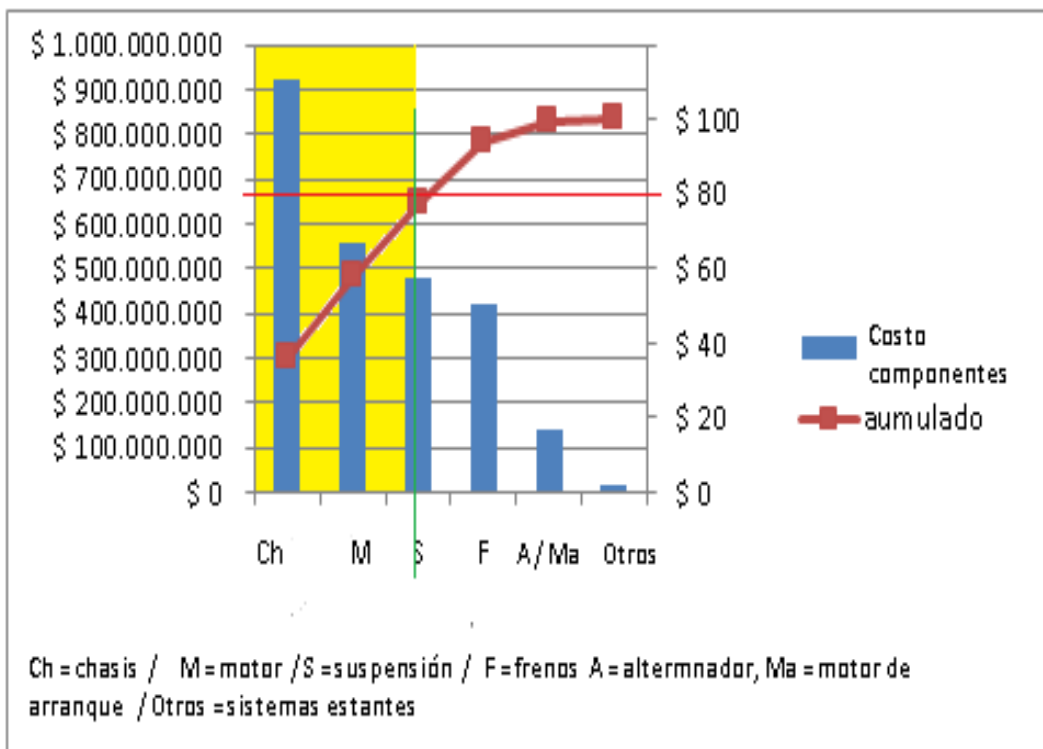
El costo mensual de mantenimiento toma como referente el que corresponde al plan de mantenimiento del fabricante. Los costos en este caso solo cubren las acciones preventivas, teniendo en cuenta la gama sugerida por el fabricante.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. RESULTADOS Y ANÁLISIS PARA EL DESEMPEÑO ACTUAL DE LA FLOTA

La figura 14 presenta el Pareto de los componentes de las camionetas tomando valores de la flota base. Aplicando la regla del 80/20, los resultados indican que los componentes: chasis, Motor y suspensión representan el 80% de los costos extra generados por reparaciones correctivas. A estos 3 componentes se aplica la metodología RCM para controlar las fallas y consecuencias derivadas en baja disponibilidad y sobre costos correspondientes al departamento de mantenimiento. Los datos corresponden al acumulado de un año (2019).

Figura 14. Pareto de los componentes basado en costos

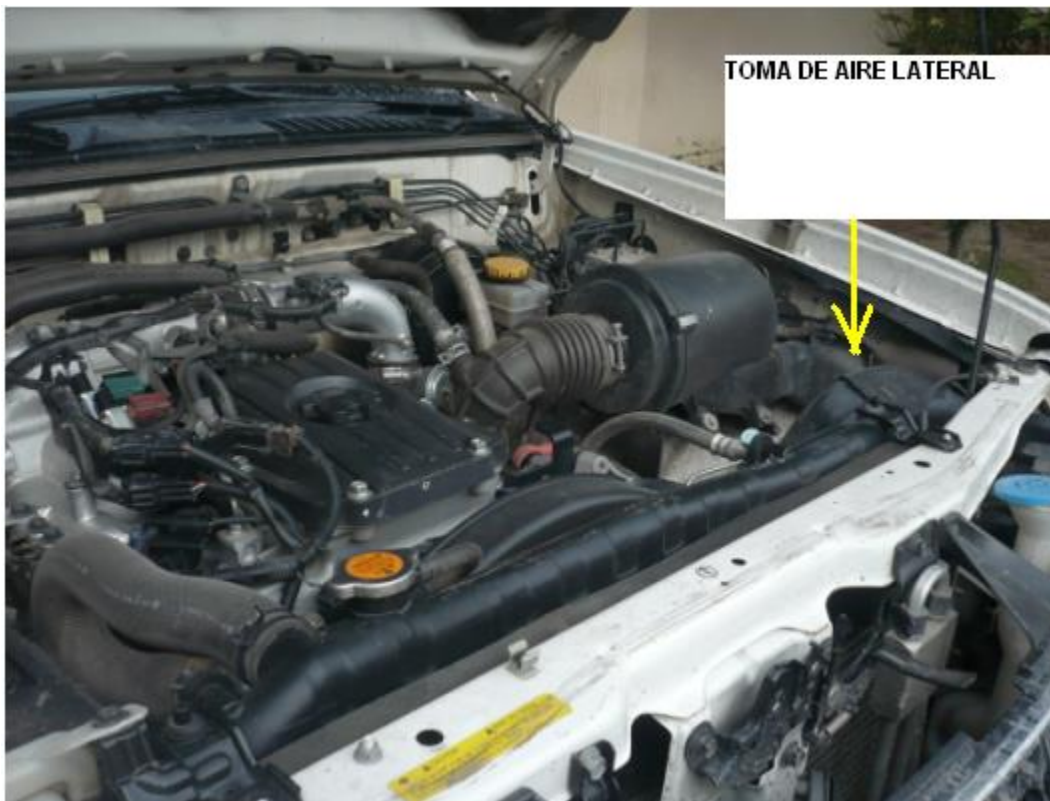


Fuente. Elaboración propia.

4.2. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA FASE RCM PARA EL COMPONENTE MOTOR

La figura 15 presenta al motor de estos vehículos. Las fallas correctivas mayores son por consumo prematuro de aceite que lleva que las camionetas expulsan de manera continua humo azulado por el escape de gases y requieran su envío para reparar motores hasta el concesionario Nissan de Valledupar, elevándose los costos operativos. Adicionalmente, de manera ocasional penetra agua al tanque de combustible generando fallas al ingresar este elemento indeseable al sistema de alimentación de combustible Diésel del motor.

Figura 15. Motor de las camionetas Nissan Frontier 4x4



Fuente. Empresa Prodeco S.A.

La tabla 15 presenta la aplicación AMEF para el componente motor de las camionetas. La información detallada se ha obtenido de un trabajo colaborativo realizado en equipo con los mecánicos de la empresa, apoyados por un mecánico experto del

concesionario Nissan de Valledupar. Esto logra aumentar la comprensión de cómo opera el motor de la camioneta Nissan Frontier y como se realiza una correcta calibración del tren de válvulas y la sincronía entre eje de levas - cadena de tiempos - cigüeñal. Es de resaltar que las fallas y causas asociadas en su mayoría se han presentado por lo menos una vez o por lo menos estuvieron cerca de ocurrir por la causa anotada, por esto se considera si el análisis lo define, aplicar alguna acción de mantenimientos según sugiera la metodología RCM.

Se resalta que algunas causas anotadas surgen después de realizar una reparación incorrecta, aspecto que nunca tiene en cuenta un fabricante pero que se evidencia por su ocurrencia esporádica en la flota de camionetas analizadas.

Tabla 15. AMEF del motor

Prodeco minas la Jagua y Hoja AMEF para: Motor Diésel Calenturitas Hoja 1_____		Realiza _____		Revisa _____		Fecha	
Dpto. mtto		Activo: Camioneta		Nissan Frontier		4 x 4	
Año _____		Modelo 2018					
Función	Falla funcional	Modo de falla (causa)	Acción preventiva plan fabricante O existe X no existe		Efecto de la falla		
Convertir flujo energético del combustible en potencia mecánica rotacional entregando la potencia normal de fábrica para movilizar carga y pasajeros hasta la capacidad máxima de una tonelada,	No gira el cigüeñal al activar interruptor de encendido de la camioneta	Batería descargada por alternador que no carga o dañada	O luz de carga en tablero		Cigüeñal gira manualmente (sugiere problema eléctrico)		
		Motor de arranque dañado	X				
		Circuito eléctrico de arranque dañado	X				
		Cigüeñal roto	X		Cigüeñal no gira manualmente (sugiere		
		Cigüeñal agarrotado	X				

manteniendo el consumo de combustible, aceite y refrigerante dentro de lo expresado en el manual del fabricante. Con valores de parámetros operativos de temperatura, presión del motor y carga del alternador en rangos de normalidad, según define el fabricante.

Cigüeñal gira normal pero el motor no enciende	Biela rota	X	problema mecánico)
	Pistón agarrotado	X	
	Tren de válvula roto	X	
	Cadena de eje leva rota	X	
	Agua en las camisas del motor	X	
	Caja de cambio trancada	X	
	Sin combustible	O	No se evidencia proceso de combustión en el motor
	Combustible sucio	X	Posibles ruidos anormales por combustión deficiente
	Combustible con fugas	X	
	Combustible con aire	X	
Motor enciende pero entrega poca potencia y opera ruidoso	Bomba de alimentación dañada	X	Posible humo anormal de color negro o blanco
	Bomba de inyección dañada	X	
	Compresión baja	X	
	Cadena de tiempo floja o rota	X	Posible olor anormal
	Daño mecánico del sistema de válvulas	X	
	Inyectores dañados	X	Petardeo o explosiones del motor por la admisión y/o el escape
	Inyectores conectados incorrectamente	X	
	Bomba de inyección dañada	X	

	Filtros de combustible sucios	X	
	Combustible sucio	X	
	Mangueras de conducción absorben aire	X	Humo anormal
	Tanque de combustible con obstrucción	X	
	Empaque de culata quemado	X	Recalentamiento
	Tren de válvulas dañado	X	
	Filtro de aire obstruido	X	Presión de aceite baja
	Sistema de escape obstruido	O	
	Freno motor se aplica sin control	X	
	Pistón dañado	X	Golpeteo del motor
	Anillos dañados	X	
	Motor mal sincronizado	X	
	Tren de válvulas descalibrado	X	El indicador de temperatura del motor sobrepasa los 95 °C
	Bomba de inyección falta de sincronización	X	
Motor enciende con potencia normal pero se recalienta	Mala sincronización de eje de levas – cigüeñal	X	Después de andar normal el motor pierde potencia y se torna ruidoso
	Empaque de culata quemado y fuga agua externamente	X	

Bomba de agua con fugas	X	
Correa de bomba de agua floja	X	
Manguera circuito de refrigeración con fugas	X	
Abrazaderas de mangueras flojas o rotas	X	
Líquido refrigerante con bajo nivel en tanque de alivio	X	Por el escape del motor se expulsa humo de color blanco
Líquido refrigerante con bajo nivel en radiador	X	
Bajo nivel de aceite en el Carter	X	
Aceite del motor con viscosidad inapropiada	X	
Culata del motor deformada	X	
Bloque del motor deformado	X	

Fuente. Elaboración propia.

Se concluye de lo obtenido que para la mayoría de fallas no se tiene control de acciones de mantenimiento desde el plan preventivo entregado por el fabricante. La explicación asumida, es que desde la garantía que el concesionario de la marca entrega, asume la responsabilidad del vehículo hasta su expiración, lo que implica por parte del propietario del vehículo para mantener la vigencia de la garantía, realizar visitas periódicas obligatorias a sus instalaciones, donde tiene los mecánicos, insumos, repuestos, manuales, conocimiento y apoyo del fabricante para resolver los problemas que pueden presentarse al realizar los mantenimientos. Además, el concesionario posee un departamento de atención al cliente dónde maneja las respuestas a reclamos

durante el periodo de la garantía del vehículo. Esto asegura tener control del cliente y que este al no poseer la capacidad total de las posibles reparaciones, específicamente las más complejas, esté obligado a recurrir al concesionario, asegurando un flujo de caja constante para este.

4.2.1. Análisis de Criticidad para el motor. Ahora se procede a calcular el NPR para las fallas del componente motor, dónde se deriva el correspondiente plan de mantenimiento RCM, aplicando la escala mostrada en la tabla 3.

La tabla 16 define el perfil de criticidad para las actividades ajustadas según enfoque RCM para el mantenimiento del motor de las camionetas. Se identifican 45 causas atender con el plan de mantenimiento que se define según el enfoque RCM.

En la columna izquierda “observaciones”, se anotan detalles aclaratorios de las causas que se consideran deben explicarse para un mejor entendimiento de la clasificación y numero NPR resultante. También define si es necesaria una nueva acción de mantenimiento con sus características.

Tabla 16. NPR para el motor

Prodeco minas la Jagua y Calenturitas		Hoja NPR para: Motor Diésel		Hoja 2 _____	
Dpto. mtto		Realiza _____			
Año _____		Revisa _____ Fecha _____			
Activo: Camioneta Nissan Frontier 4 x 4 Modelo 2018					
ID	Causa de falla	Detección	Frecuencia	Consecuencia	NPR
M1	Batería descargada por alternador que no carga o dañada	1	8	5	40
M2	Motor de arranque dañado	6	8	8	384
M3	Circuito eléctrico de arranque dañado	2	3	8	48
M4	Cigüeñal roto	6	3	10	180
M5	Cigüeñal agarrotado	6	3	10	180
M6	Biela rota	6	3	10	180
M7	Pistón agarrotado	6	3	10	180
M8	Tren de válvula roto	6	8	10	480
M9	Cadena de eje leva roto	6	8	10	480
M10	Agua en las camisas del motor	6	8	10	480

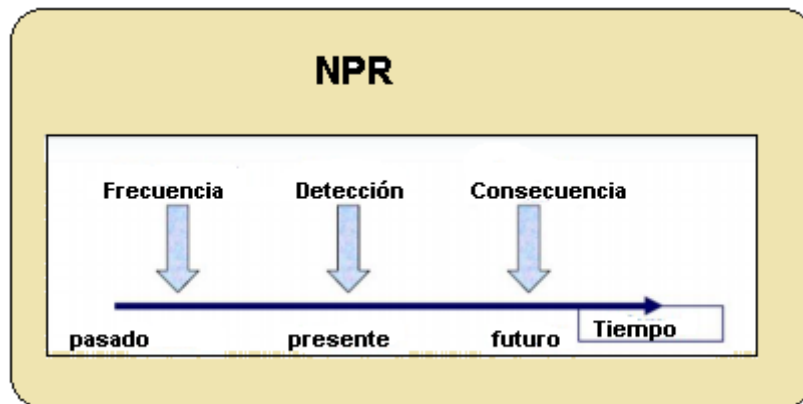
M11	Caja de cambio trancada	2	3	10	60
M12	Sin combustible	2	3	8	48
M13	Combustible sucio	8	8	10	640
M14	Combustible con fugas	4	8	10	320
M15	Combustible con aire	6	8	10	480
M16	Bomba de alimentación dañada	6	4	10	240
M17	Bomba de inyección dañada	8	4	10	320
M18	Compresión baja	6	6	4	144
M19	Cadena de tiempo floja o rota	6	2	4	48
M20	Daño mecánico del sistema de válvulas	8	6	8	384
M21	Inyectores dañados	8	6	8	384
M22	Inyectores conectados incorrectamente	2	4	10	80
M23	Filtros de combustible sucios	8	8	8	512
M24	Combustible sucio	8	8	8	512
M25	Mangueras de conducción absorben aire	8	6	8	384
M26	Tanque de combustible con obstrucción	8	4	8	256
M27	Empaque de culata quemado	8	8	8	512
M28	Filtro de aire obstruido	2	8	8	128
M29	Sistema de escape obstruido	8	5	8	320
M30	Freno motor se aplica sin control	8	8	8	512
M31	Anillos dañados	8	6	8	384
M32	Motor mal sincronizado.	8	8	8	512
M33	Bomba de inyección falta de sincronización	8	6	8	384
M34	Mala sincronización de eje de levas – cigüeñal	8	4	8	256
M35	Empaque de culata quemado	8	8	8	512
M36	Bomba de agua con fugas	4	8	6	192
M37	Correa de bomba de agua floja	1	8	6	48
M38	Manguera circuito de refrigeración con fugas	1	8	6	48
M39	Abrazaderas de mangueras flojas o rotas	1	8	6	48
M40	Líquido refrigerante con bajo nivel en tanque de alivio	4	8	8	256
M41	Líquido refrigerante con bajo nivel en radiador	8	8	8	512
M42	Bajo nivel de aceite en el Carter	2	8	8	128
M43	Aceite del motor con viscosidad inapropiada	8	6	8	384
M44	Culata del motor deformada	8	8	10	640
M45	Bloque del motor deformado	8	8	10	640

Fuente. Elaboración propia.

La figura 16 presenta el esquema que sirve de soporte para definir el criterio a aplicar según el NPR de las causas de fallas a resolver. El objetivo real es evitar las consecuencias, por ello es clave la detección que es lo que podemos hacer hoy para

controlarlas. Por ello, en este caso se toman los valores NPR iguales o mayores a 320, asegurando implantar una detección apropiada que logra reducir a futuro el valor NPR correspondiente. Observe que, aunque la frecuencia sea alta e incluso la consecuencia, su valor máximo sería 100 (10x10), pero si la detección equivalente al control es efectiva y su valor bajo por ejemplo de 2 o 3, el valor NPR final no supera la cifra de 200 o 300.

Figura 16. Esquema para soporte de asignación del valor NPR



Fuente. Elaboración propia.

4.2.2. Plan RCM para el motor. La tabla 17 presenta la priorización del número NPR según las causas a controlar y las correspondientes acciones de mantenimiento a aplicar.

Se anota el NPR actual estimado y el que corresponde al valor esperado a futuro cuando se implementen las acciones de mantenimiento propuestas. La columna tipo acción según RCM se desarrolla siguiendo el esquema de decisión de la figura 7. La columna NPR futuro estima la reducción del riesgo y por lo tanto la mejora en disponibilidad del equipo. La reducción correspondiente de costos se logra balanceando el valor de la acción de control versus el costo de no hacerla y operar hasta la falla correspondiente.

Tabla 17. Plan RCM para el motor

Causa de falla	NPR actual	Acción de mtto	Tipo acción según RCM	NPR futuro
Motor de arranque dañado	384	Cambio de motor de arranque cada 60.000 km	Preventiva	128
		Esto tenido en cuenta que el arranque que primero se daña ocurre a los 65.000 km según registros de fallas	Ver anotación 1.	
Tren de válvulas fallando	480	Calibrar tren de válvulas cada 80.000 km	Preventiva	192
		Detecta desgaste normal o anormal	Ver anotación 2.	
Agua en las camisas del motor	480	Tiene como antecedente otras causas tratadas posteriormente en esta tabla	-	192
Combustible sucio	640	Revisar y aplicar procedimiento para controlar suciedad en depósitos de combustible de camiones abastecedores y de los fijos instalados en la mina	Preventiva	240
		Desmontar, lavar y reinstalar tanque de combustible y mangueras cada 50.000 km		
Combustible con aire	480	Purgar aire después de realizar mantenimiento al sistema de combustible	Preventiva	192
		Durante cambio de filtros de combustible asegurar recambio original y empaque de sellado correcto	Ver anotación 3	

Bomba de inyección dañada	320	Cambiar bomba cada 200.000 km	Preventiva Ver anotación 4	125
Inyectores dañados	384	Cambiar cada 200.000 km	Preventiva Ver anotación 4	125
Filtro de combustible sucio	512	Cambiar cada 4.000 km	Preventiva Ver anotación 4	162
Empaque de culata dañado	512	Revisar nivel de agua en tanque de alivio y radiador diariamente Realizar prueba de fugas cada 50.000 km	Preventiva Ver anotación 5	162
Filtro de aire obstruido	320	Limpia cada 40.000 km Cambiar después de 3 limpiezas con aire comprimido	Modificativa Ver procedimiento 6	128
Sistema de escape obstruido	512	Revisar cada 30.000 km	Preventiva Ver procedimiento 7	162
Motor mal sincronizado	512	Revisar cada 50.000 km o cuando se realiza correctivo al componente	Preventiva Ver procedimiento 8	162
Líquido refrigerante con bajo nivel en el radiador	512	Revisar nivel diariamente	Preventiva	162
Bajo nivel de aceite en el cárter	384	Revisar diariamente	Preventiva	128
Culata deformada	640	Revisar durante reparación del motor	Ver procedimiento 9	192
Bloque de motor deformado	640	Revisar durante reparación del motor	Ver procedimiento 10	192

Fuente. Elaboración propia.

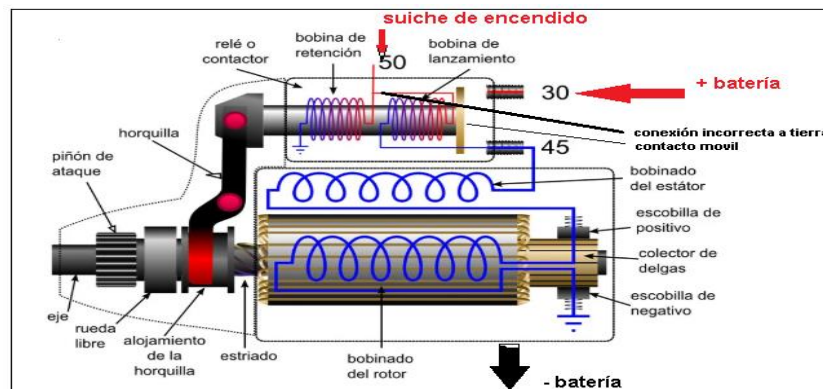
Los procedimientos que se detallan, son necesarios para controlar las causas de falla definidas en la tabla anterior y así reducir los actuales valores NPR a los detallados como valores NPR futuros, los cuales enfatizan trabajar en mantenimiento desde la

detección, que es lo que puede hacerse en el presente para mejorar a futuro. Los procedimientos se expresan como anotaciones para distinguirlos de los actualmente existentes, detallando la estructura y funcionamiento de cada uno y el conjunto de pasos a seguir para detectar fallas o asegurar la correcta reparación, pretendiendo aumentar la disponibilidad, pero con costos nuevos menores a los que actualmente se presentan.

Anotación 1. Cambio de motor de arranque

La figura 17 presenta el esquema del motor de arranque de las camionetas Nissan Frontier. Por la conexión 30 el cable positivo de la batería (+) permanentemente suministra corriente eléctrica cuando el arranque funciona. Para encender el motor Diésel al activar el arranque con el interruptor de encendido del vehículo, ingresa corriente eléctrica por el terminal 50, magnetizándose la bobina de lanzamiento que ayuda al desplazamiento inicial del núcleo de hierro desenergizándose al unirse los postes 30 y 45 y bobina de retención que además de ayudar al desplazamiento inicial del núcleo lo mantiene en posición mientras el rotor del arranque gire. El núcleo de hierro que se desplaza tiene dos funciones, una conectar el piñón de ataque con la corona del volante de inercia y la otra: conectar eléctricamente por medio del contacto móvil las terminales eléctricas 30 y 45 con lo que el rotor del arranque gira para encender el motor de combustión.

Figura 17. Esquema del motor de arranque



Fuente. Adaptado de manual de servicio Nissan Frontier.

Se ha encontrado en algunos arranques que los electricistas al tener problemas de correcto funcionamiento del solenoide, conectan a tierra la conexión incorrecta mostrada. Esto permite funcionar el componente, pero consumiendo mayor amperaje, lo que recalienta la batería, los cables de conducción y el motor de arranque que de esta manera acortan su vida útil. Lo correcto es cambiar el solenoide cuando no funciona correctamente.

El procedimiento correcto para cambiar el arranque por uno de recambio equivalente es el siguiente:

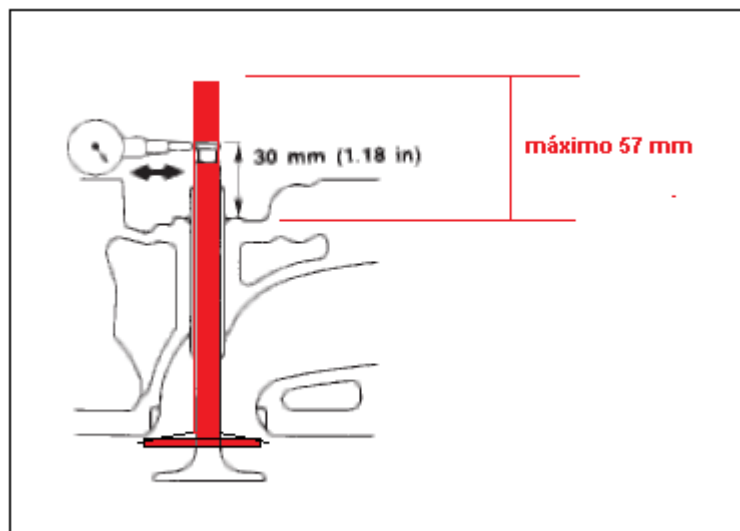
- Desconectar el borne positivo de la batería.
- Esperar 3 horas para que descienda la temperatura y poder trabajar con seguridad de no tener quemaduras por piezas recalientadas.
- Desconectar cable positivo de la batería.
- Desconectar cable de corriente al solenoide.
- Utilizar un dado de 9/16", extensión corta y rache para soltar los dos tornillos de montaje del arranque.
- Retirar el arranque dañado.
- Probar correcta operación del arranque de recambio con la batería del vehículo antes de montarlo.
- Colocar arranque nuevo invirtiendo las maniobras de desmontaje.
- Recuerde no activar por el arranque por más de 20 segundos en cada intento, después de un intento sin que encienda el motor diésel, espera 5 minutos antes de intentar un nuevo encendido para no recalentar el motor de arranque y dañarlo prematuramente.

Anotación 2. Para inspeccionar desgaste del tren de válvulas

El tren de válvulas posee un desgaste propio de su función y el fabricante instala taques o seguidores de leva de tipo hidráulico, los cuales compensan ese desgaste hasta cierto límite. Lo propuesto en este caso en relación al mantenimiento, consiste en agregar una medición no contemplada en el manual del fabricante.

La figura 18 presenta en color rojo la medida propuesta para controlar el desgaste de las válvulas. Se define una altura máxima de 57 mm para esta medición. Para culata nueva esta medida es de 48 mm +/- 1 mm. El límite se define teniendo en cuenta que con este valor límite los seguidores de leva llegan a su recorrido de ajuste máximo y las válvulas ya no apoyan con la presión correcta en sus asientos, llevando a pérdida de potencia del motor. La medida de 30 mm mostrada en la figura 18, corresponde al manual de reparaciones para estas camionetas, sirve para medir el desgaste de las válvulas y/o guías en dirección perpendicular al eje de las válvulas. El límite es válido para las válvulas de admisión y las de escape. Aspectos complementarios sobre reparación de la culata se encuentra descritos en el manual de taller de estos vehículos.

Figura 18. Medida de desgaste límite de las válvulas del motor



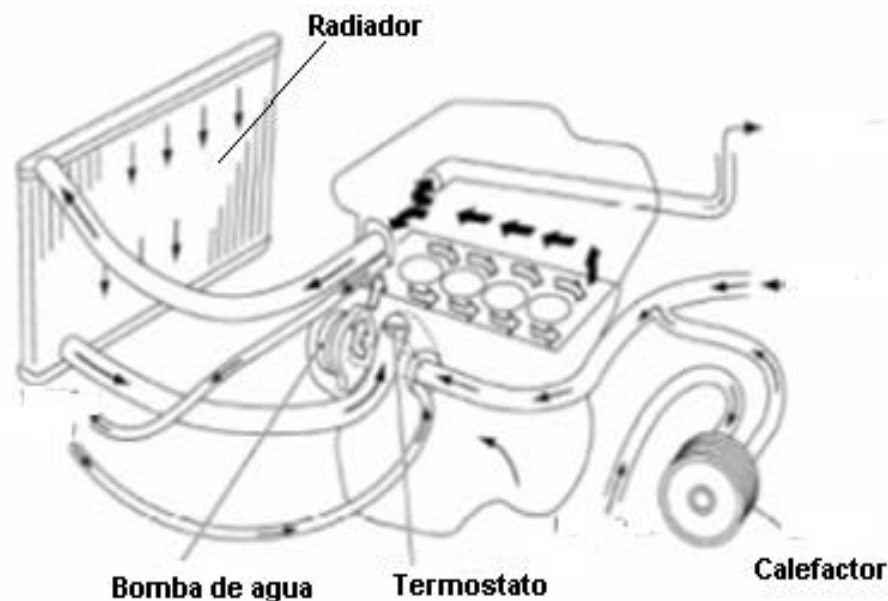
Fuente. Adaptado de manual de servicio Nissan Frontier.

Un factor relevante para controlar que el desgaste de las válvulas y los correspondientes asientos se mantenga dentro de los parámetros de normalidad, es que la temperatura del motor no exceda los 90°C.

La figura 19 presenta el esquema del sistema de enfriamiento del motor Nissan Frontier. El aspecto crítico para que la temperatura no exceda el límite definido por el

manual es lavar cada semana el panel de aletas del radiador del motor, con detergente y agua a presión. Esto elimina el polvo, insectos y otras materias que se incrustan y acumulan en el panel, impidiendo que se evacue el calor original, elevándose la temperatura en algunos casos hasta los 100°C, momento en que inicia el recalentamiento del motor y la reducción en la vida útil del motor diésel.

Figura 19. Esquema del sistema de enfriamiento de Nissan Frontier



Fuente. Adaptado de manual de servicio Nissan Frontier.

Anotación 3. Para revisar sistema de combustible

La figura 20 presenta el esquema del sistema de combustible. Las causas físicas básicas que llevan a tener problemas con el sistema de combustible, son.

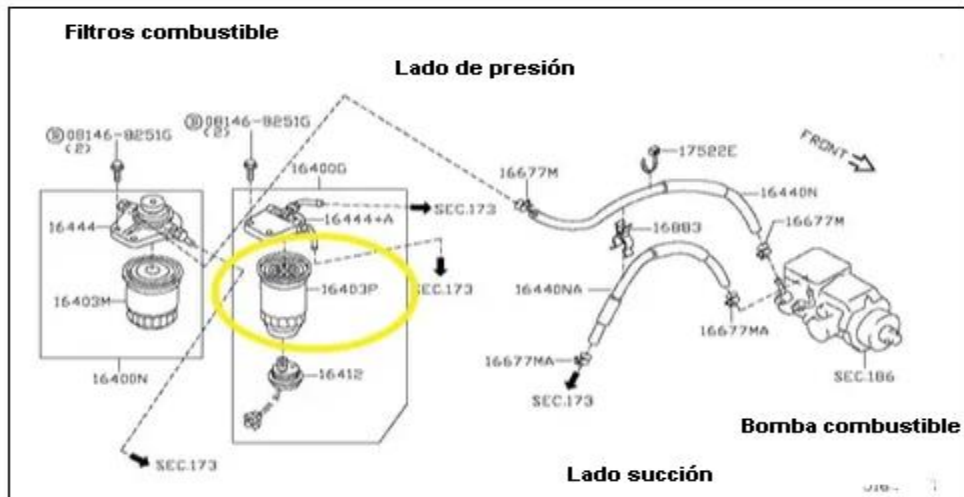
- Combustible contaminado con polvo. La solución es limpiar periódicamente los depósitos de combustible fijos en la estación de recarga. Además, en el tanque de las camionetas, limpiar la tapa del tanque antes de retirarla para evitar que el polvo acumulado ingrese al tanque.
- Combustible contaminado con agua. La solución es guardar las camionetas con el tanque lleno de combustible para evitar alta condensación y agua acumulada

en el tanque. Sin embargo, cambiar cada mes el filtro secundario de combustible resaltado en óvalo amarillo en la figura 20.

- Conducciones del combustible del lado de admisión absorbiendo aire. La solución es revisar las mangueras y apretar las abrazaderas sin exceso para no dañarlas.
- Conducciones del combustible del lado de presión con fugas. Ajustar abrazaderas y cambiar las que tienen dañado la brida de apriete.

Con estas sencillas acciones por demás de bajo costo para su ejecución, se logra proteger los costosos elementos de la bomba de inyección y los inyectores de combustible para obtener una duración según concesionario de 250.000 km. Cada KIT de inyección posee un valor cercano a los \$5 millones COP.

Figura 20. Esquema sistema combustible Nissan Frontier



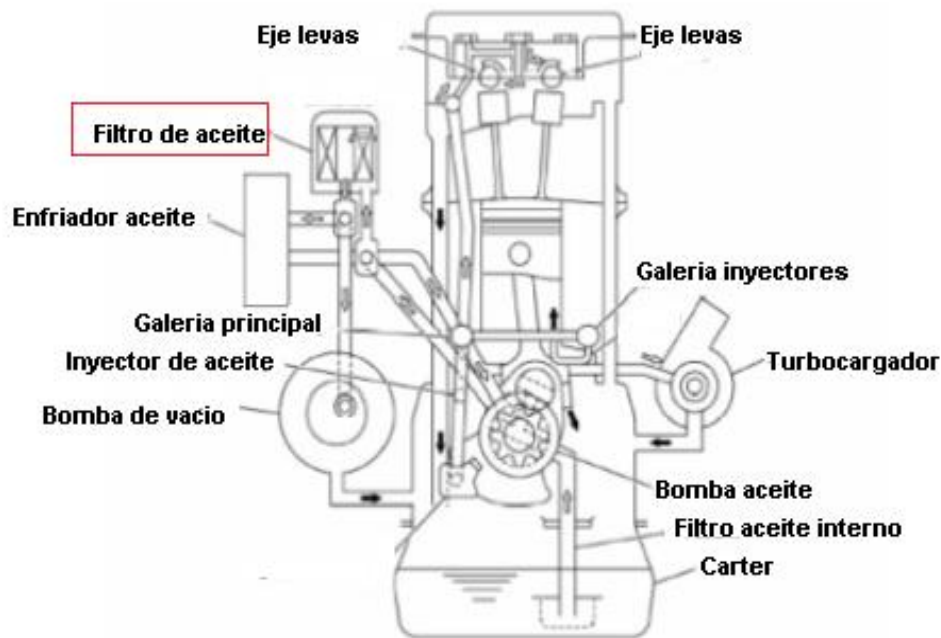
Fuente. Adaptado de manual de servicio Nissan Frontier.

Anotación 4. Para revisar sistema de lubricación

La figura 21 presenta el esquema del sistema de lubricación. El indicador de correcto funcionamiento de este subsistema del motor es una luz roja en el tablero de la camioneta. Al activar el interruptor de encendido la luz de advertencia se enciende en

color rojo, al dar arranque y encender el motor diésel la luz debe apagarse en unos 3 segundos. El problema observado en algunas camionetas es que al encender el motor el tiempo para la luz apagarse es de 30 segundos en promedio, denotando que no existe lubricación apropiada en esos momentos que llevaran el motor a un desgaste prematuro.

Figura 21. Esquema del sistema de lubricación del motor Nissan Frontier



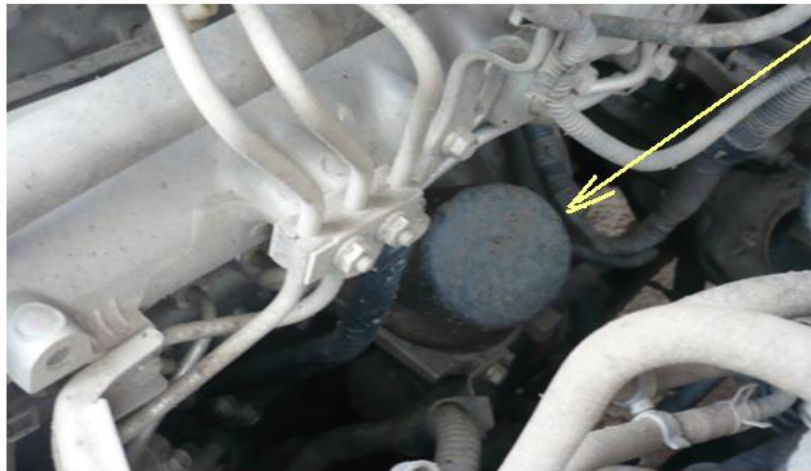
Fuente. Adaptado de manual de servicio Nissan Frontier.

La figura 22 permite observar que el filtro de aceite queda invertido en el motor. Después de un cambio de aceite y encender el motor diésel, después de 30 segundos las conducciones y el filtro de aceite se llena de aceite el cual después de lubricar las piezas sometidas desgaste retorna por gravedad al cárter. Para impedir que al apagar el motor el filtro se descargue, el mismo posee una válvula unidireccional que si no sella correctamente permite el descargue y se tome 30 segundos para tener lubricación cada vez que se enciende el motor. Un filtro en este estado está dañado, aunque no exista evidencia física. Por ello, cuando de manera recurrente se observe este retardo de 30 segundos para apagarse la luz de lubricación en el tablero por parte del

conductor, debe cambiarse inmediatamente el filtro de aceite aun si se ha cambiado recientemente.

Figura 22. Vista del filtro de aceite del motor

Filtro de aceite del motor



Fuente. Adaptado de manual de servicio Nissan Frontier.

Anotación 5. Para sistema de aire de admisión

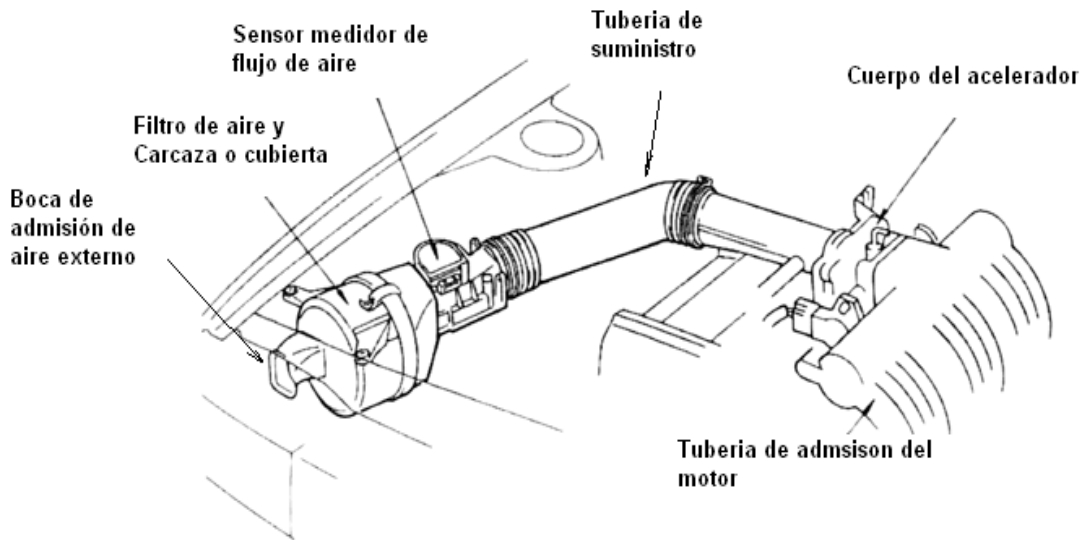
La figura 23 presenta el filtro del sistema de admisión de aire para el motor diésel. Se observa una coraza plástica con una tapa que originalmente se ajusta con ganchos metálicos en cuyo interior se coloca el elemento filtrante de cartucho. Lo relevante para mejorar es lo relacionado con la posición del ducto de toma de aire que conduce este al filtro de aire mostrado en la figura 24. Se observa la toma de aire del sistema de conducción de aire del lado de la rueda delantera izquierda. Se aplica una acción RCM modificativa y se colocó la toma de manera frontal para evitar excesiva absorción de polvo.

Figura 23. Vista de carcasa de filtro de aire



Fuente. Adaptado de manual de servicio Nissan Frontier.

Figura 24. Vista de toma de aire exterior del sistema de admisión de aire



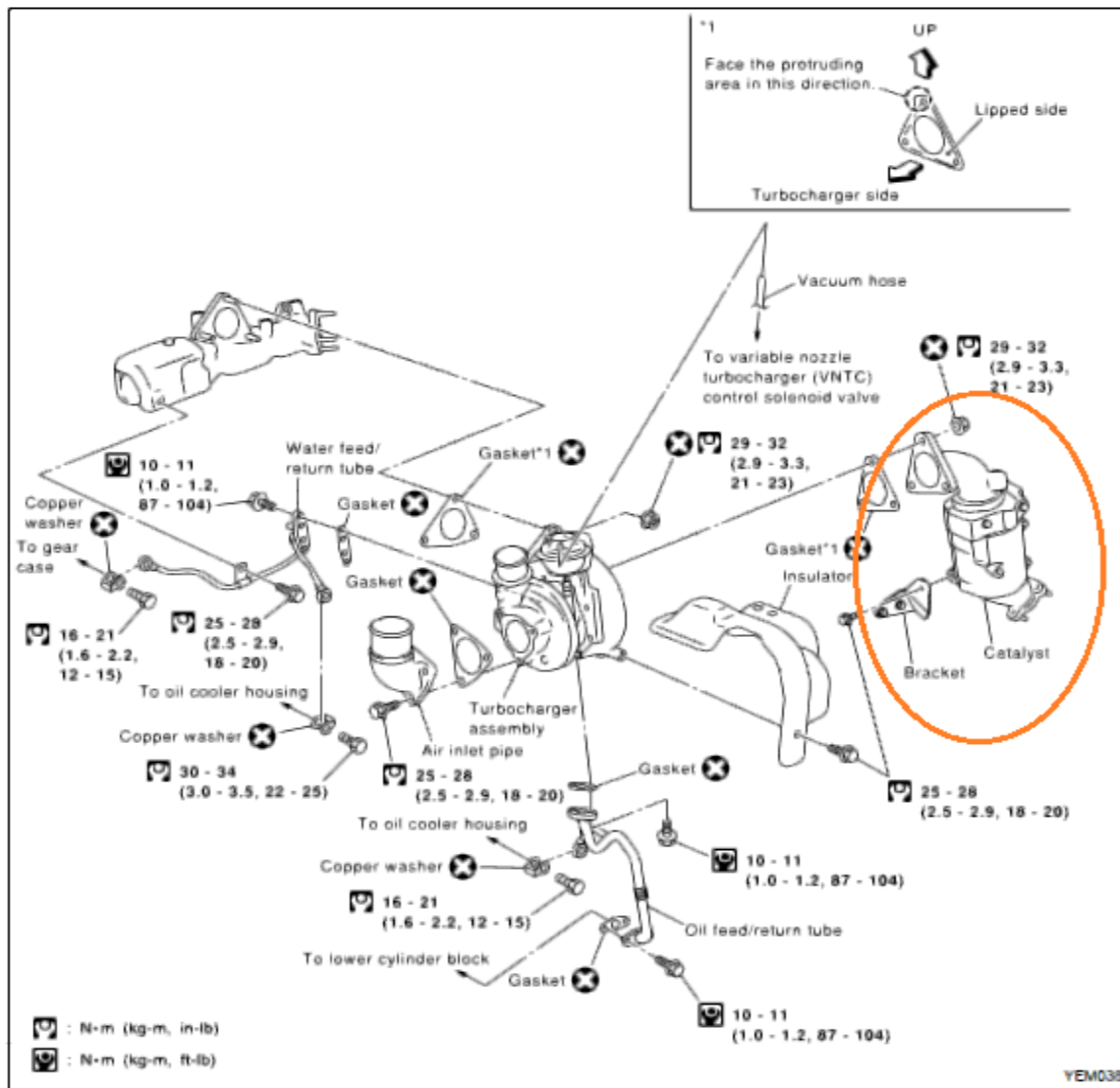
Fuente. Adaptado de manual de servicio Nissan Frontier.

Procedimiento 6. Para sistema de escape

La figura 25 presenta el esquema del sistema de escape. Lo relevante es asegurar que el catalizador no este obstruido por aceite de motor que ha ingresado a su interior y se

fija como costras duras que aumentan la contrapresión del sistema de escape, afectando la potencia y elevando peligrosamente la temperatura de operación del motor diésel. Por ello, se define una acción RCM de revisar cada 80.000 km el interior para observar la existencia de depósitos de aceite y limpiar el catalizador o cambiarlos según amerite su estado.

Figura 25. Esquema de sistema de escape

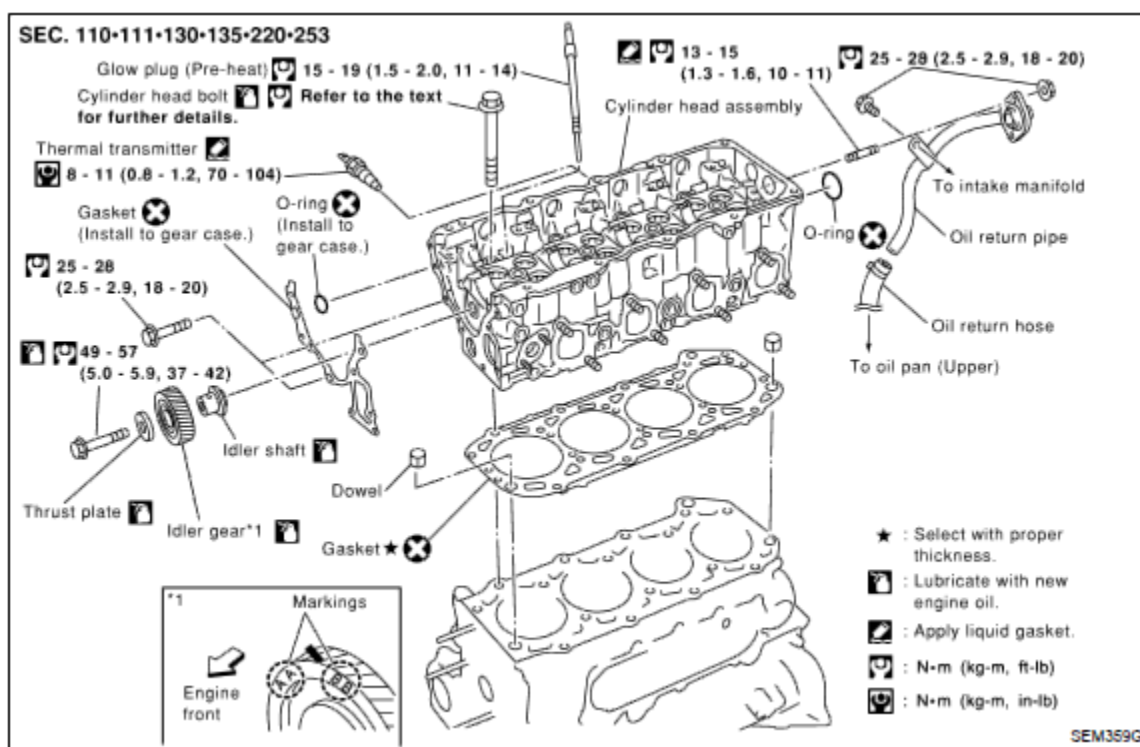


Fuente. Adaptado de manual de servicio Nissan Frontier.

Anotación 7. Para revisar culata y bloque de motor

La figura 26 presenta la vista de la culata y bloque del motor Nissan Frontier. Lo expuesto aplica cuando se tienen problemas de falla del motor y debe desmontarse la culata del bloque. El procedimiento planteado pretende que después de las reparaciones parciales a los motores diésel se tenga daño prematuro de los empaques de culata.

Figura 26. Vista culata y bloque del motor Nissan Frontier



Fuente. Adaptado de manual de servicio Nissan Frontier.

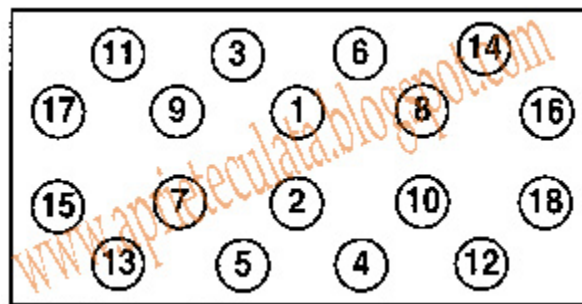
Es importante tener en cuenta que la culata es de aluminio y lo relevante son los siguientes puntos nuevos no contemplados en el manual de reparación del fabricante.

- Para desmontar la culata debe dejarse enfriar el motor al menos 6 horas antes de soltar los tornillos de sujeción.
- Aflojar los tornillos en el orden inverso a lo que se aplica cuando se ensambla en el motor. La figura 27 muestra el orden de apriete de los tornillos que unen la

culata con el bloque. En total son 18 tornillos. Ajustando parcialmente el número 1, siguiendo el 2 hasta llegar al 18. Luego se repite hasta apretar al torque especificado cada tornillo. Para el desmontaje de la culata se afloja primero el tornillo número 18, luego el 17 hasta llegar al número 1.

Estas precauciones anotadas evitan la distorsión de la culata al quitarla del motor para realizar reparaciones, evento que ha ocurrido ocasionalmente y disminuye ostensiblemente la disponibilidad de la flota base, elevando los costos de operación de manera colateral.

Figura 27. Orden de apriete de tornillos durante el montaje de culata



Fuente. Adaptado de manual de servicio Nissan Frontier.

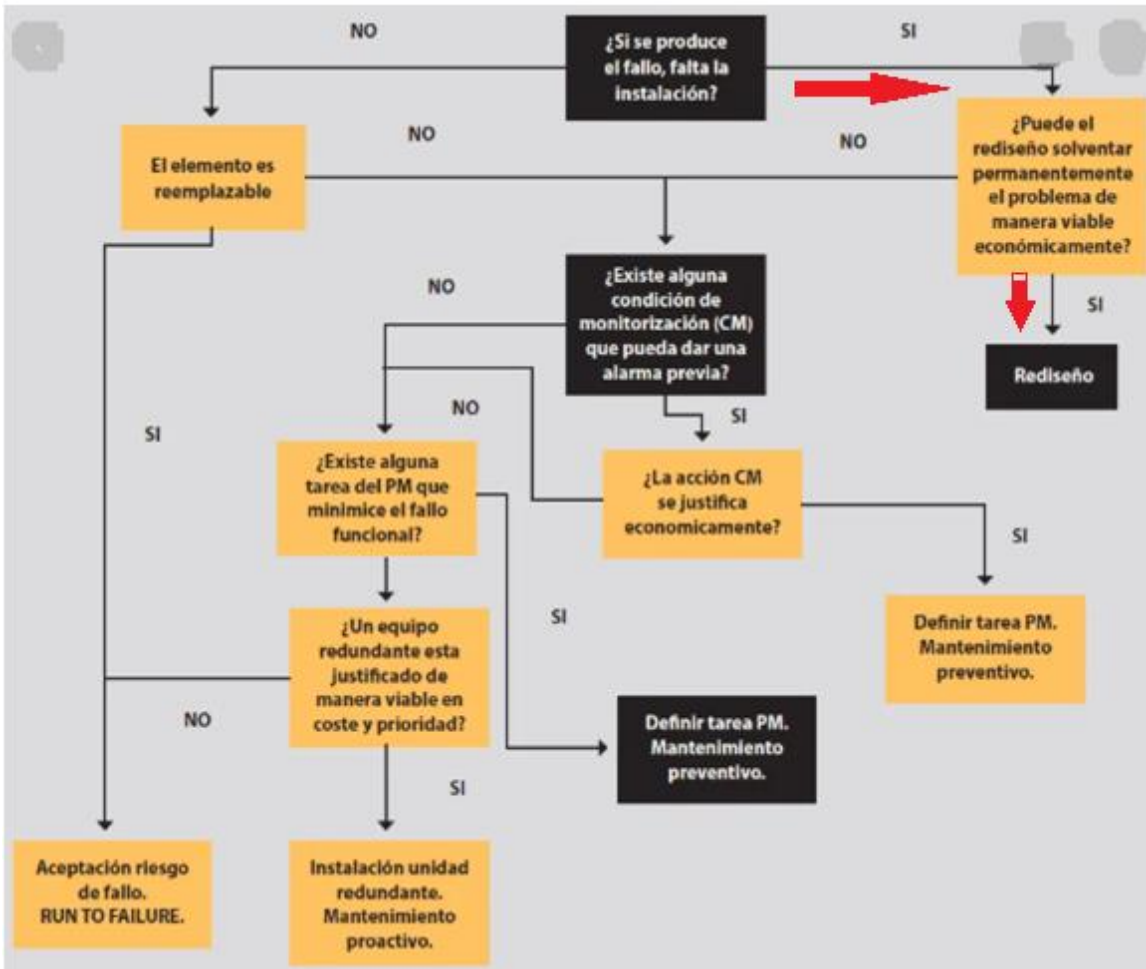
4.3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA FASE RCM PARA EL CHASIS Y LA SUSPENSIÓN

Los componentes chasis y suspensión se analizan conjuntamente dada la interrelación física entre estos. Para el chasis el problema a resolver es la rotura de este componente. Dado que el costo de reparación por vehículo realizado en el concesionario Nissan de la ciudad de Valledupar promedia los \$14 millones COP, La flota total de 208 vehículos requerirá una inversión de \$2.900 millones COP, cifra que duplica el presupuesto estimado para la flota para los 2 años de contrato.

La rotura del chasis de las camionetas Nissan Frontier es una falla de tipo crónico para la flota. Además, implica un sobre costo de más del 100% del presupuesto de la flota si

se pretende reparar el daño mediante el concesionario Nissan en la ciudad de Valledupar. En estos casos el diagrama RCM de la figura 7 sugiere un análisis causa raíz de la falla o rediseño como define la figura 28 con las flechas rojas.

Figura 28. Ruta RCM para falla crónica

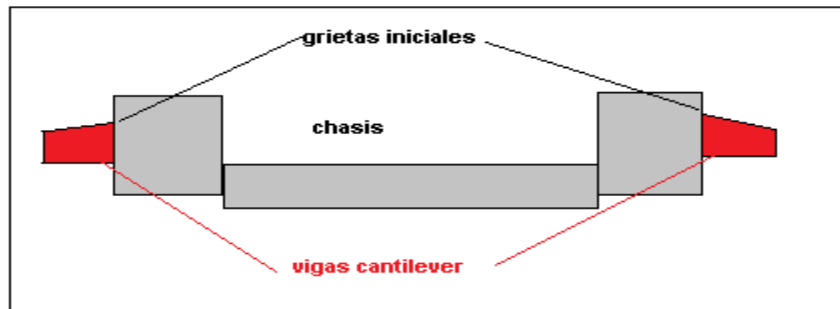


Fuente. Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de Integra S.A. Usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

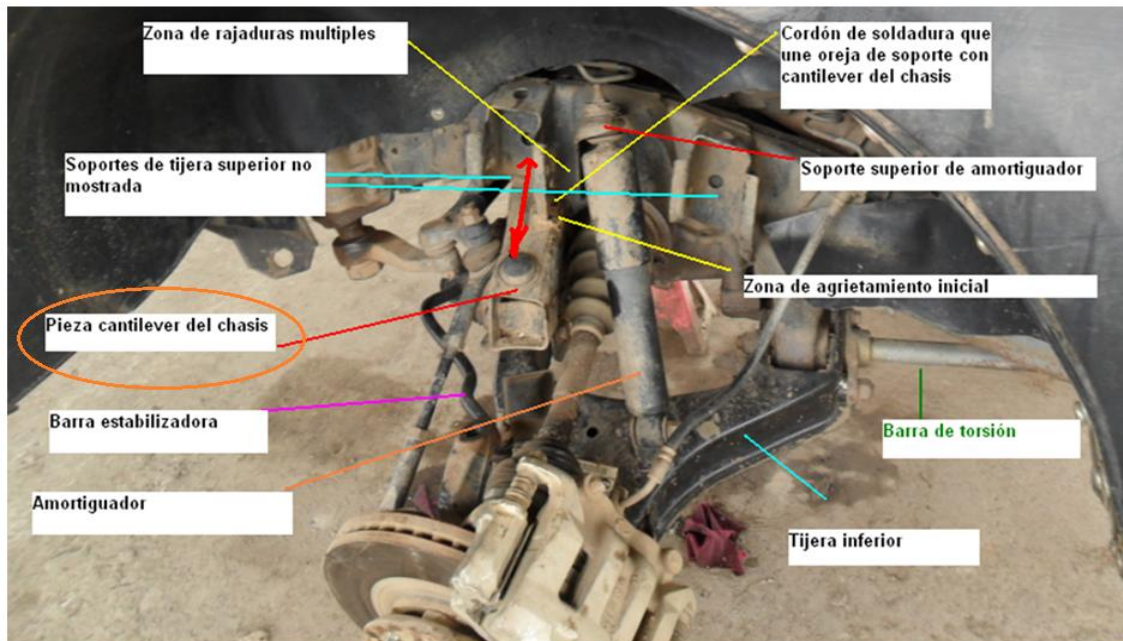
La figura 29 en la parte a) muestra el esquema de las vigas cantiléver que hacen parte de la suspensión delantera de las camionetas. En la parte b) se presenta la suspensión delantera lado derecha en total detalle, resaltando con óvalo color rojo la viga cantiléver que es la parte del chasis dónde se inician las grietas que llevan a la rotura de este componente de las camionetas según muestra la figura 30.

Figura 29. Grietas en el chasis de las camionetas Frontier

Parte a. Esquema de vista frontal del chasis con las dos vigas cantiléver



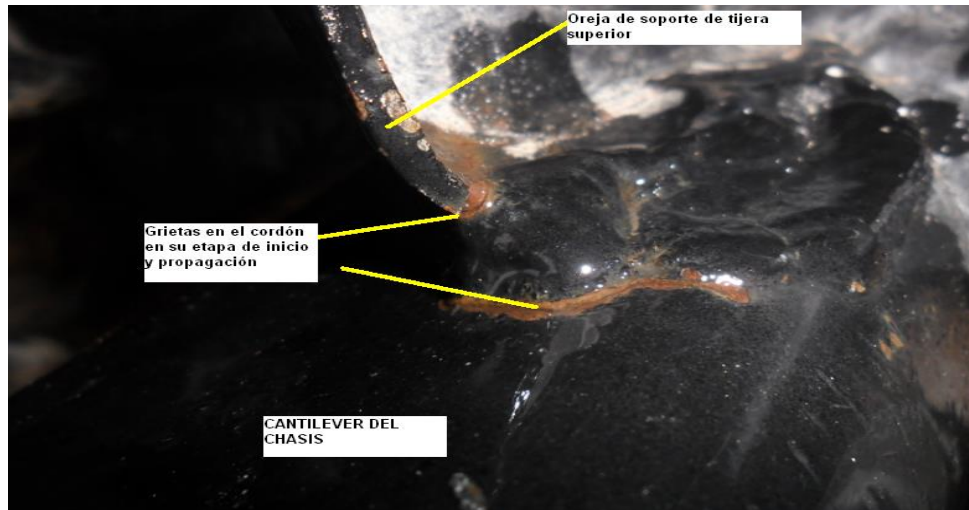
Parte b. viga cantiléver real



Fuente. Elaboración propia.

Se observa que las primeras grietas aparecen en la base de los cordones de soldadura que unen a la viga cantiléver con el soporte de la tijera superior de la suspensión. Esto sugiere un efecto de fatiga.

Figura 30. Vista de grietas en viga cantiléver del chasis



Fuente. Elaboración propia.

Para direccionar la investigación se define un diagrama causas – efecto como muestra la figura 31.

Figura 31. Diagrama causas – efecto para análisis de rotura del chasis

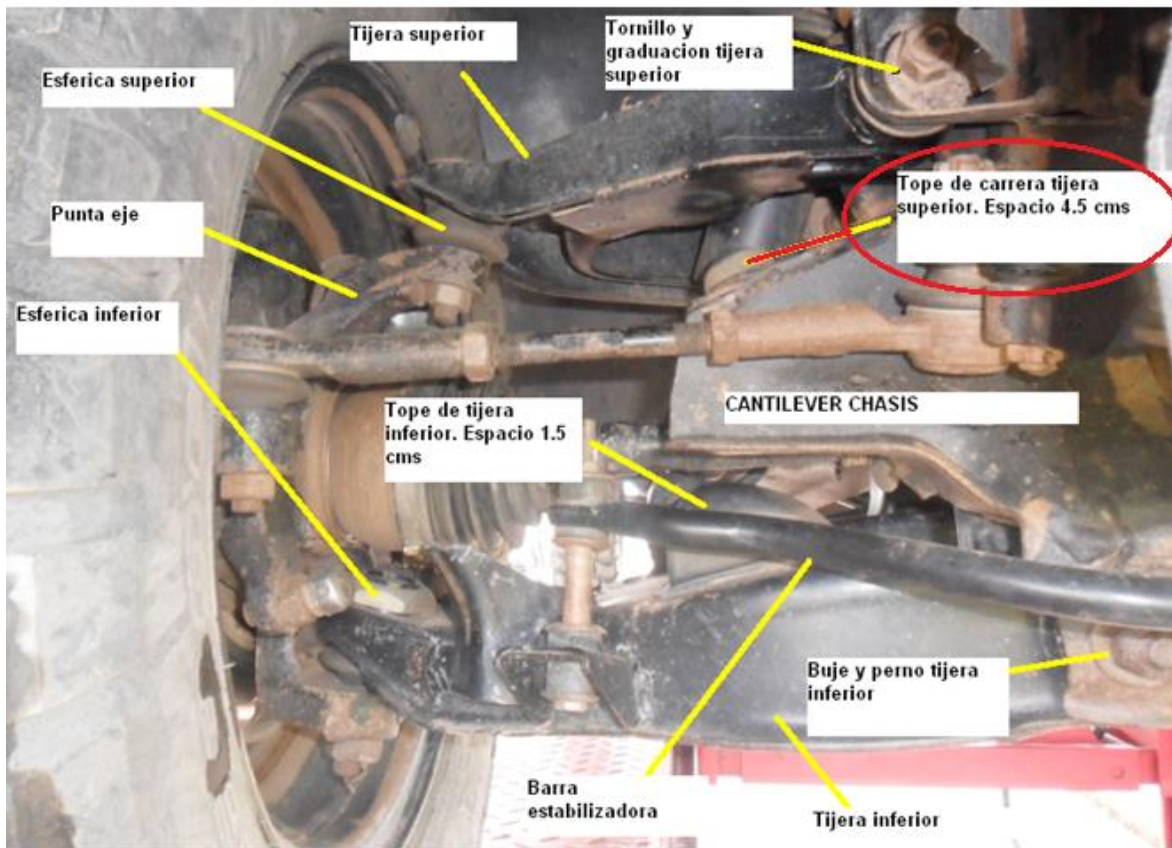


Fuente. Elaboración propia.

Se definen las 4 áreas implicadas en la falla, estas son: Diseño, fabricación, operación y mantenimiento. De las posibles causas definidas se encuentran evidencias de la existencia de dos causas posibles. Una la no existencia del tope de caucho superior

para la tijera mostrado en la figura 32 y la otra el progresivo crecimiento de la grieta que sugiere un desarrollo del fenómeno de la fatiga. La hipótesis a probar es “la rotura y desaparición del tope de caucho para la tijera superior, lleva a ésta a golpear metal – metal con la viga cantiléver y esto genera esfuerzos repetidos que desarrollan el fenómeno de la fatiga y rotura final del chasis”.

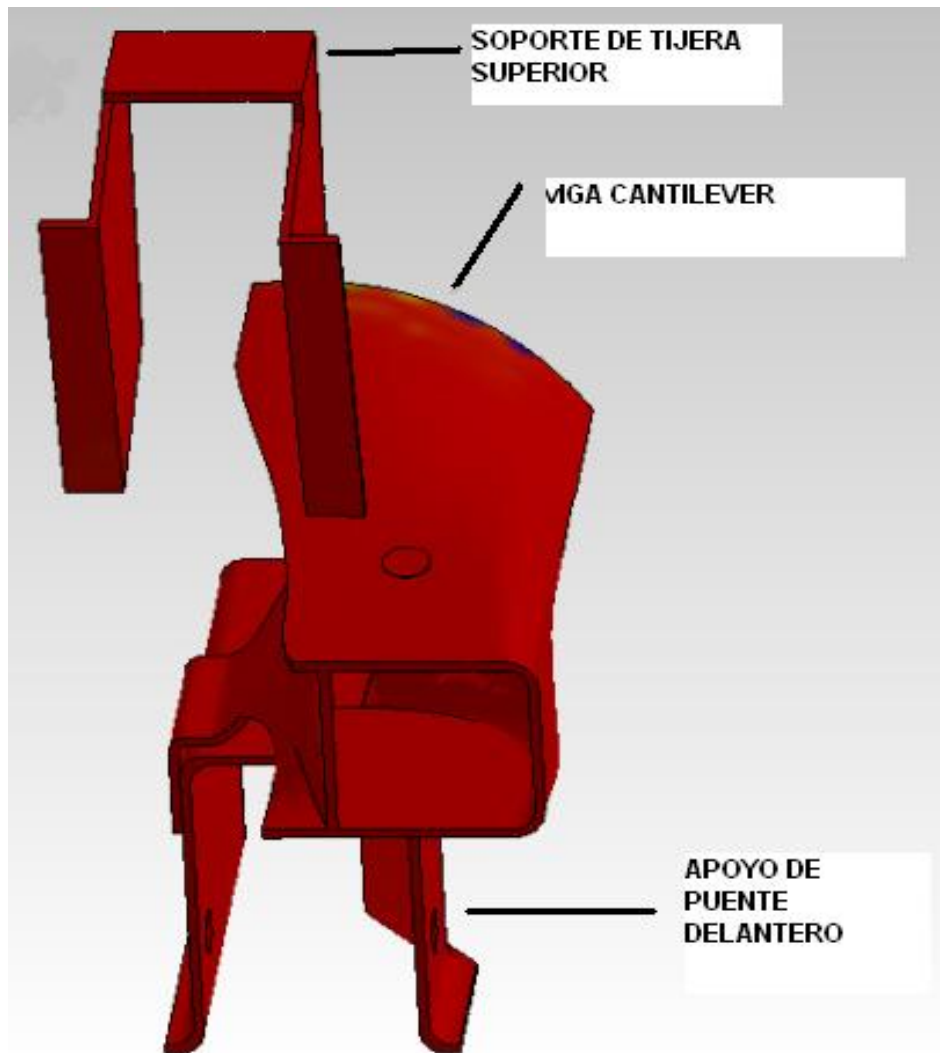
Figura 32. Tope de caucho para la suspensión



Fuente. Elaboración propia.

Para comprobar la hipótesis planteada en relación a las condiciones que deben darse para que se desarrollen grietas iniciales, las cuales al propagarse causarán la rotura por fatiga, se desarrolla una simulación computacional de esfuerzo aplicando el programa Solidworks, para ello se crea un CAD de la viga cantiléver según muestra la figura 33. Posteriormente se determina la resistencia y el análisis sobre falla analizada.

Figura 33. CAD de la viga cantiléver analizar

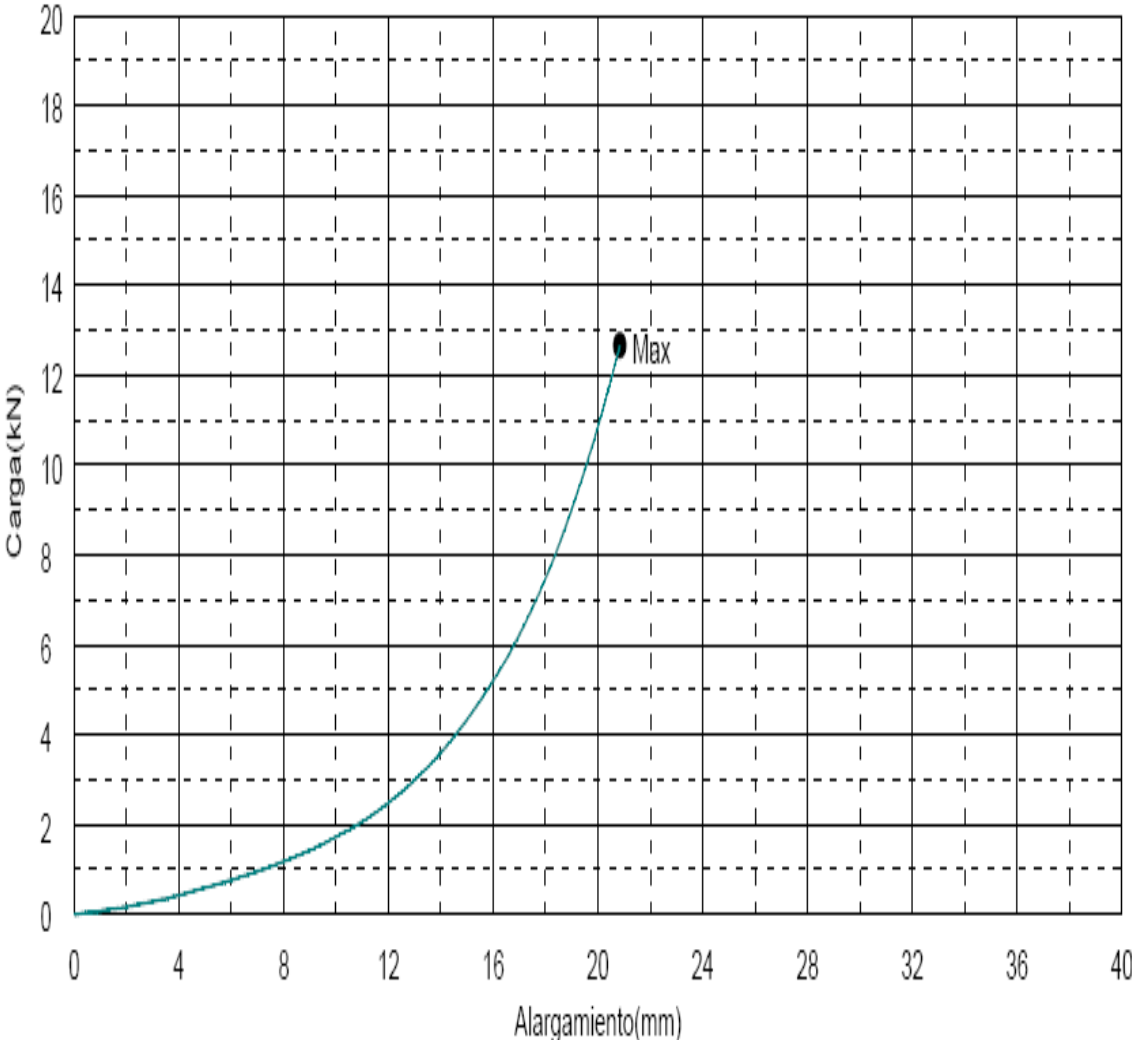


Fuente. Elaboración propia.

Para determinar el valor de la fuerza de impacto en el contacto tijera superior- viga cantiléver, se realiza un ensayo en una maquina universal según presenta la figura 34, que mide la fuerza de rotura del caucho que es la misma que lo daña y entonces esta carga se transmite de una pieza a la otra, en contacto tipo metal - metal. El valor máximo resultante es de 13 kN.

La figura 35 muestra el perfil de esfuerzo que resulta de simular la viga cantiléver sometida a la fuerza máxima de 13.5 kN. El valor de esfuerzo máximo es de 187 MPa.

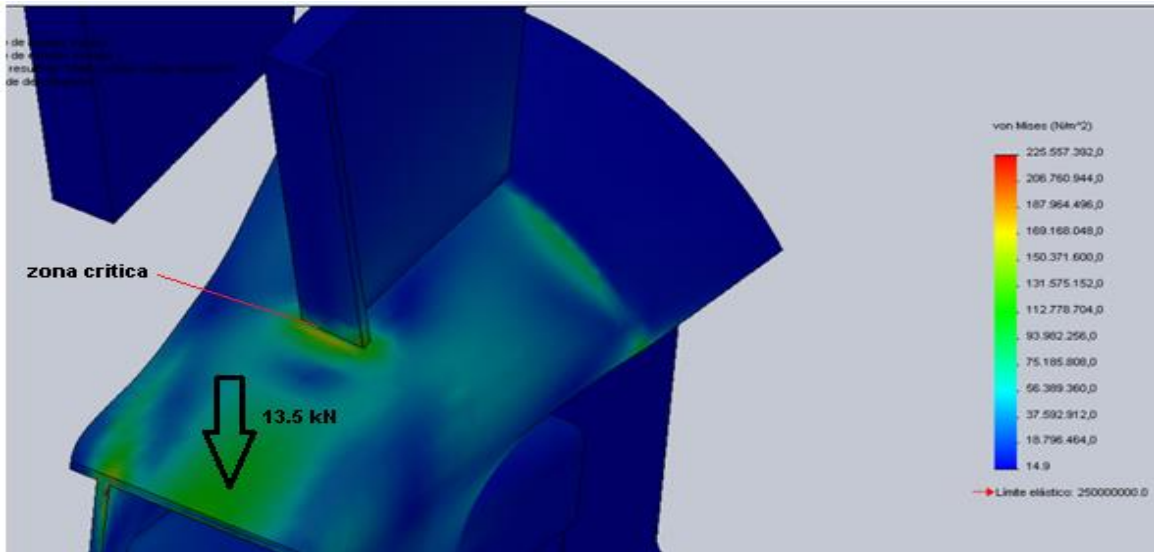
Figura 34. Medición fuerza de rotura de caucho e impacto pieza - pieza



Fuente. Elaboración propia.

El perfil de esfuerzo será repetitivo al oscilar desde un valor cero hasta el máximo, aunque de manera aleatoria.

Figura 35. Perfil de esfuerzos en viga cantiléver para carga de 13.5 kN



Fuente. Elaboración propia.

El valor de la concentración del esfuerzo $k_f = 2.5$, se toma de la tabla 18.

Tabla 18. Valores de concentración de esfuerzo para cordones de soldadura

Loading	Specimen	axial or bending		shearing or torsion
		plane	Round	-
Huber-Mises-Hencky	2.5		$\frac{5 - 2\nu + 2\nu^2}{2 - 2\nu + 2\nu^2}$	1
Tresca	2		$\frac{2 - \nu}{1 - \nu}$	1
maximum normal stresses	2	2	2	1
Beltrami	$2 - \nu$		$\frac{2 - \nu}{1 - \nu}$	1

Fuente. JIM AUGUST P.E. RCM Guidebook. Editorial Pennwell. Año 2004. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. 2012. 214 p.

Ajustando el valor de esfuerzo máximo con la concentración desfuerzo, resulta un valor de 467.5 MPa (2.5*187). En este caso el esfuerzo alterno y el medio real, tendrán el mismo valor equivalente la mitad del esfuerzo máximo con valor de 233.75 MPa.

Para el material del chasis se realiza un ensayo de tensión, mostrando la tabla 19 los resultados. La resistencia de fluencia resulta de 202 MPa y la de rotura de 364 MPa.

Tabla 19. Propiedades mecánicas para el acero del chasis

ENSAYO DE TRACCIÓN A PUENTE DE CAMIONETA					
Forma: Plana					
	Espesor	Anchura	Longitud calibrada		
Unidades	mm	mm	mm		
PUENTE AUTOMOVIL	3.30	30.00	100.00		
Nombre	PSF Carga	PSF Despl	PSF Esfuerzo	PSF Deformación	Max Carga
Parámetro	0.1% FS	0.1% FS	0.1% FS	0.1% FS	
Unidades	kN	mm	N/mm ²	%	kN
PUENTE AUTOMOVIL	-	-	-	-	36.12
Nombre	Max Esfuerzo	LE1 Carga	LE1 Esfuerzo		
Parámetro		0.2%	0.2%		
Unidades	N/mm ²	kN	N/mm ²		
PUENTE AUTOMOVIL	364.848	-	-		

Fuente. Elaboración propia.

A partir de los datos disponibles se calcula el valor de resistencia a la fatiga del material del chasis. La ecuación 6 estima el valor de resistencia a la fatiga “Se”.

Ecuación 6

$$S_e = 0.5 \cdot S_{ut} \cdot K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e / K_f$$

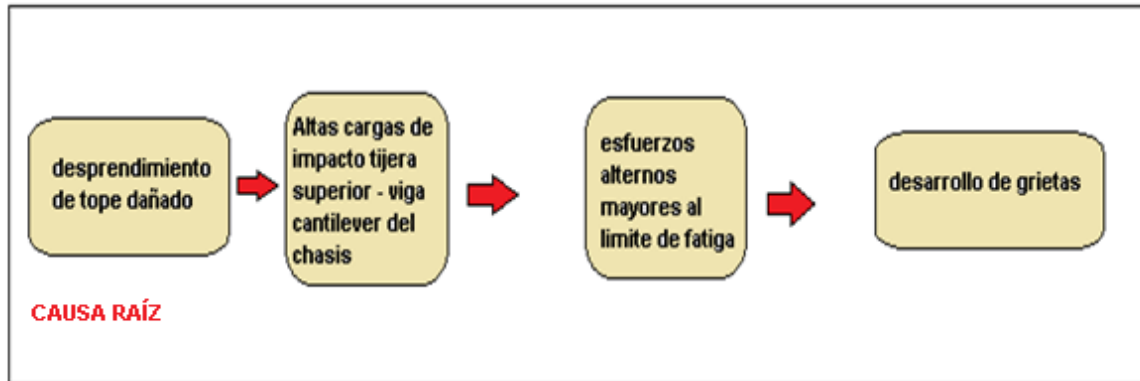
$$S_e = 0.5 \cdot 364 \cdot 0.87 \cdot 0.92 \cdot 1 = 147 \text{ MPa}$$

Donde. K_a = factor de superficie, K_b = factor de tamaño, K_c = factor de carga, K_d = factor temperatura. K_e = factor efectos diversos.

Se observa que el valor de esfuerzo máximo alterno de 233.75 MPa, es mayor al límite de fatiga de valor 147 MPa, con lo cual se espera vida finita y rotura por fatiga después de cierto número de ciclos. Esto confirma la existencia de condiciones físicas requeridas por la falla por fatiga para que esta ocurra. Encadenadas las causas

identificadas en el tiempo su secuencia mediante preguntar de manera reiterada ¿porque se desarrolla la fatiga? Y así sucesivamente, se tienen las condiciones para definir la causa raíz o inicial que lleva a la rotura por fatiga del chasis, lo que se presenta la figura 36.

Figura 36. Cadena de causas para la rotura del chasis



Fuente. Elaboración propia.

Se identifica como causa raíz de la cadena de causas de la figura 36, la rotura del tope superior de caucho. Ello se confirma porque al preguntar uniendo la causa raíz (izquierda) con la causa final (derecha) ¿si no ocurre la rotura del tope no se desarrolla la falla por fatiga?, se tiene una respuesta afirmativa. A partir de esta identificación, desde el mantenimiento se pregunta cómo controlar la ocurrencia de esta causa raíz. La respuesta es inspeccionar que los topes estén en buen estado y al detectar grietas iniciales proceder al cambio para anular el golpe metal – metal según se indica en la figura 36. Esta actividad preventiva es sencilla de ejecutar y de costo bajo teniendo en cuenta que cada tope tiene un costo de \$10.000 COP y el cambio se puede realizar en una hora, minimizando el impacto en la disponibilidad si se compara con la reparación de un chasis con costo promedio de \$14 millones COP y pérdida de una camioneta base durante un mes calendario que implica esta reparación bastante compleja.

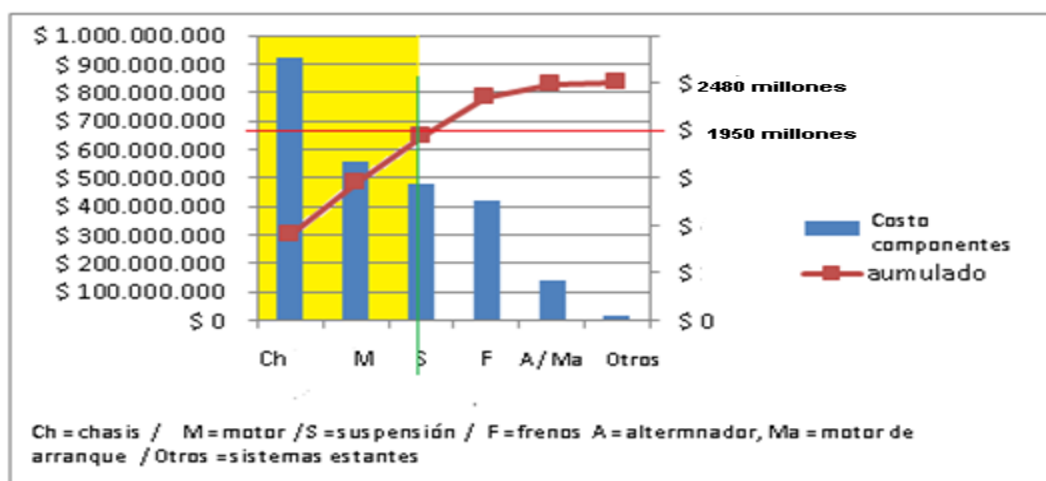
De manera complementaria, la modificación de trabajos de mantenimiento preventivo en la suspensión se mantiene en relación a cambio de rotulas, terminales y bujes de tijeras. La adición consiste en aumentar su frecuencia, cambiando de los actuales

60.000 km a 45.000 km, lo cual implica elevar el costo por suspensión para el parque de camionetas durante el ciclo de dos años presupuestado en \$600 millones COP a \$800 millones COP (un aumento del 33%, resultado de dividir 60/45). Estos \$20 millones COP adicionales se justifican plenamente al comparar con los \$2.900 millones COP estimados si se deja que todos los chasis sufran rotura por fatiga.

4.4. RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DEL PLAN RCM

La figura 37 presenta el consolidado de costos para la flota completa durante un año de operación (2018).

Figura 37. Costos de la flota a mitad de contrato o un año de operación



Fuente. Adaptado de datos Prodeco.

Se observa que a mitad de contrato se ha duplicado el presupuesto esperado con valor base de \$1.200 millones COP, estimado con base en el plan de mantenimiento sugerido por el fabricante a uno real de \$2.480 millones COP. Una explicación de lo sucedido es la ocurrencia de las roturas por fatiga del chasis y los daños frecuentes a los motores, que requieren el pago extra de gran cantidad de unidades adicionales de reserva. Según cifras de la empresa Prodeco el número real de camiones de reserva al mes en promedio fue de 21 unidades, cifra superior a las 8 camionetas de reserva presupuestadas, con un aumento de casi 300% (21/8).

Los riesgos que implicaría para la empresa seguir sin implementar el plan de mantenimiento preventivo basado en el enfoque RCM sobre la flota de camionetas, abarcan variedad de situaciones potencialmente desfavorables, como son: la ocurrencia de accidentes por fallas no controladas en los vehículos, que se elevarán al no poseer un alto índice de fiabilidad de la maquinaria, también se puede incurrir en atrasos en la obra por la baja disponibilidad de las camionetas, debido a que las horas de paro por fallas serían elevadas, también se corre el riesgo de desvalorización acelerada de los activos de la empresa debido a las fallas mecánicas progresivas, producto de no contar con un plan de gestión eficiente, lo cual representa una penalización para el contrato Renting al devolver los vehículos finalizado el mismo.

La tabla 20 presenta el plan RCM propuesto, expresando la disponibilidad esperada y costos correspondientes por camioneta al aplicarlo para los 2 años de contrato, basado en lo definido en la tabla 17. Los estimados se basan en registros disponibles que definen en 300.000 km de recorrido promedio por camioneta para el ciclo del contrato. Conservativamente se aplica como referencia las 8 camionetas de reserva contratadas. El costo por día de camioneta reserva es de \$300.000 COP en cada uso. Para camionetas de reserva adicionales el costo por día es de \$350.000 COP. El costo evitado solo se estima en relación a las camionetas de reserva no utilizadas dado el control que permite el plan RCM propuesto, lo cual es totalmente determinista. No se incluye el costo de la reparación evitada como tal que favorece aún más los beneficios derivados del plan, en razón a mantener un estimado conservativo que castiga el plan RCM propuesto, de tal manera que los estimados de disponibilidad y ahorros no entren en discusiones, dado el efecto aleatorio que puede presentarse al estimar este tipo de costos. Por lo tanto, se realizan los cálculos de costo de reserva con la mitad de fallas evitadas para las 8 camionetas de reserva, lo que supone que siempre se utilizan estas como indican los registros y de las 15 camionetas restantes utilizadas hoy como reserva, para totalizar el promedio mensual de 21 reservas en uso según registros. El plan estima lograr eliminar la mitad de estas 15 camionetas de reserva que se redondea en 8 unidades.

Al utilizar una camioneta de reserva la empresa Prodeco debe pagar el día completo independiente de las horas en que se utilice ese día. Por ello, es importante reducir a toda costa el uso de las mismas.

Para los cálculos de los costos evitados por reserva, se asume que las camionetas base en taller eliminan la mitad de los tiempos de camionetas de reserva, esto basado en que la actividad preventiva siempre puede ejecutarse en 4 horas por día en promedio y que las camionetas no se utilizan todas al mismo tiempo, lo que permite programar ida a taller por actividad del plan propuesto a los vehículos que tengan tiempo muerto en cada día, lo que evita recurrir a camionetas de reserva.

Tabla 20. Plan RCM según disponibilidad y costo esperado

Actividad mtto RCM	Costo estimado de actividad mtto		Costo evitado por camionetas de reserva		Efecto en disponibilidad	Efecto en costo	
	\$	COP	\$	COP		\$	COP
Cambio periódico cada 60.000 km (5 cambios para motor de arranque)	\$	350.000*5	\$	300.000*2*8	8 varadas evitadas con tiempo promedio de 1 día. 32 horas adicionadas a la disponibilidad (considera solo la mitad del tiempo)	\$	Ahorro de 3.050.000
	\$	1.750.000	\$	4.800.000			
Calibración de tren de válvulas cada 80.000 km. De no realizar se corre alto riesgo de daños prematurados en la culata por quemado de válvulas y asientos	\$	200.000*4	\$	300.000*2*8	Se eliminan 12 días de camionetas base en taller por varadas para el ciclo	\$	Ahorro de 4.000.000
	\$	800.000	\$	4.800.000			

<p>Limpeza y cambio de filtros del sistema de combustible cada mes purgando agua y lavando tanque de combustible cada 6 meses (el control de la suciedad y agua en el combustible es lo que evita daños prematuros de inyectores y bomba de combustible ACPM)</p>	\$ 350.000*24	\$ 300.000*12*8	<p>No se evidencia modificación en tiempo dado que los cambios se realizan actualmente cada mes, pero lo nuevo es la limpieza de tanque y purga de agua</p>	<p>Ahorro de \$ 20.400.000</p>
<p>Mantenimiento al sistema de enfriamiento. Cambio de refrigerante cada 6 meses. Lavado de radiador cada mes (evita daños prematuros del motor y quema de empaque de culata, así como entrada de agua a las camisas del bloque)</p>	\$ 300.000*24	\$ 300.000*6*8	<p>Impacta grandemente en la mejora de disponibilidad, dado que se tienen 94 daños de motor por quemado del empaque de culata. Trabajo de reparación que en promedio toma 3 días. Evitando al menos 1/3 de estas fallas se ahorran 30 días en promedio en camionetas de reserva</p>	<p>Adicional \$ 7.200.000</p>
\$ 7.200.000	\$ 14.400.000			

Mantenimiento al sistema de suspensión. Incluye cambio de tope de caucho superior según estado, cambio de amortiguadores cada 6 meses (esto se hace anualmente). No se incluye cambio de rótulas, terminales y bujes porque esto se hace actualmente	\$ 800.000*8	\$ 300.000*4*8	Al evitar la rotura de chasis se evita un mes de pérdida de disponibilidad por camioneta	Ahorro de
				\$ 3.200.000
	\$ 6.400.000	\$ 9.600.000		
Resultado final			En promedio se espera ganar 30 días en la disponibilidad por camioneta para los 2 años de uso	Ahorro promedio de \$33 millones por camioneta

Fuente. Elaboración propia.

Los resultados estimados por camioneta, indican mejora en el indicador de disponibilidad de 30 días adicionales de operación para las camionetas base y un ahorro por mejora en mantenimiento debido al plan propuesto de 33 millones, cifras alentadoras que facilitan su implementación dado los evidentes beneficios que ofrecen.

4.5. DOCUMENTACIÓN DE SOPORTE AL PLAN RCM

Actualmente existe una documentación de soporte en el departamento de mantenimiento de Prodeco, la cual requiere un ajuste mediante un formato adicional

para permitir calcular mensualmente indicadores de disponibilidad mediante valores promedio de tiempos de operación MTBF y de tiempos promedio para mantenimiento MTTR según define la ecuación 3. Esto permite tener indicador interno del desempeño del departamento de mantenimiento MTTR y un indicador conectado con el contratista mediante la disponibilidad mensual y su evolución durante los 2 años de contrato.

La tabla 21 presenta la estructura para la captura de datos que permiten calcular los indicadores mensuales MTBF y MTTR que se han definido. Esto puede adicionarse al programa Excel del departamento para que de manera automática al ingresar estos datos se calculen los indicadores y la disponibilidad derivada, tanto de cada camioneta como de la flota en total.

Tabla 21. Formato para calcular MTBF y MTTR

PRODECO		TALLER MINA	
Procesa _____			
Revisa _____			
Placa _____			
Conductor _____			
Falla/reportada			

Tiempo estimado para resolver _____			
Tiempo real para resolver _____			
Costo final _____			
Entrada	Salida	Días en taller	Observaciones
Día / hora	Día / hora		

Fuente. Elaboración propia.

La columna de observaciones, se adiciona con el propósito que la persona que procesa el formato pueda realizar anotaciones especialmente sobre la falla reportada y lo que realmente sucede, identificando las diferencias y posibilidades de mejora futuro.

5. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se plantean las siguientes conclusiones.

- Se realizó una auditoría a la flota de vehículos para definir desde la óptica técnica el estado de las camionetas. A pesar de Prodeco aplicar de manera rigurosa el plan preventivo dado por el fabricante, se encontró mediante la aplicación de la técnica de Pareto que el 80% de los problemas correctivos que se manejan corresponde a los sistemas de motor diésel, chasis y suspensión, representando una cifra de \$2.480 millones COP aproximadamente para un año de operaciones. La cifra fijada para realizar los mantenimientos preventivos según define el fabricante Nissan, se estima en \$2.500 millones COP para el periodo de dos años. Estas cifras indican que en un año se dobla el presupuesto asignado, lo que requiere ajustes urgentes para hacer viable económicamente la continuación del servicio prestado por la flota de camionetas, mediante un ajuste del plan actual de mantenimiento.
- Al aplicar la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés), la cual tiene en cuenta el contexto operativo de los activos, complementada con un análisis técnico detallado de las funciones, pérdidas funcionales, causas y consecuencias de las fallas, cuya información se desarrolla mediante trabajo en equipo que involucra el personal interno de mantenimiento, más expertos externos, se logra definir un conjunto complementario de acciones de mantenimiento preventivo y modificativo que aumenta la disponibilidad de la flota mediante mejorar la confiabilidad operacional (esto es reducción del tipo y cantidad de fallas presentes), siendo el resultado más relevante un análisis causa raíz para solucionar la rotura del chasis, que representa un costo de reparación de aproximadamente \$14 millones COP por vehículo sin disponer de la unidad durante un mes calendario que es el tiempo que define el concesionario Nissan de la ciudad de Valledupar.. Además, se aumenta el conocimiento de mecánicos y electricistas, lo que

representa una mejora adicional en la disponibilidad al aumentar la capacidad del departamento de mantenimiento. La solución de este problema del chasis se logra con un trabajo en equipo, dónde participa personal de varias entidades y universidades que prestan su servicio gracias a alianzas empresariales existentes.

- Al cuantificar el impacto esperado en la mejora de la disponibilidad y reducción de costos operacionales que corresponden al mantenimiento de la flota, se calcula por camioneta el aumento en tiempo de servicio y se estima un adicional de 30 días para los 2 años de servicio. Así mismo, se estima un ahorro de dinero de \$33 millones COP por camioneta para el mismo periodo al comparar el costo de las nuevas acciones derivadas del plan RCM propuesto contra los costos evitados al reducir el número de camionetas de reserva desde 21 actuales a unas 15 unidades futuras, en razón a la mejora en la disponibilidad. Esto muestra que el valor de aplicar RCM estriba en descubrir los problemas técnicos ocultos de los activos que derivan en consecuencias altamente negativas para la empresa.
- Con relación al necesario control requerido por cualquier planeación, se define un formato complementario al actual sistema de información estructurado en ambiente Excel, que permite calcular los indicadores de tiempo promedio entre fallas que representa la confiabilidad normal de los activos y el tiempo promedio para reparar que representa la demora en talleres para resolver las fallas y acciones preventivas a aplicar. Estos indicadores permiten además calcular mensualmente la disponibilidad de la flota para comparar con el valor establecido como referencia en 92% para tener control del presupuesto de la flota para el periodo de servicio de 2 años.
- El éxito de cualquier plan de mantenimiento queda definido al resolver los problemas técnicos ocultos. De manera complementaria, es la aplicación

sistémica y sistemática de metodologías como RCM, lo que logra una mejora sostenible en el tiempo.

- Para la empresa, el estudio y los resultados obtenidos, además de las mejoras actuales definen una referencia para a futuro negociar con los proveedores de camionetas y vehículos en general, mejoras condiciones de negociación.

6. RECOMENDACIONES

En relación con la implementación del plan, se recomienda que los operarios de mantenimiento lean y entiendan los procedimientos disponibles en el manual de servicio de las camionetas analizadas. Esto se expresa porque al ejecutar procedimientos de reparación como sincronización del motor, los técnicos utilizan su experiencia, pero el manual contempla puntos clave que aseguran tener el máximo rendimiento energético del motor, lo que minimiza el impacto ambiental y reduce costos por menor consumo de combustible, pero además se asegura una vida útil más prolongada al contaminarse en menor cantidad el aceite del motor y trabajar a menores temperaturas el sistema completo de transmisión de potencia mecánica.

En relación a futuras investigaciones se sugiere aplicar tecnologías del tipo de análisis de aceite y similares para evaluar desde el punto de vista técnico económico el rendimiento de los aceites y valvulina, que para una flota de este tamaño representa un importante rubro económico y una reducción porcentual que es de amplio interés para la gerencia según manifiestan.

BIBLIOGRAFÍA

ALLALID Hamid, D. Propuesta de un plan de mantenimiento para la flota Megalog. Valencia (España), año 2016. Trabajo final de Master (mantenimiento). Universidad Politécnica de Valencia. 110 p.

ANALES EMPRESA PRODECO. Año 2019.

APOLO ORDOÑEZ, Christian y MATOVELLE BUSTOS, Carlos Marcelo. Propuesta de un plan de mantenimiento automotriz para la flota vehicular del gobierno autónomo de la ciudad de azogues. Trabajo de grado (ingeniero mecánico), 2012. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. 151 p.

GIL BOLIVAR, Ronald y OSORIO RAMIREZ, Yair. Propuesta de un plan de mantenimiento para aplicar a la flota de vehículos de la Universidad Autónoma del caribe. Barranquilla, 2013. Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad Autónoma del Caribe. Programa de ingeniería mecánica. 90 p.

JIM AUGUST P.E. RCM Guidebook. Editorial Pennwell. Año 2004. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. 2012. 214 p.

JOSE PLEITEZ, José Adán. Propuesta de un plan de mantenimiento para los vehículos repartidores de gas único, (dagas s.a.). Guatemala, 2007. Trabajo de graduación (ingeniero mecánico). Universidad de San Carlos de Guatemala. 120 p.

EMPRESA NISSAN. Manual de servicio camionetas Frontier 4 x 4 Diésel, año 2018

MONTES VILLADA, Juan David. Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de integra s.a. Usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en

la confiabilidad (RCM). Pereira, 2013. Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de ingeniería mecánica. 132 p.

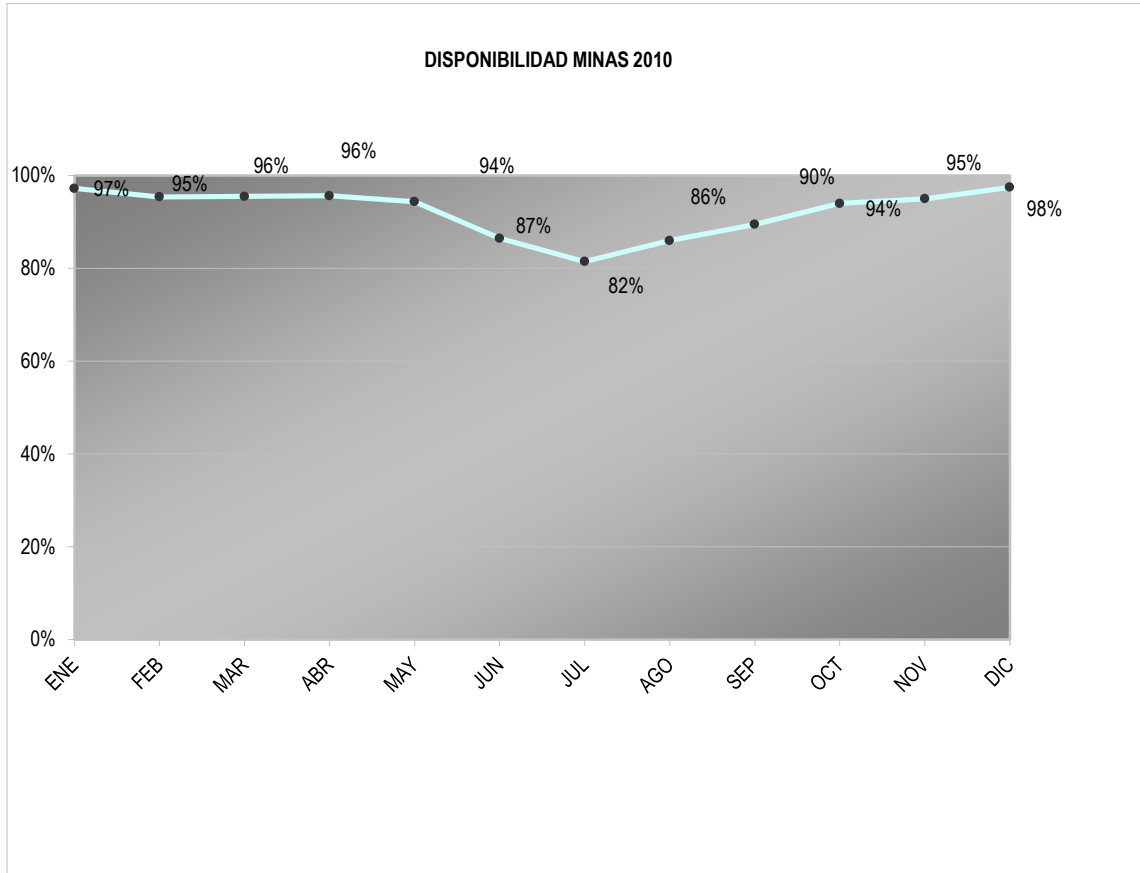
PADILLA VALDEZ, Cesar Leónidas. Plan de mantenimiento para la flota vehicular del gobierno autónomo descentralizado intercultural de la ciudad de Cañar. Trabajo de grado (ingeniero mecánico automotriz). Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. 214 p.

VASQUEZ COKCHI, Miguel Ángel. Administración de mantenimiento de flota vehicular y la calidad de servicio de una empresa de reparaciones automotriz de Lima. Perú, 2018. Tesis para optar el grado académico de maestro (maestría MBA). Universidad Cesar Vallejo, 134 p.

VERGARA OSORIO, John Fredy. Medellín, 2016. Programa de mantenimiento basado en la metodología RCM para el motor eléctrico del sistema de bombeo en la refinería de Ecopetrol en Barrancabermeja utilizando software iRCMS. Trabajo de grado (maestría en ingeniería, énfasis mantenimiento). Universidad Eafit. 135 p.

ANEXOS

Anexo A. Disponibilidad de referencia de vehículos nuevos año 2015 - 2017



Anexo B. Apreciación sobre el Número Prioritario de Riesgo NPR

<https://spcgroup.com.mx/amef-npr-sod-y-sd/>

La salida de un **AMEF** es el “Número Prioritario de Riesgo” también conocido como **NPR**.

El **NPR** es un número que se calcula basándose en la información que se obtiene respecto a:

- Los modos de la falla potenciales
- Los efectos
- La capacidad actual del proceso para detectar las fallas antes de que lleguen al cliente

Se calcula como el producto de tres calificaciones cuantitativas, relacionadas cada una a los efectos, causas y controles:



Severidad: es la estimación de la gravedad del efecto del modo de falla del cliente.

Ocurrencia: es la probabilidad de que una causa específica, resulte en un modo de falla.

Detección: es un valor para clasificar la probabilidad de encontrar la falla antes de que la parte llegue al cliente.

Dentro del alcance del **AMEF** individual, este valor puede tener un rango de 1 a 1,000.

Según el manual de **AMEF** 4ta Edición, **el uso de un umbral para NPR NO se recomienda como una práctica para determinar la necesidad de acciones.** La aplicación del umbral asume que los NPRs son una medida de riesgo relativa (las cuales a menudo no lo son) y que el mejoramiento continuo no se requiere (el cual sí).

El **NPR** no puede ser utilizado como un criterio para definir las prioridades de las acciones a tomar para reducir los riesgos. El ejemplo siguiente ilustra los errores en que se puede incurrir.

En todos los casos siguientes el resultado del NPR = 360

S	O	D
9	10	4
9	8	5
8	9	5
8	5	9
6	6	10
5	8	9
4	10	9

Alternativas al NPR

Existen métodos alternativos para determinar la prioridad de las acciones a tomar.

SO (SxO)

En este enfoque se trataría de reducir la ocurrencia a través de acciones preventivas.

SOD, SD

SOD es la combinación no aritmética de Severidad, Ocurrencia y Detección.

SD es la combinación no aritmética de Severidad y Detección.

Ejemplo de SOD

Severidad = 7

Ocurrencia = 3

Detección = 5

SOD = 735

El **SOD** y el **SD** se ordenan de mayor a menor para determinar las prioridades

Las acciones que se toman tienen impacto sobre el **NPR**, el **SD** y el **SOD**.

Hay que observar que esto es una buena forma de seguir la pista de actividades pasadas.

El AMEF debe agrupar las nuevas acciones recomendadas conforme sean identificadas, terminadas y registradas.

Comparación

En la tabla siguiente se muestran los números de riesgo que pueden obtenerse usando los diferentes enfoques para los mismos números de S, O, D.

S	O	D	NPR	SOD	SD
7	7	3	147	773	73
7	3	7	147	737	77
3	7	7	147	377	37

Tanto el **NPR** como **SOD** o **SD** deben usarse en el contexto de cada caso.

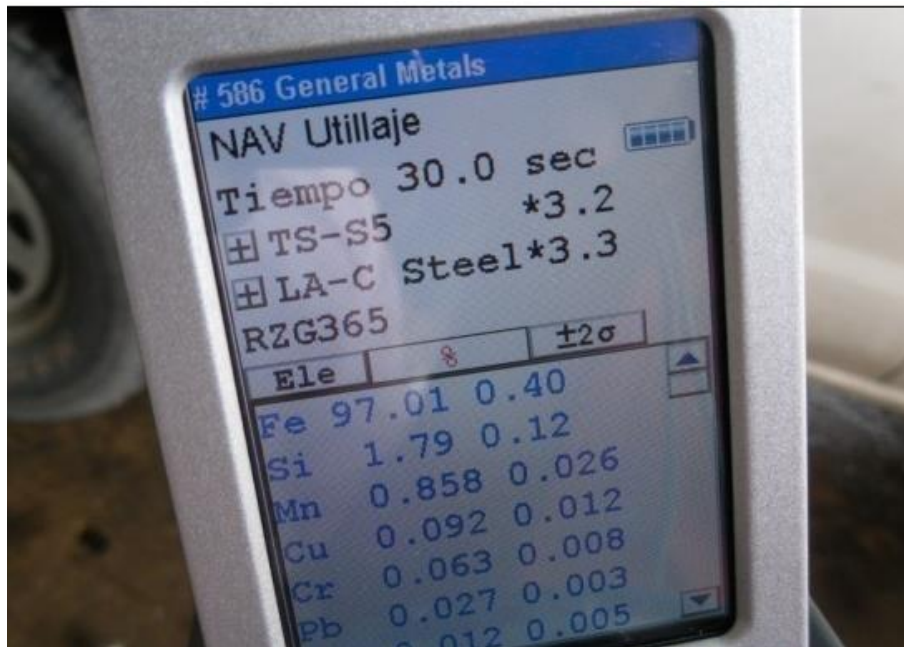
Anexo C. Ensayo de dureza al material del chasis



Anexo D. Ensayo de impacto al material del chasis utilizando un péndulo tipo Charpy



Anexo E. Ensayo de composición química para material del chasis utilizando pistola PMI electrónica



The image shows a handheld PMI device screen displaying the following information:

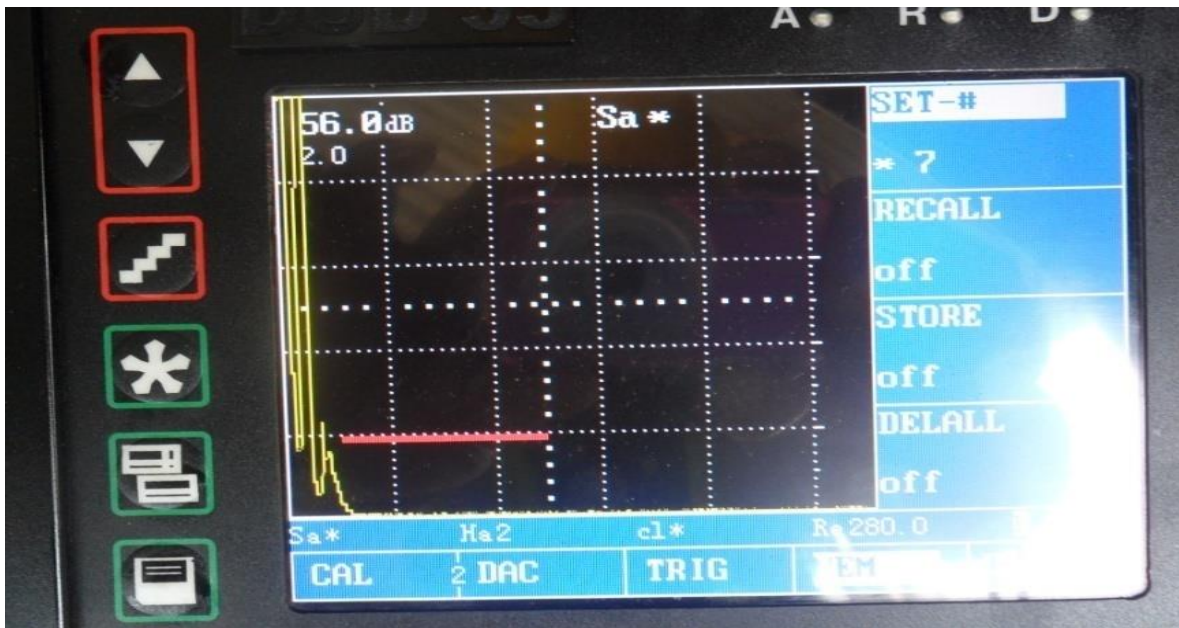
- # 586 General Metals
- NAV Utilaje
- Tiempo 30.0 sec
- TS-S5 *3.2
- LA-C Steel*3.3
- RZG365

Ele	%	±2σ
Fe	97.01	0.40
Si	1.79	0.12
Mn	0.858	0.026
Cu	0.092	0.012
Cr	0.063	0.008
Pb	0.027	0.003
	0.012	0.005

Anexo F. Máquina universal de ensayo capacidad 60 toneladas calibrada y certificada



Anexo G. Ensayo de ultrasonido para detectar grietas internas en el chasis



Anexo H. Prueba de tintas penetrantes para revelar grietas superficiales

