

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo mediante la técnica FMEA para minimizar las fallas en el sistema postratamiento de Reducción Catalítica Selectiva (SCR-DEF) en vehículos Diesel

Edwin Jhoan Russi Laiton

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Cesar Leonel Garzón Arenas

Ing. Mecánico especialista en Gerencia de Mantenimiento

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá

2023

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Dedicatoria

A Dios, por haberme permitido culminar esta nueva etapa de mi vida manteniendo la salud y la sabiduría.

A mis padres María Lucila Laiton y José Ancizar Russi, quienes son la luz en mi camino y mi ejemplo a seguir en la vida.

A mis hermanos Tito, Marcella, Alexa y Greys, que me han demostrado su apoyo incondicional y de quienes continúo aprendiendo.

A mis padrinos Clara Sarmiento y Sergio Rodríguez, que son mis segundos padres y de quienes he aprendido el valor de la unión familiar.

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a:

Al ingeniero Cesar Leonel Garzón por su colaboración y asesoría como director de este proyecto y por su amistad.

A Navitrans por brindar la oportunidad de aprender en sus instalaciones y el conocimiento aportado para llevar a cabo la investigación.

A John Colmenares por ser un apoyo fundamental en la elaboración de este proyecto, siendo mi mano derecha en todos los aspectos y un excelente compañero de vida.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Tabla de Contenido

Introducción	13
1. Objetivos	16
1.1 Objetivo General	16
1.2. Objetivos específicos	16
2. Descripción del Problema	16
2.1 Planteamiento del Problema	16
3. Justificación	17
4. Marco Referencial.....	18
4.1 Marco Teórico.....	18
4.1.1 Emisiones Contaminantes	19
4.1.2 Sistema de Reducción Catalítica Selectiva	20
4.1.3 Componentes del SCR	21
4.2 Marco Conceptual.....	22
4.2.1 Mantenimiento Correctivo	22
4.2.2 Mantenimiento Preventivo.....	22
4.2.3 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad-RCM	23
4.2.4 Análisis de Modos y Efectos de Falla-FMEA	23
4.2.5 SCR-DEF	23

	5
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF	
4.2.6 Óxidos de Nitrógeno	24
4.3 Marco Legal	24
5. Metodología	25
5.1 Fases de la Investigación	25
6. Recopilación y Análisis de Información.....	25
6.1 Estudio de Equipos	25
6.2 Partes y Funcionamiento del Sistema SCR-DEF.....	27
6.3 Identificación de Fallas	29
6.4 Análisis de Causa Raíz.....	33
6.4.1 Análisis Árbol de Fallas.....	36
6.5 Análisis de Modo y Efectos de Falla (FMEA).....	38
6.6 Plan de Mantenimiento Preventivo.....	46
7. Conclusiones.....	50
Referencias Bibliográficas	52
Apéndices.....	57

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Lista de Tablas

Tabla 1. Evolución SCR según norma Euro	26
Tabla 2. Evolución SCR según norma Epa	26
Tabla 3. Componentes del sistema postratamiento scr-def	27
Tabla 4. Fallas más presentadas y la manera en que afectan el sistema scr-def de los vehículos diesel.	31
Tabla 5. Falla perdida de potencia en el motor	34
Tabla 6. Hipótesis de causas de falla	35
Tabla 7. Implementación fmea	39
Tabla 8. Valores de NPR según su clasificación	44
Tabla 9. Plan de mantenimiento preventivo	47

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Lista de Figuras

Figura 1. Funcionamiento de la tecnología SCR	13
Figura 2 Fundamentos de la reducción del SCR	20
Figura 3. Estructura del sistema de postratamiento Euro IV / V.	29
Figura 4. Árbol de fallas	37

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Lista de Graficas

Gráfica 1. Rango de Operación Motor ISM11 EURO IV / EURO V	30
Grafica 2. Valores Iniciales Y Finales De Número De Prioridad De Riesgo (NPR)	43

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Lista de apéndices

Apéndice A. FMEA 57

Apéndice B. Plan de Mantenimiento Preventivo 58

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Glosario

Catalizador: Componente dotado con elementos químicos que aceleran o ralentizan una reacción química en los productos que entran en contacto con su cuerpo.

Ciclo Diesel: Proceso de combustión utilizado en motores, donde por medio de compresión se obtiene energía a través de la quema de Aceite Combustible para Motor (ACPM).

ECM: El módulo de control electrónico es un dispositivo utilizado para controlar las diferentes funciones de los sistemas que incorpora un vehículo, especialmente, el motor de combustión interna.

Gases de Escape: Sustancias en forma de gas provenientes como residuos de una reacción química por combustión entre un comburente, calor y combustible dentro de una cámara de motor.

Inyector: Pieza encargada de suministrar un líquido de manera de nebulización en un proceso específico.

Motor de Combustión: Máquina que realiza un trabajo térmico, liberando energía con la quema de un combustible de manera controlada.

Potencia: Es una cantidad de trabajo que un motor de combustión interna puede ejercer en cierta cantidad de tiempo.

Sensor: Es un dispositivo que produce un cambio mecánico o eléctrico ante un estímulo del medio en donde se encuentre.

Urea Automotriz: También conocida como AdBlue o AUS32, es una solución líquida con una concentración de 32.5% de urea pura y 67.5% de agua purificada, utilizada para la reducción de emisiones NOx atrayéndolos en un catalizador SCR y convirtiéndose en amoníaco.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Resumen

Con la presente investigación se busca desarrollar un plan de mantenimiento preventivo mediante la técnica FMEA para minimizar las fallas en el sistema postratamiento de Reducción Catalítica Selectiva (SCR-DEF) en vehículos Diesel, partiendo de que el SCR es la principal tecnología postratamiento implementada para reducir los niveles de óxidos de nitrógeno (NOx) emitidos por motores ciclo Diesel y que son perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente, por consiguiente, la aplicación de la técnica FMEA se ha convertido en una actividad obligatoria para garantizar la probabilidad de que un sistema cumpla su función adecuadamente haciendo una detección temprana de fallas potenciales para su mitigación, por ende, el objetivo de esta investigación radica en realizar una identificación de las fallas que más se presentan, sus causas y la manera en que afectan el sistema.

Por lo anterior, dentro de las fallas más presentadas son las siguientes: filtro de la unidad dosificadora saturado, unidad dosificadora con pérdida de cebado, conductos de urea obstruidos, inyector de urea con obstrucción en la boquilla, presencia de corrosión en filtro de aire y el sensor NOx no envía señal, cuyas causas radican en la baja calidad y mantenimiento inadecuado de la urea, procedimientos de mantenimiento inadecuado, falla eléctrica del motor, cables tensionados, entre otros, arraigando consigo como mayor consecuencia la pérdida de potencia del motor.

Palabras Clave: Mantenimiento Preventivo, FMEA, Fallas, Causa Raíz, urea, Sistema Catalítico Selectivo.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Abstract

The present investigation seeks to develop a preventive maintenance plan through the FMEA technique to minimize failures in the Selective Catalytic Reduction (SCR-DEF) post-treatment system in Diesel vehicles, based on the fact that SCR is the main post-treatment technology implemented to reduce levels of nitrogen oxides (NO_x) emitted by Diesel cycle engines and that are harmful to human health and the environment, therefore, the application of the FMEA technique has become a mandatory activity to guarantee the probability that a system fulfills its function adequately by making an early detection of potential failures for its mitigation, therefore, the objective of this investigation lies in identifying the failures that occur the most, their causes and the way in which they affect the system.

Therefore, among the most frequent failures are the following: saturated dosing unit filter, dosing unit with loss of prime, clogged urea ducts, urea injector with nozzle obstruction, presence of corrosion in the air filter and the NO_x sensor does not send a signal, the causes of which lie in the low quality and inadequate maintenance of the urea, inadequate maintenance procedures, electrical failure of the motor, tensioned cables, among others, taking root with it as a greater consequence the loss of engine power.

Keywords: Preventive Maintenance, FMEA, Failures, Root Cause, urea, Selective Catalytic System.

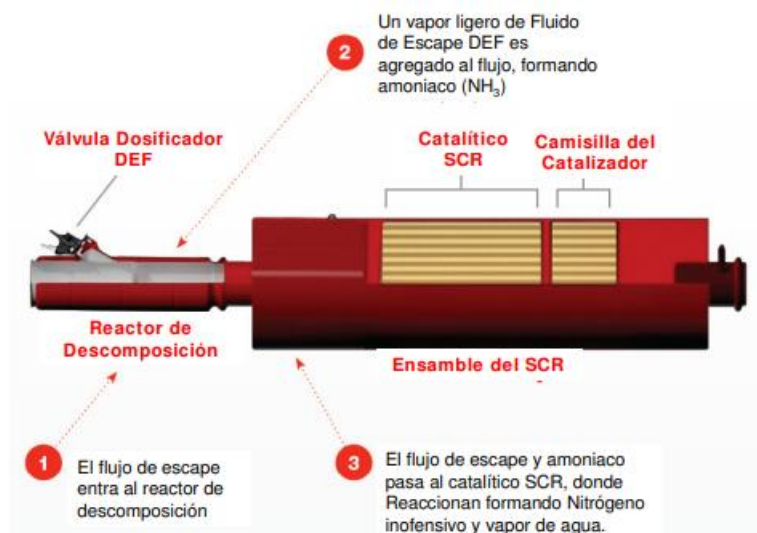
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Introducción

El Sistema de Reducción Catalítica Selectiva (SCR) es la principal tecnología postratamiento implementada para reducir los niveles de óxidos de nitrógeno (NOx) emitidos por motores ciclo Diesel, estos gases residuales son perjudiciales para la salud humana y causan daños al medio ambiente. El SCR para su funcionamiento utiliza un fluido de escape Diesel (DEF) conocido como urea automotriz o bajo sus marcas registradas AdBlue, AUS32 o ARLA 32 que se inyecta a través de pequeñas cantidades en un convertidor catalítico por donde pasa un flujo caliente de gases de escape caliente, donde la urea, a través de una vaporización y una descomposición, forman amoníaco (NH_3) y dióxido de carbono, donde el primero, con ayuda de catalizador SCR transforma óxidos de nitrógeno (NO_x) en Nitrógeno (N_2) y agua (H_2O).

Figura 1

Funcionamiento de la Tecnología SCR



Fuente: Cummins Emission solutions (2009). Fluido para Sistemas de Escape a Diesel (DEF).

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Para controlar las emisiones NOx los países se adhieren a los parámetros estipulados internacionalmente bajo normas como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y las normas europeas sobre emisiones contaminantes (EURO), estas normas exigen a los fabricantes de vehículos con motores Diesel cumplir con unas cantidades máximas permisibles, pero en caso de que el SCR falle, los fabricantes deben incorporar un sistema de autodiagnóstico a bordo (ADB) que envía datos al módulo electrónico de control (EMC) con el fin de reducir la inyección en el motor causando pérdidas de potencia, velocidad, incrementando los tiempos en las rutas y disminución del rendimiento kilometro/galón ACPM, esto impacta inicialmente al medio ambiente ya que no se cumple el control de NOx y a su vez genera un incremento de costos directos en los transportadores.

Por consiguiente, con el fin de reducir las fallas relacionadas con el SCR se aplica la técnica FMEA para garantizar la probabilidad de que un sistema cumpla su función adecuadamente, y de esta forma, hacer una detección temprana de fallas potenciales para su mitigación (Sabando y Tuyupanda, 2022), y de esta manera, promover la reducción tiempos de ciclo, mejorando la eficiencia de los sistemas de distribución. Una implementación adecuada de esta herramienta proporciona una visión útil para la identificación de los modos de falla basados en información y experiencia de procesos similares, y de esta manera, erradicar errores con los recursos disponibles (Sang et al, 2018), debido a que este instrumento es relevante para visualizar los indicadores críticos en los procesos de calidad, y su implementación tiene un alto potencial económico para las organizaciones.

Por otro lado, es indispensable resaltar que el DEF es el reactivo para la funcionalidad del sistema SCR, debido a que este sistema de alta presión consta de tres componentes principales: el reactor, el vaporizador y la unidad de dosificación. (HHI & MAN-B&W, 2020, Citado en Baña,

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

2021), donde el agente reductor se inyecta en el vaporizador a través del sistema de dosificación, y se mezcla con los gases de escape antes de ser dirigido al reactor para su reducción.

Por lo anteriormente expuesto, se hace necesario el diseño de un plan de mantenimiento preventivo mediante la técnica FMEA para minimizar las fallas en el sistema postratamiento de reducción catalítica selectiva (SCR-DEF) en vehículos Diesel, a través de la identificación de fallas comunes y la manera en que afectan el sistema de los vehículos, y de esta forma, dar respuesta a los objetivos inicialmente planteados.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

1. Objetivos

1.1.Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo mediante la técnica FMEA para minimizar las fallas en el sistema postratamiento de reducción catalítica selectiva (SCR-DEF) en vehículos Diesel

1.2.Objetivos específicos

Identificar las fallas que más se presentan y la manera en que afectan el sistema SCR-DEF de los vehículos Diesel.

Determinar las causas que generan las fallas en el sistema SCR-DEF afectando la adecuada operación de sus partes, mediante un análisis de causa raíz.

Establecer un plan de mantenimiento preventivo mitigando las fallas en el sistema SCR-DEF.

2. Descripción del Problema

2.1.Planteamiento del Problema

La implementación de nuevas tecnologías que permitan disminuir las emisiones contaminantes de los motores Diesel utilizados por vehículos de transporte de carga en el país son de vital importancia para frenar el impacto en el medio ambiente. El sistema de reducción catalítica selectiva (SCR-DEF) utiliza una unidad de dosificación de urea automotriz como principal agente reactivo, siendo de interés debido a la pérdida de calidad de este fluido al ser manipulado. El SCR-DEF ha presentado fallas en su operación, lo que impacta directamente el rendimiento del motor y con ello aumento en los tiempos de ruta de los vehículos, causando demoras en las entregas, afectación de la carga, disminución del rendimiento promedio de combustible Diesel vs distancia

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

recorrida y en altos costos de combustible debido a un aumento significativo en el consumo. Asimismo, el sistema no cumple con su objetivo principal, el cual es disminuir la emisión de óxidos de nitrógeno NOx al medio ambiente. Por esta razón, es de gran importancia realizar un mantenimiento adecuado a los componentes del SCR-DEF, identificando las causas de las fallas con el fin de controlar el impacto económico y ambiental.

3. Justificación

En Colombia, el transporte terrestre es considerado como uno de los principales medios de desplazamiento de carga, contribuyendo de manera fundamental en el desarrollo y crecimiento económico del país. Así pues, estos sistemas utilizan en su gran mayoría motores de ciclo Diesel para su operación, sin embargo, estos motores influyen de manera negativa en el medio ambiente debido a las emisiones contaminantes producidas durante sus recorridos.

Por lo anterior, los fabricantes de motores ciclo Diesel, vigilados por organismos de control ambiental internacional como la Agencia de Protección Ambiental EPA (Environmental Protection Agency), han desarrollado e implementado un mecanismo que ayuda a disminuir estas emisiones contaminantes. Este sistema denominado post-tratamiento de SCR se instala en el vehículo y se asocia con el catalizador, el cual recibe los gases provenientes de la combustión del motor para realizar un proceso químico que reduce las cantidades de óxidos de nitrógeno NOx.

En el proceso se inyecta dentro del catalizador un fluido para sistemas de escape Diesel DEF conocido como urea automotriz, que a nivel internacional es la marca registrada AdBlue, el cual es el agente reactivo encargado del proceso. El SCR envía señales de control y monitoreo de las emisiones salientes del catalizador al módulo de control electrónico del motor Diesel ECM

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

(Electronic Control Module) y con ello se controla la dosificación de ACPM en el sistema de inyección del motor.

En ese orden, es relevante destacar que la urea automotriz no se produce Colombia, es importada con una certificación bajo las normas ISO 22241 y DIN 70700, con estrictos requerimientos en su concentración. Esta es la base de esta monografía, debido a que la baja calidad de la urea se ve afectada ya sea por manipulación o por que los tiempos de almacenamiento causan que sus propiedades cambien (ISO 22241, 2019; Fischer et al, 2014). Esto causa fallas en el SCR-DEF y con ello pérdidas en la potencia del motor, la cual ha sido reportada por los operarios, lo que conlleva a un aumento significativo en los tiempos de ruta, disminución del promedio en rendimiento combustible vs distancia recorrida y con ello costos en ACPM.

4. Marco Referencial

4.1.Marco Teórico

En términos de productividad y sostenibilidad, el mantenimiento aplicado en cualquiera de sus tipos o metodologías constituye una base fundamental para la correcta operación y disponibilidad de los activos en las compañías que deseen ser competitivas independiente de los productos o servicios que ofrezcan. De este modo el mantenimiento es primordial en los vehículos Diesel de transporte de carga debido a la cantidad de subsistemas que los componen (motor, frenos, suspensión, tren motriz). Para el caso de los sistemas de control de emisiones contaminantes cuya función es garantizar que los residuos de la combustión que se liberan a la atmósfera sean amigables con el medio ambiente, el mantenimiento es incluido por los fabricantes desde el diseño de los elementos o piezas que los conforman, establecido en rutinas que dependen de los tiempos o ciclos de operación.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Para los sistemas de reducción catalítica selectiva SCR con aditivo DEF, (urea automotriz, AdBlue), un procedimiento de mantenimiento debe identificar los modos y efectos de falla que se presentan por distintos factores y como prevenirlos (Flores y Toapanta, 2018). En este trabajo se analizará cada componente del sistema identificando como deje de realizar su función y si las fallas están vinculadas, así se podrá establecer un plan de atención rápida para posibles sucesos y las acciones a realizar para que no se vuelvan a presentar.

4.1.1. Emisiones Contaminantes

Para nadie es un secreto el impacto negativo que han tenido los gases contaminantes en el bienestar de la población por la contaminación del medio ambiente, lo que conlleva a hacer una amenaza de la salud pública, debido a la infinidad de infecciones que han sido causadas a los individuos, debido a que esta aumenta el riesgo de infecciones respiratorias, afecciones cardíacas, cáncer de tipo pulmonar y derrames cerebrales. Desde el punto de vista medioambiental la emisión de estos gases contribuye a la lluvia ácida, al deterioro de la capa de ozono estratosférico y a la generación de smog fotoquímico, es decir, contaminación del aire. Cerca del 80% de las emisiones de óxidos de nitrógeno son en forma de NO, que a su vez se convierte lentamente a NO₂, mediante oxidación fotoquímica o debido a la acción de radicales peróxidos o de oxidantes atmosféricos como el ozono (Rondón, et al, 2019).

En ese orden, en el caso de los motores tipo Diesel, estos tienen como finalidad principal la transformación de la energía química en energía mecánica y térmica, a través de una combustión en el interior de la cámara del pistón de un motor, generando una reacción química de oxidorreducción, en la que unos compuestos se oxidan y otros se reducen, y de esta forma, controlar la emisión de gases contaminantes producidos por los motores.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

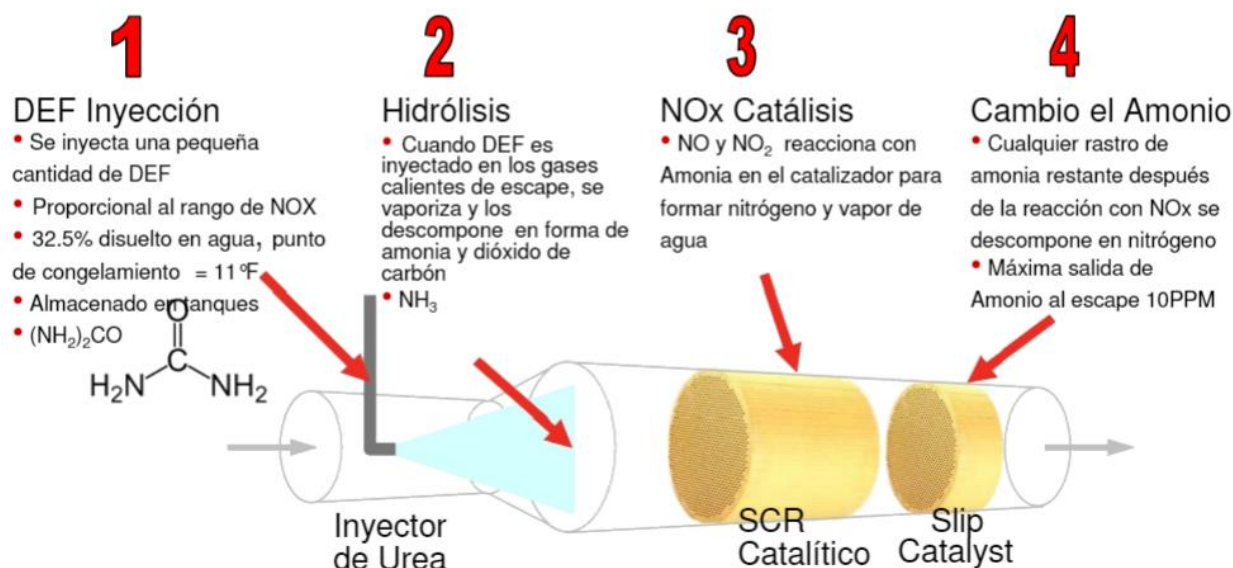
Por lo anterior, nace la importancia del desarrollo de estrategias de reducción de gases contaminantes que son catalogadas como activas y pasivas, la primera se refiere a las medidas que se realizan sobre el origen de la fuente del contaminante, por lo que están directamente relacionadas al diseño del motor y sus componentes; y la segunda son sistemas que van situados a la salida del motor y realizan tratamientos químicos a los gases de escape (Payri y Desantes, 2011).

4.1.2. Sistema de Reducción Catalítica Selectiva

Cummins, (2009), en su revista señala que el objetivo del sistema SCR es minimizar los niveles de NOx que son perjudiciales para la salud y el medio ambiente, partiendo de que es un método de postratamiento para los gases de escape del motor a través de una mínima cantidad de urea y agua que es inyectada en el sistema de escape, donde a través de una reacción química, se produce una eliminación de gases de hasta el 90%, por ende, en la figura 2, se evidencia los fundamentos de la reducción del SCR y la manera en que actúa.

Figura 2

Fundamentos de la reducción del SCR



PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Fuente: Cummins Emission solutions (2016). Reducción Catalítica Selectiva (SCR) y Fluido Diesel de Escape (DEF).

En ese orden de ideas, la principal característica del proceso SCR es el la inyección del DEF para reaccionar con los NO_x, pero no con el exceso de oxígeno de los gases de escape proveniente de los motores de combustión (Ortiz y Gil, 2018), cuyo fin radica convertir los NO_x contaminantes a un gas no nocivo N₂ mediante un SCR con NH₃ como agente reductor, sin embargo, en este proceso, la reducción de NO_x se lleva a cabo mediante la incorporación de amoníaco en la corriente gaseosa de salida que contiene NO y O₂, debido a que en este proceso se introduce amoníaco (Lloyd, 2011).

Por lo anterior, y con respecto a la disminución de NO_x con catalizadores de almacenamiento y reducción, se crea un método catalítico con posibles aplicaciones en la reducción de contaminantes de los gases de escape de los automóviles, desarrollado en el año de 1994, por la compañía Toyota y funciona de acuerdo a dos etapas relacionadas con el motor: en la primera, el motor trabaja con una relación combustible-aire en la cual el aire se encuentra en exceso: y en la segunda, el motor trabaja con una relación rica en combustible (Ramírez, 2017), no obstante, las dos etapas se alternan por periodos, donde el mayor tiempo de ejecución le corresponde a la etapa con exceso de aire, es decir, la primera.

4.1.3. Componentes del SCR

En las instalaciones del SCR ya sea de alta o de baja presión, se ven reflejados los componentes más importantes de este sistema, evidenciando los siguientes:

Reactor SCR: Lugar en donde se lleva a cabo la reducción de los NO_x en nitrógeno y agua, promoviendo una reducción resistencia al flujo de gases.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Sistema de soplado de hollín: Proceso llevado a cabo para evitar la contaminación de los elementos del reactor.

Sistema de dosificación externo: Proporciona el agente reductor en base a la señal de demanda de dosificación proporcionada por el sistema de control.

Unidad de control de sensores SCR (sensores de NOX): Los sensores miden la concentración de NOx después del reactor SCR y el turbocompresor, para asegurar la correcta dosificación de agente reductor.

4.2.Marco Conceptual

4.2.1. Mantenimiento Correctivo

Consiste en una serie de actividades en las que un equipo es intervenido cuando ha presentado una falla en su condición normal de operación afectando el proceso, arraigando consigo que el activo no realice la tarea para la cual fue diseñado.

4.2.2. Mantenimiento Preventivo

Es un sistema de Mantenimiento cuyo fin radica en prevenir la ocurrencia de fallas en un sistema productivo, con base a la observación, inspección, calibración, ajuste, cambio, lubricación y reparación a unas frecuencias predeterminadas, que se asocian a cada ciclo productivo en particular. La ejecución de las tareas básicas puede indicar la necesidad de realizar tareas programadas adicionales (Montilla, 2016), con el fin de aumentar la confiabilidad de las máquinas y/o equipos, operando en mejores condiciones de seguridad y conociendo su estado y sus condiciones de funcionamiento actuales.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

4.2.3. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad-RCM

Mantenimiento centrado en confiabilidad es una metodología que permite establecer el plan de mantenimiento idóneo, y que conlleva a mejorar la eficiencia y efectividad requeridas en la disponibilidad de los activos de la organización, y está dirigido al mejoramiento de la seguridad, la disponibilidad y la economía del proceso (IEC 60300, 2003).

4.2.4. Análisis de Modos y Efectos de Falla-FMEA

El análisis de modos y efectos de falla es una estrategia que contempla todas las posibilidades de falla de determinado equipo, partiendo desde el modo como se presentan y el efecto que generan. Así se puede hacer un análisis de la relevancia de cada falencia y determinar cuáles son los modos de falla críticos que requieren una intervención o tarea de mantenimiento, y en el peor de los casos, un rediseño inmediato (Ortiz, 2017), por ende, en el análisis de fallos, tanto los que han ocurrido como los que no, se debe desarrollar a través de un Mantenimiento basado en Fiabilidad (RCM), partiendo de que como estilo de gestión de mantenimiento, se basa en el estudio de los equipos, en análisis de los modos de fallo y en la aplicación de herramientas estadísticas y tecnológicas de detección, es decir, es una filosofía de mantenimiento regida básicamente a través de la tecnología.

4.2.5. SCR-DEF

Un sistema de postratamiento de reducción catalítica selectiva con inyección de fluido para sistemas de escape DEF es una tecnología que utiliza urea automotriz (AdBlue) y un convertidor catalítico para reducir las emisiones NO_x, y de esta forma, cumplir con los parámetros y regulaciones establecidas para el control de las mismas. El propósito del sistema SCR es reducir los niveles de NO_x que son dañinos para la salud y el medio ambiente, tratando los gases de salida del motor, donde a través de pequeñas cantidades de DEF son inyectadas al flujo caliente de los

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

gases de escape, donde se vaporiza y se descompone formando amoníaco y dióxido de carbono (Flores y Toapanta, 2018).

4.2.6. Óxidos de Nitrógeno

Los NO_x se refieren a formaciones químicas conformadas por Oxígeno y Nitrógeno, estas se presentan en partículas como NO, NO₂, NO₃, entre otros, no obstante, los más comunes presentes en la atmosfera son el NO y el NO₂.

4.3.Marco Legal

En Colombia ya existe una ley que estable los requerimientos que deben cumplir los vehículos de carga con motores Diesel para regular las emisiones contaminantes, esta se apoya en las leyes y normas internacionales que desde hace tiempo han estructurado estrictos procedimientos, se nombran a continuación:

Ley 1972 de 2019, se establece que, para el combustible diésel, a partir del 1° de enero de 2023, el contenido de azufre en el ACPM se permitirá entre 15 y 10 partes por millón (ppm), y desde el 1° de enero de 2025 estos niveles no podrán superar las 10 ppm en Colombia.

Normas EURO, son aquellas en las que se establecen límites para las emisiones de gases contaminantes que se generan por el uso de vehículos. Estos límites son determinados por la Unión Europea y se ajustan frecuentemente.

Norma EPA 10 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos exigen que todos los combustibles y aditivos de los combustibles que se producen importan y venden en los Estados Unidos cumplan estándares específicos.

5. Metodología

5.1.Fases de la Investigación

- 5.1.1. Estudio de equipos: En esta etapa se obtendrá información y comprensión de los sistemas SCR-DEF utilizados en los vehículos de Diesel carga pesada del territorio nacional, sus referencias, partes, funcionamiento y cómo influyen en la operación del motor.
- 5.1.2. Identificación de fallas: Determinar las fallas frecuentes o características del sistema, obtener evidencia de las mismas y como se realiza la identificación de las mismas en el sistema SCR-DEF.
- 5.1.3. Implementación técnica FMEA: creación de la plantilla FMEA según la ISO 14224, delimitando el sistema, separación de los subsistemas, planteamiento del modo de falla y su efecto para cada hipótesis planteada con un sistema de respuesta.
- 5.1.4. Desarrollo de rutinas: Generar los procedimientos de mantenimiento con los resultados del FMEA en un plan preventivo y también con acciones de respuesta correctivas según lo identificado.

6. Recopilación y Análisis de Información

6.1.Estudio de Equipos

En la actualidad, los equipos desarrollados bajo el sistema SCR han evolucionado de acuerdo a las normativas internacionales, principalmente la Euro y la EPA, cuyo objetivo ha sido controlar la cantidad de emisión de partículas NOx al medio ambiente, producidas por los vehículos dotados con motores Diesel. Por consiguiente, en las tablas 1 y 2 se definen la evolución de tales sistemas con relación a la norma.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Tabla 1*Evolución SCR según norma Euro*

Año	Norma	Emisión Permitida NOx (g/km)
1992	Euro I	$\leq 0,9$
1996	Euro II	$\leq 0,8$
2000	Euro III	$\leq 0,5$
2005	Euro IV	$\leq 0,25$
2009	Euro V (SCR)	$\leq 0,18$
2014	Euro VI (SCR)	$\leq 0,08$

Nota. La tabla 1 corresponde a la evolución de SCR según la norma Euro. Fuente: Cummins Emission solutions, (2012).

Tabla 2*Evolución SCR según norma EPA*

Norma EPA	Emisión Permitida NOx (g/kWh)
1991	$\leq 6,7$
1994	$\leq 6,7$
1998	$\leq 5,4$
2004	$\leq 2,7$
2007	$\leq 1,6$
2010	$\leq 0,27$

Nota. La tabla 2 corresponde a la evolución de SCR según la norma EPA. Fuente: LICAMEX (2021).





PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

6.2. Partes y Funcionamiento del Sistema SCR-DEF




Para dar cumplimiento a las emisiones máximas permitidas por las normas, el sistema SCR requiere de un fluido externo inyectado para que, de esta manera, la reacción química logre convertir los NOx en N₂ y H₂O, este fluido, patentado como Adblue, y más conocido en el territorio colombiano como urea automotriz, es el medio catalítico primordial para la ejecución del proceso, por ende, en la tabla 3 se evidencian las partes y funcionamientos de tal sistema.

Tabla 3

Componentes del sistema postratamiento SCR-DEF

Pieza	Función	Imagen
Filtro de urea	Remover las impurezas de la urea antes de ingresar a la unidad dosificadora	
Bomba dosificadora de urea	Alimenta al sistema con la cantidad necesaria de urea.	
Inyector de urea	Dosifica la medida exacta de urea en el momento requerido.	
Filtro de aire del SCR	Separar el aceite del aire del sistema.	

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Sensor NOx	Medir la concentración de óxidos nitrosos en los gases a la salida del SCR.	
Catalizador	Realizar la reacción catalítica formando nitrógeno inofensivo.	
Tanque de urea	Almacenar y suministrar urea al sistema.	

Nota. La tabla 3 corresponde a los componentes del Sistema Postratamiento SCR-DEF. Fuente: Elaboración propia.

En relación a la tabla 3, cabe destacar que el funcionamiento del sistema inicia con la llegada de los gases provenientes del escape del motor Diesel, los cuales son mezclados con una nube de urea a alta presión suministrada por el inyector con una presión constante dada por la bomba dosificadora y tomada anteriormente del tanque o deposito. Los gases mezclados con la urea ingresan al catalizador SCR, donde la temperatura genera una reacción química entre los gases NOx y el amoníaco del Adblue, en consecuencia, se produce a la salida del sistema nitrógeno no perjudicial para el medio ambiente ni humanos y si concentración es medida por el sensor NOx, y

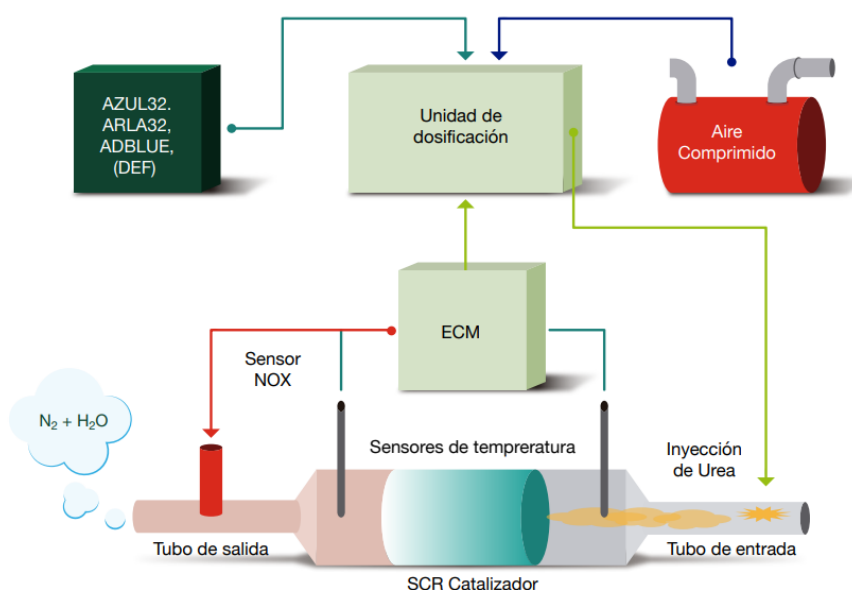
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

este a su vez, envía una señal al controlador de la bomba para indicar si se requiere mayor o menor cantidad de urea según se requiera.

Por lo anterior, adicional a esto, los datos obtenidos por el sensor NOx son monitoreados por el Engine Control Module (ECM), o en español, Modulo de Control Electrónico, cuyo fin radica en el control de la inyección de combustible en el motor Diesel. Esta función puede evidenciar con claridad en la figura 3.

Figura 3

Estructura del Sistema de Postratamiento Euro IV / V.



Fuente: Cummins Emission solutions (2023). Estructura del Sistema de Postratamiento Euro IV/V.

6.3. Identificación de Fallas

Desde un punto de vista general, la detección de fallas en vehículos Diesel es una de la estrategia más importante a la hora de prevenir costos asociados a los rendimientos de la máquina,

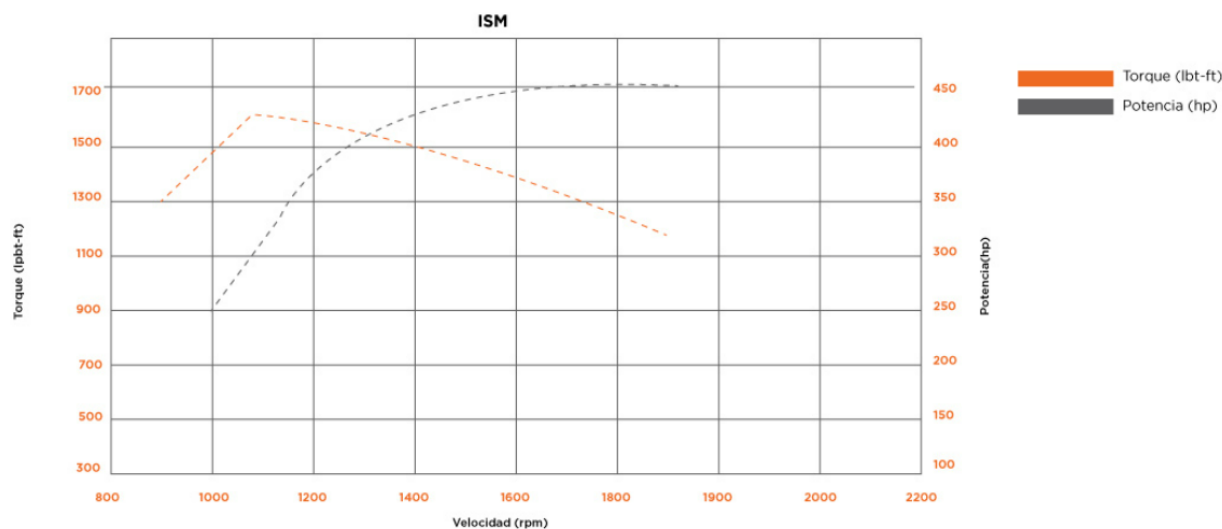
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

y es de allí en donde nace la relevancia de la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la mitigación de estos inconvenientes que pueden entorpecer los procesos.

Aunque el SCR-DEF ha sido de gran contribución para el control de emisiones NOx en los vehículos Diesel con buen desempeño en su trabajo, este no ha estado exento de presentar algunas fallas que alteran el rendimiento en general de la eficiencia del motor. Cuando el SCR-DEF presenta una falla y las concentraciones de emisiones no son controladas el sensor NOx que toma datos en la salida del reductor catalítico envía una señal al control electrónico del motor obligándolo a disminuir la inyección de combustible ACPM y con ello una disminución notable en el rendimiento de la maquina (caída de las RPM y reducción notable en el par motor), esto es evidenciado por el operario en una disminución considerable de la velocidad lo que aumenta el tiempo de viaje y eleva el consumo de combustible por kilómetro, por ende, en la gráfica 1 se evidencia el Rango de operación motor ISM11 EURO IV / EURO V.

Gráfica 1

Rango de operación motor ISM11 EPA98



PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF



Nota. La grafica 1 corresponde al rango de operación motor ISM11 EPA98. Fuente: Navistar (2023).

Como punto de referencia para una operación óptima, en la gráfica 1 se muestra el comportamiento en condiciones de trabajo normales para un motor de referencia cummins ISM; para este motor, se tiene un punto nominal de eficiencia a 1800 RPM de 1150 - 1550 (lb-ft) en torque, y 305 - 425 (HP) en rango de potencia, sin embargo, resaltar que cuando el sistema SCR entra en falla, el vehículo presentara un 40% o más de reducción de torque de motor, siendo progresivo en un rango del 1% por minuto, limitando la velocidad vehicular a 8 km/h.

Por lo anterior, en la tabla 4 se muestran las fallas más comunes y la manera en que afectan el sistema SCR-DEF de los vehículos Diesel, y de esta manera, dar respuesta a uno de los objetivos establecidos para la investigación.

Tabla 4

Fallas más presentadas y la manera en que afectan el sistema SCR-DEF de los vehículos Diesel.

Modo de falla	Efecto de falla y consecuencia	Ilustración
Filtro de la unidad dosificadora saturado	Bloqueo en el caudal de urea succión de la unidad dosificadora; pérdida de potencia motor; incremento de emisión NOx.	
Unidad dosificadora con pérdida de cebado	Disminución de presión en la línea de inyección; pérdida de potencia motor; incremento de emisión NOx.	

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Conductos de urea obstruidos	Disminución del flujo de urea en la línea de inyección; pérdida de potencia motor; incremento de emisión NOx.	
Inyector de urea con obstrucción en la boquilla	Bloqueo de aspersión de urea a los gases de escape; pérdida de potencia del motor; incremento de emisión NOx.	
Presencia de corrosión en filtro de aire	Disminución de la presión en línea de inyección; pérdida de potencia del motor; incremento de emisión NOx.	
Sensor NOx no envía señal	Presencia de código de falla; pérdida de potencia del motor.	
Panel del catalizador cristalizado	Retraso en el proceso catalítico; pérdida de potencia del motor; incremento de emisión NOx.	
Mala manipulación y almacenamiento de la urea	Urea cristalizada en toda la línea del sistema; pérdida de potencia del motor; incremento de emisión NOx.	

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Nota. La tabla 4 corresponde a las fallas más presentadas y la manera en que afectan el sistema SCR-DEF de los vehículos Diesel. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la tabla 4 cabe destacar que el buen funcionamiento del SCR-DEF depende de que cada uno de sus componentes realice la función para la cual fue diseñado con normalidad, pero hay que resaltar que cuando cualquiera de estos entra en falla la consecuencia siempre será la pérdida de potencia del motor. Es aquí donde se hace necesario la identificación de las principales fallas que se presentan en los componentes, el por qué se presentan y más importante como prevenirlas con el fin de adelantarse a su aparición lo que contribuye a la reducción de costos en la operación y mantenimiento del vehículo.

6.4. Análisis de Causa Raíz

El objetivo principal del mantenimiento radica en prolongar la vida útil de los activos, disminuyendo costos y asegurando la disponibilidad de los mismos, por consiguiente, es aquí donde nace la importancia de hacer un análisis acerca de cuáles son las causas que de una u otra manera retrasan los procesos. En ese orden, una de las estrategias más utilizadas para determinar las fallas en los sistemas que afectan la adecuada operación de los vehículos es el análisis de causa raíz, debido a que una herramienta utilizada para identificar las causas de la falla, y de esta forma, evitar sus consecuencias, partiendo de que es un proceso de razonamiento lógico que permite establecer las relaciones causa-efecto para el descubrimiento de un evento determinado, donde surgen preguntas relacionadas con el cómo es la forma que puede ocurrir una falla y porque o cuales son las causas de la misma (Altmann, 2006).

Por lo anterior, y para dar continuidad al proceso, en la tabla 5 se refleja el estudio del problema mediante la metodología 5W, para hacer una respectiva identificación de ideas, a partir

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

de distintas perspectivas y cuyo fin radica en comprender a profundidad las causas de las fallas más comunes que afectan al sistema.

Tabla 5

Falla perdida de potencia en el motor

Metodología 5W	
¿Que? ¿Qué hace evidente el problema? ¿En que se manifiesta el inconveniente?	Perdida de potencia en el motor, incremento del tiempo establecido por trayecto del vehículo, aumento del promedio de consumo de combustible por kilómetro.
¿Dónde? ¿En qué lugar, sitio o parte de la maquina o material ocurre el problema?	En el sistema postratamiento SCR DEF identificado en el testigo relacionado al sistema en mención.
¿Cuándo? ¿Cuándo ocurrió el problema? ¿Bajo qué circunstancias ocurrió?	Cuando el vehículo se encuentra en trayecto en carretera nacional.
¿Quién? ¿Depende de las actuaciones humanas el hecho de que aparezca o no el problema?	No depende de ninguna actividad humana.
¿Cómo? ¿Cuál es la forma en que se presenta el problema? ¿Cómo difiere de la situación?	Perdida de potencia en el motor e incremento del consumo de combustible.
¿Cuál? ¿Hay una tendencia de problema? ¿Hay un patrón de comportamiento?	Falla por primera vez.

Nota. La tabla 5 corresponde a aplicación de la metodología 5W para la identificación de las causas de la falla. Fuente: (Lisboa, 2009).

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Por lo referido en la tabla 5, en el suceso se presenta en el sistema postratamiento SCR DEF, identificado a través del controlador EMC con testigo activo, generando una pérdida de potencia en el motor sin consumo de urea e incremento de consumo de combustible.

En relación a las fallas nombradas en el apartado anterior, en la tabla 6 se desarrollan las hipótesis de las posibles causas que generan su aparición.

Tabla 6

Hipótesis de causas de falla

Falla	Hipótesis de causa
Saturación del elemento filtrante	Baja calidad de la urea.
Conductos de urea obstruidos	Procedimientos de cierre de swich inadecuado por parte de operario. Baja calidad de la urea. Mantenimiento inadecuado.
Unidad dosificadora con pérdida de cebado	Falla eléctrica en el motor. Mantenimiento inadecuado.
Inyector de urea con obstrucción en la boquilla.	Procedimientos de cierre de swich inadecuado por parte de operario. Baja calidad de la urea.
Presencia de corrosión en filtro de aire	Mantenimiento inadecuado.
Sensor NOx no envía señal	Cable de sensor en contacto con zonas calientes o muy tensionado. Elemento de censado saturado de material particulado.
Panel del catalizador cristalizado	Exceso de urea en la inyección. Baja calidad de la urea.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Nota. La tabla 6 corresponde a la identificación de las causas de la falla. Fuente: Elaboración propia.

Una vez planteadas las hipótesis de causas de las fallas se requiere hacer el proceso de verificación para definir cuales se descartan y cuales llegan a ser causal raíz de la falla, así reducen las hipótesis posibles y se centraliza en las de mayor impacto.

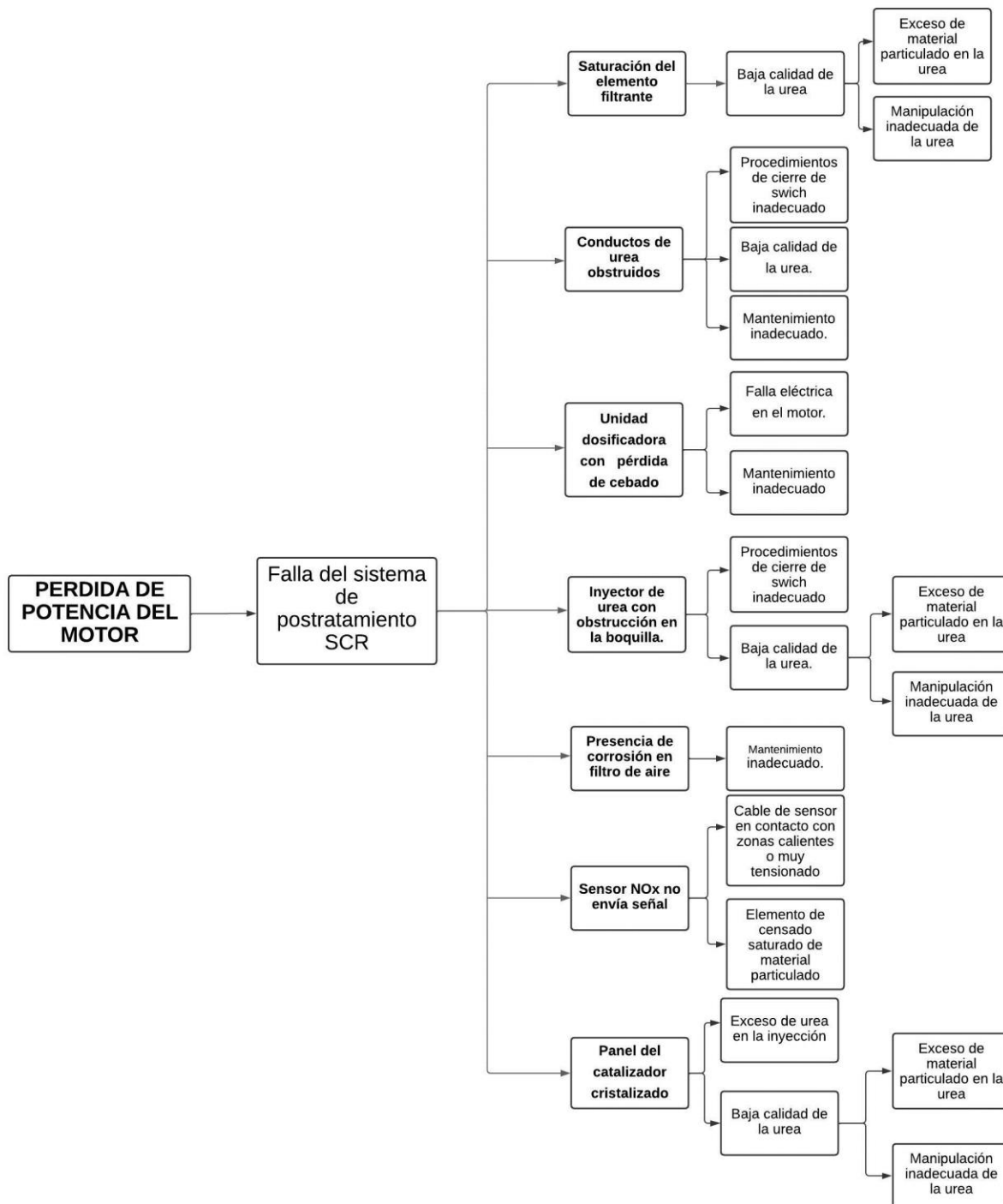
6.4.1. Análisis Árbol de Fallas

El análisis por Árbol de Fallas es una técnica de análisis deductivo que proporciona un método para determinar las causas que han producido determinado suceso, partiendo de la previa selección de un hecho no deseado o evento que se pretende evitar y de tal forma, determinar los orígenes (Li, et al, 2014), es decir, ayuda a identificar causas potenciales de falla de sistemas antes de que estas ocurran, por ende, en la figura 4 se representa el árbol de fallas implementado para dar continuidad al análisis de causa raíz.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Figura 4

Árbol de Fallas



Nota. La figura 4 corresponde al árbol de fallas. Fuente: Elaboración propia.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

6.5. Análisis de Modo y Efectos de Falla (FMEA)

Es importante conocer con profundidad el comportamiento de los diferentes sistemas enfocados a las fallas que pueden llegar a presentar y la manera en que estas actúan, para ello se recurre a una herramienta capaz de analizar todos estos aspectos como es el análisis de modos y efectos de falla FMEA, de este modo se revisa el trasfondo de las fallas ya identificadas para ser ponderadas según varios aspectos como la gravedad o severidad, la probabilidad de ocurrencia y la probabilidad de no detección, esto permite tener una visión más centralizada de lo que está ocurriendo y así mismo dar la claridad para tomar acciones necesarias según los parámetros con mayor impacto, por consiguiente, en la tabla 7 se evidencia la implementación de la técnica en mención.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Tabla 7

Implementación FMEA

Descripción de la fase	Función	Modo/s potencial/es de fallo	Efecto/s potencial/es del fallo	Gravedad	Causa(s) potencial(es) del fallo(s)	Ocurrencia	Verificación(es) y/o control(es) actual(es)	Detección	NPR	Acción(es) recomendada(s)	Área(s) / persona(s) responsable(s)	Resultado de las acciones				
												Acciones realizadas	Gravedad	Ocurrencia	Detección	NPR
Filtro de urea	Remover las impurezas de la urea antes de ingresar a la unidad dosificadora	Saturación del elemento filtrante	Bloqueo en el caudal de urea succión de la unidad dosificadora; pérdida de potencia motor; incremento de emisión NOx.	8	Presencia de material particulado.	8	Inspección del elemento filtrante.	6	384	Cambio de filtro.	Departamento de mantenimiento.	SI	8	2	6	96
Bomba dosificadora de urea	Alimenta al sistema con la cantidad necesaria de urea.	Conductos de urea obstruidos	Disminución del flujo de urea en la línea de inyección; pérdida de potencia motor; incremento de emisión NOx.	8	Purga inadecuada del sistema.	8	Permitir que la bomba limpie las líneas DEF.	5	320	Colocar el swich en OFF durante 60 seg.	Departamento de operaciones.	SI	8	1	2	16
		Unidad dosificadora con pérdida de cebado	Disminución de presión en la línea de inyección; pérdida de potencia motor;	8	Daño interno del motor eléctrico.	4	Prueba de anulación de la unidad dosificadora de urea de postratamiento durante 18 minutos.	7	224	Mantenimiento preventivo.	Departamento de mantenimiento.	SI	8	1	7	56

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

			incremento de emisión NOx.														
Inyector de urea	Dosifica la medida exacta de urea en el momento requerido.	Inyector de urea con obstrucción en la boquilla.	Bloqueo de aspersión de urea a los gases de escape; pérdida de potencia del motor; incremento de emisión NOx.	8	Purga inadecuada del sistema.	5	Permitir que la bomba limpie las líneas DEF.	5	200	Colocar el swich en OFF durante 60 seg.	Departamento de operaciones.	SI	8	1	2	16	
Filtro de aire del SCR	Separar el aceite del aire del sistema.	Presencia de corrosión en filtro de aire	Disminución de la presión en línea de inyección; pérdida de potencia del motor; incremento de emisión NOx.	8	Presencia de agua en la base del filtro.	7	Verificar que la base del filtro no tenga daños, corrosión o suciedad.	2	112	Reemplazo filtro suministro aire Unidad dosificadora	Departamento de operaciones.	SI	8	2	2	32	
Sensor Nox	Medir la concentración de óxidos nitrosos en los gases a la salida del SCR.	Sensor NOx no envía señal	Presencia de código de falla; pérdida de potencia del motor.	8	Cable de sensor en contacto con zonas calientes o muy tensionado, elemento de censado saturado de material particulado.	7	Verificación de cableado y limpieza del elemento de censado.	4	224	Mantenimiento preventivo.	Departamento de mantenimiento.	SI	8	3	4	96	

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Catalizador	Realizar la reacción catalítica formando nitrógeno inofensivo.	Panel del catalizador cristalizado	Retraso en el proceso catalítico; pérdida de potencia del motor; incremento de emisión NOx.	9	Exceso de urea en la inyección.	1	Promedio de consumo de urea.	8	72	Control de urea consumida.	Departamento de operaciones.	SI	9	1	3	27
Tanque de urea	almacenar y suministrar urea al sistema.	Mala manipulación y almacenamiento de la urea	Urea cristalizada en toda la línea del sistema; pérdida de potencia del motor; incremento de emisión NOx.	9	Urea de mala calidad.	9	Garantizar que la urea no esté expuesta al sol, fuentes de calor y polvo durante su almacenamiento.	1	81	Revisión de concentración de urea con refractómetro o tirillas, este debe ser del 32,5%, más o menos 1,5%.	Departamento de operaciones.	SI	9	1	1	9

Nota. La tabla 7 corresponde a la implementación del Análisis de Modos y Efectos de Falla FMEA. Fuente: Elaboración propia.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

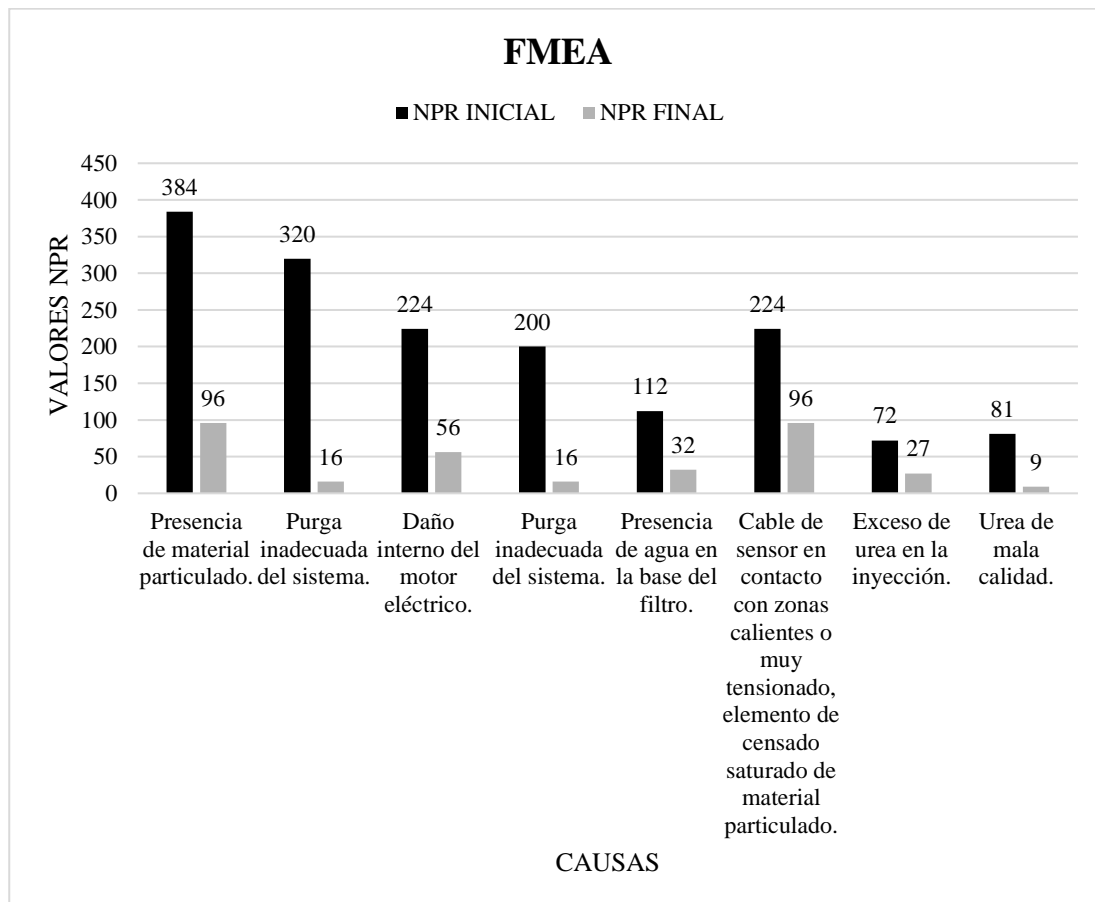
Con los datos obtenidos en el análisis FMEA se puede identificar las diferentes causales de las fallas, con base en ello es posible desarrollar un plan de mantenimiento agrupando los diferentes componentes con sus respectivas tareas o rutinas y la frecuencia de ejecución, es importante destacar que el mantenimiento autónomo por parte de los operarios es fundamental para mitigar las fallas, además para los procedimientos que requieren mano de obra calificada se debe permitir la disponibilidad de los vehículos con una disciplina adecuada ya que de ello depende el buen funcionamiento del SCR.

En ese orden, en la gráfica 3 se relacionan los valores iniciales y finales de Número de Prioridad de Riesgo (NPR) una vez implementada la técnica FMEA.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Grafica 2

Valores iniciales y finales de Número de Prioridad de Riesgo (NPR)



Nota. La grafica 3 corresponde a los valores iniciales y finales de NPR mediante la implementación de la técnica FMEA. Fuente: Elaboración propia.

Basados en la gráfica 1, se pueden deducir tanto los valores de NPR inicial como final en relación a las causas potenciales que están produciendo la falla, reflejando una disminución considerable en los niveles de NPR una vez implementada la técnica FMEA, lo que resalta la importancia de la implementación de esta estrategia para el mejoramiento la confiabilidad de los

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

procesos, por ende, en la tabla 8 se evidencian los criterios de valoración tomados en cuenta para la determinación de los valores de NPR según su clasificación.

Tabla 8

Valores de NPR según su clasificación

Clasificación de según gravedad o severidad de fallo		
Clasificación	Criterio	Valor
Ínfima	El defecto seria imperceptible por el usuario	1
Escasa	El cliente puede notar un fallo menor pero solo provoca una ligera molestia	2-3
Baja	El cliente nota el fallo y le produce cierto enojo	4-5
Moderada	El fallo produce disgusto e insatisfacción en el cliente	6-7
Elevada	El fallo es crítico, originando un alto grado de insatisfacción en el cliente	8-9
Muy elevada	El fallo implica problemas se seguridad o de no conformidad con los reglamentos en vigor	10
Clasificación de según la probabilidad de ocurrencia		
Clasificación	Criterio	Valor
Muy escasa	Defecto inexistente en el pasado	1
Escasa probabilidad de ocurrencia	Muy pocos fallos en circunstancias pasadas similares	2-3
Moderada probabilidad de ocurrencia	Defecto aparecido ocasionalmente	4-5
Frecuente probabilidad de ocurrencia	En circunstancias similares anteriores el fallo se ha presentado con cierta frecuencia	6-7

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Elevada probabilidad de ocurrencia	El fallo se ha presentado frecuentemente en el pasado	8-9
Muy elevada probabilidad de ocurrencia	Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	10
Clasificación de según la probabilidad de no detección		
Clasificación	Criterio	Valor
Muy escasa	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Escasa	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría raramente escapar a algún control primario, pero sería posteriormente detectado	2-3
Moderada	El defecto es una característica de bastante fácil detección	4-5
Frecuente	Defectos de difícil detección que con relativa frecuencia llegan al cliente	6-7
Elevada	El defecto es de naturaleza tal que su detección es relativamente improbable mediante los procedimientos convencionales de control y ensayo	8-9
Muy elevada	El defecto con mucha probabilidad no llegara al cliente por ser de muy difícil detección	10

Nota. La tabla 8 corresponde a los criterios de valoración tomados en cuenta para la determinación de los valores de NPR según su clasificación. Fuente: Bestratén y Orriols, (2004); Torres (2015).

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

6.6. Plan de Mantenimiento Preventivo

El plan de mantenimiento preventivo tiene como función principal proporcionar una serie de tareas o rutinas alineadas cronológicamente que permitan garantizar la disponibilidad y confiabilidad de un activo, esto es representado a largo plazo por medio de una prolongación de la vida útil, y a su vez, una disminución en los costos requeridos en la mantenibilidad del activo, por consiguiente, este tipo de mantenimiento comprende todas las actividades involucradas en la conservación en buen estado de los equipos de cualquier empresa, siendo fundamental para minimizar las averías en la maquinaria (Portillo, et al, 2022), promoviendo a que los procesos se acerquen más al flujo continuo, a un ritmo definido y con metas fijadas (Drozyner, 2020).

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Tabla 9

Plan de mantenimiento preventivo

Programa de Mantenimiento Sistema SCR-DEF							
Código	Actividad	Frecuencia	Tiempo	Descripción	Responsable	Herramientas/Materiales	Observaciones
SCR01	Diagnóstico de urea	5,000 km	6 minutos.	Con ayuda del gotero, tomar una muestra de urea y agregar unas gotas en el refractómetro, bajar la tapa del mismo y mirar a través del visor, para corroborar que la concentración sea de 32,5%, más o menos 1,5%.	Operario, supervisor de logística o encargado del abastecimiento de combustibles.	Refractómetro y gotero.	El refractómetro debe estar calibrado, para ello, la marca azul debes estar a nivel de la marca cero.
SCR02	Cambio filtro separador aire-aceite	25,000 km/cambio aceite motor	12 minutos.	Con ayuda de la llave para filtro, desmontar el actual, seguidamente, realizar limpieza de la base del filtro, retirando suciedad, para evidenciar que no haya presencia de corrosión, instale el filtro nuevo ajustando con la mano, y finalmente, terminar ajuste con la llave para filtros.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Llave para filtros y filtro AS2474.	Es recomendable realizar inspección del cedazo instalado en el racor de la base del filtro, en caso de encontrar corrosión, se debe reemplazar todo el cabezal. De igual modo, si el compresor de aires presenta fallas, también se debe hacer el respectivo reemplazo.
SCR03	Limpieza lado húmedo del circuito	25,000 km/cambio aceite motor	42 minutos.	Realizar la desconexión total de las líneas de suministro de urea entre el tanque y la unidad dosificadora, haciendo la purga respectiva de dicha unidad, dejando el switch de encendido del motor en off por 60 segundos, y con ayuda del bote lleno de agua, inyectarla en la línea de suministro, garantizando que fluya suficiente agua a través de toda la línea hasta que rebose.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Software de control EMC, agua purificada, bote de plástico limpio y kit básico de herramientas (destornillador, llaves con dados milimétricos, toallas de limpieza).	Para la limpieza de la unidad se debe utilizar agua destilada a 40°C. Por otro lado, en el software de control EM se encuentra el contador de cebado, allí se debe dar clic en el botón de reestablecer para reiniciar los conteos antes de realizar el mantenimiento.
SCR04	Limpieza lado seco del circuito	25,000 km/cambio aceite motor	66 minutos.	Conectar con ayuda de una manguera el bote lleno de agua entre la conexión de la salida el filtro de aire al suministro de la bomba para realizar un lavado del lado de aire de la unidad.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Bote, manguera y agua purificada.	Para la limpieza de la unidad se debe utilizar agua destilada a 40°C y el caudal de aire mínimo es de 25litros/minuto.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

SCR05	Limpieza inyector de urea	25,000 km/cambio aceite motor	30 minutos.	Con ayuda de la llave a la medida, desconectar la tuerca de soporte del inyector en la línea de gases de escape antes de la entrada del catalizador. Con el agua lavar la boquilla del inyector con el fin de retirar suciedad o acumulaciones de urea. Con una toalla, retirar el agua del inyector hasta que este quede seco, para posteriormente, volver a hacer la conexión en la línea de gases de escape.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Kit básico de herramienta, toalla y agua purificada.	Para la limpieza de la unidad se debe utilizar agua destilada a 40°C.
SCR06	Prueba de funcionamiento bomba dosificadora	50,000 km	30 minutos.	Con ayuda de la llave a la medida, desconectar la tuerca de soporte del inyector en la línea de gases de escape antes de la entrada del catalizador, con ayuda de software de control EMC, iniciar la prueba de anulación de la bomba dosificadora según el modelo del motor del vehículo, introduciendo el inyector en la probeta, para que permita un llenado de la misma. realizar una verificación del volumen de llenado en la urea en determinado tiempo, según las especificaciones dadas por el manual del motor correspondiente.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Kit básico de herramienta, software de control EMC y una probeta.	Revisar que el racor de entrada de urea en la bomba dosificadora no presente obstrucciones o taponamiento.
SCR07	Inspección sensor Nox	50,000 km	30 minutos.	Verificar que la línea de cableado del sensor del Nox no se encuentre en contacto con áreas calientes y que no se encuentre muy tensionado o ajustado por los respectivos amarres de sujeción.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Amarres plásticos y kit básico de herramienta.	Verificar que las conexiones eléctricas del sensor Nox no presenten corrosión.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

SCR08	Limpieza tanque depósito de urea	100,000 km	51 minutos.	Desmontar el tanque de urea con ayuda de la herramienta y realizar vaciado del contenido del mismo, con agua, lavar su interior y sus conductos y permitir el drenado de todos los residuos. Antes de realizar el montaje, esperar a que este se encuentre totalmente seco.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Agua, kit básico de herramienta.	En caso de que el tanque DEF esté unido al chasis del vehículo y no permita el acceso para ensamblar el sensor del nivel del tanque, se debe poner en contacto con el proveedor de partes para hacer el desmontaje y la inspección.
SCR09	Cambio filtro de urea tanque	100,000 km	51 minutos.	Con el tanque de urea desmontado, cambiar el filtro que se encuentra en su interior después de haber realizado la limpieza del tanque.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Kit básico de herramientas y filtro de urea.	Esta actividad se realiza en simultaneo con la actividad SCR08.

Nota. La tabla 9 corresponde al Plan de Mantenimiento Preventivo del Sistema SCR-DEF. Fuente: Elaboración propia.

7. Conclusiones

Con la implementación de la técnica FMEA se evidencia que para el operario no es claro saber el modo de falla exacto del SCR-DEF, pero si es claro que el efecto de falla detectado es la pérdida de la potencia y velocidad del motor en todos los casos posibles.

El resultado del análisis de causa raíz presenta como resultado que la calidad de la urea es el causal principal de las fallas en el SCR-DEF, esto debido a una mala manipulación y mal almacenamiento, la urea automotriz no debe estar expuesta al sol, fuentes directas de calor, ni al aire ya que altera su concentración reglamentaria por la API e ISO-22241 de 32.5% más o menos 1.5, lo que se ve reflejado en la cristalización que genera obstrucción en diferentes partes por donde hace su recorrido en el sistema.

Aunque los SCR-DEF son fundamentales en el control de emisiones NOx al medio ambiente, sus fallas impactan de manera directa al sector del transporte nacional debido al aumento en los tiempos de las rutas y el incremento de consumo de ACPM por kilómetro, lo que se refleja en altos costos de combustible y pérdidas de cargas perecederas.

Para el territorio colombiano la ley 1972 del 18 de julio de 2019 establece que a partir del 1ro de enero de 2023 los vehículos Diesel que sean fabricados, ensamblados o importados en el país deben cumplir con los límites máximos permitidos de emisiones NOx correspondientes a tecnologías Euro VI los cuales son de 0.08g/km, pero en la actualidad no existe un mecanismo que pueda comprobar estas emisiones, por lo tanto los operadores de flotas de transporte se encuentran con mayor preocupación en las afectaciones a la movilidad de los vehículos que al daño ocasionado al medio ambiente.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

El mantenimiento autónomo es pilar fundamental para preservar la vida útil de los sistemas SCR-DEF ya que el control desde el suministro de urea de buena calidad y permitir que la bomba dosificadora realice su ciclo adecuado de purga y cebado minimiza las fallas posibles en el sistema evitando emisiones NOx que afectan la salud humana y contratiempos en los desplazamientos

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Referencias Bibliográficas

- Altmann, C. (2006). *El Análisis de Causa Raíz, como herramienta en la mejora de la Confiabilidad*. Segundo Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad, Montevideo, Uruguay (pp. 16-18).
<http://www.mantenimientomundial.com/notas/causaraizaltmann.pdf>
- Baña, S. (2021). *Sistema SCR para el control de emisiones. (tesis de grado)*. Universidad de Coruña. España.
https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/28824/Ba%c3%b1aPerez_Santiago_TF_M_2021.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Bestratén, M., y Orriol, R. (2004). NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
https://cso.go.cr/legislacion/notas_tecnicas_preventivas_insht/NTP%20679%20-%20Análisis%20modal%20de%20fallos%20y%20efectos.%20AMFE.pdf
- Cummins Emission solutions, (2009). *Fluido para Sistemas de Escape a Diesel (DEF). Preguntas y respuestas*. Fleetguard. Boletín.
https://www.cumminsfiltration.com/sites/default/files/MB10033-ES_0.pdf
- Cummins Emission solutions, (2012). *Productos y soluciones de emisión Cummings*. Consultado el 7 de mayo de 2023 de <https://www.cummins.com/company>
- Cummins Emission solutions (2016). *Reducción Catalítica Selectiva (SCR) y Fluido Diesel de Escape (DEF)*. Consultado el 9 de agosto de 2023 de <https://docplayer.es/7615596-Reduccion-catalitica-selectiva-scr-y-fluido-diesel-de-escape-def.html>

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Cummins Emission solutions (2023). *Mantenimiento para la bomba dosificadora*. Campaña.

file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Campan%CC%83a-Bomba-Dosificadora_Pv6.pdf

Drozyner, P. (2020). *El impacto de la implementación del sistema de gestión en la percepción del rol y las tareas de los servicios de mantenimiento y la efectividad de su funcionamiento*. Revista de Calidad en Ingeniería de Mantenimiento, Vol. 27, Núm. 2, págs. 430-450.

EC 60300. (2003). *Dependability management, Part 3-1: Application guide, Analysis techniques for dependability, and Guide on methodology (Second edition)*. International Standard.

https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60300-3-1%7Bed2.0%7Den.pdf

ISO 22241. (2019). *Diesel engines, NOx reduction agent AUS 32. Part 1: Quality requirements. (second edition)*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22241:-1:ed-2:v1:en>

Fischer, R; Gscheidle R; Gscheidle, T; Heider, U; Hohmann B; van Huet, A; Keil, W; Lohuis, R; Mann, J; Schlögl B; Wimmer,A; Wormer, G. (2014). *Modern Automotive Technology: Fundamentals, service, diagnostics*. Verlag Europa Lehrmittel. Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG Düsseldorf Straße 23. Haan-Gruiten, Germany

Flores, M. J y Toapanta, C. F. (2018). *Investigación del desempeño y emisiones del motor DIESEL MZ-CD 2.5L CRDI al implementar el conjunto SCR con inyección de ADBLUE en el sistema de escape (Tesis de Grado)*. ESPE, Universidad de las Fuerzas Armadas. Ecuador

LICAMEX, (2021). *Emisiones Producidas por Motores Diésel y sus Normas de Control*.

Consultado el 27 de mayo de 2023 de <https://licamex.com/emisiones-producidas-por-motores-diesel-y-sus-normas-de-control/>

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

- Lisboa, M. G. (2009). *Diseño y calidad: un análisis del proceso productivo de joyería*. 2009. 161f. *Disertación (Máster en Ingeniería de Producción)*. Universidad Federal de Santa María, Santa María.
- Li, S., Si, S., Xing, L. y Sun, S. (2014). *Importancia integrada del árbol de fallas multiestado basado en un diagrama de decisión multiestado multivalorado*. *Revista de riesgo y confiabilidad*, págs. 200-208
- Lloyd, L. (2011). Catalizadores ambientales. En *Manual de Catalizadores Industriales*. Springer US, *Fundamental and Applied Catalysis*, págs. 439–470.
- Montilla, C. A. (2016). *Fundamentos de Mantenimiento Industrial*. Colección de Textos Académicos. Editorial UTP.
<file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Fundamentos%20de%20mantenimiento.pdf>
- Navistar, (2023). ISM: Alto desempeño y eficiencia en aplicaciones de servicio severo. Consultado el 29 de junio de 2023 de <https://latin-america.internationalcamiones.com/motores/cummins-ism-euro>
- Ortiz, D. (2017). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (ECC). Estrategias para el ciclo de vida*. Guía Práctica. <https://soporteycia.com/system/files/articulos-pdf/rcm-articulo-mantenimiento-centrado-confiabilidad-03-dic-2021.pdf>
- Ortiz, C y Gil, A. (2018). *Análisis de Sistemas De Reducción Catalítica Selectiva con Inyección de Urea mediante la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) (tesis de grado)*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos. Universitat Politècnica de València.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/111036/ORTIZ%20->

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

[%20AN%c3%81LISIS%20DE%20SISTEMAS%20DE%20REDUCCI%c3%93N%20C
ATAL%c3%8dTICA%20SELECTIVA%20CON%20INYECCI%c3%93N%20DE%20U
REA%20MEDIANTE%20CFD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

Payri, F; Desantes, J.M. (2011). Motores de combustión interna alternativos. Universitat

Politécnica de València. [https://r\(iunet.upv.es/bitstream/handle/10251/70998/IPP-](https://r(iunet.upv.es/bitstream/handle/10251/70998/IPP-)

[Payri%3bDesantes%20-](#)

[%20MOTORES%20DE%20COMBUSTI%c3%93N%20INTERNA%20ALTERNATIV
OS.pdf?sequence=2&isAllowed=y](#)

Portillo, M. P., Pérez, V. H. C., y de la Riva, J. (2022). *Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las máquinas*. RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo. Vol. 12, Núm. 24.

<http://mail.ride.org.mx/index.php/RIDE/article/view/1218/3577>

Ramírez, R. E. (2017). Reducción catalítica selectiva de No mediante el sistema Cu-Mordenita modificado con AG (tesis de grado). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

[https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/1619/1/tesis_Ram%C3%A
Drez_Garza_Rolando_Efra%C3%ADn_13_nov_2017.pdf](https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/1619/1/tesis_Ram%C3%A
Drez_Garza_Rolando_Efra%C3%ADn_13_nov_2017.pdf)

Rondón, J., Del Castillo, H., Pérez, M., Perez, P; Lugo, C., Rodríguez, P., Melendez, H., Garcia,

E e Imbert, F. (2019). Estudio de reacciones catalizadas como reformado de metano y

reducción catalítica selectiva de NOx sobre perovskitas del tipo La0.7Ca0.3Ni1-

xCo₃O₃ obtenidas vía SCS. Parte I. Ciencia e Ingeniería, vol. 40, núm. 2. Págs. 137-147.

<https://www.redalyc.org/journal/5075/507567825004/507567825004.pdf>

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Sabando, P. E; Tuyupanda, J. A. (2022). *Evaluación de los índices de confiabilidad mediante técnica de modo de fallas y análisis de efecto (FMEA) para un sistema de distribución tipo radial (tesis de grado)*. Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). Ecuador.

<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9774>

Sang, A; Tay, K; Pem-Lim, C; Nahavandi, S. (2018). *Application of a Genetic-Fuzzy FMEA to Rainfed Lowland Rice Production in Sarawak: Environmental, Health, and Safety Perspectives*. IEEE Access. 6(1).

Torres, M. L. (2015). *Gestión de los riesgos en el proceso de recepción del hotel “Brisas Trinidad del Mar” (Tesis de doctorado)*. Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas. <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/6268>

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Apéndices

Apéndice A. FMEA

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (F.M.E.A)													Código:				
Cliente:										Denominación producto:			Preparado por:				
Planta:										Referencia:			Revisado por:				
Proveedores involucrados:										Nivel de modificaciones cliente:			Aprobado O.T.:				
Descripción de la fase	Función	Modos potenciales de falla	Efectos potenciales del fallo	Gravedad	Causa(s) potencial(es) del fallo(s)	Ocurrencia	Verificación(es) y/o control(es) actual(es)	Detección	NPR	Acción(es) recomendada(s)	Área(s) responsable(s)	Resultado de las acciones					
												Acciones realizadas	Gravedad	Ocurrencia	Detección	NPR	
Filtro de urea	Remover las impurezas de la urea antes de ingresar a la unidad dosificadora	Saturación del elemento filtrante	Bloqueo en el caudal de urea succionada de la unidad dosificadora; pérdida de potencia motor; incremento de emisión NOx.	8	Presencia de material particulado.	8	Inspección del elemento filtrante.	6	384	Cambio de filtro.	Departamento de mantenimiento.	SI	8	2	6	96	
Bomba dosificadora de urea	Alimenta al sistema con la cantidad necesaria de urea.	Conductos de urea obstruidos	Disminución del flujo de urea en la línea de inyección; pérdida de potencia motor; incremento de emisión NOx.	8	Purga inadecuada del sistema.	8	Permitir que la bomba limpie la línea DEF.	5	320	Colocar el switch en OFF durante 60 seg.	Departamento de operaciones.	SI	8	1	2	16	
		Unidad dosificadora con pérdida de cebado	Disminución de presión en la línea de inyección; pérdida de potencia motor; incremento de emisión NOx.	8	Daño interno del motor eléctrico.	4	Prueba de anulación de la unidad dosificadora de urea de post-alarmado durante 18 minutos.	7	224	Mantenimiento preventivo.	Departamento de mantenimiento.	SI	8	1	7	56	
Inyector de urea	Dosifica la medida exacta de urea en el momento requerido.	Inyector de urea con obstrucción en la boquilla.	Bloqueo de aspiración de urea a los gases de escape; pérdida de potencia del motor; incremento de emisión NOx.	8	Purga inadecuada del sistema.	5	Permitir que la bomba limpie la línea DEF.	5	200	Colocar el switch en OFF durante 60 seg.	Departamento de operaciones.	SI	8	1	2	16	
Filtro de aire del SCR	Separar el aceite del aire del sistema.	Presencia de corrosión en filtro de aire	Disminución de la presión en línea de inyección; pérdida de potencia del motor; incremento de emisión NOx.	8	Presencia de agua en la base del filtro.	7	Verificar que la base del filtro no tenga daños, corrosión o suciedad.	2	112	Reemplazar filtro suministrado aire Unidad dosificadora.	Departamento de operaciones.	SI	8	2	2	32	
Sensor NOx	Medir la concentración de óxidos nítricos en los gases a la salida del SCR.	Sensor NOx no envía señal	Presencia de código de falla; pérdida de potencia del motor.	8	Cable de sensor en contacto con zonas calientes o muy tensionado; elemento de cerámico saturado de material particulado.	7	Verificación de cableado y limpieza del elemento de cerámico.	4	224	Mantenimiento preventivo.	Departamento de mantenimiento.	SI	8	3	4	96	
Catalizador	Realizar la reacción catalítica formando nitrógeno inofensivo.	Panel del catalizador cristalizado	Retraso en el proceso catalítico; pérdida de potencia del motor.	9	Exceso de urea en la inyección.	1	Promedio de consumo de urea.	8	72	Control de urea consumida.	Departamento de operaciones.	SI	9	1	3	27	
Tanque de urea	Almacenar y suministrar urea al sistema.	Mala manipulación y almacenamiento de la urea.	Urea cristalizada en toda la línea del sistema; pérdida de potencia del motor; incremento de emisión NOx.	9	Urea de mala calidad.	9	Garantizar que la urea no esté expuesta al sol, fuentes de calor y polvo durante su almacenamiento.	1	61	Revisión de concentración de urea con refractómetro o bridas; este debe ser del 32.5%, más o menos 15%.	Departamento de operaciones.	SI	9	1	1	9	

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO FMEA SCR-DEF

Apéndice B. Plan de Mantenimiento Preventivo

Programa de Mantenimiento Sistema SCR-DEF							
Código	Actividad	Frecuencia	Tiempo	Descripción	Responsable	Herramientas/Materiales	Observaciones
SCR01	Diagnóstico de urea	5,000 km	6 minutos.	Con ayuda del gotero, tomar una muestra de urea y agregar unas gotas en el refractómetro, bajar la tapa del mismo y mirar a través del visor, para corroborar que la concentración sea de 32,5%, mas o menos 1,5%.	Operario, supervisor de logística o encargado del abastecimiento de combustibles.	Refractómetro y gotero.	El refractómetro debe estar calibrado, para ello, la marca azul debes estar a nivel de la marca cero.
SCR02	Cambio filtro separador aire-aceite	25,000 km/cambio aceite motor	12 minutos.	Con ayuda de la llave para filtro, desmontar el actual, seguidamente, realizar limpieza de la base del filtro, retirando suciedad, para evidenciar que no haya presencia de corrosión, instale el filtro nuevo ajustando con la mano, y finalmente, terminar ajuste con la llave para filtros.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Llave para filtros y filtro AS2474.	Es recomendable realizar inspección del cedazo instalado en el racor de la base del filtro, en caso de encontrar corrosión, se debe reemplazar todo el cabezal. De igual modo, si el compresor de aires presenta fallas, también se debe hacer el respectivo reemplazo.
SCR03	Limpieza lado húmedo del circuito	25,000 km/cambio aceite motor	42 minutos.	Realizar la desconexión total de las líneas de suministro de urea entre el tanque y la unidad dosificadora, haciendo la purga respectiva de dicha unidad, dejando el switch de encendido del motor en off por 60 segundos, y con ayuda del bote lleno de agua, inyectarla en la línea de suministro, garantizando que fluya suficiente agua a través de toda la línea hasta que rebose.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Software de control EMC, agua purificada, bote de plástico limpio y kit básico de herramientas (destornillador, llaves con dados milimétricos, toallas de limpieza).	Para la limpieza de la unidad se debe utilizar agua destilada a 40°C. Por otro lado, en el software de control EM se encuentra el contador de cebado, allí se debe dar clic en el botón de restablecer para reiniciar los conteos antes de realizar el mantenimiento.
SCR04	Limpieza lado seco del circuito	25,000 km/cambio aceite motor	66 minutos.	Conectar con ayuda de una manguera el bote lleno de agua entre la conexión de la salida el filtro de aire al suministro de la bomba para realizar un lavado del lado de aire de la unidad.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Bote, manguera y agua purificada.	Para la limpieza de la unidad se debe utilizar agua destilada a 40°C y el caudal de aire mínimo es de 25litros/minuto.
SCR05	Limpieza inyector de urea	25,000 km/cambio aceite motor	30 minutos.	Con ayuda de la llave a la medida, desconectar la tuerca de soporte del inyector en las líneas de gases de escape antes de la entrada del catalizador. Con el agua lavar la boquilla del inyector con el fin de retirar suciedad o acumulaciones de urea. Con una toalla, retirar el agua del inyector hasta que este quede seco, para posteriormente, volver a hacer la conexión en la línea de gases de escape.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Kit básico de herramienta, toalla y agua purificada.	Para la limpieza de la unidad se debe utilizar agua destilada a 40°C.
SCR06	Prueba de funcionamiento bomba dosificadora	50,000 km	30 minutos.	Con ayuda de la llave a la medida, desconectar la tuerca de soporte del inyector en las líneas de gases de escape antes de la entrada del catalizador, con ayuda de software de control EMC, iniciar la prueba de anulación de la bomba dosificadora según el modelo del motor del vehículo, introduciendo el inyector en la probeta, para que permita un llenado de la misma. realizar una verificación del volumen de llenado en la urea en determinado tiempo, según las especificaciones dadas por el manual del motor correspondiente.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Kit básico de herramienta, software de control EMC y una probeta.	Revisar que el racor de entrada de urea en la bomba dosificadora no presente obstrucciones o taponamiento.
SCR07	Inspección sensor Nox	50,000 km	30 minutos.	Verificar que la línea de cableado del sensor del Nox no se encuentre en contacto con áreas calientes y que no se encuentre muy tensionado o ajustado por los respectivos amarres de sujeción.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Amarres plásticos y kit básico de herramienta.	Verificar que las conexiones eléctricas del sensor Nox no presenten corrosión.
SCR08	Limpieza tanque deposito de urea	100,000 km	51 minutos.	Desmontar el tanque de urea con ayuda de la herramienta y realizar vaciado del contenido del mismo, con agua, lavar su interior y sus conductos y permitir el drenado de todos los residuos. Antes de realizar el montaje, esperar a que este se encuentre totalmente seco.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Agua, kit básico de herramienta.	En caso de que el tanque DEF esté unido al chasis del vehículo y no permita el acceso para ensamblar el sensor del nivel del tanque, se debe poner en contacto con el proveedor de partes para hacer el desmontaje y la inspección.
SCR09	Cambio filtro de urea tanque	100,000 km	51 minutos.	Con el tanque de urea desmontado, cambiar el filtro que se encuentra en su interior después de haber realizado la limpieza del tanque.	Técnico de mantenimiento automotriz.	Kit básico de herramientas y filtro de urea.	Esta actividad se realiza en simultaneo con la actividad SCR08.