

Propuesta de mejora aplicado al plan de mantenimiento preventivo por método de análisis
causa raíz en las ambulancias tipo NHR de la Subred de Suroccidente de Bogotá

Carlos David Rodríguez Urrego

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Ingeniería Automotriz

Director

Ingeniero William Pinto Hernández

PhD en Ciencias de Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Ingeniería Automotriz

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A mis querida mamá y hermanos, así como a mis adoradas sobrinas y toda la familia que me ha brindado su inquebrantable apoyo a lo largo de este exigente, pero gratificante proceso. Sus palabras de aliento, gestos de ánimo y amor incondicional han sido mi mayor fuente de fortaleza y motivación durante cada etapa de esta monografía. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes, quienes han estado a mi lado en los momentos de celebración y en los desafíos. Agradezco infinitamente su presencia constante, su amor sincero y su confianza inquebrantable. Esta monografía está dedicada con todo mi cariño y gratitud hacia cada uno de ustedes.

Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mí mismo por el compromiso, la dedicación y el esfuerzo constante que he invertido en este proyecto académico. A través de cada desafío y cada logro, he demostrado una determinación inquebrantable para alcanzar mis metas y superar obstáculos. También deseo reconocer a mis compañeros de estudio, cuya colaboración, apoyo mutuo y valiosas contribuciones han enriquecido mi experiencia educativa y me han enseñado lecciones invaluable. Su camaradería y compañerismo han sido fundamentales para mi crecimiento personal y profesional. Asimismo, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a aquellos profesores que, con su pasión por enseñar y su dedicación al compartir su conocimiento, han dejado una huella imborrable en mi formación académica y en mi desarrollo profesional. Su guía experta y sus enseñanzas han sido una inspiración constante para mí, motivándome a alcanzar nuevos horizontes y perseguir la excelencia en cada paso que doy. A todos ustedes, les estoy profundamente agradecido por su invaluable contribución a mi crecimiento y éxito académico.

Tabla de Contenido

Introducción	11
1. Objetivos	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
2. Identificación Del Problema	14
2.1 Metodología	15
2.2 Desarrollo.....	17
3 Conclusiones	56
Referencias Bibliográficas	57

Lista de Tablas

<i>Tabla 1 - Control de vehículos TAB en taller.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 2 - Problemas recurrentes contabilizados en 3 meses de estudio.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 3 – Filtros de combustible.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4 Evidencia fotográfica estado de catalizadores y válvulas EGR.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 5 - Fallos recurrentes organizados por prioridad.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 6 – Plan de mantenimiento al motor.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 7 Mantenimiento al sistema de refrigeración.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 8. Mantenimiento al sistema de transmisión de potencia.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 9. Mantenimiento al sistema de dirección y suspensión.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 10. Mantenimiento al sistema de frenos y combustible.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 11 Plan de mantenimiento de 5.000 a 500.000 kilómetros.....</i>	<i>53</i>

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 - <i>Diagrama Ishikawa</i>	27
Ilustración 2 - <i>Diagrama de Pareto</i>	37

Glosario

Aditivo: Sustancia añadida a un producto para mejorar o modificar sus propiedades.

Bomba de inyección: Dispositivo encargado de generar la presión necesaria para inyectar el combustible en el motor.

Catalizador: Dispositivo que acelera una reacción química sin consumirse en el proceso.

Catálisis: Proceso mediante el cual un catalizador favorece la velocidad de una reacción química.

Diesel: Tipo de combustible utilizado en motores diésel.

Filtro de combustible: Componente que retiene impurezas presentes en el combustible antes de que este llegue al motor.

Hollín: Partículas sólidas de carbono que se depositan en el sistema de escape del motor.

Inyectores: Dispositivos encargados de pulverizar y suministrar el combustible al motor.

Mantenimiento preventivo: Conjunto de acciones planificadas y sistemáticas destinadas a prevenir fallos en equipos y mantenerlos en óptimas condiciones.

NHR: Siglas que hacen referencia a un tipo específico de vehículo.

Pistoneo: Ruido anormal producido por la detonación prematura del combustible en el interior del cilindro del motor.

RPM: Abreviatura de Revoluciones Por Minuto, medida de la velocidad de rotación de un motor.

Válvula EGR: Dispositivo que recircula una parte de los gases de escape hacia la admisión del motor para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno.

Resumen

Título: Propuesta de mejora aplicado al plan de mantenimiento preventivo por método de análisis causa raíz en las ambulancias tipo NHR de la Subred de Suroccidente de Bogotá¹

Autor: Carlos David Rodríguez Urrego

Palabras Clave: Sistema de inyección, catalizador, filtro de combustible, ambulancia, plan de mantenimiento.

Descripción: El estudio se centra en mejorar el plan de mantenimiento preventivo de las ambulancias NHR de Bogotá, con el objetivo de prolongar la vida útil del sistema de inyección y catálisis. Se emplea un enfoque de análisis de causa raíz y diagrama de Pareto para identificar y priorizar los problemas. Tras un análisis detallado de las fallas recurrentes y un diagnóstico exhaustivo, se concluye que los problemas están relacionados principalmente con el sistema de inyección del motor. La obstrucción de los filtros de combustible se identifica como una causa principal, afectando la presión del riel de inyectores y la potencia del motor. Se propone un plan de mantenimiento preventivo adaptado a las necesidades de las ambulancias, con el fin de minimizar los tiempos de inactividad y garantizar una atención oportuna en emergencias médicas.

¹ Trabajo para optar por el título de Especialista en Ingeniería Automotriz

Abstract

Title: Improvement Proposal Applied to Preventive Maintenance Plan through Root Cause Analysis Method in NHR Ambulances of Bogotá's Southwest Subnetwork²

Author: Carlos David Rodríguez Urrego

Keywords: Injection system, catalytic converter, fuel filter, ambulance, maintenance plan.

Description: The study focuses on improving the preventive maintenance plan for NHR ambulances in Bogotá, aiming to prolong the lifespan of the injection and catalytic systems. A root cause analysis and Pareto diagram approach is employed to identify and prioritize issues. Following a detailed analysis of recurring failures and exhaustive diagnosis, it is concluded that the problems are primarily related to the engine's injection system. Fuel filter obstruction is identified as a major cause, affecting injector rail pressure and engine power. A preventive maintenance plan tailored to the ambulances' needs is proposed to minimize downtime and ensure timely response to medical emergencies.

² Thesis to Obtain the Title of Specialist in Automotive Engineering Faculty of Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Director Engineer William Pinto Hernández

Introducción

La utilización de camionetas tipo NHR como ambulancias en el contexto de Bogotá ha experimentado una notoria desviación con respecto a su diseño original, concebido para el transporte de carga. Esta transformación en su uso se atribuye a una serie de factores intrínsecos a la operación de servicios de emergencia en la capital colombiana. Estos elementos incluyen extensos turnos de operación, altas velocidades alcanzadas en situaciones de emergencia y la necesidad de mantener en funcionamiento constante los sistemas electrónicos a bordo. Todos estos aspectos influyen significativamente en el desgaste mecánico de estos vehículos.

Como resultado de esta operación intensiva y a menudo ininterrumpida, se incrementa la probabilidad de requerir mantenimientos correctivos de manera recurrente. Según afirma *Chevrolet* en su página web “lanzó un programa de cambio en las cadencias de mantenimiento pasando de 6.000 a 10.000 kilómetros con kits de filtración Isuzu para todo el portafolio de la Serie N y Serie F a partir del año modelo 2021” (*Buses y camiones Chevrolet 2020*). Pero las ambulancias en consideración operan las 24 horas del día aun estando estacionadas en los cambios de turno o estando en espera de un nuevo recorrido, ya que las baterías de estos vehículos carecen de la potencia necesaria para arrancar los motores después de haber permanecido apagados durante un período prolongado, manteniendo al mismo tiempo los sistemas electrónicos en funcionamiento. Como resultado, se ha generado la necesidad de mantener el motor operativo de forma ininterrumpida, momento en el cual no acumula

kilómetros y no se tiene en cuenta como uso, haciendo que los filtros de combustible se saturende residuos antes de completar los 10.000 kilómetros lo cual pude evidenciar en el tiempo que trabajé con el mantenimiento de estos vehículos.

Además de los problemas mencionados, se han documentado problemas adicionales que afectan el rendimiento de estas ambulancias. Estos problemas incluyen el taponamiento del sistema de catálisis, lo que restringe la expulsión de gases de escape y reduce la potencia del motor. Asimismo, se ha observado la obstrucción de partículas en la válvula EGR (Recirculación de Gases de Escape) debido al prolongado tiempo de funcionamiento en estado de ralentí.

El tiempo en taller de cada ambulancia para un mantenimiento preventivo está en un promedio de 2.5 horas de los cuales 0.5 horas se utilizan para cambiar los dos filtros de combustible que trae el automotor, cuando una ambulancia ingresa a taller con estos problemas de obstrucción resulta en que el vehículo permanecerá estacionado entre 2 y 4 horas esperando autorización para el cambio de los filtros y un aproximado de 8 a 12 horas mientras se realiza la descarbonización de la válvula EGR y el catalizador.

Aplicando el análisis de Causa Raíz, se determinará si es viable modificar los intervalos de intervención en los vehículos en los cuales los filtros de combustible se podrían cambiar cada 6.000 kilómetros lo cual extendería los periodos de tiempo en los que se debe descarbonizar la válvula EGR y el catalizador y así mismo el sistema de inyección podría extender su frecuencia de mantenimientos y limpieza ya que estos trabajos tienden a mantener un alto costo debido a su complejidad.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Desarrollar un plan de mantenimiento Preventivo por medio de un análisis causa raíz para prolongar la vida útil del sistema de inyección y catálisis de las ambulancias tipo NHR de la ciudad de Bogotá Subred Suroccidente.

1.2 Objetivos Específicos

- Plantear un análisis de modos de falla del sistema de inyección de los vehículos NHR adaptados a Ambulancia.
- Realizar un análisis Causa raíz del sistema de inyección y catálisis mediante un diagrama de Pareto.
- Generar un plan de mantenimiento preventivo para las ambulancias tipo NHR que se ajuste a las exigencias a las que son expuestos estos vehículos.

2. Identificación Del Problema

El presente estudio se fundamenta en un marco referencial que amalgama diversos conceptos y teorías fundamentales para comprender y abordar las fallas en el sistema de inyección de las ambulancias NHR en Bogotá. Se destacan conceptos clave como el mantenimiento preventivo, entendido como el conjunto de acciones destinadas a prevenir fallos en equipos y mantenerlos en óptimas condiciones (Fernández, 2022). Además, se aborda el concepto de desgaste, que se refiere al deterioro gradual de un material o componente por uso o factores externos (ISO 9001:2015). También se hace hincapié en metodologías como el Análisis Causa Raíz (RCA), que permite identificar las causas principales de un problema (Juran, 1999), y el Diagrama de Pareto, una herramienta gráfica para identificar las causas que generan el mayor porcentaje de un problema (Montgomery, 2019).

En el marco teórico, se resalta la importancia del mantenimiento preventivo para la confiabilidad y eficiencia de los equipos, especialmente los críticos como las ambulancias (Fernández, 2022; Dhillon, 2016). Asimismo, se analiza el impacto del uso excesivo del motor en ralentí en el desgaste del sistema de inyección (Mehta y Shah, 2019). Se describe la metodología del Análisis Causa Raíz (RCA) y su aplicación para identificar las causas principales del problema (Juran, 1999), así como la utilidad del Diagrama de Pareto para identificar las causas que generan el mayor impacto (Montgomery, 2019).

En el ámbito legal, se establecen las regulaciones pertinentes relacionadas con la operación de vehículos de emergencia, las normas generales de seguridad vial y las normativas ambientales. Además, se mencionan investigaciones previas realizadas por instituciones académicas que han abordado aspectos relacionados con el mantenimiento preventivo y la eficiencia de los filtros de combustible en vehículos de emergencia. En conjunto, este marco referencial proporciona una base sólida para la investigación y el análisis del problema de las fallas en el sistema de inyección de las ambulancias NHR en Bogotá

Luego de tener en cuenta la anterior información procedemos a generar la formulación del problema:

¿Cómo mejorar el plan de mantenimiento preventivo para reducir el desgaste prematuro del sistema de inyección en las ambulancias Chevrolet NHR, optimizando la disponibilidad de las ambulancias, reduciendo los costos de mantenimiento y garantizando una atención oportuna a las emergencias médicas?

2.1 Metodología

La metodología propuesta para mejorar el plan de mantenimiento preventivo de las ambulancias tipo NHR de la Secretaría de Salud de Bogotá Subred Suroccidente se basa en el análisis de causa raíz y el diagrama de Pareto. Este enfoque permite identificar y priorizar los problemas más significativos relacionados con el desgaste interno del sistema de inyección, así como determinar las causas subyacentes que contribuyen a estos problemas.

En primer lugar, se procederá con la identificación de problemas mediante la recopilación de datos sobre los inconvenientes recurrentes experimentados por las ambulancias tipo NHR durante un periodo de 3 meses, especialmente aquellos asociados con el desgaste interno del sistema de inyección, como obstrucciones en los filtros de combustible y carbonización del catalizador.

Luego, se aplicará la técnica de análisis de causa raíz para identificar las causas fundamentales de los problemas identificados, utilizando herramientas como el diagrama de Ishikawa para visualizar las posibles causas que contribuyen al desgaste interno del sistema de inyección.

Posteriormente, se llevará a cabo la priorización de problemas mediante el análisis de Pareto, clasificando los problemas según su frecuencia de ocurrencia y su impacto en la disponibilidad y eficiencia de las ambulancias. Se focalizará la atención en los problemas que representen el mayor porcentaje de los problemas totales identificados, conforme al principio del 80/20 de Pareto.

Finalmente, con base en los resultados del análisis de causa raíz y el diagrama de Pareto, se propondrán soluciones específicas para abordar los problemas prioritarios identificados. Se considerarán medidas correctivas y preventivas para mejorar el mantenimiento preventivo del sistema de inyección y reducir el desgaste interno de las piezas.

2.2 Desarrollo

Para poder comenzar el análisis de los datos debemos tener en cuenta cuántos vehículos hacen parte de la flota de ambulancias de la Subred Suroccidente de la secretaría de salud de Bogotá, cuáles son los problemas más comunes presentados por estos vehículos y así se podrá determinar el plan de mantenimiento preventivo que se ajuste perfectamente al uso al que son sometidos estos vehículos.

La Subred suroccidente Cuenta con 21 Ambulancias de Transporte Asistencial Básico (TAB) y 8 ambulancias de Transporte Asistencial Medicalizado (TAM) Sumando un total de 29 vehículos tipo NHR de los cuales 21 han asistido al taller Chevrolet Autoniza en la ciudad de Bogotá para realizar su respectivo mantenimiento preventivo según recomienda el fabricante de los mismos, las ambulancias TAM no se tomarán en cuenta ya que éstas al prestar un servicio especializado tienen un uso menos prolongado que las tipo TAB.

Las paradas recurrentes de las ambulancias por fallas en los sistemas de inyección y catálisis que se lograron identificar durante el tiempo que ingresaron al taller iban desde testigo de motor encendido, pérdida de fuerza, fuga de aceite por la válvula EGR, filtros de combustible obstruidos, vehículo acelera, pero se siente que no desfogan los gases de escape y fuerte olor a amoniaco.

Cómo se puede evidenciar en la tabla 1. se llevaba el control de disponibilidad de las ambulancias, esto se hacía todos los días con el fin de identificar qué cantidad de vehículos había en taller.

Tabla 1 - Control de vehículos TAB en taller.

TAB									
CODIGO	PLACA	TIPIFICACION	MARCA	MODELO	TRACCION	TARJETA PROPIEDAD	VIN	ESTADO	OBSERVACIONES
6350	PLACA	TAB	RENAULT	2018	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Fuera de servicio	
6897	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Operativa	
6898	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Espejo operativo	Vehículo enciende, pero se apaga
6899	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Taller mto preventivo	Preventivo 8700 Kilómetros
6900	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Operativa	
6901	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Operativa	
6903	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Taller mto preventivo	Preventivo 7900 kilómetros
6904	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Operativa	

TAB									
CODIGO	PLACA	TIPIFICACION	MARCA	MODELO	TRACCION	TARJETA PROPIEDAD	VIN	ESTADO	OBSERVACIONES
6905	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Fuera de servicio	Choque
6928	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Operativa	
6929	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Taller mto correctivo	Vehículo pierde fuerza y testigo de motor encendido
6930	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Operativa	
6931	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Taller mto correctivo	Vehículo presenta humedad de aceite en motor
6932	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Operativa	
6933	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Operativa	
6934	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Operativa	
6935	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Taller mto correctivo	Vehículo presenta humedad de aceite en motor

TAB									
CODIGO	PLACA	TIIFICACION	MARCA	MODELO	TRACCION	TARJETA PROPIEDAD	VIN	ESTADO	OBSERVACIONES
6936	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Operativa	
6937	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Operativa	
6938	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X2	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Espejo operativo	Vehículo en taller, no sube de 2000 rpm
6992	PLACA	TAB	CHEVROLET	2022	4X3	TARJETA PROPIEDAD	VIN	Operativa	

FUENTE: Propia

Nota. Con el control diario de los vehículos se pueden determinar tiempos muertos y motivos de entrada a taller, Fuente propia.

Tras realizar un seguimiento continuo durante un período de tres meses, se empezó a observar una repetición de incidencias relacionadas con fallos mecánicos específicos que señalaban una causa común. En todos los casos, se identificó que el sistema de inyección de combustible era el componente afectado de manera consistente.

Los problemas más recurrentes se enlistarán en la Tabla 2. demostrando la cantidad de ingresos de los vehículos en los cuáles se hizo una intervención en los componentes para mantener operativa la unidad.

Tabla 2 - *Problemas recurrentes contabilizados en 3 meses de estudio*

Tipo de falla	Vehículos que ingresaron a taller	Observaciones
Testigo de motor encendido	12	Vehículo ingresa con testigo de motor encendido, conductor informa problemas para encender, humo blanco y pérdida de fuerza cuando sube pendientes

Tipo de falla	Vehículos que ingresaron a taller	Observaciones
Vehículo sin potencia	16	Conductor informa que el vehículo enciende, pero luego de cierto tiempo funcionando se apaga y cuesta volverlo a encender
Vehículo no enciende	6	Vehículo ingresa en grúa porque no enciende
Revoluciones no superan las 2000 por minuto	13	Conductor reporta que el vehículo se siente ahogado, no supera las 2000 RPM y le cuesta mantenerlas estables

Tipo de falla	Vehículos que ingresaron a taller	Observaciones
Revoluciones inestables con Pistoneo de motor	10	Conductor reporta que en algunas ocasiones el motor no mantiene un ralentí estable y comienza a vibrar y producir ruido más fuerte de lo normal

FUENTE: Elaboración propia

Nota: Fallos presentados por diferentes vehículos durante 3 meses de ejecución de trabajos en taller

Después de realizar un diagnóstico basado en el reporte del conductor y los fallos identificados durante la inspección en el taller, se concluye que dichas fallas surgen en circunstancias específicas, las cuales se manifiestan tras largas jornadas de operación continua del vehículo.

- Testigo de motor encendido: Tras realizar un escaneo exhaustivo del vehículo, se identificaron dos códigos de falla recurrentes: P0401 y P0193. Estos códigos indican problemas específicos relacionados con el sistema de recirculación de gases de escape (EGR) y la presión del riel de inyectores de combustible, respectivamente. El código P0401 señala un mal funcionamiento en el caudal de la recirculación de gases de escape en la válvula EGR, mientras que el código P0193 indica una presión inadecuada en el riel de inyectores de combustible.
- Vehículo sin potencia: Cuando el vehículo llega a las instalaciones del taller, se lleva a cabo una evaluación en carretera con la participación del conductor y un técnico especializado en camiones Chevrolet. Durante la prueba, se observa que al acelerar a plena carga o al intentar subir una pendiente, se produce una demora significativa en el aumento de las revoluciones por minuto (RPM) del motor. Además, se percibe la presencia de un olor agudo a amoníaco y se detecta la emisión de humo en el área entre la cabina y el furgón trasero. Tras varios intentos de incrementar la carga del motor, se experimenta una notable restricción en el rendimiento del mismo, llegando finalmente a su apagado.
- Vehículo no enciende: Al ingresar al taller, el vehículo es remolcado debido a la incapacidad de arrancar después de múltiples intentos. Durante el diagnóstico, se identifican fallos en el sensor FRP (Presión del Riel de Combustible). Se lleva a cabo un intento de arranque utilizando un limpiador de cuerpo de aceleración, observando que el motor permanece

encendido mientras se aplica el producto. Sin embargo, una vez que se interrumpe el suministro del limpiador, el motor se apaga de manera inmediata.

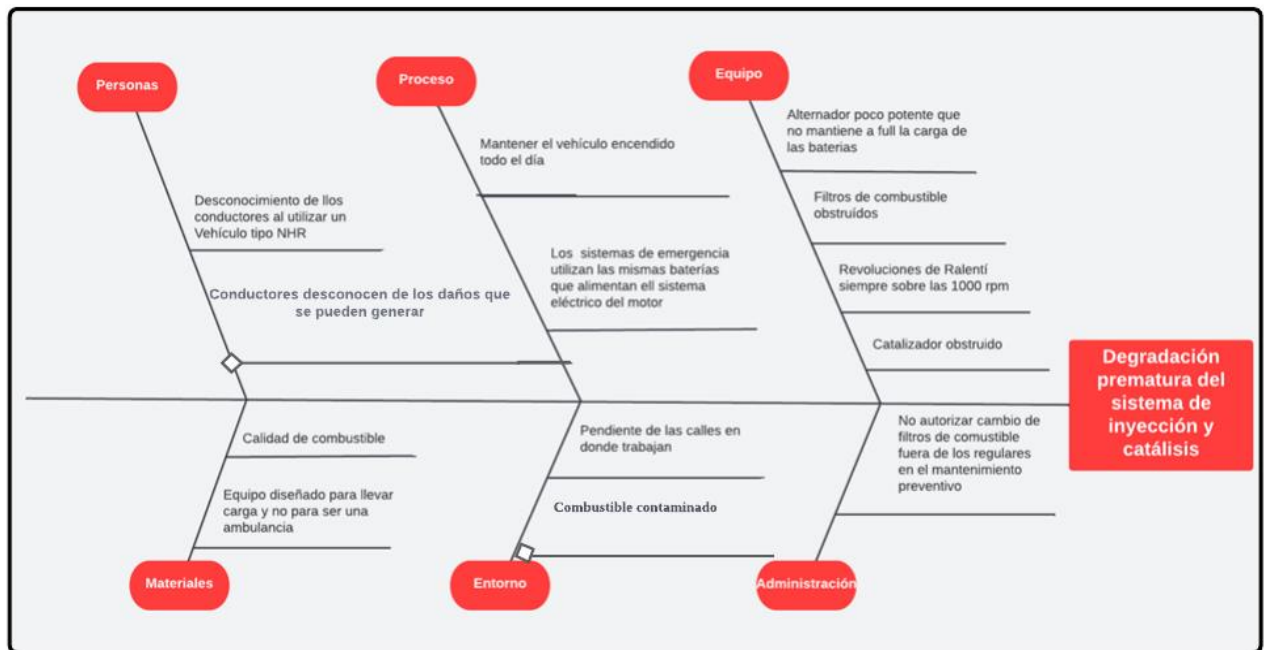
- Régimen de revoluciones inferior a 2000 por minuto: Al recibir el vehículo en el taller con reportes de fallas relacionadas con la aceleración, se lleva a cabo un diagnóstico exhaustivo. Se constata que, a pesar de los intentos de aceleración total, el vehículo no logra superar las 2000 RPM en primera y segunda velocidad. Al cambiar a tercera velocidad, se observa una limitación adicional, ya que el motor no alcanza más de 1200-1300 RPM. Finalmente, en cuarta velocidad, el motor no es capaz de mantener una velocidad constante.
- Revoluciones inestables con Pistoneo de motor: Durante el tiempo de espera del vehículo para el servicio, se ha observado en ocasiones un sonido que se asemeja al pistoneo del motor, acompañado de una mayor vibración de lo habitual. Posteriormente, se experimentan dificultades para arrancar el motor. A pesar de realizar pruebas exhaustivas en el taller, no se detectan anomalías. Sin embargo, se han recibido reportes de fallas técnicas por parte de los conductores, respaldados con videos que muestran los síntomas mencionados. En las pruebas realizadas en el taller, los motores funcionaron con normalidad, aunque se limitó el tiempo de operación para evitar la inactividad prolongada del vehículo.

Además de los problemas mecánicos mencionados, el sistema de inyección puede enfrentar desafíos adicionales debido a factores externos que pueden contribuir a demoras en la solución y a una degradación progresiva de los componentes. Estos factores externos pueden abordarse utilizando un enfoque de análisis de causa raíz, como el diagrama de

Ishikawa, que identifica diversas categorías de posibles causas. Entre estos factores se incluyen condiciones ambientales adversas, tales como la exposición a condiciones climáticas extremas o terrenos accidentados, que pueden aumentar la probabilidad de daños mecánicos.

Asimismo, la calidad del combustible utilizado y la frecuencia de mantenimiento inadecuado pueden influir en el desempeño del sistema de inyección y en la durabilidad de sus componentes. Además, la capacitación insuficiente del personal de mantenimiento y la falta de disponibilidad de piezas de repuesto pueden dificultar la resolución oportuna de problemas y contribuir a una mayor degradación del sistema con el tiempo. Por lo tanto, es importante considerar estos factores externos en la gestión de mantenimiento de las ambulancias para garantizar su fiabilidad y disponibilidad en situaciones críticas de emergencia, estos problemas adicionales los podemos organizar en el siguiente diagrama de Ishikawa

Ilustración 1 - Diagrama Ishikawa



FUENTE: Elaboración propia

Luego de un análisis de las fallas recurrentes, se ha observado que todas las dificultades experimentadas por los vehículos están relacionadas con el sistema de inyección del motor, lo que sugiere una posible degradación o mal funcionamiento de los componentes esenciales para el correcto funcionamiento del vehículo. Este fenómeno puede estar vinculado con el desgaste prematuro de elementos críticos del sistema de inyección, como los inyectores de combustible, el sensor de presión del riel de combustible (FRP) o el regulador de presión del riel de combustible, entre otros. Además, se ha identificado un patrón de tiempo perdido en las entradas al taller, lo

que resulta en periodos prolongados de inoperatividad del sistema de inyección. Esta situación no solo afecta la disponibilidad del servicio para los usuarios, sino que también puede generar inconvenientes logísticos y financieros para el sistema distrital de salud. Es fundamental abordar estos problemas de manera proactiva para minimizar el tiempo de inactividad del sistema y garantizar un funcionamiento óptimo y confiable de los vehículos en la ciudad.

Luego de realizar el diagnóstico de los problemas presentados por los vehículos haciendo pruebas de ruta, revisando el historial de manejo mediante el escáner propio de la marca y probando los sistemas involucrados en la inyección del vehículo se llega a los siguientes resultados:

Obstrucción de los filtros de combustible:

Cuando los filtros de combustible se obstruyen con sedimentos y contaminantes, se restringe el flujo de combustible hacia la bomba de inyección y los inyectores. Esto puede generar una serie de problemas, incluyendo:

- Baja presión en el riel de inyectores: La bomba de inyección no puede generar la presión adecuada para impulsar el combustible a través de los inyectores, lo que afecta la atomización del combustible y la combustión en los cilindros.
- Falta de potencia: El motor no recibe la cantidad de combustible necesaria para generar la potencia requerida, lo que se traduce en una pérdida de fuerza y rendimiento del vehículo.

- Aumento del consumo de combustible: La combustión ineficiente debido a la baja presión en el riel de inyectores puede provocar un mayor consumo de combustible.
- Daños al sistema de inyección: La obstrucción prolongada de los filtros de combustible puede dañar la bomba de inyección, los inyectores y otros componentes del sistema de inyección.

En el caso descrito, el desmonte de los filtros de combustible reveló que estos estaban llenos de sedimentos y obstruidos, a pesar de no haber alcanzado el kilometraje recomendado para su reemplazo. Esto sugiere que el combustible utilizado puede contener una cantidad excesiva de impurezas, que sumado a las largas jornadas que dura el vehículo encendido generando el escenario para que comiencen a fallar, haciendo que otros componentes deban esforzarse más para mantener el funcionamiento del motor.

A continuación, en la Tabla 3. se muestra el registro fotográfico de los hallazgos al desmontar los filtros de combustible de algunos vehículos en taller

Tabla 3 – Filtros de combustible

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
	<p>En la Foto se puede observar un filtro de combustible marca Isuzu desmontado de un camión NHR perteneciente a un cliente particular el cuál se desmontó en el primer mantenimiento con 10.124 Kilómetros de uso</p>
	<p>Filtro de combustible marca Isuzu desmontado de Ambulancia NHR con 7800 kilómetros, vehículo presentó problemas de vibración y pistoneo al estar en Ralentí</p>



Filtro de combustible marca Isuzu de Ambulancia NHR con 8654 Kilómetros de uso, el vehículo presentó pérdida de fuerza y testigo de motor encendía intermitente en lapsos prolongados de tiempo



Filtro de combustible marca Isuzu de ambulancia NHR desmontado con 9.840 kilómetros, vehículo encendía pero se apagaba al poco tiempo, se conectó al escáner arrojando baja presión en riel de combustible

Fuente: Propia

La revisión del sistema de inyección con un escáner confirmó la baja presión en el riel de inyectores, lo que corrobora la relación entre la obstrucción de los filtros y el problema de baja presión. Al reemplazar los filtros de combustible con nuevos, el vehículo dejó de fallar y recuperó su fuerza inicial.

Catalizador obstruido

El catalizador es un componente fundamental del sistema de escape de un vehículo, encargado de reducir las emisiones contaminantes mediante la conversión de gases nocivos en gases menos perjudiciales para el medio ambiente. La obstrucción del catalizador puede generar una serie de problemas que afectan el rendimiento y la eficiencia del vehículo.

Cuando el catalizador se obstruye con carboncillo, hollín u otras impurezas, se restringe el flujo de gases de escape, lo que puede provocar las siguientes consecuencias:

Pérdida de potencia: El motor no puede expulsar los gases de escape de manera eficiente, lo que reduce la potencia y el rendimiento del vehículo.

Dificultad para alcanzar altas RPM: El motor puede tener dificultades para alcanzar altas revoluciones por minuto (RPM), lo que limita la velocidad máxima del vehículo.

Emisiones contaminantes: La obstrucción del catalizador reduce su capacidad para convertir gases nocivos, lo que aumenta las emisiones contaminantes del vehículo.

Daños al motor: En casos extremos, la obstrucción prolongada del catalizador puede generar daños al motor, como sobrecalentamiento o incluso rotura.

En este caso el desmontaje del catalizador reveló que este estaba lleno de carboncillo y hollín, lo que impedía el flujo normal de gases de escape. La prueba de ruta previa indicó que el

vehículo no podía superar las 2000 RPM y presentaba una pérdida de fuerza, lo que coincide con los síntomas de un catalizador obstruido.

Tal como se muestra en la Tabla 4. La obstrucción en el catalizador y la válvula EGR por el carboncillo y el hollín era evidente y fácil de notar

Tabla 4 Evidencia fotográfica estado de catalizadores y válvulas EGR



Obstrucción en el catalizador del vehículo, el cual registraba 15,700 kilómetros en el tacómetro en el momento del reporte. Esta obstrucción se manifestó a través de dificultades en la aceleración del vehículo y una sensación de ahogo.



Válvula EGR con una gruesa capa de carboncillo adherida a una de sus entradas, vehículo con 15.700 kilómetros y reportaba falla al acelerar el motor



Interior de la tubería de retorno de los gases de escape, Válvula EGR con 19.325 kilómetros



Catalizador con exceso de polvo acumulado en el extremo al cuál ingresan los gases de escape, catalizador con 15.700 kilómetros vehículo reportaba dificultades en la aceleración del vehículo y una sensación de ahogo.

La limpieza del catalizador con agua y soda cáustica permitió eliminar las impurezas que lo obstruían y restaurar el flujo normal de gases de escape. Tras el montaje del catalizador limpio, el vehículo recuperó su potencia y rendimiento normal, lo que confirma la relación causal entre la obstrucción del catalizador y los problemas presentados.

La obstrucción del catalizador en este caso se atribuye a la falla en la combustión producida por los filtros de combustible obstruidos. Cuando los filtros de combustible no retienen las impurezas adecuadamente, estas pasan al sistema de combustión y se queman de manera incompleta. Los productos de combustión incompleta, como el carboncillo y el hollín, se acumulan en el catalizador y lo obstruyen con el tiempo.

Para poder definir con mayor exactitud cuales son los problemas más recurrentes y sus consecuencias se organizan en la siguiente tabla con su frecuencia absoluta y su contribución al total de visitas de los vehículos a taller

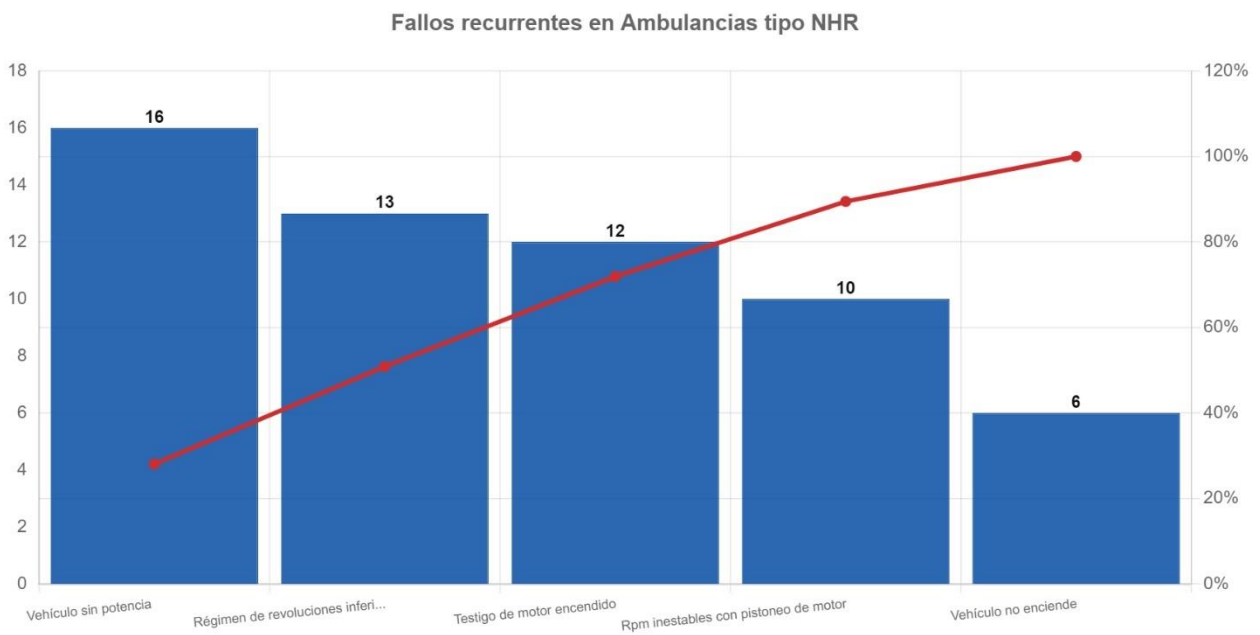
Tabla 5 - *Fallos recurrentes organizados por prioridad*

Categoría	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Rel. Acumulada
Vehículo sin potencia	16	28.07%	16	28.07%
Régimen de revoluciones inferior a 2000 por minuto	13	22.807%	29	50.88%
Testigo de motor encendido	12	21.053%	41	71.93%
Rpm inestables con pistoneo de motor	10	17.544%	51	89.47%
Vehículo no enciende	6	10.526%	57	100%

FUENTE: Elaboración propia

Nota: Con esta tabla se identifican los fallos presentados con mayor frecuencia durante los 3 meses de estudio

Ilustración 2 - Diagrama de Pareto



FUENTE: Elaboración propia

En el análisis de Pareto, se destacan los problemas más recurrentes, enfocándose en la pérdida de potencia y las RPM bajas del motor, los cuales generan un alto tiempo de inactividad en taller debido a la frecuencia de ingresos de los vehículos, el tiempo de traslado y las verificaciones necesarias para validar la efectividad de las reparaciones.

Las causas principales de estos problemas se centran en la obstrucción temprana de los filtros de combustible, que alcanzan su capacidad máxima de acumulación de sedimentos antes de los 10.000 kilómetros de uso, y la acumulación de hollín y carbonilla en los catalizadores. Estos factores causan un desgaste prematuro en las demás piezas del sistema de inyección de combustible del motor, aumentando significativamente los tiempos de inoperatividad de los vehículos y afectando su disponibilidad en situaciones de emergencia.

Dado que los filtros de combustible son componentes originales suministrados por el fabricante, no se puede optar por cambiar de marca o material, ya que el diseño del sistema está específicamente adaptado para trabajar con estos filtros. Además, el catalizador es un componente esencial para la reducción de emisiones contaminantes y no puede ser retirado o modificado del vehículo sin comprometer su funcionamiento.

Al diseñar el plan de mantenimiento, se consideraron los siguientes aspectos:

Procedimientos de mantenimiento: Se detallaron los pasos específicos para llevar a cabo las inspecciones, reemplazos y limpiezas, asegurando la correcta ejecución de cada tarea y el uso de herramientas y equipos adecuados.

Objetivos del plan de mantenimiento: Mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las ambulancias, reducir los tiempos de inactividad debido a fallas mecánicas, y garantizar la seguridad y eficiencia en el transporte de pacientes.

Alcance del plan: El alcance del plan del mantenimiento será cambiar únicamente los filtros de combustible y realizar una inspección periódica de la Válvula EGR y el Catalizador para evitar taponamientos.

Frecuencia de mantenimiento: El reemplazo de los filtros de combustible se debe hacer cada 5.000 kilómetros y las revisiones del sistema catalizador y válvula EGR cada 10.000 kilómetros durante su respectivo mantenimiento preventivo normal

Proceso de mantenimiento: Se debe asistir a taller cada 5.000 kilómetros para realizar el cambio respectivo de los filtros de combustible cuyo procedimiento no tomaría más de 30 minutos y la revisión del catalizador y válvula EGR hecha cada 10.000 kilómetros revisando fugas de aceite en la Válvula EGR ya que esto demostraría que se está comenzando a taponar y revisar la opacidad, y cantidad de gases de escape que salen por el exhosto. Todo esto hecho por técnicos especialistas en la marca y con las herramientas que recomienda la casa matriz.

Recursos necesarios: Todos los procedimientos deberán llevarse a cabo por personal especializado en las instalaciones del taller de la marca y con las herramientas recomendadas por la casa matriz para dichos arreglos.

Entrenamiento: Asegurar que todo el personal involucrado en la ejecución del plan de mantenimiento reciba el entrenamiento necesario para llevar a cabo sus funciones de manera efectiva y segura.

Comunicación: Establece canales de comunicación efectivos para informar sobre el progreso del plan de mantenimiento, compartir información relevante y facilitar la resolución de problemas de manera oportuna.

El presente plan de mantenimiento especializado ha sido diseñado con el objetivo de garantizar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia operativa de las ambulancias del distrito de Bogotá. Reconociendo los desafíos específicos que enfrentan estos vehículos, especialmente en lo que respecta al sistema de inyección de combustible y la gestión de emisiones. Se han establecido medidas preventivas clave para abordar los problemas recurrentes identificados en el análisis de causa raíz justificando la premisa de la prevención y el cuidado proactivo de los componentes críticos del sistema de propulsión de las ambulancias, con el fin de minimizar los tiempos de inactividad, optimizar el rendimiento y garantizar la disponibilidad ininterrumpida de estos vehículos vitales en situaciones de emergencia. Su implementación se alinea con las mejores prácticas de gestión de flotas y está respaldada por la experiencia y conocimientos técnicos necesarios para asegurar su eficacia y éxito a largo plazo.

A continuación, podremos encontrar los servicios a realizar para los vehículos de acuerdo al kilometraje que tenga el vehículo, habrá revisiones cada 5.000 Kilómetros en donde adicionalmente se sugiere una revisión preoperacional diaria en donde autónomamente los conductores deben revisar lo básico para iniciar la operación de un vehículo automotor. Se

recomienda también hacer limpieza en algunos componentes cada cierto kilometraje para contribuir con el cuidado al sistema de inyección y catálisis del vehículo.

Motor

1. Diario

- Aceite motor (SAE 15W40 Truck Gold): Revisar el nivel de aceite y asegurarse de que esté dentro del rango recomendado.

2. Rutina #1 cada 5,000 km

- Filtro de aire: Inspeccionar el filtro de aire para detectar suciedad o daño.
- Filtro de combustible Primario: Reemplazar el filtro para asegurar un flujo adecuado de combustible.
- Filtro de combustible Trampa: Reemplazar el filtro para evitar la entrada de contaminantes al sistema de inyección.
- Correas de accesorios: Inspeccionar las correas para detectar desgaste o tensiones incorrectas.
- Sistema catalizador: Inspeccionar el catalizador para asegurar que funcione correctamente.

- Válvula EGR: Inspeccionar la válvula para evitar acumulaciones que afecten el rendimiento del motor.

3. Rutina #2 cada 10,000 km

- Aceite motor (SAE 15W40 Truck Gold): Cambiar el aceite del motor para mantener una lubricación óptima.

- Filtro de aceite de motor: Cambiar el filtro de aceite para asegurar la limpieza del aceite del motor.

- Filtro de aire: Reemplazar el filtro de aire para mantener una buena entrada de aire limpio al motor.

- Filtro de combustible Primario: Reemplazar el filtro de combustible primario.

- Filtro de combustible Trampa: Reemplazar el filtro de combustible trampa.

- Correas de accesorios: Inspeccionar las correas nuevamente.

- Sistema catalizador: Limpiar el catalizador para evitar obstrucciones.

- Válvula EGR: Limpiar la válvula EGR.

4. Rutina #3 cada 30,000 km

- Aceite motor (SAE 15W40 Truck Gold): Cambiar el aceite del motor.

- Filtro de aceite de motor: Cambiar el filtro de aceite.
- Filtro de aire: Reemplazar el filtro de aire.
- Filtro de combustible Primario: Reemplazar el filtro de combustible primario.
- Filtro de combustible Trampa: Reemplazar el filtro de combustible trampa.
- Compresión motor: Realizar una prueba de compresión del motor para verificar su condición.
- Conductos de admisión: Limpiar los conductos de admisión para asegurar un flujo de aire adecuado.
- Freno de ahogo: Inspeccionar el freno de ahogo.
- Correas de accesorios: Inspeccionar las correas.
- Sistema catalizador: Inspeccionar el catalizador.
- Válvula EGR: Inspeccionar la válvula EGR.

5. Rutina #4 cada 50,000 km

- Aceite motor (SAE 15W40 Truck Gold): Cambiar el aceite del motor.
- Filtro de aceite de motor: Cambiar el filtro de aceite.
- Filtro de aire: Reemplazar el filtro de aire.

- Filtro de combustible Primario: Reemplazar el filtro de combustible primario.
- Filtro de combustible Trampa: Reemplazar el filtro de combustible trampa.
- Compresión motor: Realizar una prueba de compresión del motor.
- Calibrar válvulas ADM/ESC: Realizar la calibración de las válvulas de admisión y escape.

- Correas de accesorios: Inspeccionar las correas.
- Sistema catalizador: Inspeccionar el catalizador.
- Válvula EGR: Inspeccionar la válvula EGR.

6. Rutina #5 cada 100,000 km

- Aceite motor (SAE 15W40 Truck Gold): Cambiar el aceite del motor.
- Filtro de aceite de motor: Cambiar el filtro de aceite.
- Filtro de aire: Reemplazar el filtro de aire.
- Filtro de combustible Primario: Reemplazar el filtro de combustible primario.
- Filtro de combustible Trampa: Reemplazar el filtro de combustible trampa.
- Compresión motor: Realizar una prueba de compresión del motor.

- Calibrar válvulas ADM/ESC: Realizar la calibración de las válvulas de admisión y escape.
- Correas de accesorios: Inspeccionar las correas.
- Sistema catalizador: Inspeccionar el catalizador.
- Válvula EGR: Inspeccionar la válvula EGR.

En las siguientes tablas se organizarán las rutinas de mantenimiento para su rápida comprensión y aplicación.

En la tabla 6. abordaremos todos los mantenimientos relacionados con el Motor y sus accesorios

Tabla 6 – Plan de mantenimiento al motor

PLAN DE MANTENIMIENTO SUGERIDO PARA CHEVROLET NHR MOTOR 4HK1 CON USO DE AMBULANCIA						
INTERVALOS		RUTINA #1	RUTINA #2	RUTINA #3	RUTINA#4	RUTINA #5
MANTENIMIEN	DIARI	CADA	CADA	CADA	CADA	CADA
TO	A	5.000 KM	10.000 KM	30.000 KM	50.000 KM	100.000 KM
PREVENTIVO						
MOTOR						

Aceite motor (SAE 15W40 TRUCK GOLD)	REV. NIVEL	-	CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO
Filtro aceite de motor		-	CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO
Filtro de aire	INSPECCIÓN N		CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO
Filtro de combustible Primario		CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO
Filtro de combustible Trampa		CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO	CAMBIO
Compresión motor		-	-	-	REALIZAR	REALIZAR
Conductos de admisión		-	-	LIMPIEZA	-	-
Calibrar válvulas ADM/ESC		-	-	-	-	REALIZAR
Freno de ahogo		-	-	INSPECCIÓN N	-	-
Correas de accesorios		-	INSPECCIÓN N	INSPECCIÓN N	INSPECCIÓN N	INSPECCIÓN N

Soportes del motor	-	-	INSPECCIÓN N	-	-
Sistema catalizador	-	INSPECCIÓN N	LIMPIEZA	INSPECCIÓN N	INSPECCIÓN N
Válvula EGR	-	INSPECCIÓN N	LIMPIEZA	INSPECCIÓN N	INSPECCIÓN N

Fuente: Elaboración propia

Ahora se va a abordar el sistema de refrigeración, en la Tabla 7. Se muestran las rutinas de mantenimiento a sus respectivos kilometrajes

Tabla 7 Mantenimiento al sistema de refrigeración

PLAN DE MANTENIMIENTO SUGERIDO PARA CHEVROLET NHR MOTOR 4HK1 CON USO DE AMBULANCIA						
INTERVALOS		RUTINA	RUTINA	RUTINA#4	RUTINA	
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	DIARIA	#1 CADA	#2 CADA	#3 CADA	#5 CADA	
		5.000 KM	10.000 KM	30.000 KM	50.000 KM	100.000 KM
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN						

Líquido refrigerante	REV.	-	-	-	-	-
AcDelco	NIVEL	-	-	-	-	-
Mantenimiento y limpieza radiador		-	-	-	REALIZAR	REALIZAR
Tuberías y mangueras de refrigeración	REVISAR	-	-	-	-	-
Mangueras intercooler	REVISAR	-	-	-	-	-
Prueba de estanquidad		-	-	-	REVISAR	REVISAR

Fuente: Elaboración propia

El conjunto de transmisión de potencia llevará a cabo el mantenimiento que se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Mantenimiento al sistema de transmisión de potencia

PLAN DE MANTENIMIENTO SUGERIDO PARA CHEVROLET NHR MOTOR 4HK1 CON						
USO DE AMBULANCIA						
RUTINA						
INTERVALOS		#1	RUTINA	RUTINA #3	RUTINA#4	RUTINA
MANTENIMIENTO	DIARIA	CADA	#2 CADA	CADA	CADA	#5 CADA
PREVENTIVO		5.000	10.000 KM	30.000 KM	50.000 KM	100.000
		KM				KM
CONJUNTO TRANSMISIÓN Y CAJA DE VELOCIDADES						
Aceite caja de						
velocidades (SAE		-	-	CAMBIO	-	-
80W-90)						
Fugas de aceite	REVISAR	-	-	-	-	-
Soportes caja		-	REVISIÓN	REVISIÓN	REVISIÓN	REVISIÓN
Aceite de diferencial		-	-	CAMBIO	-	-
(SAE 85W-140)						
Rodamientos		-	-	ENGRASAR	-	CAMBIO

Fuente: Elaboración propia

Para el sistema de dirección y suspensión en la Tabla 9. Se especificará el mantenimiento que deben llevar sus componentes

Tabla 9. Mantenimiento al sistema de dirección y suspensión

PLAN DE MANTENIMIENTO SUGERIDO PARA CHEVROLET NHR MOTOR 4HK1 CON						
USO DE AMBULANCIA						
RUTINA						
INTERVALOS		#1	RUTINA	RUTINA	RUTINA#4	RUTINA
MANTENIMIENTO	DIARIA	CADA	#2 CADA	#3 CADA	CADA	#5 CADA
PREVENTIVO		5.000	10.000 KM	30.000 KM	50.000 KM	100.000
		KM				KM
SUSPENSIÓN DELANTERA Y TRASERA						
Suspensión en	REVISAR	-	-	-	-	-
general						
Torquear grapas y		-	-	REALIZAR	-	-
pasadores centrales						
Bujes y pasadores		-	REALIZAR	REALIZAR	REALIZAR	REALIZAR
muelles						
DIRECCIÓN						

Aceite sistema de la dirección (ATF-type III)	REV. NIVEL	-	-	-	CAMBIAR	CAMBIAR
Lubricar terminales y pasadores		-	REALIZAR	REALIZAR	REALIZAR	REALIZAR

Fuente: Elaboración propia

Para el sistema de frenos y combustible en la Tabla 9. se detalla el mantenimiento necesario para cuidar estos componentes y como adicional se tienen en cuenta más componentes que se deben revisar para tener todo en buenas condiciones para trabajar

Tabla 10. Mantenimiento al sistema de frenos y combustible

PLAN DE MANTENIMIENTO SUGERIDO PARA CHEVROLET NHR MOTOR 4HK1 CON USO DE AMBULANCIA						
INTERVALOS		RUTINA #1 CADA	RUTINA #2 CADA 10.000 KM	RUTINA #3 CADA 30.000 KM	RUTINA#4 CADA 50.000 KM	RUTINA #5 CADA 100.000 KM
FRENOS						
Bandas de freno delanteras	REVISAR	-	-	CAMBIO	-	-

Bandas de freno traseras	REVISAR	-	-	CAMBIO	-	-
Freno de estacionamiento	REVISAR	-	-	-	-	CAMBIO
Fugas del sistema neumático	REVISAR	-	-	-	-	-
Líquido de frenos (DOT-4)	REV. NIVEL	-	-	CAMBIO	-	-
SISTEMA DE COMBUSTIBLE						
Limpieza tanque de combustible		-	-	-	REALIZAR	REALIZAR
Limpiar inyectores (aditivo)		-	-	REALIZAR	-	-
Fugas de combustible	REVISAR	-	-	-	-	-
MÁS REVISIONES						
Profundidad llantas		-	REVISAR	-	-	-
Presión Inflado llantas	REV. NIVEL	-	-	-	-	-
Carga de la batería		-	REVISAR	REVISAR	REVISAR	REVISAR

Luces	REVISAR	-	-	-	-	-
Torque pernos	REVISAR	REVISAR	REVISAR	REVISAR	REVISAR	REVISAR

Fuente: Elaboración propia

Para la aplicación del plan de mantenimiento en la Tabla 11. Se establecieron las rutinas de mantenimiento para realizar cada 5.000 kilómetros de acuerdo a las necesidades y el desgaste presentado

Tabla 11 Plan de mantenimiento de 5.000 a 500.000 kilómetros

PLAN DE MANTENIMIENTO POOR KILOMETRAJE PARA CHEVROLET NHR CON USO DE AMBULANCIA			
Kilometraje	Rutina de mantenimiento	Kilometraje	Rutina de mantenimiento
5.000	Rutina #1	255.000	Rutina #1
10.000	Rutina # 2	260.000	Rutina #2
15.000	Rutina #1	265.000	Rutina #1
20.000	Rutina # 2	270.000	Rutina # 3
25.000	Rutina #1	275.000	Rutina #1
30.000	Rutina # 3	280.000	Rutina #2
35.000	Rutina #1	285.000	Rutina #1
40.000	Rutina #2	290.000	Rutina #2
45.000	Rutina #1	295.000	Rutina #1
50.000	Rutina #4	300.000	Rutina #5

55.000	Rutina #1	305.000	Rutina #1
60.000	Rutina # 3	310.000	Rutina #2
65.000	Rutina #1	315.000	Rutina #1
70.000	Rutina # 2	320.000	Rutina #2
75.000	Rutina #1	325.000	Rutina #1
80.000	Rutina # 2	330.000	Rutina # 3
85.000	Rutina #1	335.000	Rutina #1
90.000	Rutina # 3	340.000	Rutina #2
95.000	Rutina #1	345.000	Rutina #1
100.000	Rutina #5	350.000	Rutina #4
105.000	Rutina #1	355.000	Rutina #1
110.000	Rutina #2	360.000	Rutina # 3
115.000	Rutina #1	365.000	Rutina #1
120.000	Rutina # 3	370.000	Rutina #2
125.000	Rutina #1	375.000	Rutina #1
130.000	Rutina #2	380.000	Rutina #2
135.000	Rutina #1	385.000	Rutina #1
140.000	Rutina #2	390.000	Rutina # 3
145.000	Rutina #1	395.000	Rutina #1
150.000	Rutina #4	400.000	Rutina #5
155.000	Rutina #1	405.000	Rutina #1
160.000	Rutina #2	410.000	Rutina #2
165.000	Rutina #1	415.000	Rutina #1

170.000	Rutina #2	420.000	Rutina # 3
175.000	Rutina #1	425.000	Rutina #1
180.000	Rutina # 3	430.000	Rutina #2
185.000	Rutina #1	435.000	Rutina #1
190.000	Rutina #2	440.000	Rutina #2
195.000	Rutina #1	445.000	Rutina #1
200.000	Rutina #5	450.000	Rutina #4
205.000	Rutina #1	455.000	Rutina #1
210.000	Rutina # 3	460.000	Rutina #2
215.000	Rutina #1	465.000	Rutina #1
220.000	Rutina #2	470.000	Rutina #2
225.000	Rutina #1	475.000	Rutina #1
230.000	Rutina #2	480.000	Rutina # 3
235.000	Rutina #1	485.000	Rutina #1
240.000	Rutina # 3	490.000	Rutina #2
245.000	Rutina #1	495.000	Rutina #1
250.000	Rutina #4	500.000	Rutina #5

Fuente: Elaboración propia

3 Conclusiones

La combinación del diagrama de Ishikawa y el diagrama de Pareto ha proporcionado una visión integral de los problemas de funcionamiento de las ambulancias en el Distrito de Bogotá relacionados con el plan de mantenimiento preventivo actual. Mediante el análisis detallado de las causas raíz identificadas en el diagrama de Ishikawa y la priorización de estas causas mediante el diagrama de Pareto, se ha logrado identificar las principales áreas de mejora necesarias para abordar eficazmente los desafíos existentes.

El plan de mantenimiento propuesto se ha diseñado teniendo en cuenta las principales causas de los problemas de funcionamiento de las ambulancias, especialmente la obstrucción temprana de los filtros de combustible y la acumulación de suciedad en la válvula EGR y el catalizador. Este plan propone ajustes en los intervalos de mantenimiento y la implementación de acciones específicas, como el cambio más frecuente de los filtros de combustible y la limpieza regular de la válvula EGR y el catalizador, para mitigar estos problemas.

Al priorizar las acciones de mantenimiento preventivo en función de su impacto potencial, el plan propuesto busca maximizar la disponibilidad operativa de las ambulancias y minimizar los tiempos muertos en taller, lo cual es crucial para garantizar una respuesta efectiva a las emergencias médicas. Además, se espera que estas medidas conduzcan a una reducción significativa de los costos asociados con las reparaciones no planificadas y la pérdida de potencia del motor.

Referencias Bibliográficas

- Achillas, C., Aidonis, D., Vlachokostas, C., Moussiopoulos, N., & Iakovou, E. (2019). Assessing the environmental performance of preventive maintenance activities in road infrastructure assets. *Journal of Cleaner Production*, 208, 773-784.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.134>
- Congreso de la República de Colombia. (2002). Ley 769 de 2002, Código Nacional de Tránsito Terrestre. Recuperado de
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=6113>
- Dhillon, B. S. (2016). *Engineering maintenance: A modern approach*. CRC Press.
- Gobierno de Colombia. (2019). Resolución 2269 de 2019: Por la cual se modifica el título VI de la Resolución 2003 de 2014, y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Salud y Protección Social.
- Gupta, R., Kumar, V., & Soni, S. (2018). Recent advancements in fuel injection system of diesel engine: A review. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 8(5), 869-878. <https://doi.org/10.24247/ijmperdoct2018103>
- Hendricks, J. (2017). *Emergency vehicle safety initiative*. National Highway Traffic Safety Administration.

- Mehta, H., & Shah, J. (2019). A review on effect of engine idling. *Materials Today: Proceedings*, 18, 3816-3820. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.373>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. (2008). Resolución No. 910 de 2008. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/Resoluciones/res_0910_2008.pdf
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2012). Resolución No. 1341 de 2012. Recuperado de <http://www.mintransporte.gov.co/publicaciones.php?id=43144>
- Rosen, P. (2018). *Emergency medical services*. Jones & Bartlett Learning.
- Wong, A., Arulsevan, A., Kwon, R., & Lejeune, M. A. (2020). Optimization of ambulance fleet utilization and deployment. *Computers & Operations Research*, 118, 105141. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105141>