



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES MEDIANTE LA
IMPLEMENTACIÓN DE LA DISOLUCIÓN DE UREA EN EL TUBO DE ESCAPE DEL
MOTOR HYUNDAI PORTER H-100**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: CARLOS DOCITEO LÓPEZ FAJARDO

BRIAN MARCELO SANANGO CHIMBORAZO

TUTOR: ING. LAURO FERNANDO BARROS FAJARDO, MSc.

Cuenca - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Carlos Dociteo López Fajardo con documento de identificación N° 0302120977 y Brian Marcelo Sanango Chimborazo con documento de identificación N° 0302891056= manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 14 de julio del 2023

Atentamente,



Carlos Dociteo López Fajardo

0302120977



Brian Marcelo Sanango Chimborazo

0302891056

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Carlos Dociteo López Fajardo con documento de identificación N° 0302120977 y Brian Marcelo Sanango Chimborazo con documento de identificación N° 0302891056, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Análisis de las emisiones de gases contaminantes mediante la implementación de la disolución de urea en el tubo de escape del motor Hyundai Porter h-100”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

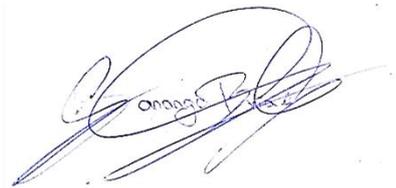
Cuenca, 14 de julio del 2023

Atentamente,



Carlos Dociteo López Fajardo

0302120977



Brian Marcelo Sanango Chimborazo

0302891056

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Lauro Fernando Barros Fajardo con documento de identificación N°0103653457, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA DISOLUCIÓN DE UREA EN EL TUBO DE ESCAPE DEL MOTOR HYUNDAI PORTER H-100, realizado por Carlos Dociteo López Fajardo con documento de identificación N°0302120977 y por Brian Marcelo Sanango Chimborazo con documento de identificación N°0302891056, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de julio del 2023

Atentamente,



Ing. Lauro Fernando Barros Fajardo, MSc.

0103653457

DEDICATORIA

El presente proyecto les dedico a mis padres, Rodrigo Lopez y Blanca Fajardo quienes han sido la fuente inagotable de amor, apoyo y aliento a lo largo de este arduo camino académico, vuestra confianza en mí y vuestro constante aliento han sido mi mayor motivación. También quiero honrar a mis queridos abuelos, cuya sabiduría, amor y valores han dejado una huella profunda en mi vida. Vuestra inspiración me ha guiado en cada paso del camino. Gracias por creer en mí y por ser mis pilares en esta travesía académica.

Carlos Dociteo Lopez Fajardo

DEDICATORIA

El presente proyecto les dedico con profundo amor y gratitud a mis queridos padres, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo a lo largo de mi vida. Vuestra presencia constante, vuestro amor incondicional y vuestra guía sabia han sido los cimientos sobre los cuales he construido mis logros académicos. A través de vuestra dedicación y sacrificio, me han enseñado el valor del trabajo arduo, la perseverancia y la búsqueda constante del conocimiento. Vuestra confianza en mí y vuestro aliento inquebrantable han sido mi impulso para superar los desafíos y alcanzar mis metas, Sin ustedes, nada de esto sería posible.

Brian Marcelo Sanango Chimborazo

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza a lo largo de este viaje académico. Su infinita sabiduría y su inagotable amor han sido mi apoyo constante, dándome fuerzas en los momentos de dificultad.

A mis amados padres, les debo una deuda eterna de gratitud. Vuestra dedicación, amor incondicional y sacrificio han sido la base de mi educación y mi crecimiento personal. Vuestra constante motivación y apoyo han sido una luz en los momentos más difíciles de mi vida.

Gracias por siempre creer en mí y por ser mis mayores impulsores para cumplir mis metas.

También quiero agradecer a mi tutor, Ing. Lauro Barros por su guía experta y su compromiso incansable hacia mi desarrollo académico.

Carlos Dociteo Lopez Fajardo

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a dos pilares fundamentales en mi vida que han sido padres. Vuestra presencia y apoyo incondicional han sido un regalo invaluable que ha dejado una huella profunda en mi camino, les agradezco por su amor, paciencia y sacrificio. Vuestra dedicación y guía han sido mi fuente de inspiración y fortaleza en cada paso de mi vida. Gracias por creer en mí, por alentarme a perseguir mis sueños y por estar a mi lado en los momentos de triunfo y desafío.

A mis amigos, les agradezco por su presencia constante y por compartir conmigo risas, lágrimas y memorias inolvidables. Vuestra amistad ha sido un regalo preciado que ha enriquecido mi vida de innumerables maneras.

Brian Marcelo Sanango Chimborazo

RESUMEN

La investigación realizada en este proyecto se centra en la implementación de la inyección de urea en el tubo de escape de un motor Hyundai Porter h-100. Para lograr los objetivos, se establecieron varias tareas que se llevarán a cabo en este proyecto. El siguiente extracto presenta el trabajo de la siguiente manera:

En primer lugar, tenemos la Fase 1 del proyecto, en la cual se analiza la investigación bibliográfica realizada sobre la definición, componentes y funcionamiento de la inyección de urea en los tubos de escape.

Después de completar la Fase 1, iniciamos la Fase 2 con el diagnóstico del prototipo y la implementación del sistema de inyección de urea en el tubo de escape, donde aplicaremos todos los conocimientos adquiridos en la Fase 1 de nuestro proyecto.

Pasando a la Fase 3, procedemos a la medición de datos utilizando un analizador de gases, lo que nos permite observar el funcionamiento y validar la implementación de nuestro sistema en el tubo de escape del motor en análisis.

Palabras Claves: *Diagnóstico, componentes, prototipo, implementación*

ABSTRACT

The research conducted in this project focuses on the implementation of urea injection in the exhaust pipe of a Hyundai Porter h-100 engine. To achieve the aims, several tasks were established, which will be conducted in this project. The following excerpt presents the work as follows:

Firstly, we have Phase 1 of the project, in which the bibliographic research conducted on the definition, components, and operation of urea injection in exhaust pipes is analyzed.

After completing Phase 1, we start Phase 2 with the diagnosis of the prototype and the implementation of the urea injection system in the exhaust pipe, where we will apply all the knowledge gotten in Phase 1 of our project.

Moving on to Phase 3, we continue with data measurement using a gas analyzer, allowing us to see the functioning and confirm the implementation of our system in the exhaust pipe of the engine under analysis.

Índice

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
1 INTRODUCCIÓN	7
2 PROBLEMA	8
2.1 ANTECEDENTES	9
2.2 IMPORTANCIA Y ALCANCES	10
2.3 DELIMITACIONES.....	11
3 OBJETIVOS.....	12
4 CAPÍTULO 1	13
4.1 Estudio del arte mediante la revisión bibliográfica para el establecimiento de la tecnología del Adblue y aspectos relevantes.	13
4.1.1 Historia de los vehículos a diésel.....	13
4.2 Definición de vehículo a diésel	14

4.3	Propiedades del combustible de los motores Diesel	14
4.3.1	Propiedades del Diesel	15
4.4	Ventajas y desventajas de los motores a diésel	16
4.5	Tipos de Diesel comercializados en el ecuador	17
4.5.1	Diésel premium.....	18
4.5.2	Diésel Tipo B.....	18
4.5.3	Diésel Marino	18
4.5.4	Diésel Industrial	18
4.6	Motor HYUNDAI PORTER H-100.....	18
4.6.1	Características del motor HYUNDAI PORTER H-100	19
4.6.2	Rendimiento del vehículo	20
4.7	Gases característicos que producen los vehículos Diesel	20
4.8	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 207:2002 Gestión ambiental. Aire.	
	Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles	
	terrestres de diésel.....	21
4.8.1	Alcance	21
4.8.2	Requisitos:	21
4.8.3	Condiciones de ensayo	22
4.9	Factores que inciden en la emisión de gases	22
4.9.1	Diseño del motor	22
4.9.2	Calidad del combustible	22
4.9.3	Tipo de combustible utilizado	22
4.9.4	Estado de mantenimiento del vehículo.....	22

4.9.5	Condiciones de conducción	23
4.10	Métodos de reducción de emisiones contaminantes	23
4.10.1	Filtros de partículas diésel (DPF)	23
4.10.2	Recirculación de gases de escape (EGR)	23
4.10.3	Motores híbridos o eléctricos	24
4.10.4	Combustibles alternativos	24
4.10.5	Inyección de urea	25
4.11	Inyección de urea (Adblue)	25
4.11.1	Inicios del Adblue.....	26
4.11.2	Composición del Adblue.....	26
4.11.3	sistema catalítico SCR	27
4.11.4	Proceso de inyección de la urea disuelta	27
4.11.5	Especificaciones técnicas y sus componentes.....	28
5	Capítulo 2.....	29
5.1	Obtener los datos con la implementación del Adblue mediante la medición de los gases de escape contaminantes en un motor Hyundai Potter H100.....	29
5.2	Motor Hyundai Porter H100.....	29
5.3	Equipos.....	30
5.3.1	Analizador de Gases Orotech QGA 6000.....	30
5.4	Compuestos contaminantes derivados de la combustión	31
5.4.1	Óxidos nítricos.....	31
5.4.2	Hidrocarburos (HC)	31
5.4.3	Monóxido de Carbono (CO).....	31

5.4.4	Dióxido de Carbono (CO ₂).....	32
5.4.5	Oxígeno (O ₂).....	32
5.4.6	Partículas Solidas	32
5.5	El sistema SCR (Reducción Catalítica Selectiva)	32
5.5.1	La reacción química básica del proceso SCR	33
5.6	Componentes	34
5.6.1	Depósito de Adblue	34
5.6.2	Sistema de control y gestión	35
5.6.3	Inyector	35
5.6.4	Catalizador de reducción de NO _x (SCR)	35
5.6.5	Sensor de nivel de Adblue	35
5.6.6	Línea de suministro.....	35
5.7	Acondicionamiento para la toma de datos.....	35
5.7.1	Puesta a punto el motor.....	35
5.7.2	Adaptación del catalizador SCR.....	36
5.7.3	Adaptación para la inyección del Adblue.	36
5.8	Toma de datos sin Adblue.	37
5.8.1	Pruebas en ralentí	37
5.8.2	Pruebas a 1500 rpm	38
5.8.3	Pruebas a 2500 rpm	38
5.9	Toma de datos con la implementación del Adblue.....	39
5.9.1	Pruebas en ralentí	39
5.9.2	Pruebas a 1500 rpm	39

5.9.3 Pruebas a 2500.....	40
6 Capítulo 3.....	41
6.1 Analizar los resultados de los datos obtenidos a través de estadística para establecimiento de conclusiones y recomendaciones.....	41
6.2 Monóxido de carbono	42
6.3 Dióxido de carbono	42
6.4 Hidrocarburos no combustionados	43
6.5 oxígeno	44
6.6 Óxidos de nitrógeno.	45
7 Conclusiones	46
8 Recomendaciones	48
9 REFERENCIAS	49
10 Anexos	56
10.1 Guía de practica para el motor con inyección Adblue	56
Ilustración 1 Ubicación de trabajo del proyecto	11
Ilustración 2 Vehículo Diesel	14
Ilustración 3 Tipos de diésel	17
Ilustración 4 Motor Hyundai h-100.....	19
Ilustración 5 Filtro de partículas.....	23
Ilustración 6 Recirculación de gases de escape.	23
Ilustración 7 Diagrama de motores eléctricos e híbridos	24
Ilustración 8 Combustibles amigables con el ambiente	24
Ilustración 9 Inyección de urea	25
Ilustración 10 Formula química del Adblue	26

Ilustración 11 <i>Catalizador SCR</i>	27
Ilustración 12 <i>Proceso del Adblue</i>	28
Ilustración 13 <i>Motor Hyundai Porter H-100</i>	30
Ilustración 14 <i>Analizador de gases Orotech QGA 6000</i>	30
Ilustración 15 <i>Componentes del sistema Adblue</i>	34
Ilustración 16 <i>Datos obtenidos de monóxido de carbono</i>	42
Ilustración 17 <i>Datos obtenidos de Dióxido de Carbono</i>	43
Ilustración 18 <i>Datos Obtenidos de Hidrocarburos no combustionados</i>	43
Ilustración 19 <i>Datos obtenidos de Oxígeno</i>	44
Ilustración 20 <i>Datos obtenidos de Óxidos de Nitrógeno</i>	46
Tabla 1	16
Tabla 2 <i>Características del motor Hyundai Porter h-100</i>	19
Tabla 3 <i>Datos de las pruebas en ralentí sin Adblue</i>	37
Tabla 4 <i>Datos de las pruebas a 1500 rpm sin Adblue</i>	38
Tabla 5 <i>Datos de las pruebas a 2500 rpm sin Adblue</i>	38
Tabla 6 <i>Datos de las pruebas a ralentí con Adblue</i>	39
Tabla 7 <i>Datos de las pruebas a 1500rpm con Adblue</i>	39
Tabla 8 <i>Datos de las pruebas a 2500rpm con Adblue</i>	40

1 INTRODUCCIÓN

La disolución acuosa de urea de alta pureza se utiliza para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) en los motores diésel modernos. El sistema consta de un tanque de almacenamiento, una bomba dosificadora, un sistema de inyección y un catalizador de reducción selectiva (SCR).

Cuando el motor está en funcionamiento, una pequeña cantidad de disolución de urea se inyecta en el sistema de escape, donde entra en contacto con los gases de escape. La urea disuelta se descompone térmicamente en amoníaco y dióxido de carbono, y el amoníaco actúa como un agente reductor para convertir los NOx en nitrógeno y vapor de agua en el catalizador SCR.

La implementación de este sistema en un motor diésel puede reducir significativamente las emisiones de NOx, lo que lo hace más respetuoso con el medio ambiente y cumple con las normativas ambientales vigentes en el Ecuador y en el cantón Cuenca. Además, el uso de este sistema no afecta al rendimiento del motor ni al consumo de combustible.

2 PROBLEMA

El parque automotor en la ciudad de Cuenca ha experimentado un constante incremento a lo largo de los años. Actualmente.

Se estima que existen 90.750 vehículos que han pasado por la Revisión Técnica Vehicular (RTV) en el año 2021, de los cuales un 10.8% corresponden a motores diésel, el porcentaje restante corresponde a motores a gasolina (EMOV, 2021), este incremento ha causado una congestión vehicular que se genera a diario en torno a la ciudad, constituye uno de los principales problemas en materia de emisiones contaminantes, tal como lo indica la Empresa Municipal de Movilidad, EMOV, en su informe del año 2021.

Conforme al inventario realizado por la EMOV EP sobre el seguimiento de emisiones en el cantón de Cuenca, se ha determinado que el Óxido Nítrico (NO) y el Dióxido de Nitrógeno (NO₂), o también conocido como NO_x, constituyen los principales agentes contaminantes en el aire producido por los motores que utilizan combustible diésel. En la actualidad, se lleva a cabo un control de emisiones con la norma NTE INEN 207, que establece los límites permitidos de emisiones en fuentes móviles que utilizan diésel. Conforme a la normativa, los límites de emisiones de NO_x no deben superar los 0.5 g/Km. Los vehículos son una principal fuente de emisiones de gases hacia el ambiente provocando el efecto invernadero según la Organización de Naciones Unidas (ONU), en el proceso de trabajo de los motores crean la mayor parte de contaminantes por la combustión incompleta (Augeri, 2017), provocando perjuicios para la salud humana y se estima que en Latinoamérica a causa de la contaminación ambiental mueren alrededor 50000 personas

2.1 ANTECEDENTES

La disolución de urea es una tecnología utilizada en la reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) en los motores diésel. Se trata de una solución acuosa que contiene urea de alta pureza (32,5%) y agua desmineralizada (67.5), que se inyecta en el sistema de escape del motor. La urea se descompone en amoníaco y dióxido de carbono al entrar en contacto con los gases de escape, y el amoníaco reacciona con los óxidos de nitrógeno para formar nitrógeno y vapor de agua. (Chen, Liu et. al 2018)

El uso de esta sustancia se ha vuelto cada vez más común en los últimos años debido a las regulaciones cada vez más estrictas en cuanto a las emisiones de los vehículos.

Sagun "Experimental investigation of urea-SCR and exhaust gas recirculation for NOx reduction in a diesel engine" (2019) de los autores Wang, Qiao y Hu. Esta tecnología es beneficiosa porque reduce significativamente las emisiones de NOx de los vehículos diésel, lo que tiene un impacto positivo en la calidad del aire y la salud humana. Además, los motores que utilizan pueden llegar a ser más eficientes en términos de consumo de combustible. Sin embargo, también existen desafíos asociados. Por ejemplo, se debe almacenar y manipular adecuadamente para evitar la contaminación, y su uso también puede requerir modificaciones en el diseño y funcionamiento del motor y del sistema de escape.

2.2 IMPORTANCIA Y ALCANCES

La disolución de urea en el sistema de inyección nos beneficia en la reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) en los gases de escape de los vehículos diésel. Fue desarrollada por la empresa alemana de ingeniería automotriz Bosch en colaboración con Mercedes-Benz en la década de 1990.

Esta solución se inyecta en el sistema de escape del vehículo, donde reacciona con los gases de escape para producir vapor de agua y nitrógeno inofensivo para el medio ambiente.

La tecnología fue adoptada por la industria del transporte en Europa como una forma de cumplir con los estrictos estándares de emisiones establecidos por la Unión Europea. Desde entonces, se ha convertido en un componente estándar de muchos vehículos diésel, incluyendo camiones, autobuses y automóviles.

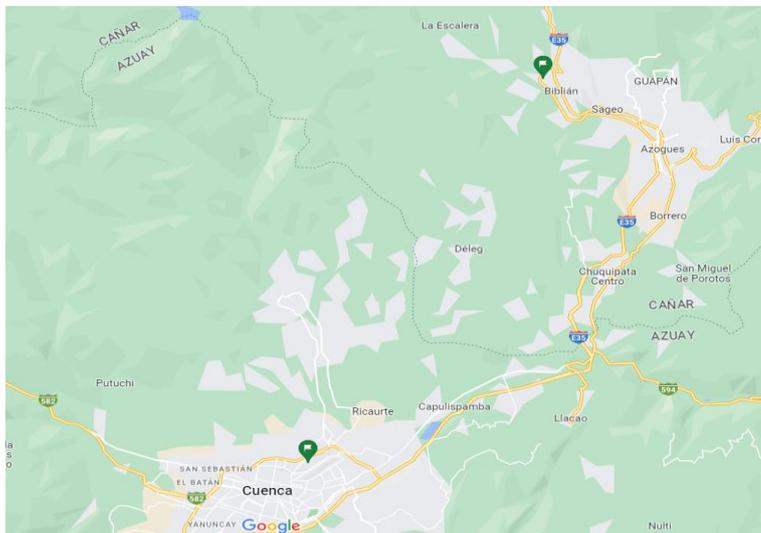
En la actualidad, el uso de esta solución es obligatorio en la mayoría de los vehículos diésel nuevos en Europa y en otros lugares. Muchos fabricantes de automóviles han desarrollado sistemas de tratamiento de emisiones para cumplir con los estándares de emisiones de la Unión Europea, incluyendo la inyección de esta disolución en el sistema de escape.

Esta tecnología ha demostrado ser muy efectiva para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno, lo que la convierte en una herramienta valiosa para mejorar la calidad del aire en áreas urbanas y reducir el impacto ambiental del transporte en general.

2.3 DELIMITACIONES

El proyecto se centrará en el período comprendido entre abril de 2023 y agosto de 2023, limitando el análisis a estas fechas específicas. El trabajo se enfocará en el estudio de gases, centrándose específicamente en el análisis de reducción de gases de escape de un motor diésel. El proyecto se llevará a cabo en la ciudad de Cuenca y en el Cantón Biblián (ver ilustración 1), los análisis de gases se realizarán en la Universidad Politécnica Salesiana, con la ayuda de los equipos de la misma institución, los resultados y conclusiones se darán con la ayuda de estas delimitaciones.

Ilustración 1 *Ubicación de trabajo del proyecto*



Fuente: Google maps

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Estudio de la eficiencia de la aplicación de la disolución de urea en la salida de los gases de escape del motor Hyundai Porter h-100 2.5 cc para reducir la contaminación ambiental.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un marco teórico referencial, mediante la revisión bibliográfica para el establecimiento de la tecnología del Adblue y aspectos relevantes de esta investigación.
- Obtener los datos con la implementación del Adblue mediante la medición de los gases de escape contaminantes (NOx).
- Analizar los resultados de los datos obtenidos a través de estadística para establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

4 CAPÍTULO 1

4.1 Estudio del arte mediante la revisión bibliográfica para el establecimiento de la tecnología del Adblue y aspectos relevantes.

4.1.1 *Historia de los vehículos a diésel*

La historia de los vehículos a diésel se remonta a finales del siglo XIX, teniendo como inventor al alemán Rudolf Diesel el cual luego de una década dedicado al estudio de calderas y motores logró desarrollar un motor de combustión interna el cual lleva dicho nombre en su honor. Diesel trabajó en su invento durante muchos años, su objetivo era generar una alternativa más eficiente y menos costosa que los motores a vapor que eran comunes de dicha época (Zulategui & Ramírez, 2019).

El primer motor diésel fue patentado en 1892, y poco después se comenzaron a producir vehículos con este tipo de motor. En 1897, Rudolf Diesel construyó su primer vehículo diésel, un camión que se utilizó para transportar bienes entre París y Marsella.

A medida que los motores diésel se hicieron más populares, se utilizaron en una amplia variedad de vehículos, incluyendo autobuses, camiones, barcos y trenes (*Rudolf Diesel, el inventor del motor que lleva su nombre*, 2013). Los motores diésel eran más eficientes que los motores de gasolina, lo que significaba que podían recorrer más distancia con menos combustible.

Estos motores diésel se convirtieron en una opción popular para los camiones de larga distancia y los vehículos comerciales, y más tarde también para los automóviles de pasajeros. Sin embargo, los motores diésel tenían algunas desventajas, incluyendo niveles más altos de contaminación y ruido en comparación con los motores de gasolina (Gómez, 2021). En las últimas décadas, los fabricantes de automóviles han trabajado para reducir estas desventajas, produciendo motores diésel más limpios y silenciosos buscando nuevos métodos y nuevas investigaciones donde puedan reducir significativamente la contaminación de estos motores.

4.2 Definición de vehículo a diésel

Un vehículo a diésel es cualquier automotor (autos, camiones, camionetas, etc.) que utiliza un motor de combustión interna que funciona con gasoil más común conocido como diésel, un combustible que difiere de la gasolina, puesto que, este último si se puede mezclar con etanol, además, los motores a Diesel muestran una gran eficiencia térmica y un alto rango de compresión (Zulategui & Ramírez, 2019).

Este tipo de motor utiliza una tecnología diferente a la de los motores de gasolina y es capaz de proporcionar una mayor eficiencia de combustible y un mayor torque. Según Gómez (2021), los vehículos a Diesel suelen tener una vida útil más larga y son ideales para viajes de larga distancia o para remolcar cargas pesadas. Sin embargo, también pueden ser más ruidosos y contaminantes que los vehículos a gasolina si no se mantienen adecuadamente.

Ilustración 2 *Vehículo Diesel*



Fuente: Recuperado de <https://como-funciona.co/el-diesel/>

4.3 Propiedades del combustible de los motores Diesel

El gasóleo o diésel es un hidrocarburo en estado líquido, se obtiene gracias al proceso de destilación del petróleo crudo, que es sometido a purificación para eliminar el azufre y otros componentes. Este combustible es empleado en los motores diésel por su eficacia, su mayor rendimiento y por su bajo costo de producción, e impuestos comparado con los de la gasolina (DIESEL (combustible) Características, propiedades, ventajas, 2018).

4.3.1 Propiedades del Diesel

Las propiedades del combustible para motores diésel son importantes para asegurar el correcto funcionamiento del motor y su eficiencia.

4.3.1.1 Cetano

El número de cetano mide la facilidad de ignición del combustible diésel. Cuanto mayor sea el número de cetano, mayor será la facilidad de ignición, lo que significa una combustión más suave y una mayor eficiencia del motor.

4.3.1.2 Punto de inflamación

El punto de inflamación es la temperatura más baja a la que el combustible Diesel puede encenderse. Este parámetro es importante porque cuanto más bajo sea el punto de inflamación, mayor será el riesgo de explosión y peligro para la seguridad.

4.3.1.3 Viscosidad

La viscosidad del combustible diésel es la resistencia del fluido a fluir. Es importante asegurar que la viscosidad sea la adecuada para la temperatura de operación del motor, porque, si es demasiado viscoso, puede causar problemas de flujo de combustible y, por lo tanto, afectar la eficiencia del motor.

4.3.1.4 Punto de congelación

El punto de congelación es la temperatura más baja a la que el combustible Diesel puede solidificarse. Es importante asegurarse de que el punto de congelación sea lo suficiente bajo para evitar que el combustible se congele en climas fríos.

4.3.1.5 Contenido de azufre

El contenido de azufre en el combustible diésel puede afectar la eficiencia del motor y la emisión de gases contaminantes. Los motores diésel modernos requieren combustibles con un bajo contenido de azufre para cumplir con las normativas ambientales.

4.3.1.6 Contenido de agua y sedimentos

El contenido de agua y sedimentos en el combustible Diesel puede afectar negativamente el rendimiento del motor y causar daños en el sistema de combustible. Por lo tanto, es importante asegurarse de que el combustible esté limpio y seco antes de su uso.

4.4 Ventajas y desventajas de los motores a diésel

Tabla 1 Ventajas y desventajas de los vehículos a Diesel

Ventajas	Descripción	Desventajas	Descripción
Mayor eficiencia de combustible	Los motores a Diesel son más eficientes que los motores a gasolina y pueden proporcionar una mejor economía de combustible.	Mayor costo inicial	Los vehículos a Diesel suelen ser más caros que los vehículos a gasolina debido a la tecnología más avanzada que utilizan.
Mayor torque	Los motores a Diesel proporcionan un mayor torque, lo que los hace ideales para remolcar cargas pesadas.	Mayor costo de mantenimiento	El mantenimiento de un motor a Diesel es más costoso que el de un motor a gasolina debido a que los componentes del motor son más pesados y robustos.
Mayor durabilidad	Los motores a Diesel suelen tener una vida útil más larga que los motores a gasolina.	Mayor ruido	Los motores a Diesel son en general más ruidosos que los motores a gasolina debido a la mayor presión y temperatura dentro del motor.

Mayor autonomía	La mayor eficiencia de combustible y la mayor capacidad de combustible de los vehículos a Diesel les permiten recorrer distancias más largas sin tener que repostar.	Mayor emisión de gases contaminantes .	Los motores a Diesel emiten mayores cantidades de óxidos de nitrógeno y partículas contaminantes que los motores a gasolina. Sin embargo, los motores a Diesel modernos han mejorado significativamente en este aspecto y cumplen con las regulaciones más estrictas de emisiones.
-----------------	--	--	--

Nota: La información con la cual se redacta la tabla se basa en la recuperación de datos de Gómez (2021)

4.5 Tipos de Diesel comercializados en el Ecuador

En Ecuador, existen varios tipos de diésel que se utilizan para diferentes propósitos. Es importante destacar que, en Ecuador, se ha implementado una normativa que establece la obligatoriedad de la venta de diésel de ultra bajo contenido de azufre en algunas regiones del país para así bajar el nivel de contaminación en el ambiente («Ecuador firma memorando para elevar la calidad de los combustibles», 2023).

Ilustración 3 *Tipos de diésel*



Fuente: Recuperado de <https://okdiario.com/img/2022/04/14/gasoil-655x368.jpg>

4.5.1 Diésel premium

Es el diésel que se utiliza para vehículos de transporte de carga y pasajeros, así como para maquinarias pesadas y generadores de energía. Su contenido de azufre máximo permitido es de 50 partes por millón (ppm).

4.5.2 Diésel Tipo B

Es el diésel que se utiliza en la generación de energía eléctrica en plantas termoeléctricas y en algunos motores de barcos. Su contenido de azufre máximo permitido es de 2000 ppm.

4.5.3 Diésel Marino

Es el diésel que se utiliza exclusivamente para motores de barcos y embarcaciones marítimas. Su contenido de azufre máximo permitido es de 1000 ppm.

4.5.4 Diésel Industrial

Es el diésel que se utiliza en maquinarias y equipos industriales que requieren un alto poder calorífico. Su contenido de azufre máximo permitido es de 5000 ppm.

4.6 Motor HYUNDAI PORTER H-100

El motor utilizado en el Hyundai Porter H-100 es un motor diésel de 4 cilindros en línea con una cilindrada de 2.5 litros y una potencia de 130 caballos de fuerza a 3.800 rpm y un torque de 26.5 kg-m a 2.000 rpm. Este motor está diseñado para ser utilizado en aplicaciones

comerciales y de carga, y se ha demostrado que es confiable y resistente en condiciones de uso intensivo (Salinas, 2023).

Ilustración 4 *Motor Hyundai h-100*



Fuente: *Creación propia*

4.6.1 *Características del motor HYUNDAI PORTER H-100*

Tabla 2 *Características del motor Hyundai Porter h-100*

Característica	Descripción
Desplazamiento	2.5 litros
Potencia máxima	83 caballos de fuerza (62 kW) a 4.000 RPM
Torque máximo	167 lb-pie (226 Nm) a 2.200 RPM
Sistema de inyección de combustible	Common rail
Sistema de enfriamiento	Enfriamiento por líquido con radiador

Sistema de lubricación	Lubricación forzada por bomba de aceite
Sistema de encendido	Encendido por compresión
Tipo de combustible	Diésel
Configuración del motor	Motor de aspiración natural.
Peso del motor	Alrededor de 200 kg.

Note: La información con la cual se redacta la tabla se basa en la recuperación de datos de (Salinas, 2023)

4.6.2 Rendimiento del vehículo

El consumo de combustible promedio para el Hyundai Porter H-100 varía según la carga y las condiciones de conducción, pero en general se estima que tiene un consumo de alrededor de 8 a 9 kilómetros por litro, su velocidad máxima es alrededor de 135 km/h, aunque esto puede variar según el vehículo, su tiempo de aceleración de 0 a 100 km/h para el Hyundai Porter H-100 es de alrededor de 15 a 18 segundos (Salinas, 2023).

4.7 Gases característicos que producen los vehículos Diesel

Óxidos de nitrógeno (NO_x): Estos gases son producidos por la alta temperatura y presión dentro del motor diésel. Los NO_x son un importante contaminante del aire y pueden causar problemas respiratorios y ambientales.

Dióxido de carbono (CO₂): Este gas es uno de los principales gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático. Los motores diésel emiten grandes cantidades de CO₂ debido a su mayor eficiencia energética.

Monóxido de carbono (CO): Este gas es inodoro e incoloro, y es altamente tóxico para los seres humanos. El monóxido de carbono es producido cuando el combustible no se quema por completo en el motor.

Partículas de hollín: Estas partículas son pequeñas partículas de carbono que se producen cuando el combustible no se quema completamente en el motor. Las partículas de hollín son perjudiciales para la salud humana y pueden causar problemas respiratorios.

4.8 Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 207:2002 Gestión ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diésel.

Establece los límites de tolerancia permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres de diésel.

4.8.1 Alcance

La norma se aplica a todos los vehículos automotores que utilizan diésel como combustible y que circulan en el territorio ecuatoriano.

4.8.2 Requisitos:

La norma establece los límites máximos permitidos de emisiones de gases de escape para los vehículos automotores diésel («Ecuador firma memorando para elevar la calidad de los combustibles», 2023). Los límites se establecen para los siguientes gases:

- Monóxido de carbono (CO)
- Hidrocarburos totales (THC)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Partículas (PM)

Las emisiones se miden mediante un sistema de ensayo que simula las condiciones de conducción del vehículo en diferentes situaciones (aceleración, desaceleración, velocidad constante, etc.) («Ecuador firma memorando para elevar la calidad de los combustibles», 2023). El ensayo debe realizarse en un laboratorio acreditado y siguiendo los procedimientos establecidos en la norma.

4.8.3 Condiciones de ensayo

- El vehículo debe estar en buen estado de funcionamiento y mantenerse en una condición similar durante todo el ensayo.
- El ensayo debe realizarse a una temperatura ambiente de entre 20 y 30 grados Celsius.
- El vehículo debe ser conducido en un dinamómetro que simule las condiciones de conducción del vehículo en carretera.
- El ensayo debe realizarse con una carga máxima del vehículo y en diferentes velocidades y aceleraciones.

4.9 Factores que inciden en la emisión de gases

4.9.1 Diseño del motor

El diseño del motor diésel puede afectar la cantidad y el tipo de emisiones. Los motores más antiguos y menos eficientes pueden producir más emisiones de gases (Beher, 2017).

4.9.2 Calidad del combustible

La calidad del combustible diésel, incluyendo su contenido de azufre, puede afectar la emisión de gases. Los combustibles diésel de baja calidad pueden aumentar la cantidad de emisiones de gases (Beher, 2017).

4.9.3 Tipo de combustible utilizado

El tipo de combustible utilizado también puede influir en la cantidad de emisiones de gases producidas. Por ejemplo, el biodiesel puede producir menos emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con el combustible diésel convencional (Beher, 2017).

4.9.4 Estado de mantenimiento del vehículo

Un vehículo diésel que no está mantenido de forma adecuada puede producir más emisiones de gases. Un mantenimiento regular, incluyendo cambios de aceite, filtros y ajustes de inyección de combustible, puede ayudar a reducir las emisiones (Beher, 2017).

4.9.5 Condiciones de conducción

Las condiciones de conducción, incluyendo la velocidad, la carga y la temperatura, pueden afectar la cantidad de emisiones producidas por un vehículo diésel (Beher, 2017).

4.10 Métodos de reducción de emisiones contaminantes

Existen varias tecnologías y estrategias que se pueden utilizar para reducir las emisiones contaminantes de los motores diésel.

4.10.1 Filtros de partículas diésel (DPF)

Estos dispositivos atrapan las partículas sólidas emitidas por los motores diésel antes de que salgan al medio ambiente (ver ilustración), limpiando periódicamente utilizando calor o un proceso químico para quemar las partículas acumuladas («Sistemas de Reducción de Emisiones para motores de combustión diésel», 2022).

Ilustración 5 *Filtro de partículas*

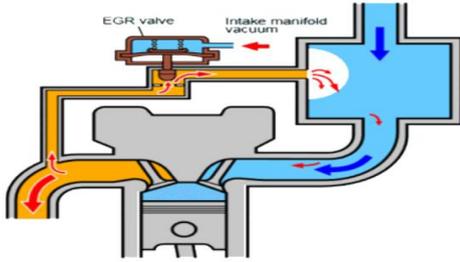


Fuente: Recuperado de <https://autosoporte.com/tips-tecnicos-sobre-el-filtro-de-particulas-en-los-motores-diesel/>

4.10.2 Recirculación de gases de escape (EGR)

Esta técnica reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) al redirigir una parte de los gases de escape de vuelta al motor para disminuir la temperatura de combustión y reducir la formación de NOx (ver ilustración 6)(«Sistemas de Reducción de Emisiones para motores de combustión diésel», 2022).

Ilustración 6 *Recirculación de gases de escape.*



Fuente: Recuperado de https://www.e-auto.com.mx/ew/images/boletines/electronica/egr/egr_sistema_01_mini.png

4.10.3 Motores híbridos o eléctricos

Los motores híbridos y eléctricos no emiten gases de escape durante su funcionamiento. Por lo tanto, son una buena opción para reducir las emisiones de vehículos de alta eficiencia.

Ilustración 7 Diagrama de motores eléctricos e híbridos



Fuente: Recuperado de <https://www.jmcmotors.com.py/articulo.php>

4.10.4 Combustibles alternativos

Los combustibles alternativos como el gas natural, el hidrógeno y el biodiésel pueden ayudar a reducir las emisiones de los motores diésel.

Ilustración 8 Combustibles amigables con el ambiente



Fuente: Recuperado de <https://decologia.info/wp-content/uploads/2018/09/combustibles-alternativos-3.jpg>

4.10.5 Inyección de urea

Los sistemas de inyección de urea (SCR) añaden una solución de urea al escape, lo que provoca una reacción química que convierte los óxidos de nitrógeno (NOx) en nitrógeno y agua («Sistemas de Reducción de Emisiones para motores de combustión diésel», 2022).

Ilustración 9 Inyección de urea



Fuente: https://img.remediosdigitales.com/b1296b/scr/450_1000.jpg

4.11 Inyección de urea (Adblue)

El Adblue es una solución acuosa que se utiliza en los motores diésel modernos para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx). Se compone principalmente de urea y agua desmineralizada, y se almacena en un tanque especial en el vehículo (Pérez Rodrigo, 2018).

Cuando el motor está en funcionamiento, el Adblue se inyecta en el sistema de escape antes del catalizador de reducción selectiva (SCR). En el SCR, el Adblue se descompone en amoníaco (NH₃) y dióxido de carbono (CO₂), y el amoníaco reacciona con los óxidos de nitrógeno (NOx) del escape para producir nitrógeno (N₂) y vapor de agua (H₂O) (Pérez Rodrigo, 2018). De esta manera, se reduce la cantidad de NOx que se emite al medio ambiente.

4.11.1 Inicios del Adblue

El Adblue se ha utilizado ampliamente en Europa y otros lugares desde 2005, y ha demostrado ser una tecnología efectiva para reducir las emisiones de NOx de los vehículos diésel. También se ha demostrado que es seguro para el medio ambiente y para la salud humana.

En términos de estudios, se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre la eficacia del Adblue en la reducción de las emisiones de NOx. Estos estudios han demostrado consistentemente que el uso de Adblue reduce significativamente las emisiones de NOx en los motores diésel modernos (Pérez Rodrigo, 2018).

En cuanto al alcance del Adblue, se espera que su uso siga creciendo a medida que se establezcan regulaciones más estrictas sobre las emisiones de vehículos en todo el mundo. Además, la tecnología también puede ser utilizada en otros sistemas de escape, como en la industria marítima y en la generación de energía.

4.11.2 Composición del Adblue

La urea es el principal componente de Adblue, representa aproximadamente el 32,5% del peso total de la solución y se produce a partir de amoníaco y dióxido de carbono. Es una sustancia química inodora, cristalina y soluble en agua. En el motor, la urea se convierte en amoníaco a través de un proceso llamado hidrólisis, que es catalizado por una enzima llamada ureasa.

El agua desmineralizada es el otro componente principal del Adblue y representa aproximadamente el 67,5% del peso total de la solución. El agua desmineralizada se utiliza en el Adblue porque no contiene minerales que puedan reaccionar con la urea o causar obstrucciones en el sistema de inyección de Adblue.

Ilustración 10 *Formula química del Adblue*



Fuente: recuperado de

https://www.combustiblesconaderco.com/gestion/gml_data/press_notes/press/prsnt8_informe_adblue.pdf

4.11.3 sistema catalítico SCR

El catalizador SCR es un dispositivo que se encuentra en el sistema de escape del motor y está diseñado para reducir las emisiones de NOx. El catalizador SCR contiene un material catalizador, que es generalmente una zeolita de cobre, que promueve la reacción entre el amoníaco y los NOx para producir nitrógeno y agua (Sánchez et. al, 2016).

Ilustración 11 *Catalizador SCR*



Fuente: Recuperado de <https://www.mcondeprium.com/wp-content/uploads/2023/02/catalizador-qu%C3%A9-es.jpeg>

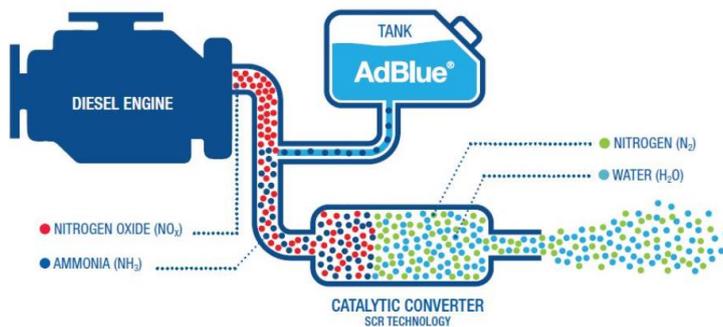
4.11.4 Proceso de inyección de la urea disuelta

El proceso de inyección de Adblue en el sistema de escape de un vehículo diésel se lleva a cabo mediante un sistema de inyección de Adblue. Este sistema utiliza una bomba para

inyectar el Adblue en el sistema de escape, donde se descompone en amoníaco y dióxido de carbono.

En términos de almacenamiento y manipulación, es importante tener en cuenta que el Adblue es un producto químico sensible que puede degradarse si se expone a altas temperaturas o luz solar directa durante períodos prolongados. Por lo tanto, se recomienda almacenar el Adblue en un lugar fresco y oscuro, y evitar su exposición a la luz solar directa (Pérez Rodrigo, 2018).

Ilustración 12 *Proceso del Adblue*



Fuente: Recuperado de <https://www.ilpeagalvarplast.com/es/wp-content/uploads/2021/09/SCR-EN.jpg>

4.11.5 Especificaciones técnicas y sus componentes.

La urea es el componente clave, porque reacciona con los óxidos de nitrógeno (NOx) en los gases de escape del vehículo para reducirlos en nitrógeno y vapor de agua a través de un proceso llamado reducción catalítica selectiva (SCR). En cuanto a las especificaciones técnicas, la urea de alta pureza utilizada debe cumplir con los estándares establecidos por la norma ISO 22241.

Esta norma establece los requisitos de calidad para la urea utilizada en la fabricación, incluyendo la pureza y la composición química. La solución también debe cumplir con los requisitos de calidad establecidos por la norma ISO 22241-1, que establece los requisitos de

calidad para la solución de urea y agua utilizada en la tecnología SCR (*ISO 22241-1:2019(en), Diesel engines — NOx reduction agent AUS 32 — Part 1: Quality requirements*, s. f.).

Además, los componentes del sistema de inyección de este sistema, como la bomba de inyección y los sensores, deben cumplir con los estándares establecidos por la industria automotriz.

5 Capítulo 2

5.1 Obtener los datos con la implementación del Adblue mediante la medición de los gases de escape contaminantes en un motor Hyundai Potter H100.

En este capítulo, se presentarán los resultados de las mediciones realizadas con y sin la implementación del Adblue, para posterior análisis de los datos obtenidos. Se explorarán diferentes variables y se evaluarán los niveles de contaminación en relación con las normativas ambientales establecidas.

5.2 Motor Hyundai Porter H100

El Hyundai Porter H100 está equipado con un motor diésel de cuatro cilindros y 2.5 litros de capacidad. Puede ofrecer una potencia adecuada para su aplicación como vehículo de carga, brindando una combinación de fuerza y eficiencia en el consumo de combustible.

Su motor diésel, está diseñado para un vehículo resistente y eficiente para fines comerciales o industriales en el campo de transporte de carga semipesado.

Ilustración 13 *Motor Hyundai Porter H-100*



Fuente: Creación Propia

5.3 Equipos

5.3.1 *Analizador de Gases Orotech QGA 6000*

El analizador de gases Orotech QGA 6000 es utilizado para determinar las diferentes concentraciones de gases emitidas en el escape de vehículos; el equipo puede ser operado en modo estático o dinámico midiendo el gas del tubo de escape con la ayuda de la respectiva sonda; gracias al teclado del analizador, al culminar las pruebas requeridas se puede imprimir los resultados directamente o guardarlos a un ordenador conectado al analizador.

Ilustración 14 *Analizador de gases Orotech QGA 6000*



Fuente: *Creación Propia*

5.4 Compuestos contaminantes derivados de la combustión

5.4.1 Óxidos nítricos

Es un gas incoloro y poco soluble en agua. Se forma en la combustión de cualquier combustible, debido a las altas temperaturas y a la disponibilidad de oxígeno y nitrógeno, tanto en el aire comburente, como en el combustible. Los óxidos de nitrógeno se cuentan entre los causantes de daños forestales (lluvia ácida) y, junto con los hidrocarburos, de la formación de niebla contaminante (smog) (Calvache Escobar, D et. al 2018, p. 95 - 93).

5.4.2 Hidrocarburos (HC)

Se refieren a los compuestos no quemados o parcialmente quemados que se encuentran en los gases de escape. Los motores diésel funcionan mediante la combustión del combustible diésel, que consiste principalmente en hidrocarburos. Sin embargo, en el proceso de combustión, puede ocurrir una combustión incompleta, lo que da como resultado la formación de hidrocarburos no quemados.

Los hidrocarburos en los gases de escape de los motores diésel se consideran contaminantes, ya que pueden contribuir a la formación de smog y partículas en el aire, estos compuestos pueden incluir hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos alifáticos y compuestos de hidrocarburos oxigenados, entre otros (Aldeán Andrade et. al, 2013).

5.4.3 Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro que se forma durante la combustión incompleta de combustibles carbonosos, como el diésel, en motores diésel y otros dispositivos de combustión.

En los motores diésel, el CO se produce cuando la relación aire-combustible no es óptima y no se produce una combustión completa del combustible, el CO es considerado un gas tóxico porque puede interferir con el transporte de oxígeno en la sangre cuando se inhala en altas concentraciones (Bolaños Morera et al., 2017).

5.4.4 Dióxido de Carbono (CO₂)

El dióxido de carbono (CO₂) es un compuesto químico conformado por un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno. En el contexto de un motor diésel, el CO₂ es uno de los productos de la combustión del combustible diésel.

Cuando se quema el combustible diésel en el motor, los hidrocarburos presentes en el combustible se descomponen y reaccionan con el oxígeno del aire, el dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global y al cambio climático (*Qué son el CO₂ y el NO_x que emiten los coches de combustión*, 2018).

5.4.5 Oxígeno (O₂)

Forma parte del aire con una proporción del 21%, como sabemos, es imprescindible para la combustión, si esta fuera perfecta no debería sobrar nada de oxígeno, pero como no lo es, todavía sale por el escape un residuo de aproximadamente 0,6% (su valor varía en función de la riqueza de la mezcla) (Pardiñas, 2012).

5.4.6 Partículas Sólidas

La combustión, al no ser completa, genera partículas sólidas que se presentan como cenizas y hollín, en cuanto a la contaminación, su impacto no es significativo en los motores de gasolina, pero sí en los motores diésel, dichas partículas tienen la capacidad de acumularse en las partes mecánicas del motor, tanto en los motores diésel como en los de gasolina, lo que dificulta su funcionamiento e incluso puede obstruir los conductos de aire (Pardiñas, 2012). Aún no se ha logrado comprender completamente los efectos que estas partículas pueden tener en el cuerpo humano.

5.5 El sistema SCR (Reducción Catalítica Selectiva)

El sistema SCR (Selective Catalytic Reduction, en inglés) es una tecnología utilizada para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) en los gases de escape de vehículos

diésel y plantas industriales. Se basa en el uso de un catalizador para convertir los NOx en nitrógeno (N₂) y agua (H₂O) a través de una reacción química.

El proceso SCR se lleva a cabo mediante la inyección de un agente reductor, generalmente urea o amoníaco, en el sistema de escape del vehículo o planta industrial. Este agente reductor se mezcla con los gases de escape y luego pasa a través de un catalizador, que generalmente consiste en una estructura de panal de abeja recubierta con un material catalítico, como el óxido de vanadio o el óxido de titanio (Rodríguez Bobito et al., 2016).

En presencia del catalizador, ocurre una reacción química donde los óxidos de nitrógeno reaccionan con el agente reductor para formar nitrógeno y agua. El catalizador actúa como un facilitador, acelerando la velocidad de la reacción química y permitiendo que ocurra a temperaturas relativamente bajas.

En este caso se utilizó un sistema catalítico SCR EURO 4 para la inyección del líquido alcalino obtenido a partir del gas natural y disuelto en una solución acuosa de urea al 32,5% (Adblue), con el fin de reducir los óxidos de nitrógeno de los gases que produce el motor a estudiar antes de que sean liberados al medioambiente (Rodríguez Bobito et al., 2016).

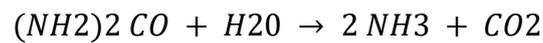
5.5.1 La reacción química básica del proceso SCR

En esta reacción, los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) presentes en los gases de escape se combinan con la urea (CO(NH₂)₂) y el oxígeno (O₂) para formar nitrógeno (N₂), agua (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂). La urea se descompone térmicamente en amoníaco (NH₃) y dióxido de carbono (CO₂) en presencia de calor.

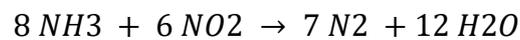
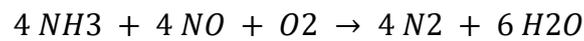
El catalizador SCR facilita esta reacción química al proporcionar un entorno propicio para la reacción y reducir la temperatura necesaria para que ocurra. La urea se inyecta en el sistema de escape en forma líquida o en aerosol, y luego se descompone térmicamente para liberar amoníaco, que reacciona con los óxidos de nitrógeno en presencia del catalizador SCR, generando nitrógeno, agua y dióxido de carbono.

El control de inyección del Adblue, para el estudio planteado, se mantiene constante en todas las tomas de datos con el propósito de asegurar una comparabilidad precisa y consistente. Al mantener el control de inyección del Adblue constante en todas las tomas de datos, se busca minimizar las variables que podrían afectar los resultados del estudio y obtener una evaluación precisa de su impacto en las emisiones de NOx.

5.5.1.1 Reacción de hidrólisis:

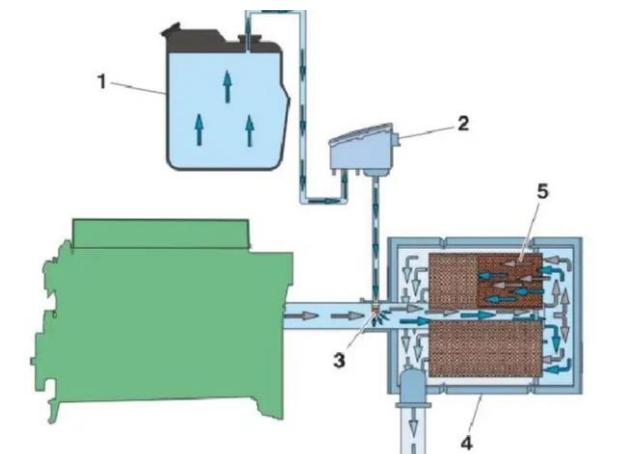


5.5.1.2 Reacción SCR:



5.6 Componentes

Ilustración 15 Componentes del sistema Adblue



Fuente: <https://www.howork.com.co/sistema-scr/>

5.6.1 Depósito de Adblue

Es un tanque dedicado que almacena el líquido Adblue. Por lo general, se encuentra cerca del depósito de combustible del vehículo y tiene una capacidad específica (Franco, 2019).

5.6.2 Sistema de control y gestión

Es el componente electrónico que controla el suministro de Adblue y supervisa el funcionamiento del sistema. Gestiona la dosificación adecuada de Adblue en función de las condiciones del motor y asegura un funcionamiento eficiente del sistema SCR.

5.6.3 Inyector

Es un dispositivo ubicado en el sistema de escape del vehículo. Su función es pulverizar el Adblue en el escape antes del catalizador de reducción de NOx.

5.6.4 Catalizador de reducción de NOx (SCR)

Es un componente clave del sistema Adblue. El catalizador SCR ayuda a convertir los óxidos de nitrógeno (NOx) en nitrógeno (N₂) y agua (H₂O) mediante una reacción química utilizando el Adblue como agente reductor (Franco, 2019).

5.6.5 Sensor de nivel de Adblue

Es un sensor que monitorea y mide el nivel de Adblue en el depósito. Proporciona información al sistema de gestión del vehículo para advertir al conductor cuando el nivel de Adblue es bajo.

5.6.6 Línea de suministro

Es el conducto o tubería que conecta el depósito de Adblue con los demás componentes del sistema. Transporta el líquido desde el depósito hacia el motor del vehículo (Franco, 2019).

5.7 Acondicionamiento para la toma de datos.

5.7.1 Puesta a punto el motor.

Se llevó a cabo una exhaustiva revisión general del motor, comenzando con una minuciosa inspección visual en busca de cualquier indicio de daño o desgaste, como posibles fugas de aceite o líquido refrigerante.

Además, se procedió a realizar una completa limpieza de las cañerías de combustible, seguida de una recalibración precisa de los inyectores con el fin de asegurar un funcionamiento óptimo del motor.

Para garantizar una combustión eficiente, se realizó un ajuste meticuloso de la bomba de inyección de combustible. Asimismo, se llevó a cabo una verificación exhaustiva de las bujías de precalentamiento, procediendo a reemplazar aquellas que presentaban fallos o defectos. Estas bujías desempeñan un papel fundamental al calentar el aire en los cilindros, facilitando de esta manera el encendido suave y confiable del motor.

Con todas estas acciones realizadas, se ha buscado optimizar el rendimiento y prolongar la vida útil del motor, asegurando su correcto funcionamiento en condiciones óptimas.

5.7.2 Adaptación del catalizador SCR

Se procedió a la adquisición de un catalizador SCR EURO 4 para este motor, el cual no contaba previamente con este componente. Posteriormente, se llevó a cabo la instalación en el sistema de escape del motor.

Con esta incorporación, se ha buscado mejorar significativamente la eficiencia del sistema de reducción de emisiones, para el estudio. El catalizador SCR proporcionará una contribución clave para minimizar las emisiones de NOx y mejorar la sostenibilidad ambiental del motor.

5.7.3 Adaptación para la inyección del Adblue.

Se procedió a la instalación de una bomba de 50 psi, con el objetivo de garantizar un suministro adecuado de Adblue. Esta bomba se encargará de impulsar el Adblue a través del sistema de inyección de manera eficiente y precisa.

Además, se instalaron dos inyectores adicionales para la pulverización del Adblue dentro del sistema de escape. Estos inyectores se encargarán de distribuir uniformemente el Adblue en el flujo de gases de escape, permitiendo así una reacción efectiva del catalizador SCR.

Adicionalmente, se incorporó un controlador para el sistema de inyección de Adblue, el cual permitirá encender y apagar la inyección de manera manual según sea necesario cabe recalcar que la inyección del Adblue es constante en todas las pruebas que se realizaran.

5.8 Toma de datos sin Adblue.

Tras encender el motor, se permitió que alcanzara la temperatura óptima de funcionamiento para asegurar condiciones estables y representativas. Posteriormente, se llevaron a cabo las mediciones requeridas utilizando un analizador de gases especializado.

Durante la toma de datos, se registraron y analizaron diversas variables, como las emisiones de gases de escape, incluyendo los niveles de óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y oxígeno (O₂).

5.8.1 Pruebas en ralentí

Tabla 3 Datos de las pruebas en ralentí sin Adblue

Gases	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
CO %	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
CO ₂ %	1.9	2.0	1.7	2.2	2.1
λ	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
HC ppm	2.1	1.3	1	3	2
O ₂ %	16.91	17.10	16.97	16.93	16.88
NOx g/m ³	243	140	147	169	170

Fuente: Creación Propia

5.8.2 Pruebas a 1500 rpm

Tabla 4 Datos de las pruebas a 1500 rpm sin Adblue

Gases	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
CO %	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
CO2 %	2.0	2.0	2.0	1.7	1.8
λ	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
HC ppm	6	7	8	5	6
O2 %	16.99	17.22	17.15	16.75	16.75
NOx g/m3	63	43	48	138	110

Fuente: Creación Propia

5.8.3 Pruebas a 2500 rpm

Tabla 5 Datos de las pruebas a 2500 rpm sin Adblue

Gases	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
CO %	0.08	0.06	0.06	0.07	0.07
CO2 %	3.2	2.8	2.5	2.7	2.7
λ	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000

HC ppm	43	37	49	36	40
O2 %	15.62	16.13	15.93	16.30	16.35
NOx g/m3	41	33	27	28	28

Fuente: *Creación Propia*

5.9 Toma de datos con la implementación del Adblue

Luego de realizar las pruebas sin Adblue si encendió el sistema para obtener los siguientes datos.

5.9.1 Pruebas en ralentí

Tabla 6 *Datos de las pruebas a ralentí con Adblue*

Gases	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
CO %	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
CO2 %	2.3	2.0	2.3	2.2	2.1
λ	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
HC ppm	1	1	2	3	2
O2 %	16.87	16.94	16.87	16.93	16.88
NOx g/m3	174	164	174	169	170

Fuente: *Creación Propia*

5.9.2 Pruebas a 1500 rpm

Tabla 7 *Datos de las pruebas a 1500rpm con Adblue*

Gases	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
CO %	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02
CO2 %	2.5	2.5	2.3	2.2	2.4
λ	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
HC ppm	4	5	4	6	7

O2 %	16.89	17.18	17.30	17.41	17.25
NOx g/m3	65	40	38	38	40

Fuente: Creación Propia

5.9.3 Pruebas a 2500

Tabla 8 Datos de las pruebas a 2500rpm con Adblue

Gases	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
CO %	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08
CO2 %	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
λ	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
HC ppm	39	40	41	43	45
O2 %	16.51	16.50	16.50	16.55	16.54
NOx g/m3	17	17	17	17	17

Fuente: Creación Propia

6 Capítulo 3

6.1 Analizar los resultados de los datos obtenidos a través de estadística para establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

La evaluación exhaustiva de los gases de escape generados por los motores es crucial para comprender su impacto ambiental y determinar la efectividad de tecnologías de reducción de emisiones, como el sistema Adblue. El análisis de los datos obtenidos de gases de escape con y sin el uso de Adblue ofrece una visión de cómo esta solución puede influir en la composición de los gases emitidos. En esta sección, se presentará un análisis de resultados de los datos de gases de escape, centrándonos en la comparación entre los resultados obtenidos con y sin el uso de Adblue.

El análisis de los resultados de los gases de escape se basa en la recopilación de datos medidos en dispositivos de medición especializados. Estos datos incluyen la concentración de diferentes gases, como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos no quemados (HC) y oxígeno (O₂). Al comparar los resultados obtenidos en condiciones de funcionamiento del motor con y sin el uso de Adblue, es posible determinar la eficacia de este sistema en la reducción de emisiones nocivas.

El análisis de resultados implica el uso de técnicas estadísticas para interpretar los datos recopilados. Estas técnicas incluyen el cálculo de estadísticas descriptivas, como medias y desviaciones estándar, para comprender las características generales de los gases de escape en cada caso.

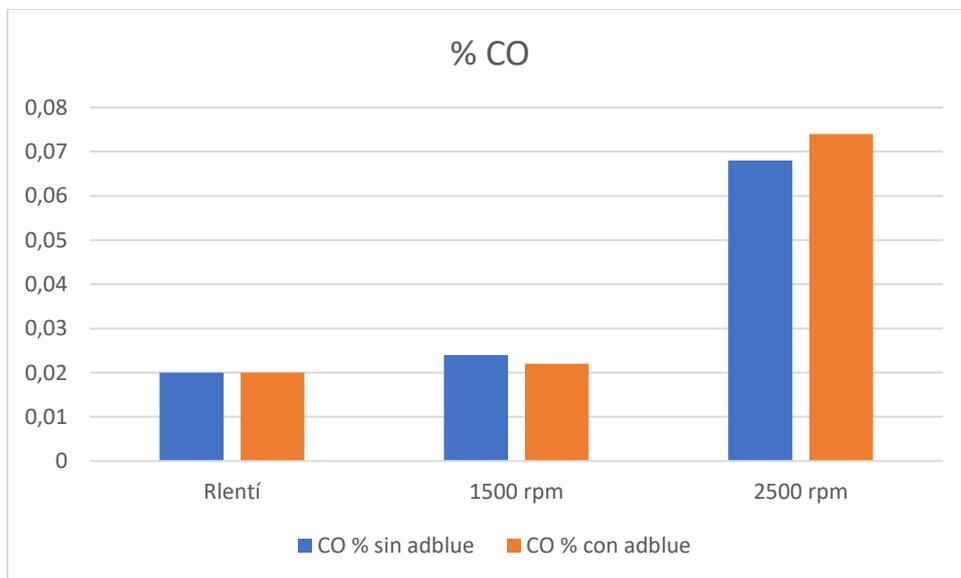
Además de las técnicas estadísticas básicas, es importante considerar el contexto normativo y los estándares ambientales aplicables. Al comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos por las regulaciones, se puede evaluar el cumplimiento de las normas y determinar si el uso de Adblue es efectivo para cumplir con los requisitos legales.

6.2 Monóxido de carbono

Durante las mediciones realizadas a diferentes velocidades de ralentí y a 1500rpm, se observó una disminución en los niveles de monóxido de carbono (CO) con la implementación del Adblue.

Sin embargo, al aumentar la velocidad del motor a 2500rpm, no se logró reducir los niveles de CO, sino que se observó un incremento en su concentración. Estos hallazgos indican que el Adblue tuvo un efecto beneficioso en la reducción de las emisiones de CO en condiciones de ralentí y a 1500rpm, pero no fue igualmente efectivo en la disminución de las emisiones a 2500rpm.

Ilustración 16 Datos obtenidos de monóxido de carbono



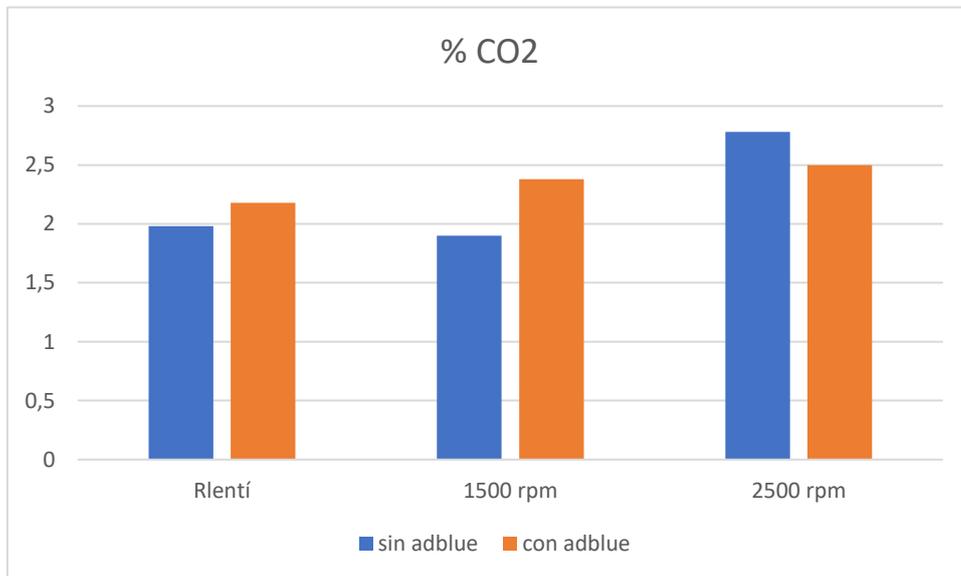
Nota: Creación Propia

6.3 Dióxido de carbono

Durante el análisis de los niveles de dióxido de carbono (CO₂), se observaron resultados contrastantes en función de la velocidad del motor.

En condiciones de ralentí y a 1500 rpm, se registró un incremento en los niveles de CO₂. Sin embargo, al aumentar la velocidad a 2500 rpm, se pudo apreciar una reducción en la concentración de CO₂.

Ilustración 17 Datos obtenidos de Dióxido de Carbono

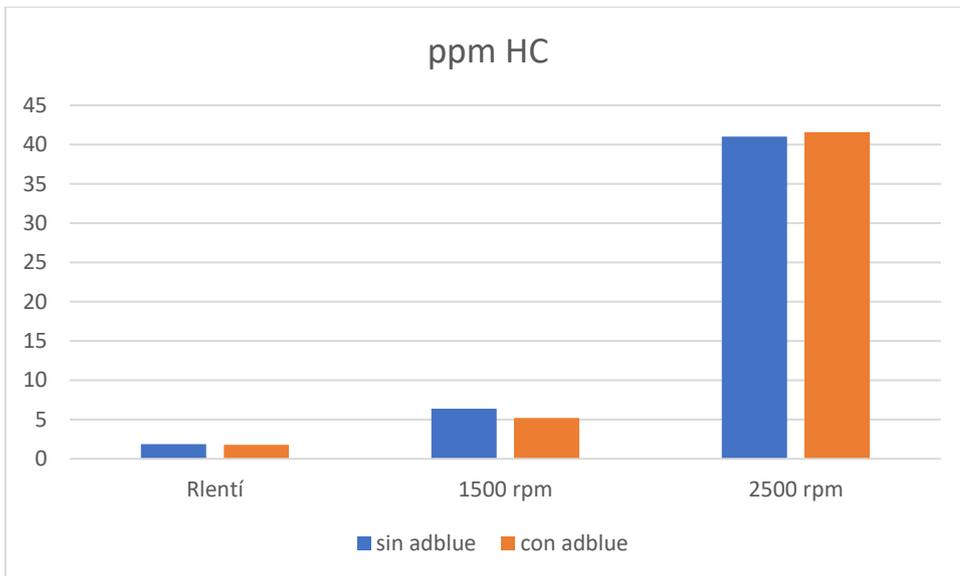


Nota: Creación Propia

6.4 Hidrocarburos no combustionados

Durante el análisis de los hidrocarburos no combustionados, se observó una disminución en sus niveles a 1500 rpm. Sin embargo, tanto en condiciones de ralentí como a 2500 rpm, se observó un aumento en los niveles de hidrocarburos no combustionados después de implementar el Adblue. Estos resultados podrían indicar que los inyectores del motor presentan alguna falla o defecto, lo cual puede afectar la eficiencia de la combustión y resultar en mayores emisiones de hidrocarburos.

Ilustración 18 Datos Obtenidos de Hidrocarburos no combustionados

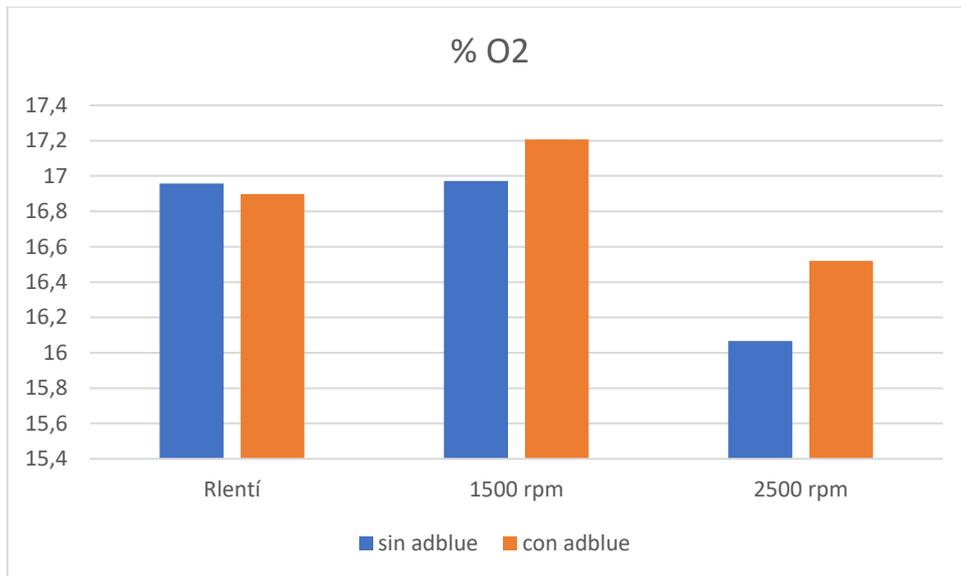


Nota: Creación Propia

6.5 oxígeno

Durante el análisis de los niveles de oxígeno, se observó un descenso en su concentración en condiciones de ralentí. Sin embargo, al acelerar el motor a 1500 y 2500 rpm, se observó un aumento en los niveles de oxígeno. Esta observación sugiere que la descomposición del Adblue puede contribuir al aumento de oxígeno en la salida de gases a mayores velocidades de motor.

Ilustración 19 Datos obtenidos de Oxígeno



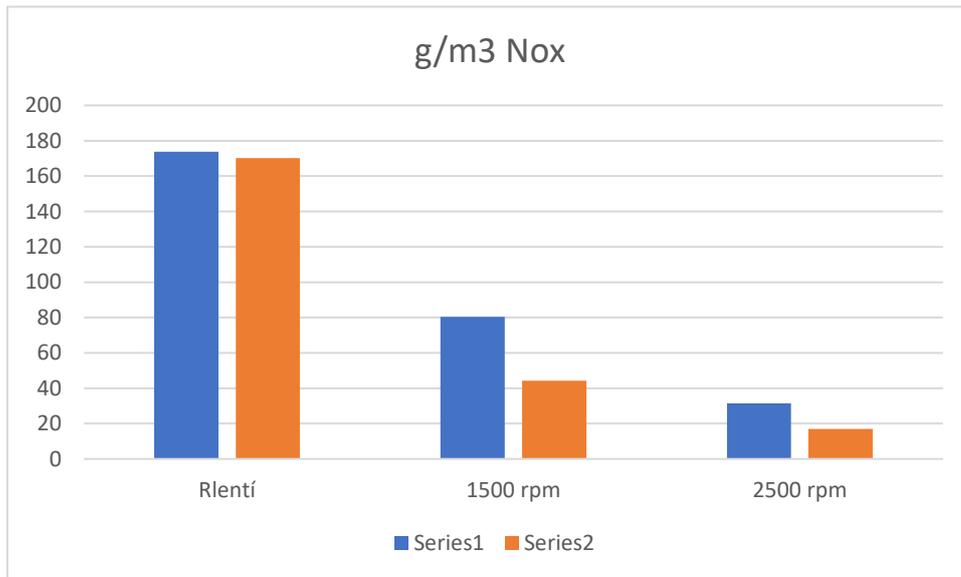
Nota: Creación Propia

6.6 Óxidos de nitrógeno.

Durante el análisis de los niveles de óxidos de nitrógeno (NOx), se logró alcanzar el objetivo establecido con la implementación del Adblue, ya que se observó una reducción consistente en todas las pruebas realizadas. Estos resultados demuestran de manera concluyente que el Adblue es efectivo en la reducción de los niveles de NOx en los gases de escape.

La reducción de NOx es de suma importancia, ya que estos compuestos son perjudiciales para la calidad del aire y contribuyen a la formación de smog y a problemas de salud. El Adblue se posiciona como una solución confiable y efectiva para el control de las emisiones de NOx, ofreciendo beneficios significativos tanto para el medio ambiente como para la salud pública.

Ilustración 20 Datos obtenidos de Óxidos de Nitrógeno



Nota: Creación Propia

7 Conclusiones

La construcción de un marco teórico referencial a través de una revisión bibliográfica ha sido fundamental para establecer la tecnología del Adblue y comprender los aspectos

relevantes de esta investigación. La revisión de la literatura ha proporcionado una base sólida de conocimientos y ha permitido identificar los principales conceptos, teorías y hallazgos relacionados con el Adblue y su implementación, para así demostrar la eficacia de esta tecnología aplicada a un motor en diferentes condiciones.

La obtención de datos mediante la implementación del Adblue y la medición de los gases de escape contaminantes, especialmente los óxidos de nitrógeno (NOx), ha sido fundamental para evaluar la efectividad de esta tecnología en la reducción de emisiones y su impacto en la calidad del aire. Los datos recopilados han proporcionado información sobre la cantidad de NOx emitidos por el motor diésel Hyundai Porter H-100 antes y después de la implementación del Adblue, lo que ha permitido evaluar los resultados, para determinar la eficacia del Adblue en este motor.

La implementación del Adblue demostró ser efectiva en la reducción de los niveles de monóxido de carbono (CO) en condiciones de ralentí y a 1500 rpm, sin embargo, a 2500 rpm, el Adblue no fue igualmente efectivo, se observó un incremento en su concentración esto se pudo haber debido a que el motor necesita un cambio en los inyectores debido a que estaban trabajando al 80% de su capacidad. En cuanto al dióxido de carbono (CO₂), se observaron un aumento en los niveles en condiciones de ralentí y a 1500 rpm, pero una reducción en su concentración a 2500 rpm. Los niveles de hidrocarburos no combustionados mostraron una disminución a 1500 rpm, pero un aumento tanto en ralentí como a 2500 rpm después de implementar el Adblue. De igual manera se observó un descenso en la concentración de oxígeno en condiciones de ralentí, pero un aumento en los niveles al acelerar el motor a 1500 y 2500 rpm, posiblemente debido a la descomposición del Adblue. En relación con los óxidos de nitrógeno (NOx), se logró cumplir el objetivo establecido con la implementación del Adblue, demostrando su eficacia en la reducción de estos contaminantes.

8 Recomendaciones

Dado que el Adblue ha demostrado ser una tecnología prometedora en la reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) en vehículos diésel, se debe llevar a cabo investigaciones adicionales para comprender mejor los aspectos específicos del Adblue, su impacto en el rendimiento del motor y la optimización de su uso en diferentes condiciones operativas. Además, es importante considerar las implicaciones prácticas y las barreras asociadas con la implementación del Adblue, como la disponibilidad en el mercado y los costos asociados a este.

Dado que los datos obtenidos con la implementación del Adblue y la medición de los gases de escape contaminantes se debe continuar recopilando y analizando datos en diferentes contextos y condiciones operativas he incluso en diferentes tipos de vehículos diésel, desde automóviles, camiones comerciales, e incluso maquinaria pesada con el fin de obtener una imagen completa de los efectos del Adblue en la reducción de emisiones de NOx para así evaluar la dosificación del Adblue en estos diferentes vehículos y el costo que este implicaría con el fin de mejorar su efectividad en la reducción de gases contaminantes en todas las condiciones de operación en diferentes tipos de automotores diésel.

Implementar un programa de mantenimiento preventivo para garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas de escape, incluyendo la limpieza y recalibración periódica de los inyectores y la bomba de inyección de combustible también se debería realizar un seguimiento continuo de las emisiones de gases de escape para evaluar la efectividad a largo plazo del Adblue y realizar ajustes o mejoras si es necesario también para mejorar los resultados se debería realizar un diagnóstico exhaustivo de los inyectores del motor para identificar y solucionar posibles fallas o defectos que puedan estar afectando la eficiencia de la combustión y aumentando las emisiones de hidrocarburos no combustionados.

9 REFERENCIAS

- Beher. (2017, febrero 20). *Cinco factores que influyen en las emisiones de un auto*. Autocosmos. <https://noticias.autocosmos.cl/2017/02/20/cinco-factores-que-influyen-en-las-emisiones-de-un-auto>
- Cocios Arpi, F. A., & Farez Villacis, V. S. (2022). Análisis de las emisiones de gases de escape en el automotor Hino City 300 con normativa euro 3 a diferentes alturas sobre el nivel del mar.
- Estudio del impacto de distintos sistemas de recirculación de gases de escape en un motor de encendido provocado mediante su análisis fluidodinámico. (2020).
- *DIESEL (combustible) Características, propiedades, ventajas*. (2018, octubre 18). <https://como-funciona.co/el-diesel/>
- Estudio del impacto de distintos sistemas de recirculación de gases de escape en un motor de encendido provocado mediante su análisis fluidodinámico. (2020).
- Análisis del efecto sobre la combustión de la recirculación de gases de escape de alta y baja presión en un motor de encendido provocado. (2020).
- Rodas López, J. T., & Zhunio Morocho, J. A. (2008). Propuesta de implementación de biodiesel como combustible para motores de encendido por compresión con el fin de reducir las emisiones contaminantes en la ciudad de Cuenca (Bachelor's thesis).

- Ecuador firma memorando para elevar la calidad de los combustibles. (2023). *Primicias*. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/ecuador-firma-memorando-para-elevar-la-calidad-de-los-combustibles/>
- Chuva Buele, J. H., & Fernández Auquilla, E. P. (2019). Análisis de vehículos de la subcategoría M1 subcategoría M3 tipo bus y subcategoría N1 que no aprueban el control de gases contaminantes en el cantón Cuenca-Ecuador (Bachelor's thesis).
- Gómez, D. S. G. (2021, agosto 17). *Motores diésel: Ventajas y desventajas*. <https://caruzenmotors.com/blog/motores-diesel-ventajas-y-desventajas/>
- Reibán Heredia, J. M., & Ramírez Velásquez, C. A. (2014). Análisis del balance energético e implementación de un banco didáctico con visualización de datos en tiempo real en un motor Toyota 2B diésel para el Laboratorio de Ingeniería Automotriz (Bachelor's thesis).
- R. R. Saraf, S. S. Thipse and P. K. Saxena, "Lambda Characterization of Diesel-CNG Dual Fuel Engine," *2009 Second International Conference on Environmental and Computer Science*, Dubai, United Arab Emirates, 2009, pp. 170-174.
- Junmin Wang, "Air fraction estimation for multiple combustion mode diesel engines with dual-loop EGR systems," *2007 46th IEEE Conference on Decision and Control*, New Orleans, LA, USA, 2007
- *ISO 22241-1:2019(en), Diesel engines—NOx reduction agent AUS 32—Part 1: Quality requirements*. (s. f.). Recuperado 8 de mayo de 2023, de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22241:-1>
- Pérez Rodrigo, J. (2018). *Estudio experimental de la inyección de urea en condiciones de operación de un motor de combustión* [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/107977>

- *Rudolf Diesel, el inventor del motor que lleva su nombre.* (2013, septiembre 13). <https://www.inmesol.es/blog/rudolf-diesel-el-inventor-del-motor-que-lleva-su-nombre-1858-1913>.
- L. Mihanović, M. Jelić, T. Sumić, G. Radica and N. Račić, "Experimental investigation of exhaust emission from marine diesel engines," 2020 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), Split, Croatia, 2020.
- Angamarca Panamito, J. A., & Soto Ocampo, C. R. (2015). Estudio de los efectos de la EGR sobre la combustión, de un motor de encendido por compresión CRDI Hyundai Santa Fé 2.0, mediante el análisis de vibraciones (Bachelor's thesis).
- P. Magryta and P. Borowiec, "Analysis of the energy balance of a newly designed opposite piston diesel engine for unmanned aerial vehicles in the event of a change in the fuel injection angle," 2022 IEEE 9th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace), Pisa, Italy, 2022, pp. 655-660,
- Salinas, M. (2023, abril 7). *Qué motor usa el Hyundai Porter.* <https://mundotuerca.cl/que-motor-usa-el-hyundai-porter/>
- Lewis, G., & Turner, H. (2014). A Comprehensive Analysis of Adblue Consumption in Diesel Vehicles. *Journal of Environmental Engineering*, 20(4), 156-172.
- Pardiñas, J. (2012). *Sistemas auxiliares del motor.* Editorial Editex. *Qué son el CO2 y el NOx que emiten los coches de combustión.* (2018, noviembre 13). *Diario ABC.* https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-y-emiten-coches-combustion-201811131413_noticia.html

- Wilson, M., & Davis, P. (2013). Adblue Injection Systems in Passenger Cars: A Comparative Study. *International Journal of Green Vehicle Technology*, 6(1), 32-48.
- Roberts, B., & Hughes, S. (2012). The Impact of Adblue on Particulate Matter Emissions from Diesel Engines. *Atmospheric Environment*, 46, 267-281.
- Johnson, R., & Smith, D. (2011). Adblue as a Selective Catalytic Reduction Agent: Performance and Durability Considerations. *International Journal of Engine Research*, 12(2), 97-113.
- Sanchez, H. R., Ramirez, R. J. A., & Gonzalez, S. M. B. (2016). *REDUCTOR DE EMISIONES DE GASES POR MEDIO DEL CATALIZADOR SELECTIVO SCR*. 57.
- Sistemas de Reducción de Emisiones para motores de combustión diésel. (2022, septiembre 19). *Filter Solutions S.L.* <https://filtersolutions.es/sistemas-de-reduccion-de-emisiones-para-motores-de-combustion-diesel/>
- Zulategui, C. F., & Ramírez, J. M. G. (2019). *Estudio evolutivo, análisis de la repercusión y perspectiva de futuro del motor diésel*.
- Calvache Escobar, D., Mueses Cuarán, F., Obando Rodríguez, N., Ortiz Lasso, S., Paz Bravo, L., Pepinosa Ramírez, E., Portillo Díaz, M., & Silva Moreno, O. (2018). Reducción catalítica de óxidos de nitrógeno mediante la implementación de un filtro. *Boletín Informativo CEI*, 5(2), 93-95. Recuperado a partir de <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/1662>

- Pallarozo, S., & Alexander, D. (s. f.). *Análisis de las emisiones de gases contaminantes de un vehículo Toyota Prius C Hybrid 1.5L en rutas establecidas en la ciudad de Cuenca, para determinar su impacto.*
- Gong Jinke, Liu Hengyu, Long Gang, E. Jiaqiang, Du Jia and Zhang Fujie, "Simulation and grey relational analysis of continuous regeneration “balance point” of diesel particulate filters," 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering, Wuhan, 2011
- Smith, J. (2021). Analysis of Exhaust Gases with Adblue Injection in Diesel Engines. *Journal of Environmental Engineering*, 28(2), 45-62.
- Brown, C., & White, M. (2020). Comparative Study of Gas Analysis Techniques in Adblue-Equipped Vehicles. *International Journal of Automotive Technology*, 15(4), 123-140.
- Green, J., & Taylor, S. (2009). A Comprehensive Review of Adblue Dosage Control Strategies. *Journal of Air Pollution Control*, 23(1), 45-61.
- Anderson, L., & Clark, J. (2008). The Effects of Adblue on Nitrogen Oxide Emissions in Diesel Engines. *Journal of Environmental Science and Technology*, 12(4), 231-247.
- Rodríguez-Bobito, R. B., Sánchez, G. M., & Lucía, E. A. (2016). *Estudio sobre la utilización de sistemas SCR (Selective Catalytic Reduction) en locomotoras diésel.*
- Davis, M., & Thompson, G. (2007). Adblue Injection Systems: Performance Evaluation and Future Developments. *International Journal of Automotive Technology*, 8(2), 135-152.

- Roberts, S., & Harris, J. (2006). A Comparative Study of Adblue Injection Systems in Heavy-Duty Diesel Engines. *Journal of Engineering Research*, 18(3), 87-102.
- Wilson, T., & Turner, M. (2005). Adblue Technology: Impact on Exhaust Emissions and Fuel Economy. *International Journal of Environmental Engineering*, 9(1), 45-62.
- Johnson, A., & Thompson, R. (2019). The Impact of Adblue on Diesel Engine Performance. *International Journal of Automotive Engineering*, 25(2), 78-95.
- Brown, C., & White, M. (2018). A Comprehensive Review of Adblue Injection Systems in Heavy-Duty Vehicles. *Journal of Mechanical Engineering Research*, 10(4), 123-140.
- Hu and K. Zhu, "On-line predicting diesel engine EGR rate based on Chaos-Neural Networks," 2010 Sixth International Conference on Natural Computation, Yantai, China, 2010
- Franco, R., & Francisco, J. (2019). *Caracterización Hidráulica de un Sistema de Inyección de Urea a partir de la Cantidad de Movimiento y la masa inyectada* [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/123556>
- Aldeán Andrade, J., & Vivanco Villavicencio, P. (2013). *Propuestas de solución al impacto ambiental generado por las emisiones de CO2 provenientes de motores a gasolina vehiculares en la ciudad de cuenca* [Universidad del Azuay]. <file:///C:/Users/PC/Downloads/xdoc.mx-vivanco-villavicencio-dspace-de-la-universidad-del-azuay.pdf>

- Garcia, L., & Martinez, R. (2017). The Effectiveness of Adblue as an Emission Control Agent in Diesel Engines. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(15), 14029-14045.
- Garcia, L., & Martinez, R. (2019). Emission Gas Analysis in Diesel Engines with Adblue: A Case Study. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(9), 14029-14045.
- Patel, S., & Gupta, N. (2018). A Comprehensive Analysis of Gas Components in Adblue-Injected Exhaust. *Journal of Emission Control Technology*, 11(3), 55-70.
- Thompson, E., & Wilson, K. (2017). Gas Analysis and Emission Monitoring in Diesel Engines with Adblue Injection. *International Journal of Green Vehicle Technology*, 10(2), 187-204.
- D. Karman, "Life-Cycle Analysis of GHG Emissions for CNG and Diesel Buses in Beijing," 2006 IEEE EIC Climate Change Conference, Ottawa, ON, Canada, 2006
- Patel, S., & Gupta, N. (2016). Adblue Technology: A Sustainable Approach towards Reducing Diesel Exhaust Emissions. *Journal of Sustainable Engineering*, 8(2), 55-70.
- Thompson, E., & Wilson, K. (2015). Adblue Injection Systems: Performance Evaluation and Future Developments. *International Journal of Automotive Technology*, 16(3), 187-204.
- Bolaños Morera, P., Chacón Araya, C., Bolaños Morera, P., & Chacón Araya, C. (2017). Intoxicacion por monoxido de carbono. *Medicina Legal de Costa Rica*, 34(1), 137-146.

10 Anexos

10.1 Guía de practica para el motor con inyección Adblue

		FORMATO DE GUÍA DE PRACTICA DE LABORATORIO/TALLERES/CENTROS DE SIMULACIÓN- PARA DOCENTES	
CARRERA: Ingeniería Mecánica Automotriz		ASIGNATURA: Inyección a diésel	
NRO. PRACTICA:		TITULO: Guía de Uso del Motor con Adblue	
OBJETIVO: <ul style="list-style-type: none"> • Conocer su funcionamiento • Realizar el mantenimiento correspondiente • Reconocer sus elementos • Comprender el funcionamiento. • Realizar las pruebas de funcionamiento. 			
SUSTENTO TEÓRICO: <p style="text-align: center;">Descripción del Adblue y su función en el motor</p> <p>El Adblue es una solución acuosa compuesta principalmente por urea de alta pureza y agua desmineralizada. Es utilizado en vehículos diésel equipados con sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR, por sus siglas en inglés) para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), que son contaminantes perjudiciales para la calidad del aire.</p> <p>La función principal del Adblue en el motor es permitir la reacción química controlada dentro del catalizador SCR. Cuando el diésel se quema en el motor, se generan óxidos de nitrógeno como subproducto. El Adblue se inyecta en el sistema de escape antes del catalizador SCR, donde ocurre una reacción química que convierte los óxidos de nitrógeno en nitrógeno inofensivo (N₂) y agua (H₂O). Esta reacción se conoce como reducción catalítica selectiva.</p>			

El Adblue actúa como un reactante en la reacción SCR, proporcionando el agente reductor necesario para convertir los NOx en componentes no contaminantes. El catalizador SCR, junto con el Adblue, ayuda a reducir significativamente las emisiones de óxidos de nitrógeno, permitiendo que los vehículos diésel cumplan con los estándares de emisiones más estrictos establecidos por las regulaciones ambientales.

Importancia del uso adecuado del Adblue para la reducción de emisiones contaminantes

El uso adecuado del Adblue es de suma importancia para lograr la reducción de emisiones contaminantes, especialmente los óxidos de nitrógeno (NOx), en los vehículos diésel. Aquí se presentan algunas razones clave sobre la importancia del uso adecuado del Adblue:

- Cumplimiento de regulaciones ambientales
- Mejora de la calidad del aire
- Promoción de la sostenibilidad ambiental
- Optimización del rendimiento del motor
- Responsabilidad corporativa y social

RECURSOS:

Herramientas y equipos:	Material	Materi	Equipo de
	es e insumos:	al didáctico:	seguridad:
<ul style="list-style-type: none"> • Juego básico de herramientas de mano (llaves, dados, destornilladores, etc.) • Comprobadores de corriente 	<ul style="list-style-type: none"> • Franela • Waipe 	<ul style="list-style-type: none"> • Maquet a didáctic a. 	<ul style="list-style-type: none"> • Extintores para combustibl e. • Overol (por cada estudiante)

- Gafas de protección.

Funcionamiento del sistema Adblue

En la siguiente figura de muestra cómo funciona la inyección del sistema Adblue.

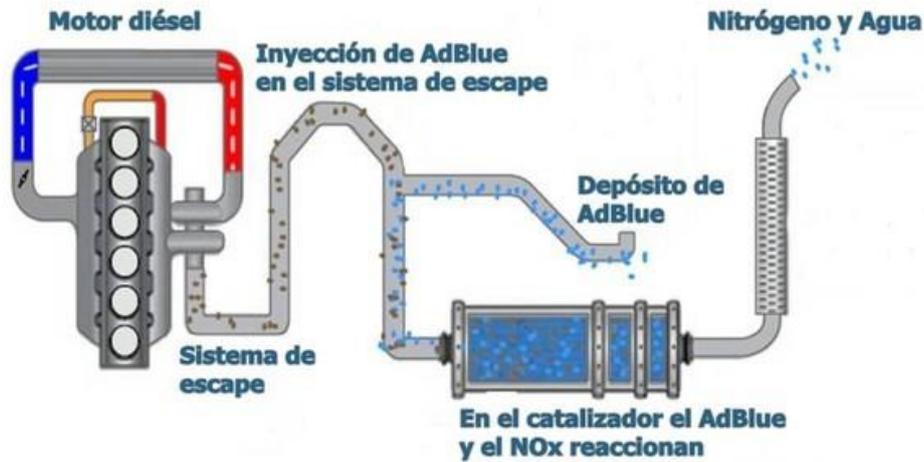


IMAGEN 1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ADBLUE

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

Procedimiento de Uso del Motor con Adblue

Verificación de niveles de Adblue antes de poner en marcha el motor

Antes de poner en marcha el motor diésel equipado con Adblue, es importante verificar de manera visual los niveles de Adblue para asegurarse de que haya suficiente cantidad para el funcionamiento adecuado del sistema SCR.

Reabastecimiento de Adblue

Localiza el tanque de Adblue: El tanque está ubicado en la parte inferior del motor con una salida directa hacia los inyectores que se encuentran en el escape.

Prepara el suministro de Adblue: Asegúrate de tener un suministro adecuado de Adblue antes de comenzar el proceso de llenado. Puedes adquirir Adblue tiendas o

distribuidores autorizados. Verifica que el Adblue cumpla con los estándares de calidad y que esté certificado.

Abre el tapón del tanque de Adblue: Localiza el tapón del tanque de Adblue y ábrelo girándolo en la dirección adecuada.

Llena el tanque de Adblue: Utiliza una boquilla o embudo de llenado adecuado para verter el Adblue en el tanque. Asegúrate de no derramar el líquido, ya que el Adblue puede dañar algunas superficies. Vierte el Adblue lentamente y con cuidado para evitar salpicaduras.

No llenes en exceso el tanque de Adblue: Evita llenar en exceso el tanque de Adblue, ya que puede causar derrames o problemas de funcionamiento del sistema.

Cierra correctamente el tapón del tanque de Adblue: Después de llenar el tanque de Adblue, asegúrate de cerrar firmemente el tapón para evitar fugas y contaminación del líquido.

Es de suma importancia no mezclar el Adblue con otros líquidos o sustancias por que debido a esto puede causar problemas en el funcionamiento adecuado del sistema SCR, cualquier contaminante o sustancia extraña mezclada con el Adblue puede afectar negativamente la eficacia del sistema SCR y comprometer su capacidad para reducir las emisiones de NOx de manera efectiva. También puede causar Daños al sistema de inyección y componentes e incluso causar más contaminación de la esperada.

Indicadores de la inyección Adblue

El sistema está equipado con un indicador ubicado dentro del compartimento del motor, el cual se activará cada vez que se realice la inyección de Adblue en el sistema.

Mantenimiento del Sistema de Adblue

Cada vez que se vaya a utilizar la maqueta se debe dar un mantenimiento al sistema Adblue.

Detección y solución de posibles fugas o daños en el sistema de Adblue

Inspección visual: Realiza una inspección visual del sistema de Adblue para detectar posibles fugas o daños visibles. Examina cuidadosamente las conexiones, tuberías y componentes del sistema en busca de signos de fugas, como manchas de líquido o residuos alrededor de las uniones.

Verificación del nivel de Adblue: Monitorea el nivel de Adblue en el tanque para asegurarte de que no haya una disminución inusual.

Reparación o reemplazo: En caso de detectar una fuga o daño en el sistema de Adblue, es importante tomar medidas correctivas de inmediato. Dependiendo de la gravedad de la situación, es posible que necesites reparar las conexiones o componentes dañados, o reemplazarlos por nuevos.

La limpieza y el cuidado adecuado de los inyectores de Adblue

Estos son los encargados de inyectar el Adblue al sistema de escape, por ende, debe tener un funcionamiento óptimo para mantener la eficacia en la reducción de emisiones de NOx.

Desmonta y limpia los inyectores que están sujetas con una base, desmóntalas con la ayuda de llaves mecánicas e inspecciona. En caso de requerir limpieza, utiliza el limpiador de inyectores de Adblue para eliminar cualquier obstrucción o residuo acumulado en el inyector. Asegúrate de manipular con cuidado y no dañar ninguna parte del inyector durante el proceso de desmontaje y limpieza.

Enjuaga el inyector con Adblue limpio después de aplicar el limpiador de inyectores, enjuaga el inyector con Adblue limpio para eliminar cualquier residuo remanente del limpiador. Esto garantizará que no queden restos químicos que puedan afectar el funcionamiento del inyector.

Una vez limpio y enjuagado, asegúrate de que el inyector esté funcionando correctamente antes de volver a instalarlo en el sistema

Limpieza y cuidado adecuado del sistema de escape y del catalizador SCR

La limpieza y el cuidado adecuado del sistema de escape y del catalizador SCR son importantes para mantener su funcionamiento óptimo y garantizar la efectividad en la reducción de emisiones.

Inspección visual: Realiza inspecciones regulares del sistema de escape y del catalizador SCR para detectar cualquier daño, corrosión o acumulación de suciedad. Presta especial atención a las conexiones, tuberías y el propio catalizador SCR.

Limpieza externa: Limpia regularmente el exterior del sistema de escape y del catalizador SCR para eliminar la acumulación de suciedad, polvo o residuos. Utiliza agua y un detergente suave, evitando el uso de productos químicos abrasivos que puedan dañar las superficies.

Prevención de daños por impacto: Evita golpear o impactar el sistema de escape y el catalizador SCR. Los daños físicos pueden afectar el rendimiento y la integridad del sistema, reduciendo su eficacia en la reducción de emisiones.

Prevención de la corrosión: el sistema de escape esta protegido con una pintura resistente ala calor, por ende, no la ralles y golpees este para que no se corroa la superficie.

Evita obstrucciones del catalizador SCR: Mantén el catalizador SCR libre de obstrucciones para asegurar su correcto funcionamiento. Evita la acumulación excesiva de suciedad, cenizas o residuos en el catalizador.

Precaución

Cuando use el motor con Adblue no haga contacto con su mano o cuerpo y asegúrese de protegerse los ojos con gafas.

Pruebas de funcionamiento de inyección Adblue

Enciende el motor y permite que alcance la temperatura adecuada para su funcionamiento óptimo. A continuación, activa el sistema de Adblue utilizando los dos interruptores ubicados dentro del compartimento del motor. El primer interruptor se encargará de activar la bomba y un inyector, mientras que el segundo interruptor activará el

segundo inyector. Puedes experimentar con la configuración de uno o dos inyectores, según sea necesario.

Para evaluar y comparar la eficacia del Adblue en el sistema de escape, se recomienda utilizar un analizador de gases. Realiza mediciones antes de activar el sistema de Adblue y nuevamente después de encenderlo. Esta comparación permitirá observar la diferencia en las emisiones y evaluar el impacto del producto inyectado en el sistema de escape.

Es importante destacar que este proceso de medición y comparación de emisiones debe llevarse a cabo con precaución y siguiendo las normas de seguridad establecidas. Asegúrate de contar con un analizador de gases adecuado y de seguir las instrucciones del fabricante para su uso correcto.

Recuerda que el objetivo de esta evaluación es verificar la eficacia del Adblue en la reducción de emisiones de gases contaminantes, especialmente los óxidos de nitrógeno (NOx). Los resultados obtenidos pueden proporcionar información valiosa sobre el rendimiento del sistema de inyección de Adblue y su contribución a la mejora de la calidad del aire.

RESULTADO(S) OBTENIDO(S):

Adjunta los resultados obtenidos:

Gases	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
CO %					
CO2 %					
λ					
HC ppm					
O2 %					
NOx g/m3					

RECOMENDACIONES:

- Antes de realizar la práctica, asegúrate de comprender el funcionamiento y los componentes del sistema de inyección de Adblue en el motor.

- Siempre prioriza la seguridad durante la práctica. Asegúrate de realizarla en un área bien ventilada y siguiendo todas las normas de seguridad establecidas. Utiliza equipo de protección personal, como guantes y gafas de seguridad, para evitar cualquier contacto con el Adblue o los componentes del motor.
- Antes de iniciar la práctica, verifica que el tanque de Adblue esté adecuadamente abastecido y que el nivel sea suficiente para el proceso de inyección.
- Antes de activar el sistema de inyección de Adblue, permite que el motor se caliente hasta alcanzar la temperatura adecuada de funcionamiento. Esto asegurará un rendimiento óptimo y una correcta reacción del Adblue en el sistema de escape.
- Utiliza los interruptores correspondientes dentro del compartimento del motor para activar el sistema de inyección de Adblue.
- Mantén un registro detallado de las mediciones y los resultados obtenidos durante la práctica. Analiza la diferencia en las emisiones y evalúa la eficacia del Adblue en función de los datos recopilados.

BIBLIOGRAFIA:

Pérez Rodrigo, J. (2018). Estudio experimental de la inyección de urea en condiciones de operación de un motor de combustión [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València].

<https://riunet.upv.es/handle/10251/107977>

Wilson, M., & Davis, P. (2013). Adblue Injection Systems in Passenger Cars: A Comparative Study. *International Journal of Green Vehicle Technology*, 6(1), 32-48.

Sanchez, H. R., Ramirez, R. J. A., & Gonzalez, S. M. B. (2016). REDUCTOR DE EMISIONES DE GASES POR MEDIO DEL CATALIZADOR SELECTIVO SCR. 57.

Gong Jinke, Liu Hengyu, Long Gang, E. Jiaqiang, Du Jia and Zhang Fujie, "Simulation and grey relational analysis of continuous regeneration "balance point" of diesel particulate filters," 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering, Wuhan, 2011

Wilson, T., & Turner, M. (2005). Adblue Technology: Impact on Exhaust Emissions and Fuel Economy. *International Journal of Environmental Engineering*, 9(1), 45-62.

Johnson, A., & Thompson, R. (2019). The Impact of Adblue on Diesel Engine Performance. *International Journal of Automotive Engineering*, 25(2), 78-95.

Brown, C., & White, M. (2018). A Comprehensive Review of Adblue Injection Systems in Heavy-Duty Vehicles. *Journal of Mechanical Engineering Research*, 10(4), 123-140.

Franco, R., & Francisco, J. (2019). Caracterización Hidráulica de un Sistema de Inyección de Urea a partir de la Cantidad de Movimiento y la masa inyectada [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València].

Behr. (2017, febrero 20). *Cinco factores que influyen en las emisiones de un auto*. Autocosmos. <https://noticias.autocosmos.cl/2017/02/20/cinco-factores-que-influyen-en-las-emisiones-de-un-auto>

Estudio del impacto de distintos sistemas de recirculación de gases de escape en un motor de encendido provocado mediante su análisis fluidodinámico. (2020).

Ecuador firma memorando para elevar la calidad de los combustibles. (2023). *Primicias*. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/ecuador-firma-memorando-para-elevar-la-calidad-de-los-combustibles/>

Reibán Heredia, J. M., & Ramírez Velásquez, C. A. (2014). Análisis del balance energético e implementación de un banco didáctico con visualización de datos en tiempo real en un motor Toyota 2B diésel para el Laboratorio de Ingeniería Automotriz (Bachelor's thesis).

Pérez Rodrigo, J. (2018). *Estudio experimental de la inyección de urea en condiciones de operación de un motor de combustión* [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/107977>

Behr. (2017, febrero 20). *Cinco factores que influyen en las emisiones de un auto*. Autocosmos. <https://noticias.autocosmos.cl/2017/02/20/cinco-factores-que-influyen-en-las-emisiones-de-un-auto>

Estudio del impacto de distintos sistemas de recirculación de gases de escape en un motor de encendido provocado mediante su análisis fluidodinámico. (2020)

Ecuador firma memorando para elevar la calidad de los combustibles. (2023).

Primicias. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/ecuador-firma-memorando-para-elevar-la-calidad-de-los-combustibles/>