



“Análisis de las emisiones de gases contaminantes de un motor Diésel implementado un sistema de reducción catalítica selectiva, utilizando urea para la conversión de óxidos de Nitrógeno (NOx) en agua y Nitrógeno”

Gualotuña Pinargo, Bryan Ramiro y Tipán Quinga, David Rubén

Departamento de energía y mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Mena Navarrete, Luis Antonio

Latacunga



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MÉCANICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, **“Análisis de las emisiones de gases contaminantes de un motor Diésel implementado un sistema de reducción catalítica selectiva, utilizando urea para la conversión de óxidos de Nitrógeno (NOx) en agua y Nitrógeno”** fue realizado por los señores **Gualotuña Pinargo, Bryan Ramiro y Tipán Quinga, David Rubén**, ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenidos; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 19 de Enero del 2022

Firma



Firmado electrónicamente por:
**LUIS ANTONIO
MENA
NAVARRETE**

Ing. Mena Navarrete, Luis Antonio

C.C.: 1801618644

Reporte de verificación de contenido



GUALOTUÑA_TIPÁN_TRABAJO_TITULACIÓN.docx
Scanned on: 12:40 January 18, 2022 UTC



Identical Words	557
Words with Minor Changes	91
Paraphrased Words	492
Omitted Words	0

 Website | Education | Businesses

Firma



Firmado electrónicamente por:
**LUIS ANTONIO
MENA
NAVARRETE**

Ing. Mena Navarrete, Luis Antonio

C.C.: 1801618644



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MÉCANICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Gualotuña Pinargo, Bryan Ramiro** con cédula de ciudadanía n°1725265472, y **Tipán Quinga, David Rubén** con cédula de ciudadanía n°1725267551, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “**Análisis de las emisiones de gases contaminantes de un motor Diésel implementado un sistema de reducción catalítica selectiva, utilizando urea para la conversión de óxidos de Nitrógeno (NOx) en agua y Nitrógeno**”, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respeta los derechos intelectuales de terceros y referencia las citas bibliográficas.

Latacunga, 19 de Enero del 2022

Firma

Gualotuña Pinargo, Bryan Ramiro

C.C.: 1725265472

Tipán Quinga, David Rubén

C.C.: 1725267551



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MÉCANICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autorización de publicación

Nosotros, **Gualotuña Pinargo, Bryan Ramiro** con cédula de ciudadanía n°1725265472, y **Tipán Quinga, David Rubén** con cédula de ciudadanía n°1725267551, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Análisis de las emisiones de gases contaminantes de un motor Diésel implementado un sistema de reducción catalítica selectiva, utilizando urea para la conversión de óxidos de Nitrógeno (NOx) en agua y Nitrógeno”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 19 de Enero del 2022

Firma

Gualotuña Pinargo, Bryan Ramiro

C.C.: 1725265472

Tipán Quinga, David Rubén

C.C.: 1725267551

Dedicatoria

El presente proyecto de investigación primeramente le dedico a mi Dios y a la Virgencita del Quinche por sus bendiciones recibidas que me han permitido estudiar y cumplir una etapa más en mi vida.

A mis padres Milton Gualotuña y Margarita Pinargo que me han sido apoyar en estos años de vida estudiantil y poder culminar esta maravillosa carrera.

A mi familia mi tío, mi tía y mi abuelo que han sabido estar presentes en todo este trayecto de mi carrera.

Y por último dedico este proyecto a mi abuela que siempre ha estado orgulloso de mi y que siempre me ha cuidado y desde el cielo me sigue bendiciendo y cuidado cada día.

Bryan Gualotuña

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a Dios, por siempre cuidarme y guiarme en mis estudios así haber llegado hasta este momento tan importante de mi vida que es culminar mis estudios.

A mis padres José Tipán y Ofelia Quinga quienes siempre me apoyaron incondicionalmente para superar en los momentos difíciles de mi carrera con su apoyo moral y económico para cumplir una meta más en mi vida.

Para culminar a mi hermano por estas siempre a mi lado y apoyarme en algunos momentos difíciles de mis materias en la cuales me compartió sus conocimientos y enseñanzas que me sirviendo para vivir el día a día.

David Tipán

Agradecimiento

Agradezco a mi Dios y la Virgencita del Quinche por darme salud y vida y poder seguir cumpliendo mis sueños.

Agradezco a mis padres Milton Gualotuña y Margarita Pinargo por su gran sacrificio que han tenido conmigo en todos estos años.

Agradezco a mi tío, mi tía y mi abuelo por darme esa mano solidaria para poder cumplir una etapa más en vida.

Agradezco a mi abuela por siempre enseñarme ese gran valor del trabajo y la honradez para formarme como persona y luego como profesional y donde quiera que este siempre tendré presente esa gran enseñanza.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga por todas las enseñanzas y la formación recibida por parte de ellos, a todos mis docentes que compartieron sus conocimientos durante todos estos años, a todos mis compañeros de la carrera de Ingeniera Automotriz que siempre llevara ese rojo y negro en el corazón

Y por último agradezco al Ingeniero Luis Antonio Mena Navarrete por su gran amistad y sus experiencias compartidas por todos estos años.

Bryan Gualotuña

Agradecimiento

Primeramente, agradezco a Dios por haber cuidado todo este tiempo que estuve en la universidad y haber dirigido por el camino correcto para cumplir con mis metas.

Agradezco a mis padres José Tipán y Ofelia Quinga por todas las enseñanzas, valores que me han compartido y sacrificios que realizaron a lo largo de mi vida universitaria.

Agradezco a todos mis docentes que compartieron sus conocimientos durante todos estos años y en especial al ingeniero José Quiroz por brindarme su amistad en el transcurso de la carrera.

Finalmente agradecer al Ing. Luis Mena Navarrete, por guiarme en el desarrollo de la tesis y su gran aporte como docente en la Universidad.

David Tipán

Tabla de Contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación de contenido.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	8
Índice de Figuras.....	16
Índice de Tablas.....	19
Índice de Ecuaciones.....	20
Resumen.....	21
Abstract.....	22
Marco metodológico de la investigación.....	23
Antecedentes.....	23
Planteamiento del problema.....	25
Descripción resumida del proyecto.....	26
Justificación e Importancia.....	27
Objetivos.....	28
<i>Objetivo General.....</i>	28

<i>Objetivos Específicos</i>	28
Metas	29
Hipótesis	29
VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	29
<i>Variable Independiente:</i>	29
<i>Variable Dependiente</i>	30
<i>Método deductivo</i>	32
<i>Método inductivo</i>	32
<i>Método Analítico</i>	32
<i>Método Experimental</i>	33
Marco Teórico	36
Teoría de los motores Diésel	36
<i>Principio del motor Diésel</i>	36
Parámetros fundamentales de los motores Diésel	36
<i>Parámetros geométricos</i>	36
Sistema de escape	38
<i>Colector de escape</i>	39
<i>Flexible</i>	40
<i>Catalizador</i>	40
<i>Silenciador</i>	41
Sensores del automóvil	42

<i>Sensor de posición del cigüeñal</i>	42
Sistema de reducción catalítica selectiva	42
<i>Componentes</i>	43
<i>AdBlue</i>	43
<i>Depósito de AdBlue</i>	45
<i>Bomba</i>	45
<i>Filtro</i>	46
<i>Cañerías</i>	47
<i>Regulador de presión</i>	47
<i>Inyector</i>	48
<i>Sensor de nivel</i>	49
Conversión de óxido de nitrógeno (NOx) en agua y nitrógeno	49
Análisis de gases de escape	50
<i>Óxidos de nitrógeno</i>	50
<i>Hidrocarburos</i>	51
<i>Monóxido de Carbono</i>	51
<i>Dióxido de Carbono</i>	51
<i>Oxígeno</i>	51
Normativa de emisiones contaminantes	52
<i>Tipos de emisiones contaminantes</i>	52
<i>Normas EURO</i>	52

<i>Normas Nacionales</i>	53
Ley de Ohm.....	55
Numero de Reynolds.....	55
Arduino	56
Equipos	56
<i>Analizador de Gases</i>	56
<i>Opacómetro</i>	57
<i>Osciloscopio</i>	58
<i>Multímetro</i>	59
Diseño e implementación del sistema de reducción catalítica selectiva	60
Requerimientos.	60
Criterios generales de diseño para el sistema de reducción catalítica.	61
<i>Diseño Mecánico</i>	61
<i>Diseño Hidráulico</i>	62
<i>Diseño Eléctrico</i>	65
<i>Diseño Electrónico</i>	67
<i>Diseño Geométrico</i>	69
<i>Cálculos</i>	70
Modelado del Sistema de reducción catalítica selectiva	72
<i>Presión de los gases de escape</i>	73
<i>Temperatura de los gases de escape</i>	73

	14
<i>Análisis y Simulación</i>	74
Construcción del sistema de reducción catalítica selectiva.	75
<i>Corte</i>	75
<i>Doblado</i>	75
<i>Soldado</i>	76
<i>Programación</i>	78
Implementación del sistema de reducción catalítica.....	80
Análisis de las emisiones de gases contaminantes.	83
Puesta a punto del vehículo Corsa Diésel 1.7l.....	83
Pruebas de opacidad	84
<i>Resultados</i>	84
Pruebas de emisiones de gases	86
<i>Sistema de escape normal</i>	86
<i>Sistema de reducción catalítica selectiva</i>	87
Análisis gráfico de emisiones	89
<i>Emisiones de gases con sistema de escape normal</i>	89
<i>Emisiones de gases con sistema SCR</i>	94
Análisis comparación de emisiones estándar vs sistema SCR	99
Marco Administrativo.....	104
Recursos.....	104
Recursos humanos.	104

Recursos tecnológicos.....	104
Recursos materiales.	105
Presupuesto.	106
Financiamiento.	107
Conclusiones y recomendaciones.....	108
Conclusiones.....	108
Recomendaciones.....	111
Bibliografía.....	112
Anexos	116

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Esquema de planteamiento del problema</i>	27
Figura 2. <i>Geometría Básica del motor</i>	39
Figura 3. <i>Sistema de escape del vehículo</i>	40
Figura 4. <i>Colector de Escape</i>	40
Figura 5. <i>Flexible del automóvil corsa 1.7L Diésel</i>	41
Figura 6. <i>Catalizador de oxidación</i>	42
Figura 7. <i>Localización de los silenciadores en el automóvil</i>	42
Figura 8. <i>Conector del sensor CKP</i>	43
Figura 9. <i>Sistema SCR</i>	44
Figura 10. <i>Aditivo AdBlue</i>	45
Figura 11. <i>Depósito de AdBlue</i>	46
Figura 12. <i>Bomba eléctrica interna</i>	47
Figura 13. <i>Filtro de combustible</i>	47
Figura 14. <i>Cañerías para combustible</i>	48
Figura 15. <i>Regulador de presión</i>	48
Figura 16. <i>Inyector de AdBlue</i>	49
Figura 17. <i>Sensor de nivel</i>	50
Figura 18. <i>Emisiones de un motor Diésel</i>	51
Figura 19. <i>Tipos de contaminantes</i>	53
Figura 20. <i>Límites de emisiones Euro VI</i>	54
Figura 21. <i>Analizador de gases QGA 600</i>	58
Figura 22. <i>Opacímetro Brain Bee</i>	59
Figura 23. <i>Osciloscopio JH JDS2022A</i>	60
Figura 24. <i>Multímetro Digital Proskit</i>	61
Figura 25. <i>Grafica de voltaje vs Porcentaje</i>	66

Figura 26.	<i>Circuito hidráulico del sistema SCR.....</i>	<i>67</i>
Figura 27.	<i>Medición de la resistencia de la bomba.....</i>	<i>67</i>
Figura 28.	<i>Medición de la resistencia del inyector.....</i>	<i>68</i>
Figura 29.	<i>Circuito de activación de bomba e inyector.....</i>	<i>70</i>
Figura 30.	<i>Elementos del sistema SCR.....</i>	<i>73</i>
Figura 31.	<i>Oscilograma del sensor Ckp.....</i>	<i>74</i>
Figura 32.	<i>Modelado transparente del sistema de escape.....</i>	<i>76</i>
Figura 33.	<i>Simulación de Presión en el sistema SCR.....</i>	<i>77</i>
Figura 34.	<i>Simulación de temperatura en el Sistema SCR.....</i>	<i>77</i>
Figura 35.	<i>Simulación dinámica de la temperatura.....</i>	<i>78</i>
Figura 36.	<i>Simulación dinámica de la presión.....</i>	<i>79</i>
Figura 37.	<i>Curvatura del tubo de escape.....</i>	<i>80</i>
Figura 38.	<i>Conexión del flexible con el catalizador.....</i>	<i>80</i>
Figura 39.	<i>Sistema de escape nuevo.....</i>	<i>81</i>
Figura 40.	<i>Acople del inyector al tubo de escape.....</i>	<i>82</i>
Figura 41.	<i>Sistema de reducción catalítica selectiva.....</i>	<i>85</i>
Figura 42.	<i>Visualización de información en la pantalla LCD.....</i>	<i>86</i>
Figura 43.	<i>Módulo de control de inyección de AdBlue.....</i>	<i>86</i>
Figura 44.	<i>Vehículo Corsa 1.7L Diésel.....</i>	<i>87</i>
Figura 45.	<i>Opacímetro OPA 300.....</i>	<i>88</i>
Figura 46.	<i>Valores de opacidad del vehiculó.....</i>	<i>89</i>
Figura 47.	<i>Valores de emisiones de CO a diferentes revoluciones del motor.....</i>	<i>93</i>
Figura 48.	<i>Valores de emisiones de HC a diferentes revoluciones del motor.....</i>	<i>94</i>
Figura 49.	<i>Valores de emisiones de CO2 a diferentes revoluciones del motor.....</i>	<i>95</i>
Figura 50.	<i>Valores de emisiones de O2 a diferentes revoluciones del motor.....</i>	<i>96</i>
Figura 51.	<i>Valores de emisiones de NOx a diferentes revoluciones del motor.....</i>	<i>97</i>

Figura 52.	<i>Valores de emisiones de gases a diferentes revoluciones del motor.....</i>	<i>98</i>
Figura 53.	<i>Valores de emisiones de Co con el sistema SCR a diferentes rpm.....</i>	<i>99</i>
Figura 54.	<i>Valores de emisiones de HC con el sistema SCR a diferentes rpm.....</i>	<i>100</i>
Figura 55.	<i>Valores de emisiones de CO2 con el sistema SCR a diferentes rpm.....</i>	<i>101</i>
Figura 56.	<i>Valores de emisiones de O2 con el sistema SCR a diferentes rpm.....</i>	<i>102</i>
Figura 57.	<i>Valores de emisiones de NOx con el sistema SCR a diferentes rpm.....</i>	<i>103</i>
Figura 58.	<i>Valores de emisiones de CO con el sistema estándar y SCR.....</i>	<i>104</i>
Figura 59.	<i>Valores de emisiones de CO2 con el sistema estándar y SCR.....</i>	<i>105</i>
Figura 60.	<i>Valores de emisiones de O2 con el sistema estándar y SCR.....</i>	<i>106</i>
Figura 61.	<i>Valores de emisiones de NOx con el sistema estándar y SCR.....</i>	<i>107</i>

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Variable Independiente</i>	31
Tabla 2. <i>Variable Dependiente</i>	32
Tabla 3. <i>Tipos de metodología de investigación</i>	35
Tabla 4. <i>Propiedades químicas del AdBlue</i>	45
Tabla 5. <i>Límite máximo de emisiones para fuentes móviles con motor diésel</i>	55
Tabla 6. <i>Límite máximo de opacidad de emisiones para motores diésel</i>	56
Tabla 7. <i>Especificaciones Corsa Diésel 1.7 L</i>	62
Tabla 8. <i>Selección de tubo para el escape</i>	63
Tabla 9. <i>Selección de tubo para acople del inyector</i>	63
Tabla 10. <i>Selección de bomba para el sistema de reducción catalítica selectiva</i>	64
Tabla 11. <i>Voltaje de sensor de nivel</i>	65
Tabla 12. <i>Parámetros de selección del Microcontrolador</i>	71
Tabla 13. <i>Especificaciones técnicas del relé Arduino</i>	72
Tabla 14. <i>Componente del sistema SCR</i>	73
Tabla 15. <i>Límite de porcentaje en opacidad y pruebas</i>	89
Tabla 16. <i>Medición de gases a ralentí</i>	90
Tabla 17. <i>Medición de gases a 2000 Rpm</i>	91
Tabla 18. <i>Medición de gases a 3000 Rpm</i>	91
Tabla 19. <i>Medición de gases a ralentí con sistema SCR</i>	92
Tabla 20. <i>Medición de gases a 2000 Rpm con sistema SCR</i>	92
Tabla 21. <i>Medición de gases a 3000 Rpm con sistema SCR</i>	93
Tabla 22. <i>Recursos Humanos</i>	108
Tabla 23. <i>Recursos tecnológicos</i>	109
Tabla 24. <i>Recursos materiales</i>	110
Tabla 25. <i>Presupuesto</i>	111

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. <i>Ley de ohm</i>	56
Ecuación 2. <i>Numero de Reynolds</i>	57

Resumen

La presente investigación consiste en el diseño, construcción e implementación del sistema de reducción catalítica selectiva en el sistema de escape con la finalidad de reducir los óxidos de nitrógeno (Nox), mediante la creación de un módulo de control de inyección, tomando señales de los sensores del motor diésel y la construcción de un nuevo sistema escape semejante al sistema original propio del vehículo. Se utilizó un software de elementos finitos, para realizar la simulación de los gases de escape estableciendo condiciones de límites para obtener graficas de temperatura y presión. Este sistema consta de una pantalla LCD que nos informara la activación del inyector y la cantidad de AdBlue que hay en el depósito. Se utilizó un microcontrolador de tipo nano Arduino para controlar la señal que emite el sensor CKP con el cual se trabajó para el control de la activación del inyector. Se realizó pruebas de emisiones de gases contaminantes y de opacidad a diferentes regímenes de giro del motor (RPM): altas, medias y bajas para el vehículo Corsa Diésel 1.7cc en donde se ocupó la normativa NTE INE 2207:2002 en donde el límite de opacidad de los vehículos de los modelo 2000 y posteriores debe ser de 50 %.

Palabras clave:

- **ADBLUE**
- **OPACIDAD**
- **EMISIONES DE GASES**

Abstract

The present investigation consists of the design, construction and implementation of the selective catalytic reduction system in the exhaust system in order to reduce nitrogen oxides (NO_x), through the creation of an injection control module, taking signals from the diesel engine sensors and the construction of a new exhaust system similar to the original system of the vehicle. Finite element software was used to perform the simulation of the exhaust gases, establishing limit conditions to obtain graphs of temperature and pressure. This system consists of an LCD screen that will inform us of the activation of the injector and the amount of AdBlue in the tank. An Arduino nano-type microcontroller was used to control the signal emitted by the CKP sensor with which the injector activation control was worked. Tests of polluting gas emissions and opacity were carried out at different engine rotation regimes (RPM): high, medium and low for the Corsa Diesel 1.7cc vehicle, where the NTE INE 2207:2002 regulation was dealt with, where the limit of opacity for model year 2000 and newer vehicles should be 50%.

Key words:

- **ADBLUE**
- **OPACITY**
- **GAS EMISSIONS**

Capítulo I

1. Marco metodológico de la investigación

1.1 Antecedentes

Un primer trabajo corresponde a Ortiz, Calos (2018), quien realizó el: “Análisis de sistemas de reducción catalítica selectiva con inyección de urea mediante CFD”. En este trabajo se manejaron teorías sobre motores de combustión interna a diésel, normativa de emisiones contaminantes en vehículos a Diésel, cálculo mediante método CFD (Dinámica de fluidos computacional), metodología computacional en sistemas SCR (Reducción catalítica selectiva). Igualmente, se abordaron estrategias activas y pasivas para la reducción de emisiones de gases contaminantes en vehículos diésel MEC, como la catalización y almacenamiento químico de dióxido de nitrógeno.

La investigación se enmarca en un posible proyecto viable. La muestra estudiada fue en un motor a combustión interna diésel modelado. La técnica utilizada es un estudio experimental que diseñado en un software de dinámica de fluidos computacional con aplicaciones muy avanzadas para el tratamiento de gases de escape que permiten el análisis de ambas áreas con riesgo de depósitos de urea y maximiza la homogeneidad del flujo aguas arriba de los catalizadores (Ortiz Ruiz, 2018).

El análisis fue validado en una evaluación de factibilidad, entre la primera simulación de inyección de agua (técnica utilizada actualmente en la industria) y la segunda simulación en la que se inyectó una solución de urea al agua, encontrándose que el cálculo es el orden de inyección de urea es del orden de mil veces más lento que la inyección de agua. Es decir, dado que el modelo utilizado en la situación de la bomba de urea incluye una serie de mecanismos físicos y químicos que hacen más compleja su resolución. (Ortiz Ruiz, 2018).

Este trabajo es parte de una investigación en curso, ya que propone un análisis informático del desempeño del catalizador de reducción selectiva a través del software CFD, posibles objetivos y una estructura de trabajo que aborda cada uno de los pasos de diseño y construcción del catalizador, así como una descripción detallada de la contribución a la reducción de emisiones.

Un segundo trabajo de investigación relacionado con el tema a tratar es de Ascencio, Isaac (2002), que se denomina: "Reducción catalítica selectiva de óxidos de nitrógeno empleando zeolitas intercambiadas como catalizador." Se trata de un proyecto factible, apoyado por una investigación de campo, en el cual se utilizó la técnica experimental.

Este estudio demostró la idoneidad de combinar el catalizador de dióxido de nitrógeno con cocationes (Ag, Ca, Pd) usando zeolita mordenita basada tanto en forma ácida como sódica. Los resultados obtenidos muestran que en el caso de uso como metal activo de cobalto en forma de zeolita en forma de sodio. Los catalizadores altamente activos se obtienen con un único intercambio iónico. Cuando se cambiaron por segunda vez, se observó una disminución en el rendimiento debido a la pérdida de cristalinidad de las zeolitas para verificar la efectividad de los catalizadores preparados en la reducción catalítica de NOx de forma selectiva, de diferentes fuentes de óxido de nitrógeno.

Como resultado de este estudio, desde el punto de vista de la actividad catalítica y resistencia a la inactivación por vapor y SO₂, se seleccionó el catalizador HAg₁₃₀Co₁₃₀MOR, compuesto por mordenita zeolita en forma ácida, cobalto como especie metal activa (fracción másica 2,6%) y plata en el cocatión (1,4% de fracción de masa). Las temperaturas de calcinación y activación son 550 °C y 500 °C, respectivamente (Cegarra, 2002).

El tiempo de calcinación y activación es de 4 horas y 1 hora, se concluyó que con este catalizador, la cantidad de reducción de N_2O a N_2 fue del 88,2 % cuando se administra puro y del 78,9 % cuando se mezcla con NO con una relación molar de 1:2, el rendimiento alcanzado fue del 71,8% cuando se alimentó prácticamente puro (con 2,5% de NO_2) y del 73,6% cuando se mezcló con N_2O en una relación molar de 2:1 (Cegarra, 2002).

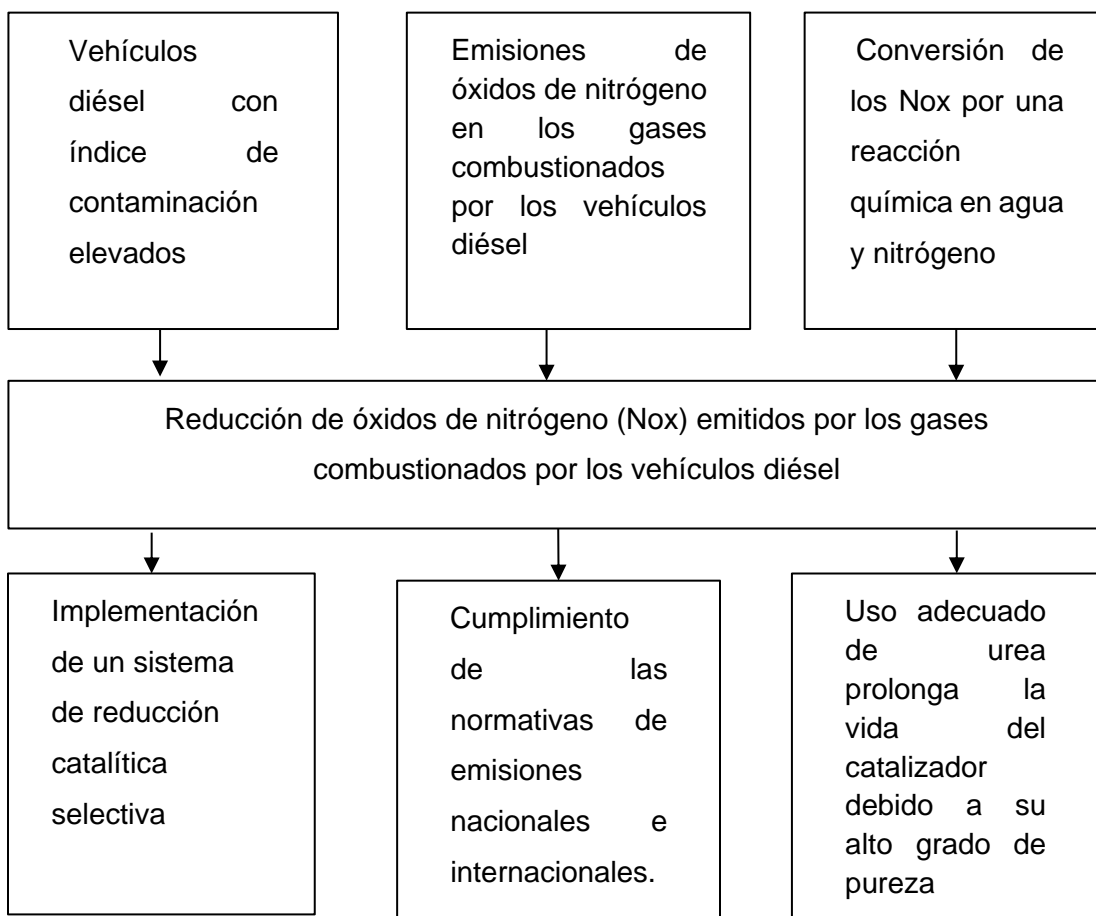
Este trabajo se relaciona con la investigación planteada, ya que en los resultados obtenidos muestra la cantidad de gases contaminantes que se reducen en diferentes proporciones del catalizador que en este proyecto viene a ser la zeolita, desde la perspectiva del procesamiento de la información, a través de estrategias que llevan a los resultados esperados resulta un aporte importante, ya que se comprueba que la utilización de catalizadores es eficiente para reducir los índices de contaminación de dióxido de nitrógeno.

1.2 Planteamiento del problema

La información de análisis de gases de escape de un motor diésel en nuestro medio para la construcción de un sistema de catalización de óxidos de nitrógeno (NO_x) que reduce las emisiones de gases convirtiéndolas en agua y nitrógeno

Figura 1.

Esquema de planteamiento del problema



Nota. La figura muestra el planteamiento del problema del análisis de las emisiones de gases contaminantes de un motor Diésel implementado un sistema de reducción catalítica selectiva, utilizando urea para la conversión de óxidos de Nitrógeno (NOx) en agua y Nitrógeno

1.3 Descripción resumida del proyecto

El presente proyecto se basará en el análisis de gases de escape producto de la combustión de un motor a diésel cuando es sometido a catalización por inyección de urea en el escape.

El motor de combustión a diésel estará conectado al sistema de catalización por inyección de urea y al mismo tiempo a un analizador de gases y opacímetro que medirá los niveles de gases no combustionados que emite el motor.

Con el uso del analizador de gases y opacímetro en el tubo de escape se realizará la toma de datos correspondiente a diferentes regímenes de giro del motor (rpm).

El sistema de catalización por inyección de urea, tendrá un regulador de pulsos de inyección, que nos permitirá variar los valores de emisiones que el analizador capte en el tubo de escape del motor, de esta forma se podrá tener una referencia técnica de la cantidad de urea inyectada en función del número de inyecciones en un tiempo determinado y como está incide en la catalización de NOx en agua y nitrógeno.

1.4 Justificación e Importancia

El aumento prolongado de las emisiones contaminantes producidas por los vehículos de combustión interna son el principal fuente de contaminación del medio ambiente por los gases no combustionados enviados a la atmosfera. Sin medidas oportunas y efectivas para mitigar los impactos adversos del uso de vehículos motorizados, el ambiente en las ciudades, con frecuente circulación de motores, continuará deteriorándose y se volverá cada vez más insoportable.

Este proyecto de investigación tiene como principal objetivo contribuir con el desarrollo de conocimiento científico en el área automotriz referente a las emisiones de gases y sistemas eficientes de reducción de contaminación del aire, mediante el análisis de las emisiones de gases contaminantes de un motor térmico implementando un sistema de reducción catalítica selectiva utilizando urea al 32.5% que permita visualizar la reducción de emisiones contaminantes que separa y convierte los componentes del óxido de nitrógeno en moléculas de hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, de esta forma se

puede visualizar la reducción contaminante que los motores a combustión interna generan al quemar diésel.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Analizar las emisiones de gases contaminantes de un motor de combustión interna Diésel mediante la implementación de un sistema de reducción catalítica selectiva utilizando urea para la conversión de óxido de nitrógeno (NOx) en agua y nitrógeno.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar búsqueda teórica en fuente bibliográfica y base digitales confiables que permitan sustentar el tema del proyecto de investigación.
- Fundamentar teórica y científicamente el diseño del sistema de reducción catalítica.
- Simular y analizar el modelo de sistema de reducción catalítica mediante el cálculo y simulación en software SOLIDWORKS
- Diseñar y construir el modelo de sistema de reducción catalítica
- Implementar el sistema de reducción catalítica en el motor de combustión interna Diésel.
- Realizar las pruebas de análisis de las emisiones de gases contaminantes con y sin el sistema de reducción catalítica implementado
- Analizar los resultados obtenidos mediante las pruebas y simulaciones realizadas.

1.6 Metas

- Incrementar la prestación del motor diésel con la implementación del sistema de reducción catalítica selectiva utilizando urea para una reducción de emisiones contaminantes del motor
- Diseñar un sistema eficiente que se acople a las necesidades del motor diésel
- Analizar la emisión de gases contaminantes implementado el sistema de reducción catalítica selectiva utilizando urea para la conversión de óxido de nitrógeno (NOx) en agua y nitrógeno.

1.7 Hipótesis

¿Con la implementación del sistema de reducción catalítica selectiva utilizando urea al se podrá convertir el óxido de nitrógeno (NOx) en agua y nitrógeno?

1.8 Variables de la investigación

Para el presente proyecto de investigación se implementará las variables como son: variables dependientes y variables independientes.

1.8.1 *Variable Independiente:*

Sistema de reducción Catalítica Selectiva o (SCR) con inyección de urea

Tabla 1.*Variable Independiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
El Sistema de SRC con inyección de urea es un sistema de postratamiento que se usa para disminuir los gases contaminantes	Parámetros del MCI	Temperatura del motor	°C	Medición	Ensayo protocolo de pruebas
		Revoluciones del motor	Rpm	Medición	Ensayo protocolo de pruebas
		Tiempo de inyección de urea	s	Cálculos	Ensayo protocolo de pruebas
		Tiempo de apertura del inyector de urea	s	Cálculos	Ensayo protocolo de pruebas

1.8.2 Variable Dependiente

Emisiones de gases contaminantes del motor diésel

Tabla 2.*Variable Dependiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Las emisiones de gases contaminantes que generan los motores diésel influyen en la destrucción del medio ambiente y perjudica la salud de los seres vivos.	Gases combustionados por el motor diésel	NOx	%	Medición.	NTE INEN
					2207:2002; NTE
		INEN 2202:2002			
		HC	ppm	Medición.	NTE INEN
					2207:2002; NTE
					INEN 2202:2002
		CO	%	Medición.	NTE INEN
					2207:2002; NTE
					INEN 2202:2002
					NTE INEN
					2207:2002;
		CO ₂	%	Medición.	NTE INEN
					2202:2002

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
					NTE INEN
		Opacidad	%	Medición	2207:2002; Euro III – Euro IV- Euro V- Euro VI

Metodología de desarrollo del proyecto

1.8.3 Método deductivo

Este método permitirá establecer los principios y relaciones existentes partiendo de lo general a lo particular como son: Los parámetros técnicos previos al diseño del módulo de control y visualización de datos del sistema de catalización.

1.8.4 Método inductivo

En este punto se obtiene los parámetros de diseño del presente estudio, como son las medidas de los componentes, así como sus límites geométricos respectivos.

1.8.5 Método Analítico

Este proceso de investigación permite acotar el diseño descrito de este sistema mediante la utilización de un programa de elementos finitos para el modelado y simulación, permitiendo obtener resultados en condiciones críticas de funcionamiento, dando paso de esta manera a su proceso de construcción.

1.8.6 Método Experimental

El presente método para el desarrollo del proyecto de investigación consta de cuatro etapas concretas, la primera etapa consiste en el protocolo de investigación, donde se obtendrá información técnica relacionada a la contaminación del aire producto de la combustión de motores a diésel en el Ecuador, además de la recopilación de información sobre sistemas de reducción catalítica selectiva con inyección de urea en el escape del motor, teniendo presente los requerimientos técnicos, la segunda fase consiste en el diseño del medidor del índice gases contaminantes de un motor de combustión a diésel; la tercera fase se fundamenta en la construcción del mencionado sistema en el que constan elementos fundamentales como: el sistema de catalización, el módulo de control y el panel de visualización de los datos procesados por los sensores; finalmente la cuarta fase se orienta al ensamble del sistema de catalización en el motor así también a la realización de pruebas que garanticen el desarrollo de los componentes en condiciones críticas a su funcionamiento, a continuación se detalla las fases de la investigación científica y su metodología.

Tabla 3.*Tipos de metodología de investigación*

Metodología	Descripción	Instrumento /Equipo	Laboratorio
Deductivo	Este método permitirá establecer los principios y relaciones existentes partiendo de lo general a lo particular como son: Los parámetros técnicos previos al diseño del módulo de control y visualización de datos del sistema de catalización.	Computador personal	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L
Inductivo	En este punto se obtiene los parámetros de diseño del presente estudio, como son las medidas de los componentes, así como sus límites geométricos respectivos.	Computador personal	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L

Metodología	Descripción	Instrumento/Equipo	Laboratorio
Analítico	Este proceso de investigación permite acotar el diseño descrito de este sistema mediante la utilización de un programa de elementos finitos para el modelado y simulación, permitiendo obtener resultados en condiciones críticas de funcionamiento, dando paso de esta manera a su proceso de construcción.	Computador personal Software de diseño y simulación CAD-CFD	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L
Experimental	Se utiliza este método para la experimentación y validación del diseño una vez finalizada la etapa de construcción, donde se realizan pruebas mecánicas y de procesamiento de datos.	Computador personal	Laboratorio de Motores ESPE-L

Capítulo II

2 Marco Teórico.

2.1 Teoría de los motores Diésel

2.1.1 Principio del motor Diésel

El motor Diésel es un motor de combustión interna que alcanza su encendido debido a la alta temperatura que es el resultado de la compresión del aire dentro del cilindro.

También el motor Diésel cumple un ciclo de funcionamiento se lo realiza en cuatro tiempos que son:

- Admisión
- Compresión
- Combustión y expansión
- Escape

Cabe señalar que el proceso de compresión se calienta el aire ingresado en el cilindro a una temperatura aproximada de 700 a 900°C lo cual genera una autoignición al momento de inyectar el combustible, en la parte superior de la cámara de compresión a alta presión.

En efecto, la mezcla se quema muy rápidamente y esta combustión provoca que el gas contenido en la cámara se expanda, empujando el pistón hacia abajo. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, cambiando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación (PACHECO, 2007).

2.2 Parámetros fundamentales de los motores Diésel

2.2.1 Parámetros geométricos

Determinan la geométrica básica de un motor de combustión interna al momento de diseñarlo, para lo cual se detallan los siguientes parámetros a continuación.

Cilindrada unitaria

Es el volumen que recorre el pistón desde el punto muerto inferior al punto muerto superior. A continuación se presenta la fórmula. (Mena, 2019).

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} s$$

$V_h =$ Cilindrada unitaria [cm^3]

$D =$ Diámetro del cilindro [cm]

$s =$ Carrera [cm]

Cilindrada Total

Por otra parte la cilindrada total, se determina por medio de la cilindrada unitaria y el número de cilindros.

$$V_H = V_h * i$$

$V_H =$ Cilindrada Total [cm^3]

$i =$ Numero de cilindro

Relación de compresión

Se define como el cociente entre el volumen máximo cuando el pistón está en el punto muerto inferior y volumen mínimo hace referencia cuando el pistón está en el punto muerto superior en el cilindro (Cano, 2015).

A continuación se muestra la ecuación de la relación de compresión (Mena, 2019).

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

$\varepsilon =$ Relación de compresión

$V_c =$ Volumen de la cámara de combustión [cm^3]

Carrera del pistón (S)

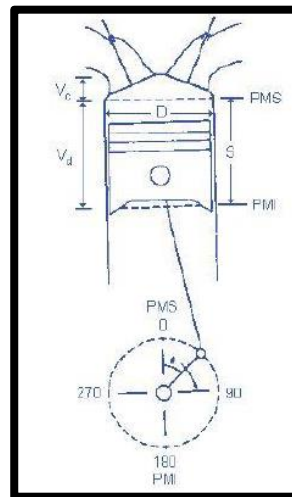
Es el recorrido que realiza el pistón desde el punto muerto inferior hacia el punto muerto superior (Cano, 2015).

$$s = 2r$$

r = Radio del cigüeñal [cm]

Figura 2.

Geometría Básica del motor



Nota. La figura muestra el esquema representativo de las condiciones geometría del motor de combustión interna. Tomado de (Ortiz Ruiz, 2018)

2.3 Sistema de escape

El sistema de escape está conformado por el conjunto de elementos que nos permiten expulsar los gases generados por la combustión hacia el exterior.

Figura 3.

Sistema de escape del vehículo



Nota. La figura muestra el sistema de escape desmontado del vehículo.

2.3.1 Colector de escape

Consisten en un conjunto de tubos que nos permiten unir el motor con el tubo de escape, están elaborados con materiales resistentes a altas temperaturas.

Figura 4.

Colector de Escape



Nota. La figura muestra el múltiple de escape del vehículo corsa.

2.3.2 Flexible

Es un elemento muy importante del sistema de escape que nos permite unir el catalizador con el escape y capta las vibraciones que transmite el tubo de escape colgante.

Figura 5.

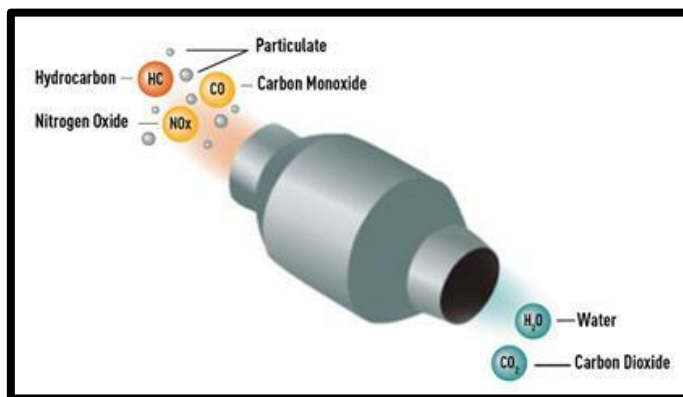
Flexible del automóvil corsa 1.7L Diésel



Nota. La figura muestra la posición del flexible del vehículo.

2.3.3 Catalizador

Es un componente elemental del sistema de escape que se encarga de reducir los elementos contaminantes que se encuentran en los gases de escape del automóvil. Adicionalmente los catalizadores deben conseguir una temperatura adecuado para su correcto funcionamiento por tal motivo se encuentran cerca del múltiple de escape.

Figura 6.*Catalizador de oxidación*

Nota. La figura muestra la reacción que produce el funcionamiento del catalizador en un automóvil. Tomado de (Bobcat Company, 2014).

2.3.4 Silenciador

Es un elemento que se emplea para disminuir el ruido producido por los gases del motor de combustión interna y se implementa en la mayoría de los automóviles.

Figura 7.*Localización de los silenciadores en el automóvil*

Nota. La figura muestra las posiciones donde van colocado los silenciadores en el automóvil. Tomado de (Copyright, 2018).

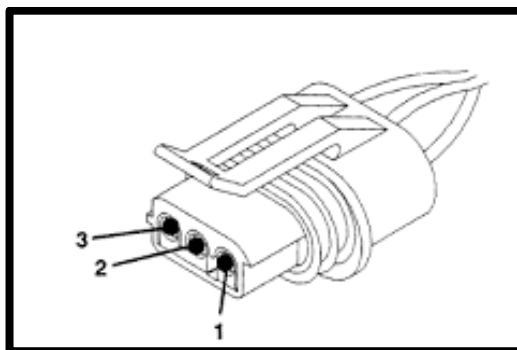
2.4 Sensores del automóvil

2.4.1 Sensor de posición del cigüeñal

Es un sensor de efecto Hall que se encarga de registrar la velocidad del motor y el posicionamiento del cigüeñal. Este sensor está conformado por tres cables en donde el primer cable es la alimentación de 12V o 5V, mientras que en el segundo cable esa tierra y el último cable es la señal que envía a la ECU.

Figura 8.

Conector del sensor CKP



Nota. La figura muestra los pines de conexión del arnés del sensor de posición del cigüeñal (CKP). Tomado de (AUTOMOTRIZ, 2020)

2.5 Sistema de reducción catalítica selectiva

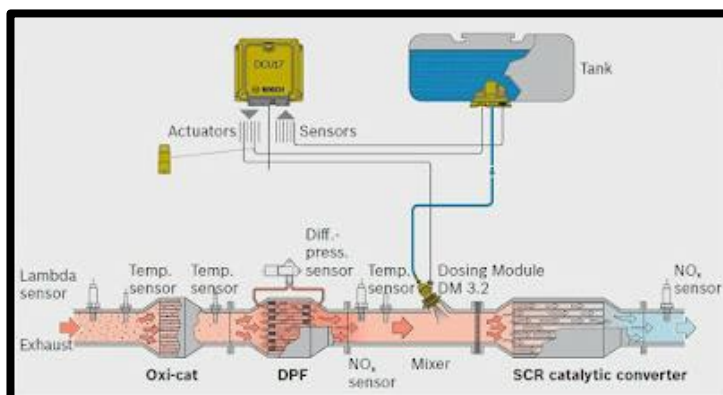
Los sistemas de reducción catalítica están diseñados para reducir de forma catalítica las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diésel en un espacio rico en oxígeno inyectando AdBlue (Ortiz Ruiz, 2018).

El AdBlue se inyecta y al reaccionar con los elementos del catalizador y las partículas de óxidos de nitrógeno, se produce una reducción del 90 % del NOx que llega al sistema de escape. Tras esta reacción se obtiene únicamente partículas de nitrógeno, agua y dióxido de carbono (N_2 , H_2O y algo de CO_2). (GreenChem, 2017).

Mediante la utilización de este sistema que inyecta AdBlue que reacciona con los elementos del catalizador nos ayuda a disminuir los contaminantes que sale por el tubo de escape y con esto se logra obtener las siguientes emisiones de gases que son nitrógeno, agua y dióxido de carbono.

Figura 9.

Sistema SCR



Nota. La figura muestra el sistema de reducción catalítica selectiva. Tomado de (Herranz, Cómo reducir los NOx con un sistema SCR, 2016)

2.5.1 Componentes

Los principales componentes del sistema de reducción catalítica selectiva son:

2.5.2 AdBlue

Es un aditivo que está compuesto de una solución de urea al 32.5% diluido en agua y cumple los estándares de la norma ISO 22241. Este aditivo cumple un papel importante para el correcto funcionamiento del sistema de reducción catalítica ya que al contacto del aditivo en el interior del catalizador se genera una reacción química nueva.

Figura 10.*Aditivo AdBlue*

Nota. La figura muestra el aditivo de AdBlue para vehículos Diésel. Tomado de (ADBLUECUADOR, 2021)

Tabla 4.*Propiedades químicas del AdBlue*

Descripción	Valores	Unidades
Urea	31.8-33.2	% en peso
Alcalinidad como NH ₃	Max. 0,2	% en peso
Densidad a 20°C	1087.0-1093.0	kg/m ³
Viscosidad dinámica	1,4	mPa*s
Punto de fusión	-11.5	°C

Nota. Esta tabla muestra los valores de las propiedades químicas del AdBlue.

Recuperado de (FINISH METAL PLATING, 2018, pág. 5).

2.5.3 Depósito de AdBlue

Es un recipiente que sirve para almacenar el aditivo que es el AdBlue en el vehículo. Este recipiente consta de un sensor de nivel el cual nos ayuda a vigilar la cantidad de aditivo que hay en el depósito.

Figura 11.

Depósito de AdBlue



Nota. La figura muestra el depósito de AdBlue que monta en el vehículo. Tomado de (Herranz, El AdBlue, 2016).

2.5.4 Bomba

Es la encargada de succionar el aditivo desde el tanque al inyector para que se realice la pulverización del aditivo dentro del sistema de escape. Este tipo de bomba va sumergido en el depósito.

Figura 12.

Bomba eléctrica interna



Nota. La figura muestra la bomba de combustible interna.

2.5.5 Filtro

Es el encargado de evitar que las impurezas ingresen al sistema y así lograr mantener la pureza del aditivo.

Figura 13.

Filtro de combustible



Nota. La figura muestra el filtro de combustible.

2.5.6 Cañerías

Son aquellos conductos que tienen la finalidad de transportar combustible u otros fluidos, los cuales pueden fabricarse con materiales muy diversos y resistentes.

Figura 14.

Cañerías para combustible



Nota. La figura muestra las cañerías utilizadas.

2.5.7 Regulador de presión

Es un componente que se encarga de controlar y regular la presión del combustible con el cual prevenimos daños en los demás componentes.

Figura 15.

Regulador de presión



Nota. La figura muestra el regulador de presión que se utilizó en el vehículo Diésel.

2.5.8 Inyector

Es un elemento que se encarga de pulverizar la cantidad de AdBlue en el tubo de escape para lograr la reacción química, adicionalmente el inyector va ubicado antes del catalizador.

Figura 16.

Inyector de AdBlue



Nota. La figura muestra el inyector de AdBlue utilizado en el vehículo.

Propiedades del inyector

Este tipo de inyector poseen las siguientes características que son fundamentales para instalar el inyector en el sistema de reducción catalítica selectiva. (Ortiz Ruiz, 2018).

- Realizado en acero inoxidable 316 (contiene una adición de molibdeno que le da mayor resistencia a la corrosión).
- Requiere flujo de aire constante para la refrigeración.
- Debería durar 8-10 meses de operación.
- Los inyectores son fácilmente sustituibles.
- 2.7l/min de solución de urea a 45-70 psi.
- Orificio de 4.5mm, gotitas de 35-40micras (Ortiz Ruiz, 2018) .

2.5.9 Sensor de nivel

Este sensor es tipo potenciómetro que nos permite conocer el estado del combustible dentro del depósito, está constituido por una palanca, flotador y el conector de tres cables

Figura 17.

Sensor de nivel



Nota. La figura muestra la estructura del sensor del nivel.

2.6 Conversión de óxido de nitrógeno (NOx) en agua y nitrógeno.

Para la conversión de óxidos de nitrógeno se necesita la inyección del aditivo de AdBlue mediante el calor que está presente que genera que el agua del aditivo se evapore y se genere una termólisis que disgrega el agente reductor en amoníaco (NH₃) y ácido isociánico (HNCO).

Luego se genera una hidrólisis en la que el ácido isociánico (HNCO) reacciona con el agua (H₂O) para formar dióxido de carbono (CO₂) y más amoníaco (NH₃).

Al concluir el trayecto hidrolítico, el aditivo AdBlue se ha disperso con lo cual se forma dióxido de carbono (CO₂) y amoníaco (NH₃). Por último, será la sustancia que

reaccione con los óxidos de nitrógeno (NOx) en el catalizador de reducción. (Pardiñas, 2012)

A continuación, explicamos la reducción en el catalizador, la reducción consiste en extraer el oxígeno (O₂) de los óxidos de nitrógeno (NOx).

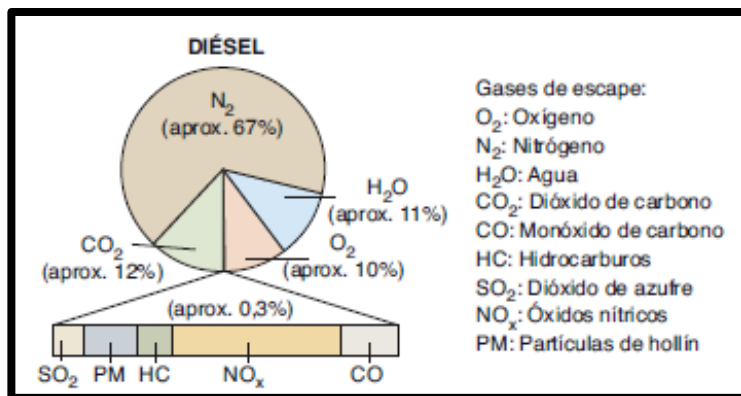
En el catalizador de reducción entran los gases de escape y el amoníaco (NH₃) que se ha formado en el trayecto hidrolítico. El amoníaco reacciona con los óxidos de nitrógeno (NOx) y forma nitrógeno (N₂) y agua (H₂O). (Pardiñas, 2012, pág. 447)

2.7 Análisis de gases de escape

A continuación, podemos apreciar un gráfico de pastel en el cual se muestran las emisiones que produce un motor diésel, en donde los motores diésel ocupan catalizadores de oxidación para reducir las cantidades de CO y HC.

Figura 18.

Emisiones de un motor Diésel



Nota. La figura muestra el porcentaje de las emisiones de gases de un vehículo diésel.

Tomado de (Pardiñas, 2012)

2.7.1 Óxidos de nitrógeno

Este gas se produce por la unión del oxígeno y el nitrógeno por medio de alta presión y temperatura que se logran en el interior del cilindro del motor. También

podemos decir que este tipo de gas es dañino para el medio ambiente ya que producen la destrucción de la capa de ozono.

2.7.2 Hidrocarburos

Este tipo de gas se da por una combustión incompleta, donde los gases no quemados salen por el escape. Este tipo de gas se mide por ppm y la exposición de este gas produce irritación de piel y conductos respiratorios.

2.7.3 Monóxido de Carbono

Es una gas incoloro e inodoro que se genera por la falta de aire produciendo una combustión incompleta, por tal motivo no se logra quemar todo el carbono del combustible.

También podemos decir que la manifestación del monóxido de carbono en un porcentaje de 0.3% en el aire que inhalamos puede generar la muerte de una persona en 30 minutos aproximadamente.

2.7.4 Dióxido de Carbono

Este tipo de gas no es tóxico pero si es dañino para el medio ambiente cuando se presenta altos niveles concentración de este gas.

El motor funciona correctamente cuando la concentración de CO₂ en los gases de combustión está a su nivel más alto, este valor porcentual se ubica entre el 12 al 15 % (Augeri, 2019).

2.7.5 Oxígeno

Este gas es esencial para realizar la combustión y se encuentra presente en el aire con una relación del 21%. La presencia de un valor alto de oxígeno se debe a una mezcla pobre. Debemos recordar que el oxígeno debe posicionarse debajo del 2%.

2.8 Normativa de emisiones contaminantes

2.8.1 Tipos de emisiones contaminantes

Contaminantes primarios

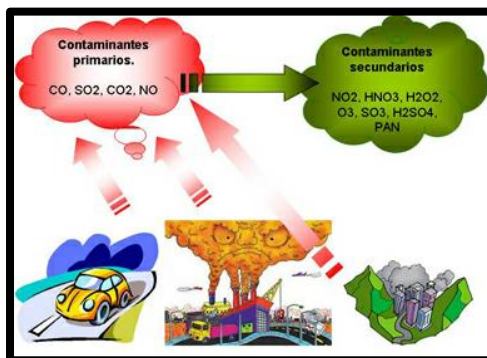
Son aquellos que provienen de primera mano de las fuentes de emisiones que pueden ser natural o de origen humano y se emiten directamente a la atmosfera.

Contaminantes secundarios

Son aquellos que se producen en la atmosfera debido a las reacciones químicas que sufren los contaminantes primarios y estos no son emitidos directamente.

Figura 19.

Tipos de contaminantes



Nota. La figura muestra los tipos de contaminantes primarios y secundarios. Tomado de (Rioja, 2016)

2.8.2 Normas EURO

La norma EURO son estándares que controlan los límites admisibles de las emisiones de los gases que generan los vehículos de combustión interna en los Estados Miembros de la Unión Europea.

Esta normita europea rige a vehículos de las categorías M1, M2, N1 y N2 que no

excedan de 2610 kg. También se incorporan a los vehículos particulares, camionetas y vehículos comerciales dependiendo del tipo de motor que esté instalado ya sea motor a gasolina motor diésel (ON, 2014).

Normativa Euro 6

La norma Euro 6 rige desde el 1 de septiembre de 2014 en relación con la homologación, y del 1 de septiembre de 2015 en lo que se refiere a la matriculación y venta de las nuevas clases de vehículos (ON, 2014).

A continuación podemos observar los límites establecidos en esta norma que son los siguientes:

Figura 20.

Límites de emisiones Euro VI

Categoría	Clase	Masa de referencia (MR) (kg)	Valores límite													
			Masa de monóxido de carbono (CO)		Masa total de hidrocarburos (HCT)		Masa de hidrocarburos no metanos (HCNM)		Masa de óxidos de nitrógeno (NO _x)		Masa combinada de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno totales (HCT + NO _x)		Masa de partículas (PM)		Número de partículas (P)	
			L ₁ (mg/km)		L ₂ (mg/km)		L ₃ (mg/km)		L ₄ (mg/km)		L ₂ + L ₄ (mg/km)		L ₅ (mg/km)		L ₆ (#/km)	
			PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI
M	—	Todos	1 000	500	100	—	68	—	60	80	—	170	5,0	5,0		
N ₁	I	MR ≤ 1 305	1 000	500	100	—	68	—	60	80	—	170	5,0	5,0		
	II	1 305 < MR ≤ 1 760	1 810	630	130	—	90	—	75	105	—	195	5,0	5,0		
	III	1 760 < MR	2 270	740	160	—	108	—	82	125	—	215	5,0	5,0		
N ₂			2 270	740	160	—	108	—	82	125	—	215	5,0	5,0		

Clave: PI = encendido por chispa, CI = encendido por compresión.

Nota. La figura muestra los valores establecidos para las emisiones que deben cumplir en la norma Euro VI de un vehículo diésel. Tomado de (Union Europea, 2014).

2.8.3 Normas Nacionales

NTE INEN 2207:2002

Esta norma establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres de diésel (INEN, 2002).

La normativa NTE INEN 2207:2002 establece que vehículo que posea motor de diésel no podrá emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas, en cantidades superiores a las indicadas (INEN, 2002).

A continuación en la siguiente tabla mostramos los límites de la normativa.

Tabla 5.

Límite máximo de emisiones para fuentes móviles con motor diésel

CO	HC	NOx	Partículas	Ciclo de prueba
g/km	g/km	g/km	g/km	
				ECE -15 +
2.72	0.97	0.97	0.14	EUDC

Nota. Esta tabla muestra los valores máximos para vehículos con motores diésel.

Recuperado de (INEN, 2002, pág. 6).

En esta normativa establece que toda fuente móvil con motor de diésel, en condición de aceleración libre, no podrá descargar al aire humos en cantidades superiores a las indicadas en la correspondiente tabla (INEN, 2002).

Tabla 6.

Límite máximo de opacidad de emisiones para motores diésel

Año modelo	% Opacidad
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

Nota. Límites máximos para vehículos diésel. Recuperado de (INEN, 2002, pág. 6).

2.9 Ley de Ohm

La ley de Ohm es una fórmula científica que nos permite establecer la relación que hay entre la corriente, el voltaje y la resistencia en un circuito eléctrico. (García, 2021).

Ecuación 1.

Ley de ohm

$$V = I * R$$

V = Voltaje [V]

I = Intensidad [A]

R = Resistencia [Ω]

2.10 Numero de Reynolds

Es un valor numérico adimensional que establece la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas de un fluido en movimiento (Cajal, 2020). El valor del número de Reynolds en flujo laminar es $N_R < 2000$ o puede ser flujo turbulento en un conducto circular cuando $N_R > 4000$ (Cajal, 2020).

Ecuación 2.

Numero de Reynolds

$$N_R = \frac{V * D * \rho}{\eta}$$

V = Velocidad del flujo [m/s]

D = Diámetro del tubo [m]

ρ = Densidad del fluido [kg/m³]

η = Viscosidad [m * s/kg]

2.11 Arduino

Es una plataforma que nos permite codificar un código y subir a una placa electrónica de hardware libre que incorpora un Microcontrolador re-programable y una serie de pines hembra. Esto nos facilita establecer conexiones entre el Microcontrolador y los componentes electrónicos ya sean sensores y actuadores de una manera fácil (ARDUINO, 2017).

2.12 Equipos

2.12.1 Analizador de Gases

El analizador QGA es un dispositivo que nos facilita medir en porcentaje los diferentes gases en un motor de combustión interna. Los tipos de compuestos químicos que monitorea este aparato son: Hidrocarburos, Monóxidos de carbono, Dióxido de carbono, Oxido de nitrógenos y Oxígeno.

Figura 21.

Analizador de gases QGA 600



Nota. La figura muestra el analizador de gases modelo QGA 600. Tomado de (Tecnotalleres, 2020).

Características

- Medición de 5 gases
- Respuesta en menos de 10 segundos
- Alto Standard en precisión, estabilidad y durabilidad
- Regulación de temperatura automática (2- 8 min)

2.12.2 Opacímetro

El opacímetro OPA-300 Brain Bee es un dispositivo altamente resistente y preciso que cumple con todas las normas de calidad y precisión (Avila, 2021).

Este opacímetro incluye un óptimo software ejecutable para PC que muestra las gráficas de opacidad en función de las RPM, también posee una prueba de valor pico de opacidad, adicionalmente el software cuenta con las pruebas oficiales para centros de revisión según normativa ecuatoriana (Avila, 2021).

Figura 22.

Opacímetro Brain Bee



Nota. La figura muestra el opacímetro Brain Bee OPA-300 para motores diésel. Tomado de (Avila, 2021).

Características Técnicas

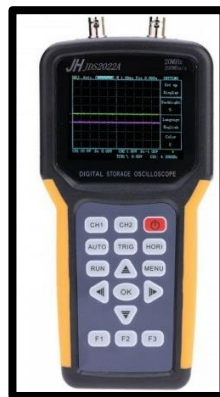
- Autocero automático
- Tiempo de calentamiento < 5 minutos
- Conexión Bluetooth
- Alimentación 12 VCC – 60 W

2.12.3 Osciloscopio

El Osciloscopio JH JDS2020A es un dispositivo portátil que nos obtener las gráficas de las ondas. Adicionalmente es un dispositivo posee un rendimiento superior y es potente, asequible, de alto costo y su visualización de muestreo en tiempo real puede ser de 200MSa/S (TekniStore, 2016).

Figura 23.

Osciloscopio JH JDS2022A



Nota. La figura muestra el osciloscopio automotriz tipo JH JDS2020A que consta de doble canal digital. Tomado de (TekniStore, 2016).

Características

- Pantalla TFTLCD en color
- Canal dual analógico
- Tiene la función de disparador de bordes, puede detectar automáticamente el

soporte (50 Hz-40MH).

- Respalda los cursores de tiempo y voltaje

2.12.4 Multímetro

Es un instrumento digital portátil que nos permite realizar las mediciones de diferentes magnitudes como son de voltaje, corriente y resistencia.

Figura 24.

Multímetro Digital Proskit



Nota. La figura muestra el multímetro digital modelo MT- 1210. Tomado de (Masteram, 2018).

Capítulo III

3 Diseño e implementación del sistema de reducción catalítica selectiva

3.1 Requerimientos.

Como principal requerimiento para la implementación del sistema de reducción catalítica selectiva fue el vehículo Chevrolet Corsa 1.7 L Diésel se utilizó para realizar las pruebas de mediciones de gases y opacidad, a continuación se detallan las especificaciones del vehículo en la siguiente tabla.

Tabla 7.

Especificaciones Corsa Diésel 1.7 L

Especificaciones	Corsa 1.7 L
Marca	Chevrolet
Potencia máxima	60 CV
Velocidad máxima	155 Km/h
Capacidad deposito	46 L
Distribución	OHC
Cilindrada	1686
Par máximo	112 Nm / 2650 rpm
Construcción de los cilindros	En línea
Numero de cilindros	4
Diámetro del cilindro	79 mm
Recorrido del cilindro	86 mm
Relación de compresión	22:1
Válvulas por cilindro	2
Combustible	Diésel

3.2 Criterios generales de diseño para el sistema de reducción catalítica.

3.2.1 Diseño Mecánico

Tubo de escape

Se consideró algunos aspectos como: diámetro del tubo, costo y peso para poder seleccionar el tubo. Para el sistema de reducción catalítica selectiva se utilizó un tubo redondo 1 ¾" y así poder colocar el catalizador sin ningún problema.

Tabla 8.

Selección de tubo para el escape

Tipo	Diámetro (pulg)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)
Tubo de acero	1 ¾"	1.5	1.59

Para realizar el acople para el inyector al sistema de escape se utilizó tubo redondo de 1 ½".

Tabla 9.

Selección de tubo para acople del inyector

Tipo	Diámetro (pulg)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)
Tubo de acero	1 ½"	1.5	1.35

Catalizador Scr

El catalizador que se va utilizar consta de algunas características necesarias para que el procesamiento de los gases de escape funciones adecuadamente y estas características son: estructura interna, número de vías y diámetro de entrada y salida

del catalizador. Para lo cual se ocupó un catalizador de cerámico, con entrada de 2 ½" y salida 2 ½".

3.2.2 Diseño Hidráulico

Selección de bomba

La presión de trabajo que debe tener la bomba esta entre 0.4 a 0.85 MPa y con esto tener una funcionalidad optima en el sistema de reducción catalítica selectiva.

Tabla 10

Selección de bomba para el sistema de reducción catalítica selectiva

Marca	Presión (MPa)	Caudal (m^3/h)	Posición
VDO	0.4	0.095	Interna
ACdelco	0.4	0.1	Interna

En este caso se utilizó una bomba interna de marca ACdelco que trabaja con una presión de 0.4 MPa y un caudal de 0.1 m^3/h para trabajar con la presión necesaria para el sistema de reducción catalítica selectiva.

Selección de cañería

Considerando la bomba seleccionada para el sistema que posee una presión de 0.4 MPa y los diámetros de salida de la bomba, toma de salida y entrada del depósito, para el inyector se ocupó la cañería de diámetro de 6 mm.

Sensor de nivel

El sensor de nivel es tipo potenciómetro que posee tres cables, uno es la

alimentación de 5 voltios, el otro es masa y el último cable manda la señal al Microcontrolador para que nos indique el estado del depósito.

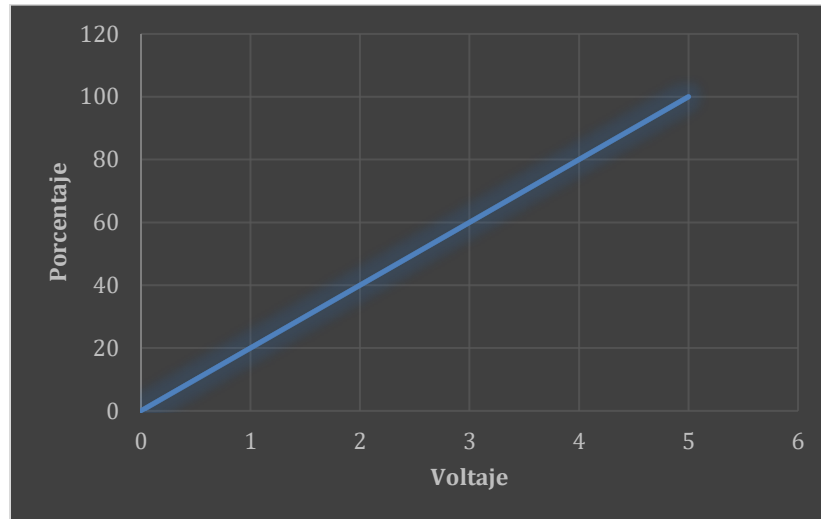
Tabla 11.

Voltaje de sensor de nivel

VOLTAJE	%
0	0
0,5	10
1	20
1,5	30
2	40
2,5	50
3	60
3,5	70
4	80
4,5	90
5	100

Figura 25.

Grafica de voltaje vs Porcentaje



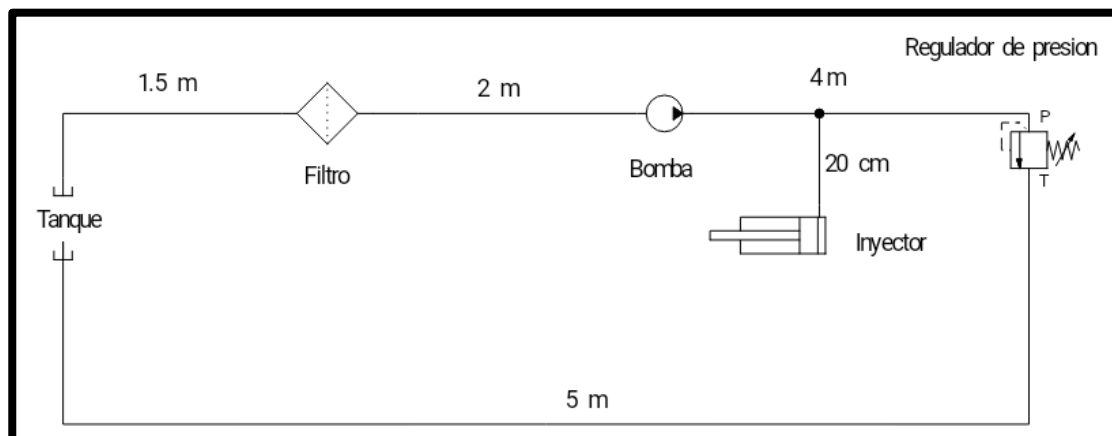
Nota. La figura muestra la curva lineal del voltaje en función del porcentaje de llenado del depósito.

Simulación

El diseño hidráulico está constituido por los siguientes elementos que son tanque, filtro, bomba, cañerías, regulador de presión, inyector.

Figura 26.

Circuito hidráulico del sistema SCR



Nota. La figura muestra los componentes que conforman el circuito hidráulico del sistema de reducción catalítica selectiva.

3.2.3 Diseño Eléctrico

Consumo de la bomba

Para realizar el cálculo del consumo de la bomba se realizó la medición de la resistencia utilizando el multímetro y obtuvimos el siguiente valor que se muestra en la imagen.

Figura 27.

Medición de la resistencia de la bomba



Nota. La figura muestra el valor de la resistencia de la bomba obtenida mediante el uso del multímetro

$$I_{Bomba} = \frac{V}{R_{Bomba}}$$

$$I_{Bomba} = \frac{12V}{21.8}$$

$$I_{Bomba} = 0.550 A$$

Consumo del inyector

De igual manera se utilizó el multímetro para obtener la resistencia interna que presenta el inyector de urea la cual se muestra a continuación en la imagen.

Figura 28.

Medición de la resistencia del inyector



Nota. La figura muestra el valor de la resistencia del inyector obtenida mediante el uso del multímetro

$$I_{Inyector} = \frac{V}{R_{Inyector}}$$

$$I_{Inyector} = \frac{12 V}{42}$$

$$I_{Inyector} = 0.2857 A$$

Selección del cable conductor

Para la selección del cable conductor debemos considerar que cantidad de corriente eléctrica va a circular por el sistema. En base a tabla de AWG se estableció un alambre calibre 16 con una temperatura de funcionamiento de 60 °C.

Selección de relé

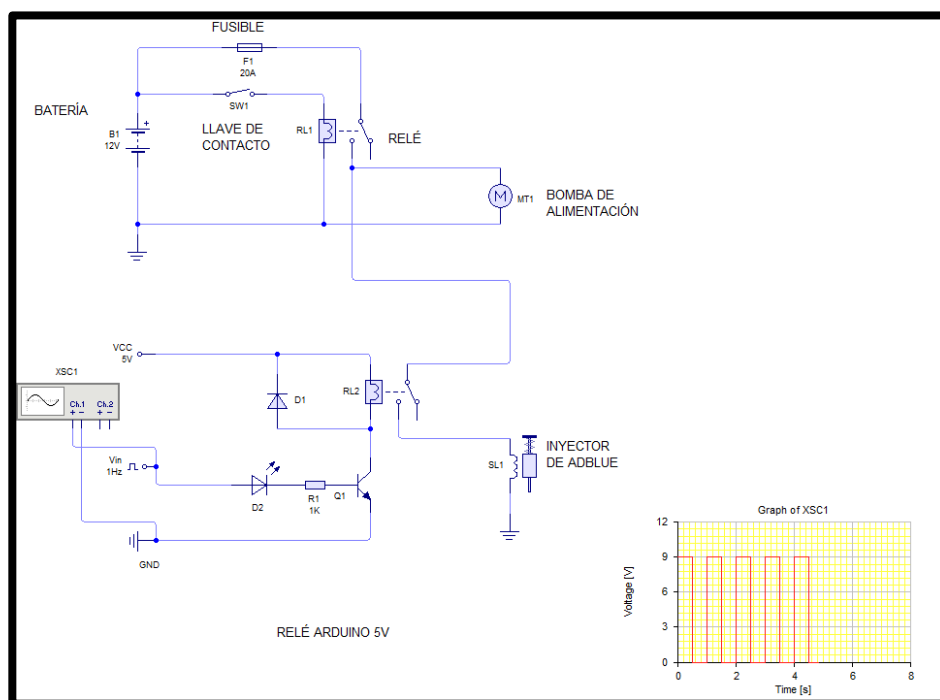
Se utilizó un relé de 20/30 A para la activación de la bomba y del inyector de AdBlue debido a la intensidad que va a circular era de 17 A con esto protegemos al sistema de cualquier percance.

Circuito Eléctrico

En la siguiente imagen podemos ver el circuito de activación de la bomba de alimentación del AdBlue e inyector de AdBlue el cual se va accionar mediante switch de encendido en donde se alimenta este circuito.

Figura 29.

Circuito de activación de bomba e inyector



Nota. La figura muestra los componentes del circuito eléctrico de la activación de la bomba e inyector

3.2.4 Diseño Electrónico

Selección de Microcontrolador



Para la selección del Microcontrolador debemos tener en cuenta los siguientes parámetros que son: velocidad, puertos, memoria y el voltaje de alimentación.

Adicionalmente este controlador nos permitirá recibir la señal generada por el

sensor para después procesarlas y con esto podremos visualizar los datos en la pantalla LCD.

Tabla 12.

Parámetros de selección del Microcontrolador

Características	Dispositivos	
	Uno	Nano
Puertos analógicos/digitales	6/14	8/14
Voltaje de alimentación	5 V	5 V
Memoria SRAM	2 kb	2 kb
Velocidad	16 MHz	16 MHz
Lenguaje de programación	C/Processing	C/Processing
Interfaz PC	Arduino-IDE	Arduino-IDE
Precio	18	8
Imagen		

Nota. Esta tabla muestra las características de los microcontroladores. Recuperado de (Elprocus, 2013).

Relé Arduino

Se utilizó un relé Arduino para que funcione como un interruptor que al momento que pasa la corriente se active o desactive el cual será alimentado por el nano Arduino.

Tabla 13.

Especificaciones técnicas del relé Arduino

Características	Valores
Voltaje de operación	5V DC
Señal de control	TTL (3.3v o 5V)
Capacidad máx.	10A/250 VAC , 10A/30VDC
Corriente máx.	10 A(NO), 5A(NC)
Tiempo de accionamiento	10 ms / 5 ms

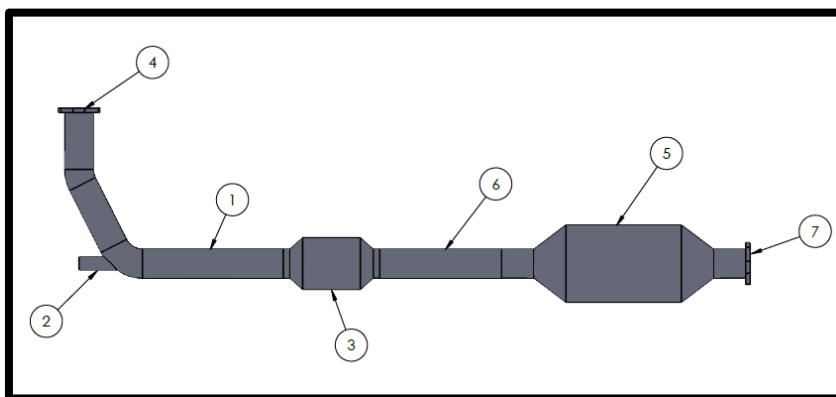
Nota. Esta tabla muestra los valores de las especificaciones técnicas del relé.

Recuperado de (Naylamp Mechatronics SAC, 2021).

3.2.5 Diseño Geométrico

Para el diseño geométrico se tomó referencia al sistema de escape del vehículo para llevarlo al software CAD y poderlo representar cada uno de sus componentes y conformar el sistema en el SolidWorks.

En esta imagen podemos observar el ensamble total del sistema SCR que se dibujó en el SolidWorks.

Figura 30.*Elementos del sistema SCR*

Nota. La figura muestra los componentes del sistema de escape

Tabla 14.*Componente del sistema SCR*

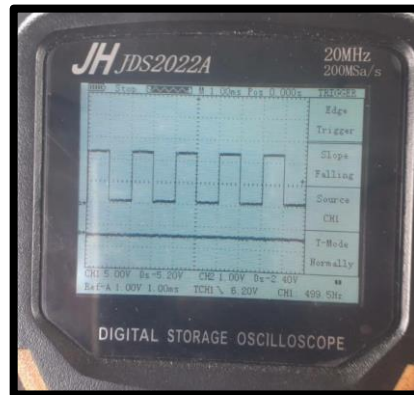
Numeración	Componente
1 y 6	Tubo
2	Inyector Adblue
3	Flexible
4 y 7	Brida de sujeción
5	Catalizador

3.2.6 Cálculos

En la siguiente imagen podemos observar la onda cuadrada que genera el sensor en ralentí al momento de conectar el osciloscopio automotriz y ajustar las escalas de los ejes correspondientes.

Figura 31.

Oscilograma del sensor Ckp



Nota. La figura muestra la gráfica del osciloscopio del sensor Ckp

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T = \frac{1}{499.5 \text{ Hz}}$$

$$T = 2 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Conversión de unidades de Hz a ms

$$T = 2 \times 10^{-3} \text{ Hz} * \frac{1000 \text{ ms}}{1 \text{ Hz}}$$

$$T = 2 \text{ ms}$$

Sistema de bombeo

A continuación, vamos a realizar el cálculo del área interna de la cañería para lo cual utilizaremos la siguiente ecuación:

En donde el diámetro de cañería seleccionada para el sistema es de 6 mm

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (3 \times 10^{-3})^2$$

$$A = 2.8274 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Adicionalmente podemos calcular la velocidad del fluido para lo cual el caudal (Q) de la bomba seleccionada es de $0.10 \text{ m}^3/\text{h}$ y utilizamos la siguiente formula

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.10 \text{ m}^3/\text{h}}{2.8274 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$V = 3536.776513 \text{ m/h}$$

Conversión de unidades m/h a m/s

$$x = 3536.776513 \frac{\text{m}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$x = 0.982437 \text{ m/s}$$

$$V = 0.982437 \text{ m/s}$$

A continuación, calcularemos el número de Reynolds donde algunos datos se toman de la Tabla N° 4.

$$N_R = \frac{V * D * \rho}{\eta}$$

$$N_R = \frac{0.982437 \text{ m/s} * (6 * 10^{-3} \text{ m}) * 1087 \text{ kg/m}^3}{(1.4 * 10^{-3} \text{ MPa})}$$

$$N_R = 4576.752$$

En donde obtenemos que es un flujo turbulento

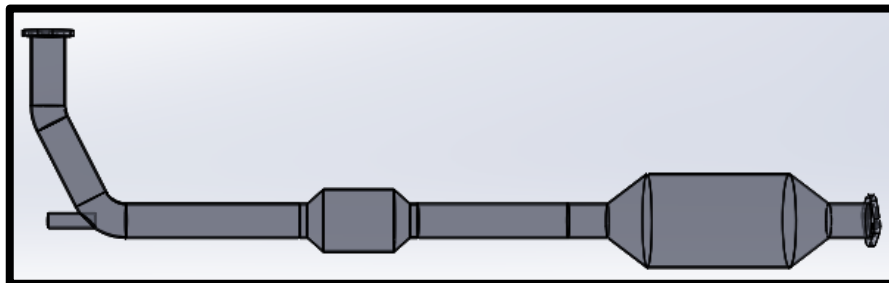
3.3 Modelado del Sistema de reducción catalítica selectiva

Para el modelado del sistema se utilizó el programa de SolidWorks en el cual se dibujó los componentes como son: tubería, flexible, catalizador y el tubo del inyector con los cual se hizo el ensamble de los componentes para tener el sistema de escape armado.

En la siguiente imagen podemos observar el sistema de escape ensamblado con una transparencia para apreciar el interior del sistema de mejor manera.

Figura 32.

Modelado transparente del sistema de escape



Nota. La figura muestra la representación esquemática del sistema de escape

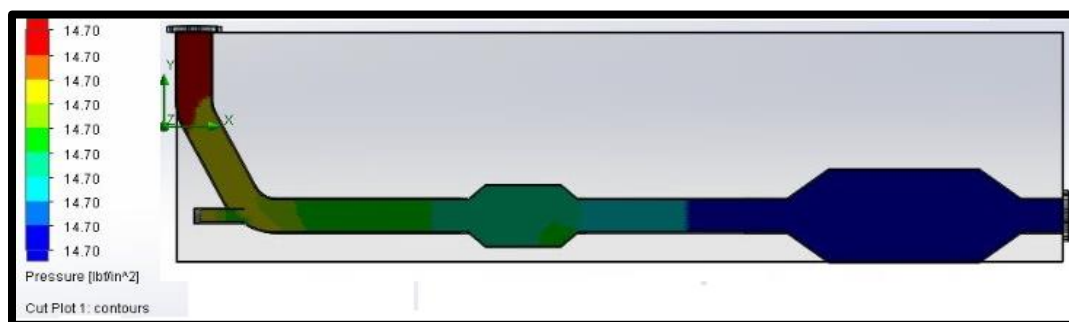
En la simulación se consideró algunos parámetros que establecemos para generar la simulación del flujo de los gases y obtener los valores de presión y temperatura que se muestran en las siguientes imágenes generadas por el simulador.

3.3.1 Presión de los gases de escape

En la siguiente imagen podemos observar cómo varía levemente la presión en el sistema de escape, pero el valor más alto de presión se encuentra en la conexión de múltiple de escape.

Figura 33.

Simulación de Presión en el sistema SCR



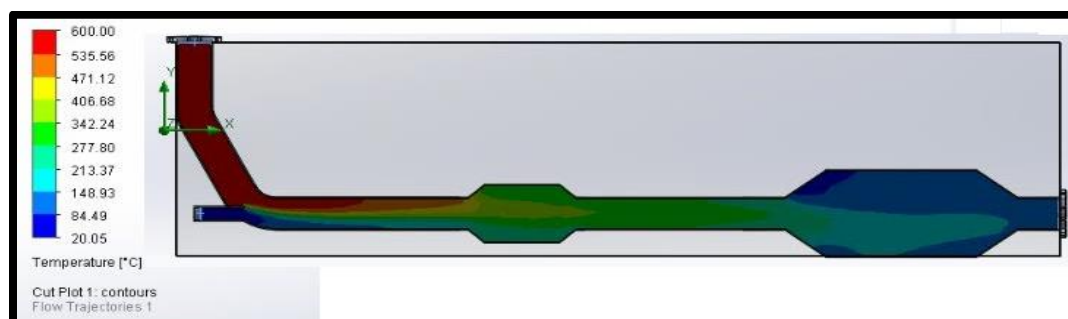
Nota. La figura muestra la simulación de presión en el sistema de escape

3.3.2 Temperatura de los gases de escape

En esta imagen podemos observar que el color rojo representa a la temperatura más alta que hay en el sistema de escape hasta que llega a la parte donde se encuentra localizado el inyector de urea donde se presenta una variación de temperatura que va a través del flexible en donde se presenta una temperatura media y al salir del catalizador la temperatura es aún menor.

Figura 34.

Simulación de temperatura en el Sistema SCR



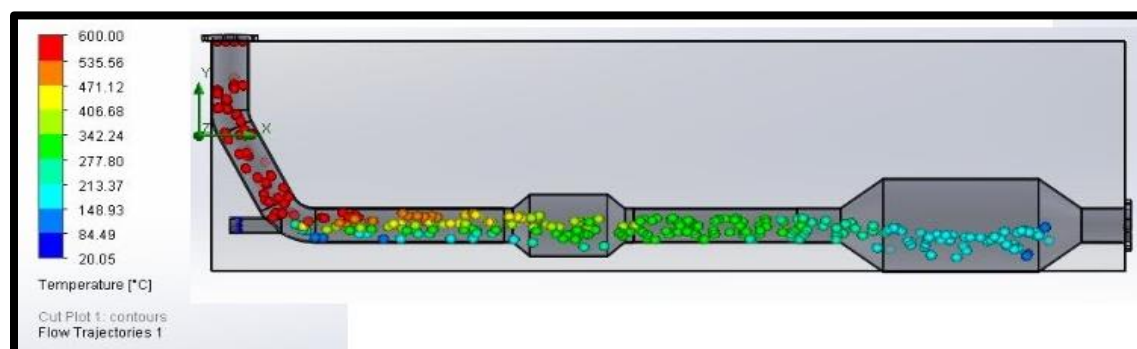
Nota. La figura muestra la simulación de temperatura en el sistema de escape

3.3.3 Análisis y Simulación

En esta imagen podemos la simulación dinámica de los gases por el sistema de reducción catalítica selectiva, en el caso de la temperatura podemos observar que se genera una reducción de temperatura.

Figura 35.

Simulación dinámica de la temperatura

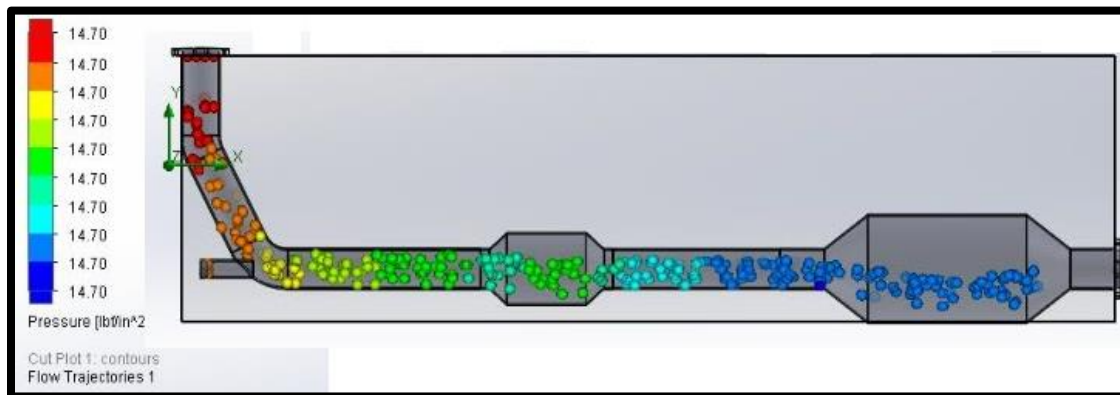


Nota. La figura muestra el flujo dinámico de los gases de escape en valores de temperatura

En esta imagen podemos la simulación dinámica de los gases por el sistema de reducción catalítica selectiva, en el caso de la presión

Figura 36.

Simulación dinámica de la presión



Nota. La figura muestra el flujo dinámico de los gases de escape en valores de presión

3.4 Construcción del sistema de reducción catalítica selectiva.

Para la construcción del sistema de reducción catalítica selectiva se utilizó tubería redonda de 1 3/4" pulgadas, soldadura MIG y dobladora de tubos.

3.4.1 Corte

Se realizó el corte del tubo redondo en dos partes las cuales nos servirán para crear la primera parte que la sujeción del tubo escape con el múltiple de escape y la segunda parte la unión de catalizador con el conjunto del escape.

3.4.2 Doblado

Para realizar el doblado de la tubería redonda de 1 3/4" que se utilizó en la construcción del nuevo sistema de escape.

En esta imagen podemos observar la curvatura principal que tiene el sistema de escape

Figura 37.

Curvatura del tubo de escape



Nota. La figura muestra la curvatura que tiene el tubo escape para conectar con el múltiple de escape.

En la siguiente imagen podemos mirar la curvatura que tiene el tramo del tubo redondo que conecta el flexible con el catalizador. De esta manera podemos insertar en el sistema de escape en el canal del vehículo sin ninguna interferencia.

Figura 38.

Conexión del flexible con el catalizador



Nota. La figura muestra la curvatura de la conexión del flexible con el catalizador.

3.4.3 Soldado

Se utilizó la soldadura Mig para soldar cuatro bridas de sujeción para el nuevo

sistema de escape desmontable del vehículo corsa.

En la siguiente imagen podemos observar el resultado de los componentes con el tubo de redondo como es el flexible, el catalizador y la brida de sujeción inicial y final del sistema

Figura 39.

Sistema de escape nuevo



Nota. La figura muestra el nuevo sistema de escape del vehículo corsa

Una vez terminado el nuevo sistema de escape utilizamos el tubo redondo 1 ½" para realizar el acople para el inyector en el tubo

Figura 40.

Acople del inyector al tubo de escape



Nota. La figura muestra la ubicación para el inyector de adblue en el vehículo corsa.

3.4.4 Programación

En el proceso de la programación se enfocó en la activación de inyector de AdBlue y el sensor de nivel que nos presente en una pantalla LCD, el nivel de urea y la activación del inyector.

Esta programación se utilizó un Microcontrolador nano Arduino debido a que se va a trabajar con señales de entrada y salida son menor que 8 pines y el precio de este Microcontrolador es muy accesible. Adicionalmente debemos investigar las librerías que necesitamos para compilación del código.

Para la programación se utilizó el software Arduino el cual trabaja con lenguaje C++ con el cual se desarrolló el código que se va a cargar al Microcontrolador para que ejecute el código de manera adecuada con las variables planteadas.

La programación emplea en la cual se declaró los puertos de conexión para el sensor es el pin 12 y para el sensor del nivel el pin de conexión es A0 y se agregó la librería para que se muestre los datos de inyector activado o desactivado y la capacidad de AdBlue que hay en el depósito.

A continuación, se presenta la programación realizada

```
#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

//----- LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); //

volatile int contador = 0;

int actuador=12;

float sensor_nivel=A0;

void setup() {

  lcd.init();

  lcd.backlight();
```

```
lcd.print(" TESIS ");
delay(3000);
lcd.clear();
pinMode(actuador,OUTPUT);
digitalWrite(actuador,LOW);
delay(100);
Serial.begin(9600);
attachInterrupt(0,interrupcion0,RISING);}

void loop() {
delay(1000);

Serial.print(" ");
Serial.print(contador);
Serial.print(" RPM ");
sensor();
nivel();
contador = 0;}

void nivel(){
sensor_nivel=analogRead(A0)/10.23;

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("ADBLUE:");
lcd.print(sensor_nivel); }

void sensor(){
if (contador > 690){
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" INYECTOR ON ");
Serial.print(" INYECTOR ON ");
```

```
digitalWrite(actuador,HIGH);  
delay(2000);  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print(" INYECTOR OFF ");  
Serial.println(" INYECTOR OFF ");  
digitalWrite(actuador,LOW);  
delay(2000); } else{  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print(" INYECTOR OFF ");  
Serial.println(" INYECTOR OFF ");  
Serial.println(" INYECTOR OFF ");  
digitalWrite(actuador,LOW);}  
return; }  
void interrupcion0() {  
contador++; }
```

3.5 Implementación del sistema de reducción catalítica.

En esta imagen podemos apreciar el sistema de reducción catalítica selectiva montado en el vehículo Chevrolet Corsa 1.7 L diésel en donde el inyector de AdBlue se encuentra ubicado en la curva del sistema de escape.

Figura 41.

Sistema de reducción catalítica selectiva



Nota. La figura muestra el sistema de reducción catalítica selectiva montado en el vehículo corsa 1.7L Diésel.

A continuación, se colocó el módulo de control de inyección de urea dentro de una caja para colocar la pantalla LCD y visualizar la información de acuerdo a la programación establecida.

Figura 42.

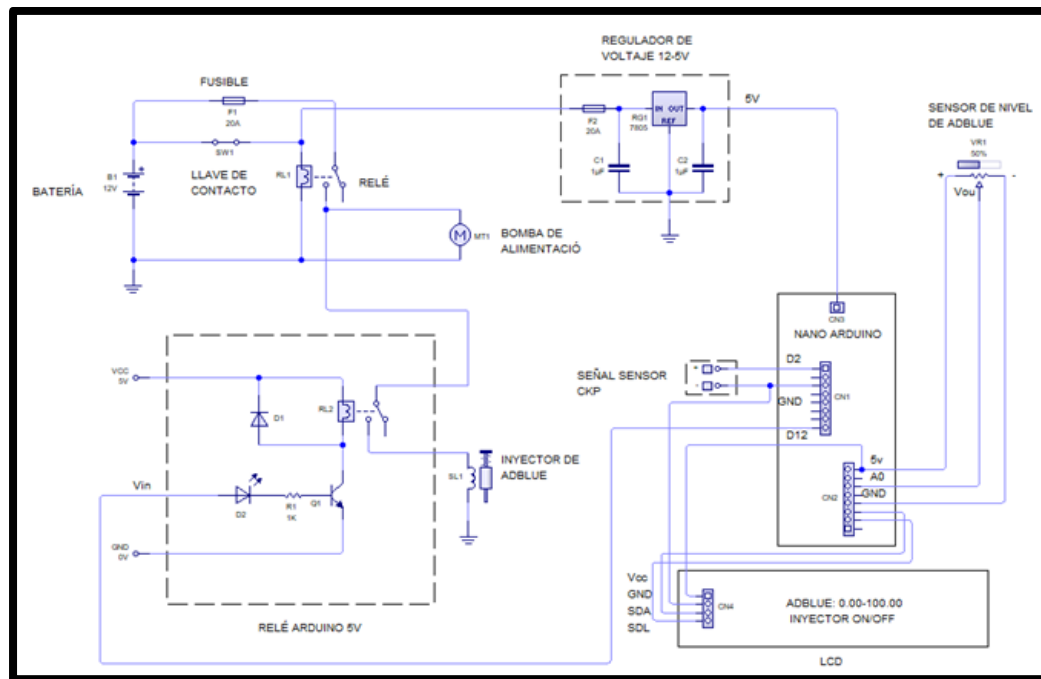
Visualización de información en la pantalla LCD



Nota. La figura muestra los valores del módulo de inyección de urea en el vehículo corsa 1.7L Diésel.

Figura 43.

Módulo de control de inyección de AdBlue



Nota. La figura muestra el circuito completo del módulo de control de inyección de AdBlue

Capítulo IV

4 Análisis de las emisiones de gases contaminantes.

4.1 Puesta a punto del vehículo Corsa Diésel 1.7l

El vehículo Corsa 1.7L se realizó un mantenimiento preventivo antes de realizar la pruebas para tener resultados óptimos y coherentes, a continuación se detallan los mantenimientos que se realizaron.

- Cambio de aceite del motor
- Cambio de filtro de aceite
- Cambio de filtro de aire
- Calibración de la bomba de inyección rotativa
- Calibración de inyectores mecánicos
- Utilización de aditivo para limpieza del sistema de inyección

Figura 44.

Vehículo Corsa 1.7L Diésel



Nota. La figura muestra el vehículo utilizado para realizar implementación del sistema SCR y los análisis de gases

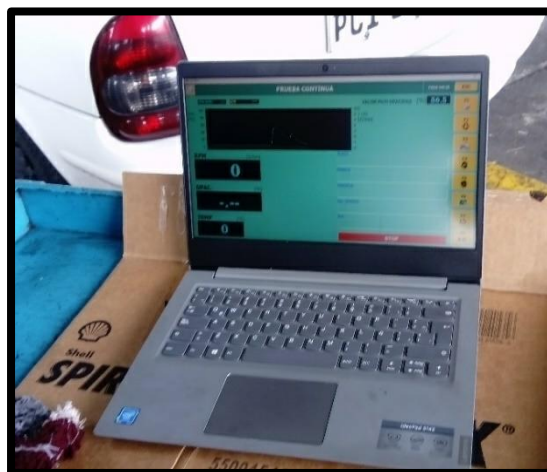
4.2 Pruebas de opacidad

La prueba de opacidad consiste en medir los humos del escape y se régimen a la normativa NTE INEN 2007:200. Para realizar esta prueba debemos realizar algunos procedimientos que son:

- Encender el equipo
- Calibrar el equipo para realizar la prueba
- Verificar el estado sistema de escape
- Encender el vehículo para que obtenga la temperatura de operación del motor.

Figura 45.

Opac metro OPA 300



Nota. La figura muestra la utilización del opacímetro OPA 300 en el vehículo Corsa Diésel 1.7L

4.2.1 Resultados

En la siguiente tabla se muestran los valores que establece la norma NTE INEN 2007:200 con los cuales se va a comparar con el sistema normal del escape y con la implementación del sistema de reducción catalítica selectiva.

Tabla 15.

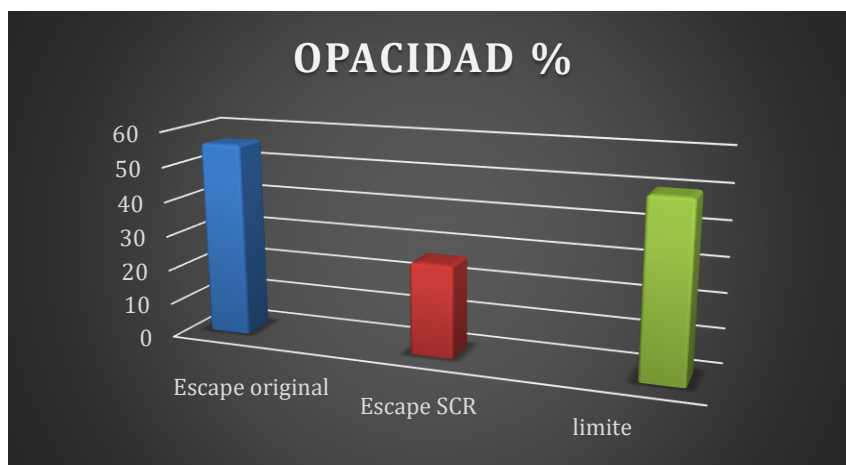
Límite de porcentaje en opacidad y pruebas

Detalle	Valor
Límite de normativa	50
Escape original	56
Escape SCR	26.6

En la figura 46 observamos la representación gráfica de los límites de opacidad de los gases medidos, en el cual se compara el límite que establece la norma INEN NTE 2007:200 que es del 50% de opacidad, el caso del sistema de estándar tiene un nivel de alto que sobrepasa el límite de la normativa, mientras que con el sistema de reducción catalítica selectiva se obtuvo un valor óptimo y que se encuentran en el rango de opacidad de la normativa permitida.

Figura 46.

Valores de opacidad del vehiculó



Nota. La figura presenta un gráfico de barras del límite de opacidad del sistema original, sistema SCR y el valor que rige la normativa.

4.3 Pruebas de emisiones de gases

La prueba de emisiones de gases se realizó en el vehículo corsa 1.7L diésel a tres tipos de revoluciones del motor que son 800, 2000 y 3000 rpm con su respectivo sistema escape normal y con la implementación del sistema de reducción catalítica selectiva. Para lo cual debemos seguir algunos requerimientos necesarios para utilizar el analizador de gases que se detalla a continuación.

- Calibrar el analizador para las pruebas
- El vehículo de tener la temperatura de funcionamiento
- Verificar que no exista ningún tipo de fuga o anomalía en el sistema de escape del vehículo

Después de la implementación del sistema de reducción catalítica selectiva se realizó la programación del módulo de inyección de AdBlue en la cual se estableció una frecuencia de inyección de 2 ms.

4.3.1 Sistema de escape normal

Pruebas a bajas RPM

En la tabla 16 se detallan los valores obtenidos por el analizador de gases a 800 rpm con el sistema escape original del vehículo corsa 1.7 L.

Tabla 16.

Medición de gases a ralentí

REVOLUCIONES	CO	HC	CO2	O2	NOx
[RPM]	[% Vol]	[ppm Vol]	[% Vol]	[% Vol]	[ppm Vol]
800	0.23	0.0	10.0	1.48	258.0

Pruebas a medias RPM

Otros valores de emisiones de gases que se obtuvieron a 2000 rpm los cuales se detallan a continuación en la tabla 17.

Tabla 17.

Medición de gases a 2000 Rpm

REVOLUCIONES	CO	HC	CO2	O2	NOx
[RPM]	[% Vol]	[ppm Vol]	[% Vol]	[% Vol]	[ppm Vol]
2000	0.22	0.1	10.2	0.80	240.0

Pruebas a altas RPM

Para terminar la prueba de emisiones de gases con el sistema de original del vehículo se realizó la última medición a 3000 rpm y sus valores se muestran en la tabla 18.

Tabla 18.

Medición de gases a 3000 Rpm

REVOLUCIONES	CO	HC	CO2	O2	NOx
[RPM]	[% Vol]	[ppm Vol]	[% Vol]	[% Vol]	[ppm Vol]
3000	0.29	0.1	10.3	0.54	249.0

4.3.2 Sistema de reducción catalítica selectiva

Pruebas a bajas RPM

Se realizó las mediciones de gases implementado el sistema de reducción catalítica selectiva en donde se obtuvieron los siguientes valores a 800 rpm que se muestran en la tabla 19.

Tabla 19.

Medición de gases a ralentí con sistema SCR

REVOLUCIONES	CO	HC	CO2	O2	NOx
[RPM]	[% Vol]	[ppm Vol]	[% Vol]	[% Vol]	[ppm Vol]
800	0.07	11.0	9.8	1.30	130

Pruebas a medias RPM

Otra toma de valores se realizó a 2000 rpm con el sistema SCR los cuales se muestran en la respectiva tabla 20.

Tabla 20.

Medición de gases a 2000 Rpm con sistema SCR

REVOLUCIONES	CO	HC	CO2	O2	NOx
[RPM]	[% Vol]	[ppm Vol]	[% Vol]	[% Vol]	[ppm Vol]
2000	0.13	9.0	10.1	0.90	128.9

Pruebas a bajas RPM

Para finalizar las pruebas de emisiones de gases con el sistema de reducción catalítica selectiva se toma la última medición de datos a 3000 rpm los cuales se detallan en la tabla 21.

Tabla 21.

Medición de gases a 3000 Rpm con sistema SCR

REVOLUCIONES	CO	HC	CO2	O2	NOx
[RPM]	[% Vol]	[ppm Vol]	[% Vol]	[% Vol]	[ppm Vol]
3000	0.21	8.0	8.0	0.41	90.1

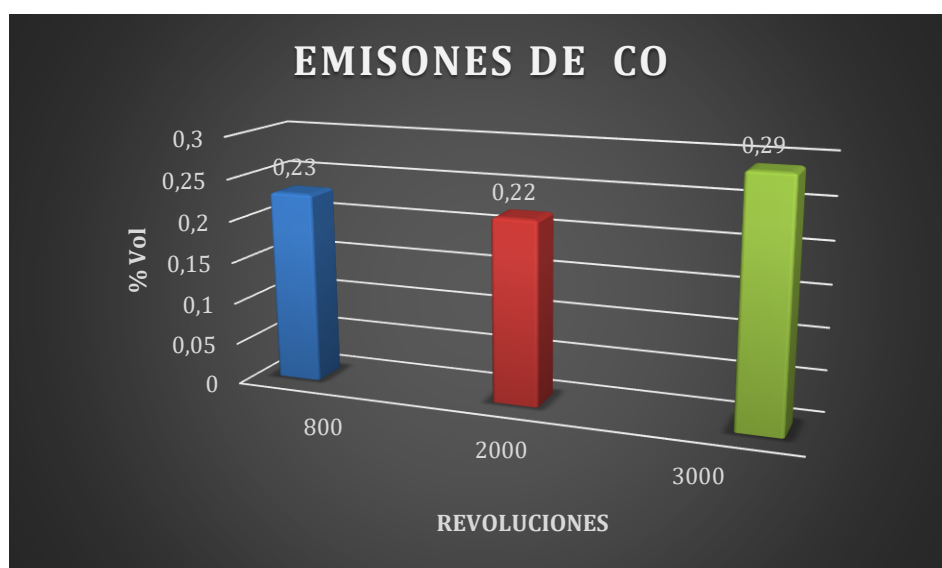
4.4 Análisis gráfico de emisiones

4.4.1 Emisiones de gases con sistema de escape normal

CO: En la figura 47 podemos observar la representación gráfica de valores de emisión de CO a diferentes revoluciones donde a 800 rpm tenemos un valor 0.23 %, mientras aceleramos a 2000 rpm tenemos una disminución del valor a 0.22% y a 3000 rpm el valor vuelve a incrementar 0.29% con el sistema de estándar del vehículo.

Figura 47.

Valores de emisiones de CO a diferentes revoluciones del motor



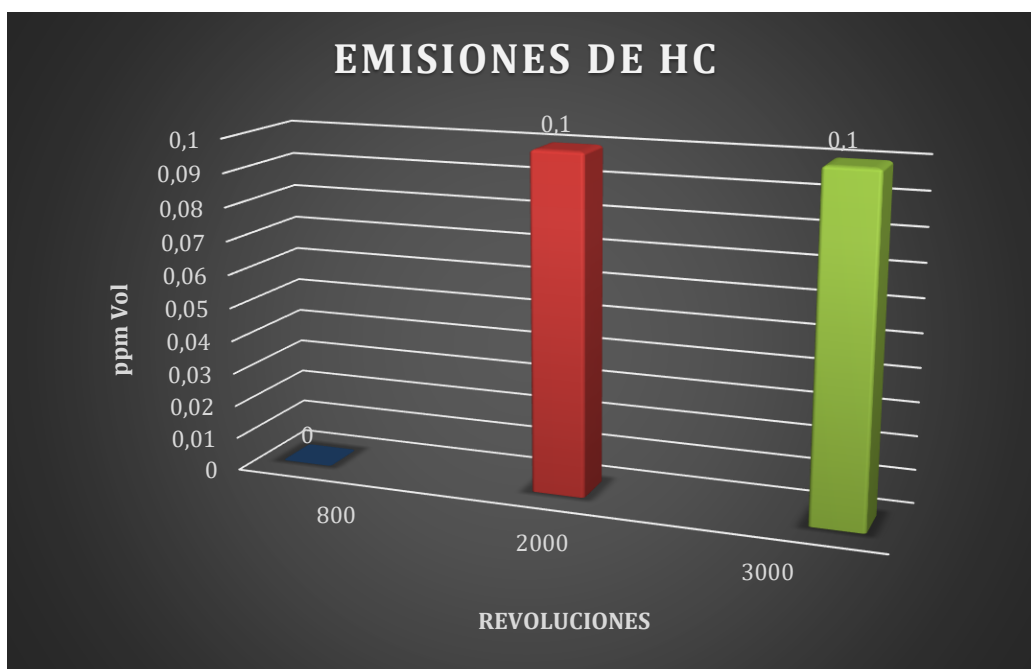
Nota. La figura presenta un gráfico de barras del % Vol de CO a diferentes revoluciones del motor presente durante el estudio

HC: Por otra parte, tenemos los valores de emisiones de HC que son valores muy bajos debido que los vehículos diésel no generan alto índices de estos gases.

Como podemos ver en la figura 48 muestra los valores de HC son mínimos a 800 rpm el valor de HC es de 0 ppm, mientras que acelerando a 2000 rpm aumenta el valor a 0.1 ppm y en la aceleración máxima que es 3000 rpm es valor se mantienen de HC utilizando el sistema estándar del vehículo.

Figura 48.

Valores de emisiones de HC a diferentes revoluciones del motor



Nota. La figura presenta un gráfico de barras de ppm de HC a diferentes revoluciones del motor presente durante el estudio

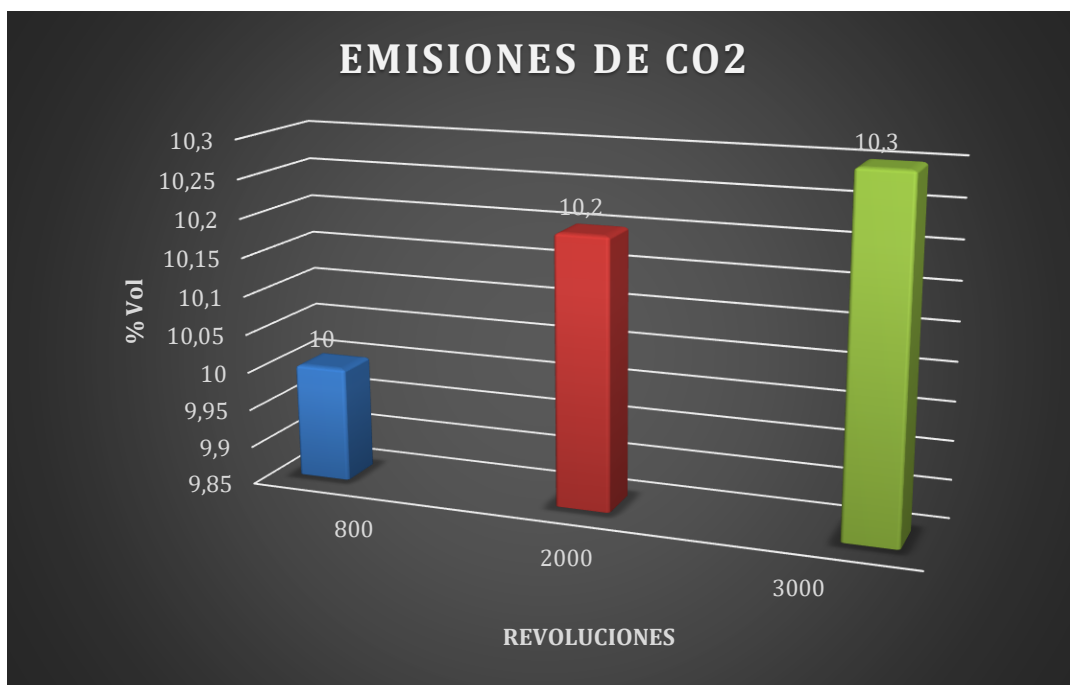
CO₂: En el caso de emisiones de CO₂ se puede observar en la figura 49 la representación gráfica de los valores va incrementado en función de la revoluciones del motor.

Cuando el motor esta 800 rpm el valor de CO₂ que se produce es 10% Vol,

mientras generamos un aumento a las revoluciones como es de 2000 rpm el valor incrementa a 10.2% Vol en donde vemos una variación de 0.2 con respecto a las rpm y al aumentar a 3000 rpm el valor de CO₂ incrementado a 10.3 %Vol.

Figura 49.

Valores de emisiones de CO₂ a diferentes revoluciones del motor



Nota. La figura presenta un gráfico de barras del %Vol de CO₂ a diferentes revoluciones del motor presente durante el estudio.

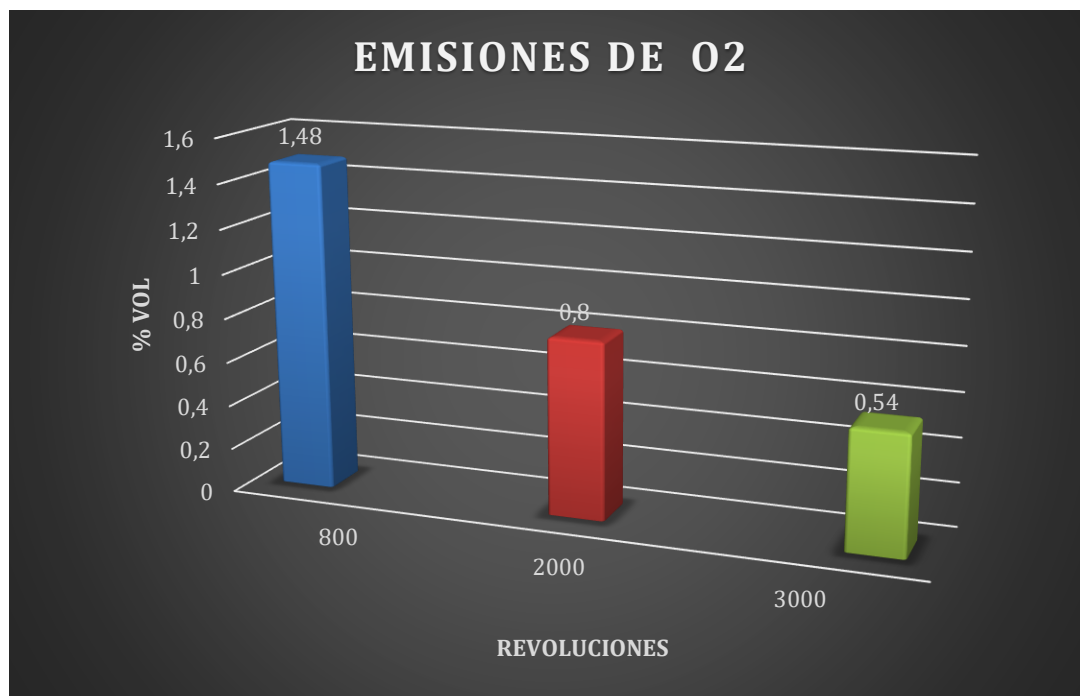
O₂: Otro de los gases que podemos analizar son las emisiones de O₂ que los valores están representados en la figura 50 en la cual observamos la gráfica de barras de los valores de emisiones a diferentes revoluciones.

En el gráfico de barras podemos observar que los valores de O₂ van disminuyendo en función que se va aumentando las revoluciones del motor como es el caso a 800 rpm el valor es de 1.48% Vol, mientras que al aumentar a 2000 rpm se produce una disminución de O₂ a 0.8%Vol y al momento de acelerar a 3000 rpm el

valor de emisiones de O₂ disminuye mas a 0.54 %Vol.

Figura 50.

Valores de emisiones de O₂ a diferentes revoluciones del motor



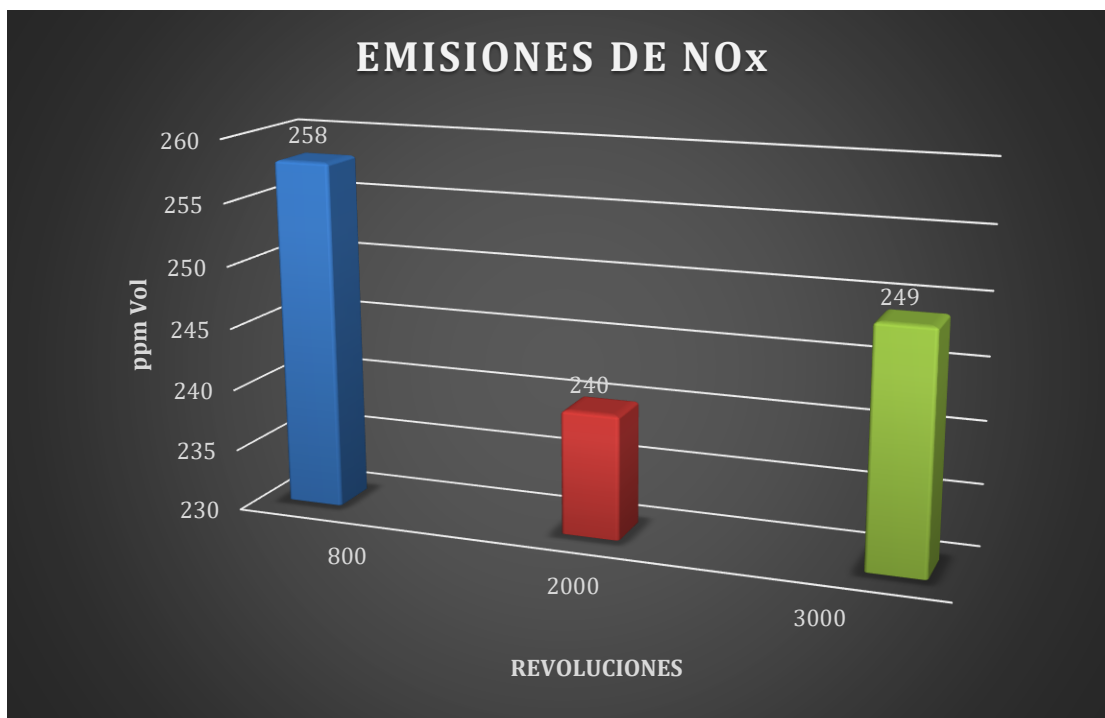
Nota. La figura presenta un gráfico de barras del %Vol de O₂ a diferentes revoluciones del motor presente durante el estudio.

NO_x: El último análisis que se realiza con el sistema estándar del vehículo es la emisión de NO_x como podemos visualizar en la figura 51 los valores obtenidos al realizar la prueba de gases a diferentes revoluciones del motor.

En el gráfico de barras de los valores de NO_x comienza con 258 ppm Vol a 800 rpm del motor, después de generar el aumento de revoluciones del motor a 2000 rpm se observar una disminución del valor de NO_x que es de 240 ppm Vol y al incrementar a 3000 rpm el valor de NO_x incrementa a 249 ppm Vol.

Figura 51.

Valores de emisiones de NOx a diferentes revoluciones del motor

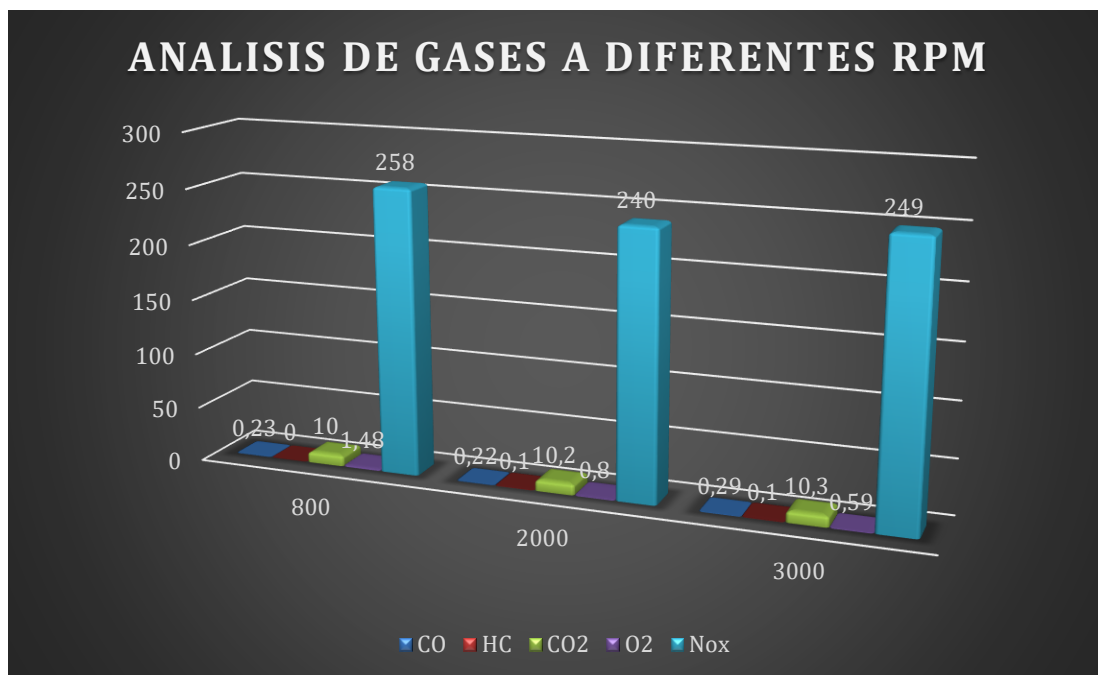


Nota. La figura presenta un gráfico de barras del ppm Vol de NO_x a diferentes revoluciones del motor presente durante el estudio.

Análisis de gases a diferentes regímenes de giro: En la siguiente figura 52 podemos observar todos los valores de las emisiones de gases que produce el motor diésel, en donde el diagrama de barras resalta los valores de NO_x que están representado con el color celeste, después continúan los valores de CO₂ que representan el color verde, luego van los valores de emisiones de O₂ que se presentan con el color morado, a continuación van las emisiones de CO y por último están los valores HC que son mínimos en este análisis del sistema estándar del vehículo corsa 1.7L a regímenes de 800, 2000 y 3000 rpm del motor.

Figura 52.

Valores de emisiones de gases a diferentes revoluciones del motor



Nota. La figura presenta un gráfico de barras de todas las emisiones de gases a diferentes revoluciones del motor presente durante el estudio

4.4.2 Emisiones de gases con sistema SCR

A continuación, se va a detallar los valores que se obtuvo al analizar las emisiones de los gases con el uso de la inyección de AdBlue en el vehículo corsa 1.7L diésel.

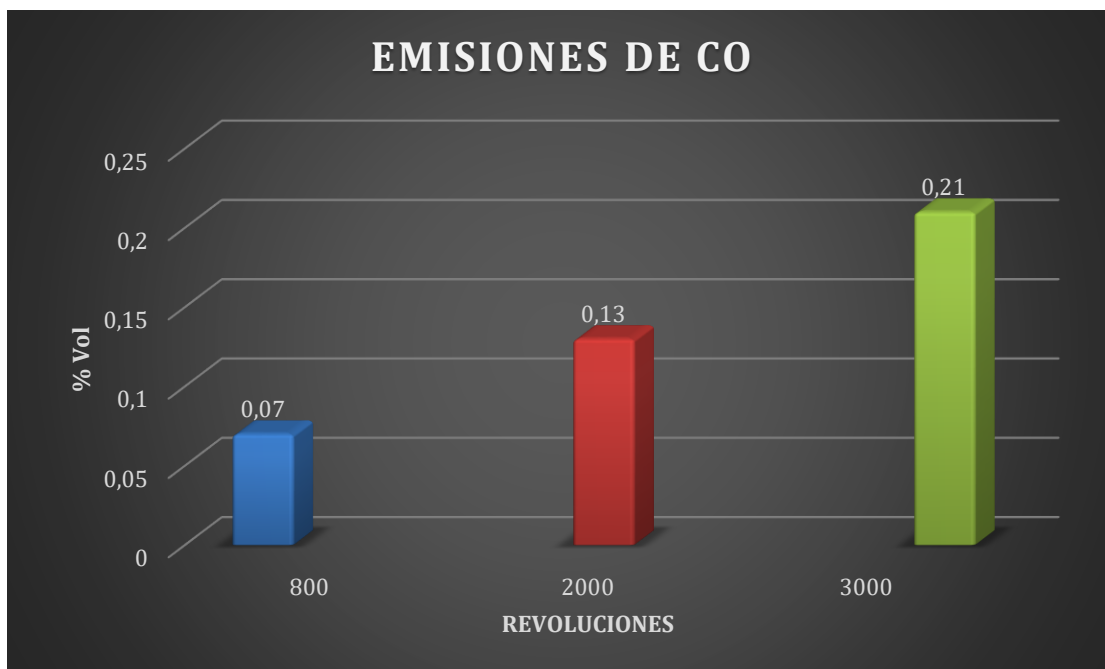
Los valores de emisiones de CO se detallan en la gráfica de barras que muestra en la figura 53 en donde se puede observar un incremento con el uso del sistema SCR.

CO: Las emisiones de CO a 800 rpm es de 0.07 %Vol mientras al incrementar las revoluciones del motor a 2000 rpm se observa un aumento de 0.06% entre el rango de 800 a 2000 rpm lo cual da un valor de 0.13 % Vol y al momento de aumentar las revoluciones a 3000 rpm se incrementa el valor de Co en 0.08 en relación a 2000 a

3000 rpm obteniendo un valor de emisión de CO de 0.21% Vol.

Figura 53.

Valores de emisiones de Co con el sistema SCR a diferentes rpm



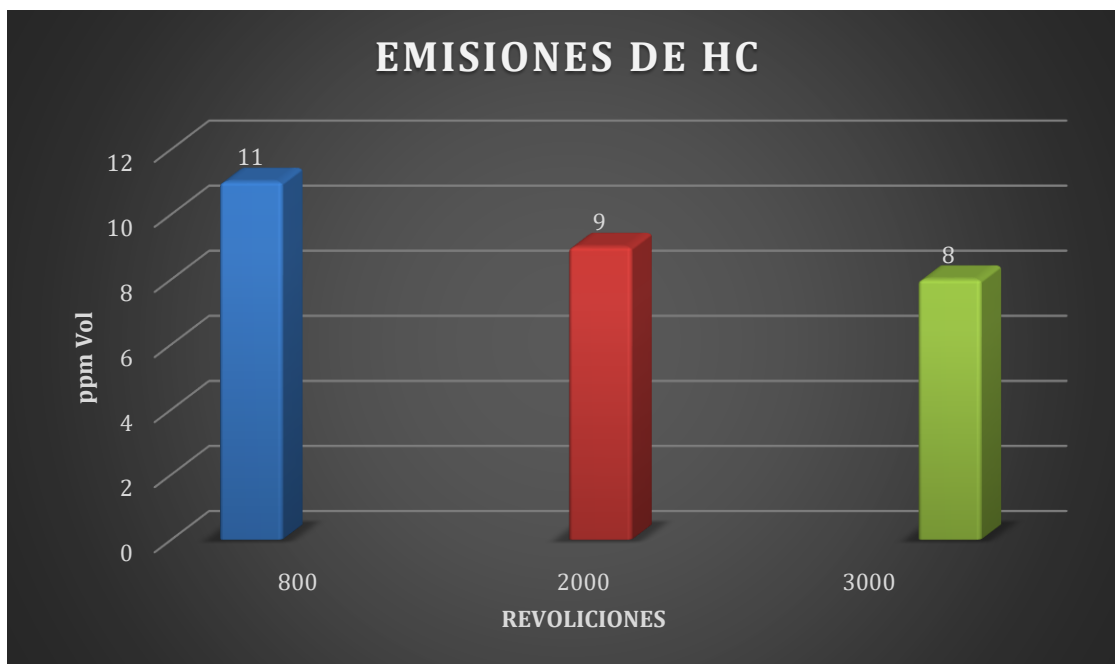
Nota. La figura presenta un gráfico de barras del % Vol de CO a diferentes revoluciones del motor con la implementación del sistema SCR presente durante el estudio.

HC: En el caso de los valores de HC que se muestran en la figura 54 se puede mirar una disminución con respecto a las revoluciones del motor e inyección del AdBlue.

La grafica de barras muestra que a los 800 rpm se genera un valor de 11ppm Vol de HC y al aumentar las revoluciones del motor a 2000 rpm se genera una disminución de 3 ppm Vol con respecto de rango de revoluciones de 800 a 2000 rpm obteniendo una emisión de HC a 9 ppm Vol, para finalizar la prueba se incrementó las revoluciones a 3000 rpm para obtener un valor de 8 ppm Vol en donde se puede apreciar un 1 ppm Vol en el rango de 2000 a 3000 rpm.

Figura 54.

Valores de emisiones de HC con el sistema SCR a diferentes rpm



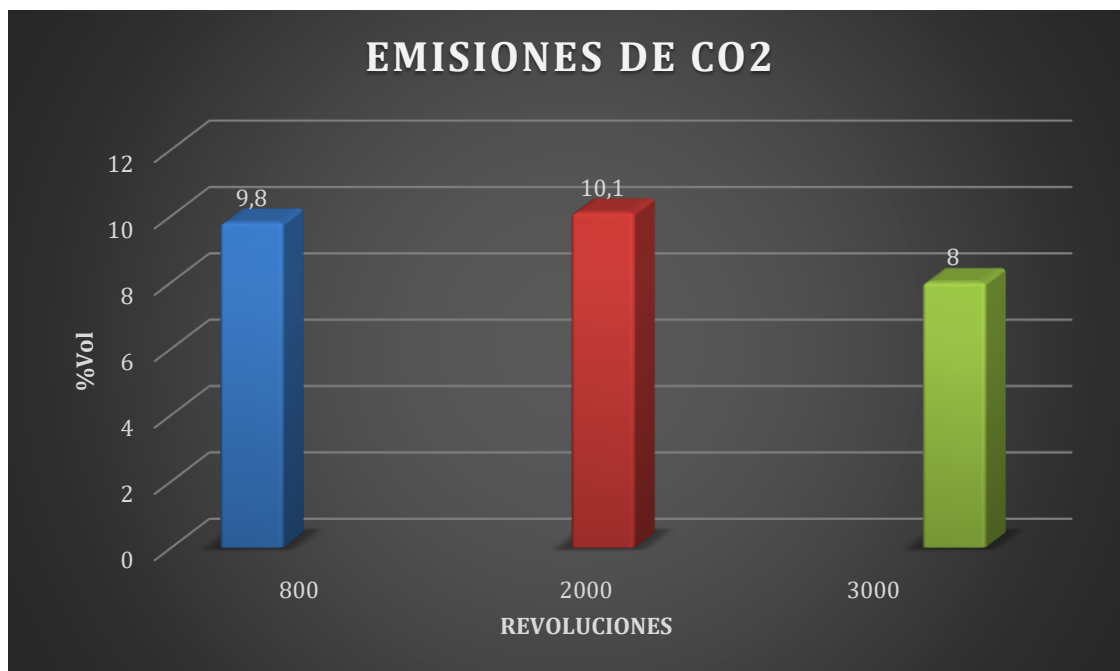
Nota. La figura presenta un gráfico de barras de las ppm Vol de HC a diferentes revoluciones del motor con la implementación del sistema SCR presente durante el estudio.

CO₂: En el estudio de emisiones de CO₂ se registró algunos cambios en sus valores que se pueden apreciar en la figura 55 que establece el gráfico de barras de las emisiones de CO₂ a 800, 2000 y 3000 rpm.

El valor que se obtuvo a 800 rpm de emisiones de CO₂ fue de 9.8 % Vol el cual cambió al momento de subir las revoluciones a 2000 rpm donde se genera un incremento de 0.3 con respecto al rango de 800 a 2000 rpm obteniendo un valor de 10.1 % Vol, después de aumentar las revoluciones a 3000 rpm se genera una disminución de 2.1% entre el rango de 2000 a 3000 rpm de emisiones de CO₂ y obteniendo un valor de 8 % Vol de CO₂.

Figura 55.

Valores de emisiones de CO2 con el sistema SCR a diferentes rpm



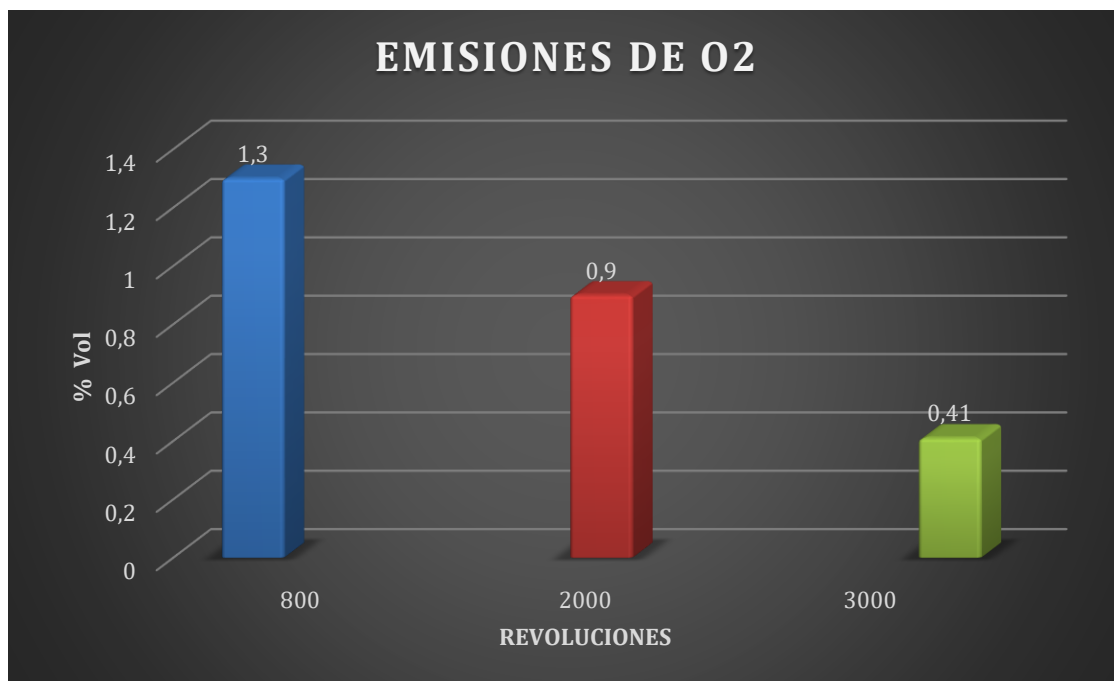
Nota. La figura presenta un gráfico de barras del % Vol de CO2 a diferentes revoluciones del motor con la implementación del sistema SCR presente durante el estudio.

O2: A continuación se detalla los valores obtenidos de las emisiones de O2 en la figura 56 la cual muestra el gráfico de barras a diferentes revoluciones del motor en donde se aprecia una disminución de O2.

El valor de emisión de O2 que se obtuvo al realizar la prueba con una revolución de 800 rpm fue de 1.3% Vol, después se incrementó progresivamente la revolución a 2000 rpm en donde se produjo una disminución leve de 0.4% de la emisión O2 con respecto al rango de revolución de 800 a 2000 consiguiendo un valor es de 0.9% y al aumentar a 3000 rpm se pudo observar otra disminución 0.42% de O2 en el rango de revoluciones de 2000 a 3000 rpm y se obtuvo la medida de 0.41 % Vol.

Figura 56.

Valores de emisiones de O₂ con el sistema SCR a diferentes rpm



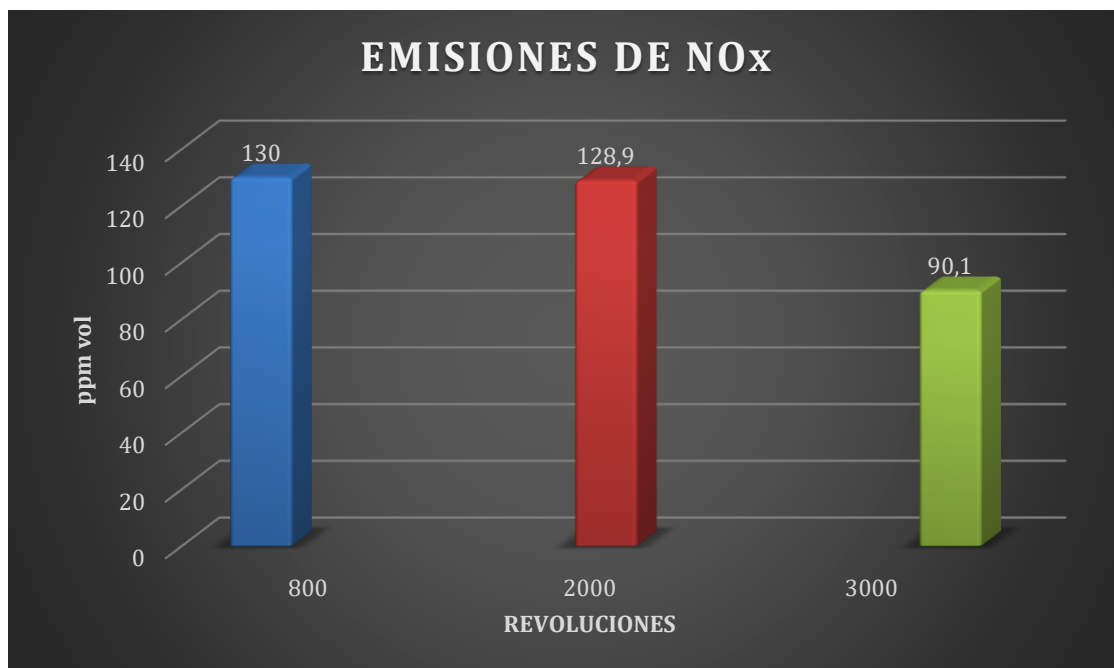
Nota. La figura presenta un gráfico de barras del % Vol de O₂ a diferentes revoluciones del motor con la implementación del sistema SCR presente durante el estudio.

NO_x: Para finalizar el análisis de resultados con el uso del sistema SCR se debe ver los resultados de emisiones de NO_x que se presenta en la figura 57 en la cual se mira una disminución aceptable con respecto a las revoluciones del motor diésel.

En el gráfico de barras se puede observar un valor de emisión de 130 ppm Vol NO_x a 800 rpm cuando se genera un aumento en las revoluciones a 2000 rpm se aprecia una disminución de 1.1 en función del rango de revoluciones de 800 a 2000 rpm por lo cual se obtiene una emisión de 128.9 ppm Vol de NO_x y para culminar con la prueba de gases se incrementó a 3000 rpm en donde se ve una eficiencia del sistema SCR ya que obtiene un valor de 90.1 ppm Vol que es mucho menor a valor obtenido a 2000 rpm.

Figura 57.

Valores de emisiones de NO_x con el sistema SCR a diferentes rpm



Nota. La figura presenta un gráfico de barras de las ppm Vol de NO_x a diferentes revoluciones del motor con la implementación del sistema SCR presente durante el estudio.

4.5 Análisis comparación de emisiones estándar vs sistema SCR

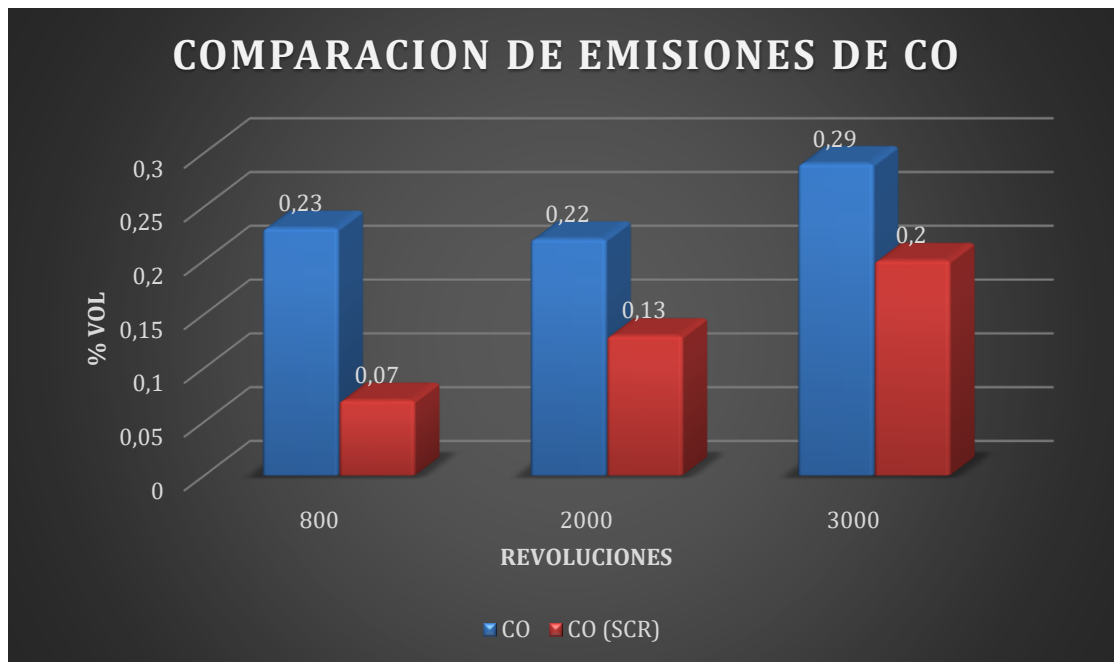
CO: En el gráfico de barra que se observa en la figura 58 se muestran los valores de emisiones de CO con utilización del sistema SCR y uso del sistema estándar que presenta el vehículo corsa 1.7L.

En donde los valores de emisiones con el sistema SCR son menores que el sistema estándar, debido que a 800 rpm con el sistema normal se obtiene un valor de 0.23% Vol de CO mientras en el sistema SCR se obtiene un valor de 0.07 % Vol y a 3000 rpm el sistema normal presento una valor 0.29 % Vol y comparado con el valor del sistema de SCR que es 0.2% se ve que hay una disminución de emisión con el uso de

inyección de urea en el sistema de escape.

Figura 58.

Valores de emisiones de CO con el sistema estándar y SCR



Nota. La figura presenta un gráfico de barras del % Vol de CO con la utilización del sistema estándar y SCR presente durante el estudio

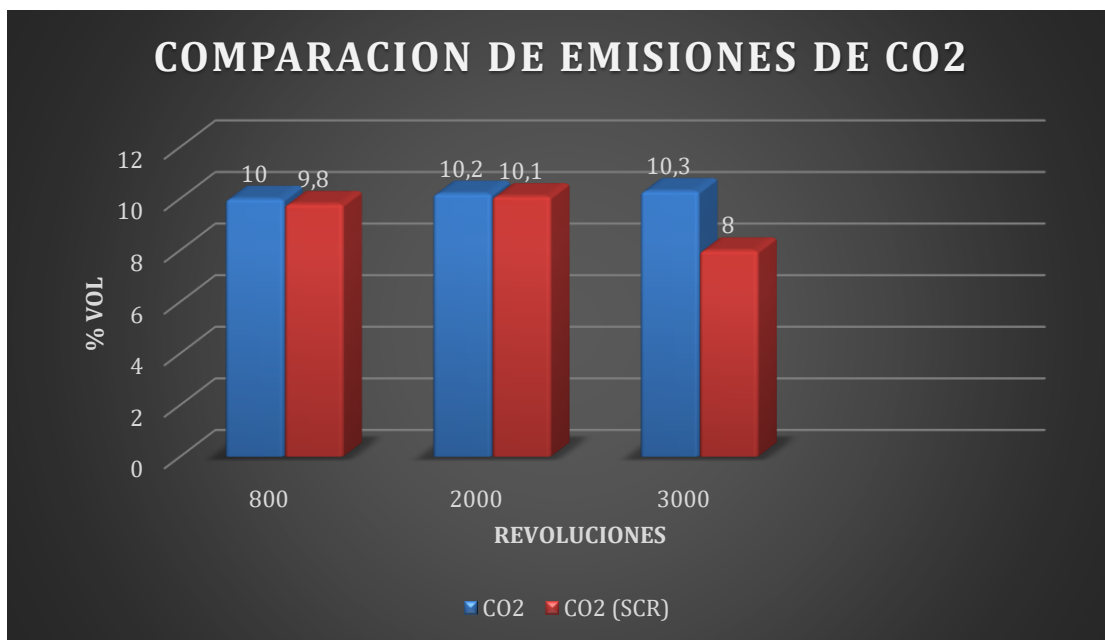
CO₂: A continuación, se realiza la comparación de los valores de emisión de CO₂ del sistema original versus el sistema SCR que se observa en la figura 59.

Podemos apreciar que con el gráfico de barra que el sistema SCR es más efectivo a diferentes revoluciones del motor que el sistema original, en donde el sistema original a 800 rpm mostró un valor de 10 % Vol mientras que el sistema SCR obtuvo un valor de 9.8% Vol en donde hay una disminución de 0.2% respecto al valor del sistema original, otra situación favorable se lleva a 3000 rpm donde el sistema SCR presentó un valor de 8% Vol mientras que el sistema original tiene un valor de 10.3% Vol en donde la diferencia es mínima de 2.3% con respecto a esta revolución del motor en

donde el sistema SCR es eficiente para la reducción de emisiones de CO₂.

Figura 59.

Valores de emisiones de CO₂ con el sistema estándar y SCR

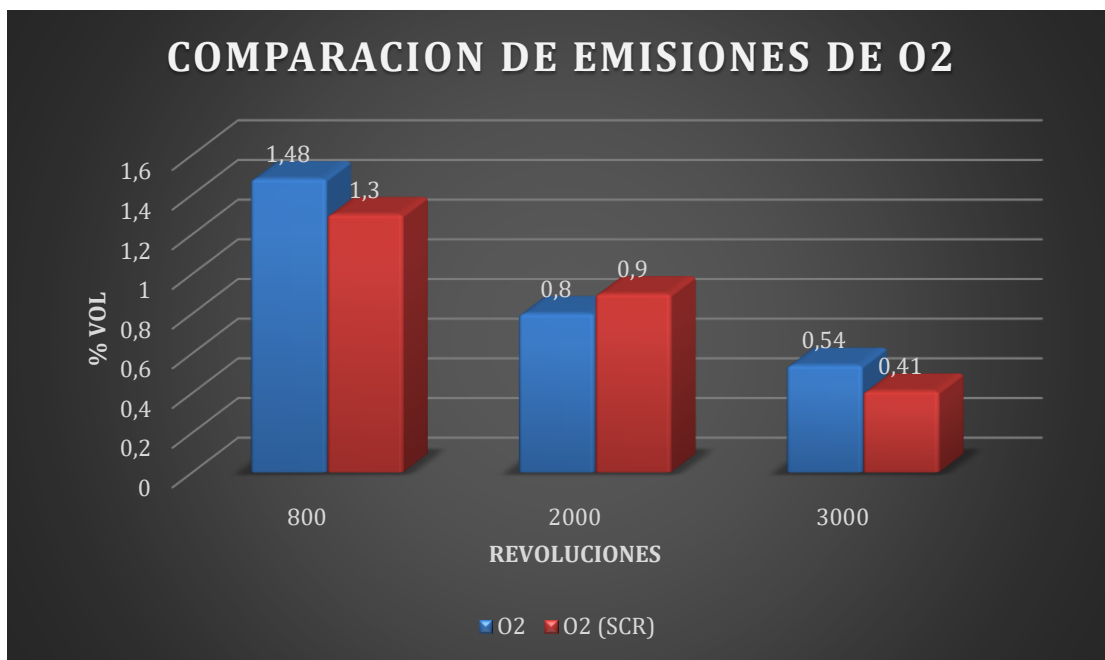


Nota. La figura presenta un gráfico de barras del % Vol de CO₂ con la utilización del sistema estándar y SCR presente durante el estudio.

O₂: Los valores de emisiones de O₂ que se observan en la figura 60 en donde muestra que el sistema original a 800 rpm tiene un valor de 1.48 % Vol mientras que el sistema SCR tiene un valor de 1.3% Vol, en el caso de las revoluciones a 2000 rpm el sistema original presenta un valor menor de 0.8% Vol que el sistema SCR que presenta 0.9% Vol, mientras que a 3000 revoluciones el sistema original presenta un valor de 0.54% Vol y el sistema SCR obtiene un valor de 0.41% Vol que es menor al sistema original en donde se observa una diferencia de 0.13% más efectivo el sistema SCR.

Figura 60.

Valores de emisiones de O₂ con el sistema estándar y SCR



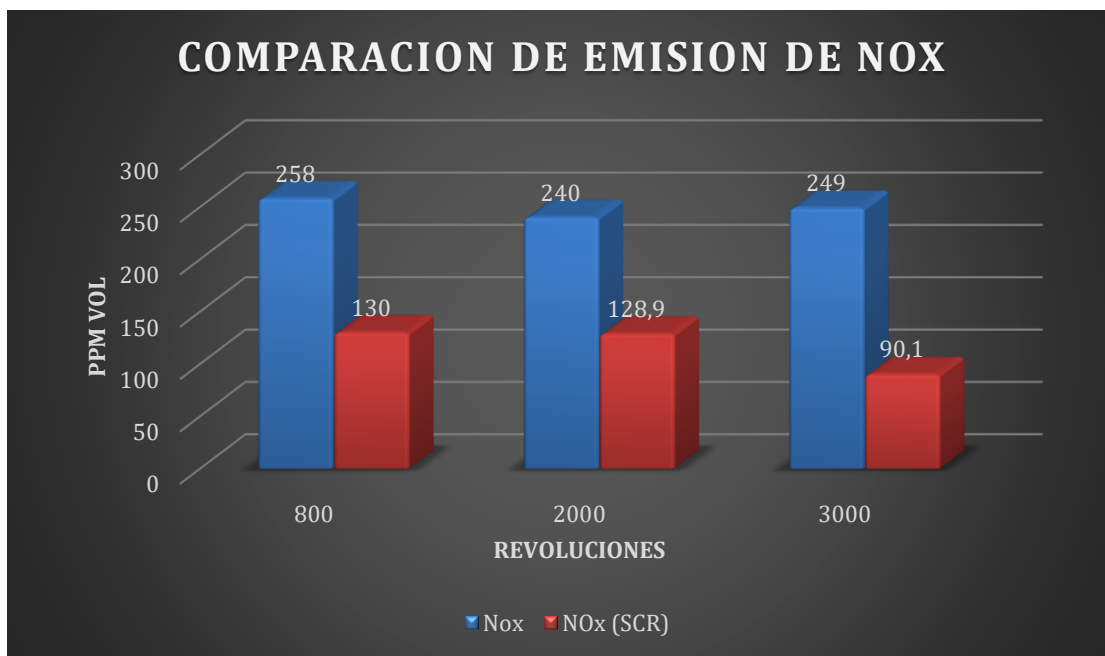
Nota. La figura presenta un gráfico de barras del % Vol de O₂ con la utilización del sistema estándar y SCR presente durante el estudio.

NO_x: Para finalizar esta comparación del sistema original versus el sistema SCR vamos observar los valores de emisiones de NO_x que se muestran en la figura 61.

En la gráfico de barra podemos apreciar que los valores emitidos por el sistema SCR son menores que el sistema original por ejemplo a 800 rpm el sistema original presenta un valor de 258 ppm Vol de NO_x mientras que el sistema SCR posee un valor de 130 ppm Vol en donde existe una disminución drástica de la emisiones de NO_x, por otra parte a 3000 rpm el sistema original presenta un valor de 249 ppm Vol y el sistema SCR posee 90.1 ppm Vol en donde se observa una gran eficiencia de la inyección de AdBlue para ayudar a reducir la emisiones que genera el vehículo corsa 1.7 L diésel.

Figura 61.

Valores de emisiones de NOx con el sistema estándar y SCR



Nota. La figura presenta un gráfico de barras de las ppm Vol de NOx con la utilización del sistema estándar y SCR presente durante el estudio.

Capítulo V

5 Marco Administrativo.

5.1 Recursos

Para desarrollar el proyecto investigativo, se tomó en cuenta recursos como: humanos, materiales y tecnológicos

5.2 Recursos humanos.

Los recursos humanos que participaron en el desarrollo del proyecto de titulación “ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DIÉSEL IMPLEMENTANDO UN SISTEMA DE REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA, UTILIZANDO UREA PARA LA CONVERSIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NOX) EN AGUA Y NITRÓGENO” se detalla en la correspondiente tabla:

Tabla 22.

Recursos Humanos

Ord	Descripción	Función
.		
1	Gualotuña Pinargo Bryan Ramiro	Investigador
2	Tipan Quinga David Rubén	Investigador
3	ING. Mena Navarrete Luis Antonio	Investigador – Tutor

5.3 Recursos tecnológicos.

Para ejecutar el proyecto se ocuparon recursos tecnológicos los cuales nos permitieron conseguir datos durante las pruebas de emisiones de gases y simulaciones los cuales se mencionan a continuación:

Tabla 23.*Recursos tecnológicos*

Ord.	Nombre
1	Laptop Dell
2	Internet
3	Analizador de gases
4	Software Arduino
5	Osciloscopio Automotriz
6	Multímetro
7	Opacímetro OPA-300
8	Software Arduino IDE
9	Software CAD SolidWorks
10	Microsoft Office
11	Cámara

5.4 Recursos materiales.

Los recursos materiales que se utilizaron para ejecución del proyecto son componentes y elementos fundamentales para construir el sistema de reducción catalítica selectiva son los siguientes:

Tabla 24.*Recursos materiales*

Ord.	Detalle	Cantidad	Unidades
1	Toberas de inyectores	4	
2	Deposito	1	
3	Cañerías	15	Metros
4	Inyector	1	
5	AdBlue	2	Caneca
6	Catalizador	1	
6	Bomba	1	
7	Filtro	1	
8	Regulador de presión	1	
9	Cable #16	15	Metros
10	Abrazaderas de plástico	20	
11	Terminal Socket	10	
12	Sensor de nivel	1	
13	Relés	2	

5.5 Presupuesto.

Para la ejecución del proyecto titulado “ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DIÉSEL IMPLEMENTANDO UN SISTEMA DE REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA, UTILIZANDO UREA PARA LA CONVERSIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NOX) EN AGUA Y NITRÓGENO”. Es fundamental plantear un presupuesto en cual se detallar todos los gastos que participan el proyecto.

Tabla 25.*Presupuesto.*

Ord	Detalle	Cantidad	Precio U.	Total
.				
1	Catalizador	1	145,00	145,00
2	AdBlue	2	35,00	70,00
3	Toberas de inyectores	4	200,00	200,00
4	Inyector AdBlue	1	106,00	106,00
5	Bomba de alimentación	1	20,00	20,00
6	Filtro	1	5,00	5,00
7	Cañerías (metros)	15	1,50	22,50
8	Abrazaderas	20	0,25	5,00
9	Cable N°16 (metros)	15	0,75	11,25
10	Terminal socket	10	0,10	1,00
11	Relé	2	2,50	5,00
12	Sensor de nivel	1	5,00	5,00
13	Regulador de presión	1	10,00	10,00
TOTAL				605,75

5.6 Financiamiento.

El proyecto de investigación es auto financiado por parte de los investigadores, el costo inversión total es de 605,75 USD.

Capítulo VI

6 Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Se realizó la búsqueda teórica necesaria y confiable que permitan sustentar el tema del proyecto de investigación.
- Se fundamentó teóricamente el diseño del sistema de reducción catalítica considerando aspectos mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos.
- Se simuló y analizó el modelo de reducción catalítica mediante el cálculo y simulación en un programa de elementos finitos SolidWorks utilizando el complemento Flow Simulation.
- Se diseñó y construyó el modelo de sistema de reducción catalítica considerando parámetros mecánicos como catalizador scr, tuberías y bridas de sujeción; hidráulicos como el depósito, bomba, filtro, cañerías, uniones, regulador de presión, flotador, e inyector de AdBlue; eléctricos como número de cable, fusibles, relé y batería; electrónicos como Microcontrolador, programación y elementos electrónicos.
- Se Implementó el sistema de reducción catalítica y el módulo de control de inyección de AdBlue en el tubo de escape del vehículo corsa diésel 1.7 CC.
- Se realizó pruebas de opacidad con el opacímetro OPA-300 Brain Bee, con el cual se realizó pruebas con el sistema estándar del vehículo e implementado el sistema de reducción catalítica.
- Se realizó pruebas de emisiones de gases contaminantes con el analizador QGA, con el sistema estándar del vehículo e implementado el sistema de reducción catalítica.

- Se registró una opacidad en el sistema estándar del 56% que sobrepasa la normativa INEN NTE 2007:200 que es del 50% de opacidad, mientras que con el sistema de reducción catalítica selectiva se obtuvo un valor óptimo y que se encuentran en el rango de opacidad de la normativa permitida del 26.6%.
- El porcentaje de Monóxido de Carbono (CO), se registró emisiones con el sistema SCR menores al sistema estándar, debido que a 800 rpm con el sistema normal se obtiene un valor de 0.23% Vol de CO mientras en el sistema SCR se obtiene un valor de 0.07 % Vol y a 3000 rpm el sistema normal presentó un valor 0.29 % Vol y comparado con el valor del sistema de SCR que es 0.2% se ve que hay una disminución de emisiones con el uso de inyección de urea en el sistema de escape.
- El porcentaje de Dióxido de Carbono (CO₂), se registró que el sistema SCR es más efectivo a diferentes rpms del motor que el sistema original, en donde el sistema original a 800 rpm mostró un valor de 10 % Vol mientras que el sistema SCR obtuvo un valor de 9.8% Vol en donde hay una disminución de 0.2% respecto al valor del sistema original, otra situación favorable se lleva a 3000 rpm donde el sistema SCR presentó un valor de 8% Vol mientras que el sistema original tiene un valor de 10.3% Vol en donde la diferencia es mínima de 2.3% con respecto a esta rpm del motor en donde el sistema SCR es eficiente para la reducción de emisiones de CO₂.
- El porcentaje de Oxígeno (O₂) se registró que el sistema original a 800 rpm tiene un valor de 1.48 % Vol mientras que el sistema SCR tiene un valor de 1.3% Vol, en el caso de las revoluciones a 2000 rpm el sistema original presenta un valor menor de 0.8% Vol que el sistema SCR que presenta 0.9% Vol, mientras que a 3000 rpms el sistema original presenta un valor de 0.54% Vol y el sistema SCR

obtiene un valor de 0.41% Vol que es menor al sistema original en donde se observa una diferencia de 0.13% más efectivo el sistema SCR.

- Las ppm de Óxidos de Nitrógeno (Nox) se obtuvo que los valores emitidos por el sistema SCR son menores que el sistema original por ejemplo a 800 rpm el sistema original presenta un valor de 258 ppm Vol de NOx mientras que el sistema SCR posee un valor de 130 ppm Vol en donde existe una disminución de la emisiones de NOX, por otra parte a 3000 rpm el sistema original presenta un valor de 249 ppm Vol y el sistema SCR posee 90.1 ppm Vol en donde se observa una gran eficiencia de la inyección de AdBlue para ayudar a reducir la emisiones que genera el vehículo corsa 1.7 L diésel.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar un vehículo con sistema de inyección electrónica ya que tiene un mayor número de sensores en el motor que facilita el control del inyector de AdBlue y los tiempos de inyección
- Para investigaciones futuras se recomienda utilizar el diagrama eléctrico del vehículo corsa Diésel 1.7 CC, para visualizar los pines de los sensores que van a enviar la señal al módulo de control del inyector de AdBlue
- Se recomienda para investigaciones futuras utilizar sensores de óxidos de nitrógeno (Nox), de esta manera se crean nuevos controles de inyección para mejorar la reducción de Nox.
- Para investigaciones futuras se recomienda utilizar sensores de temperatura en el sistema tubos de escape, que ayuda a los pulsos de inyección de AdBlue y los tiempos de apertura del inyector.

Bibliografía

- ADBLUECUADOR. (7 de Abril de 2021). *Urea Automotriz*. Recuperado el 04 de Noviembre de 2021, de VTech: <https://adbluecuador.com/planta-de-fertilizantes-liquidados/>
- ARDUINO. (15 de Julio de 2017). *Arduino cl*. Recuperado el 18 de Octubre de 2021, de <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Augeri, F. (10 de Enero de 2019). *C/SE*. Recuperado el 06 de Septiembre de 2021, de <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/302-an%C3%A1lisis-de-los-gases-de-escape-de-los-motores-de-combusti%C3%B3n-interna.html>
- AUTOMOTRIZ, I. Y. (20 de Febrero de 2020). *INGENIERIA Y MECANICA AUTOMOTRIZ*. Recuperado el 29 de Octubre de 2021, de <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-sensor-de-posicion-de-ciguenal-ckp-y-como-funciona/>
- Avila, I. (13 de 04 de 2021). *Globaltech Ecuador*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2021, de <https://globaltech-car.com/producto/opacimetro-brain-bee-opa-300-lt-bt/>
- Bobcat Company. (15 de Mayo de 2014). *Bobcat*. Recuperado el 05 de Diciembre de 2021, de <https://www.bobcat.com/eu/es/learn/technology/diesel-oxidation-catalyst>
- Cajal, A. (15 de Noviembre de 2020). *Número de Reynolds*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2021, de lifeder: <https://www.lifeder.com/numero-de-reynolds/>
- Cano, M. (2015). *Potenciación de un motor Diesel de gran cilindrada*. Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València.

Cegarra, I. A. (2002). *Reducción catalítica selectiva de óxidos de nitrógeno empleando zeolitas intercambiadas como catalizador*. Doctoral dissertation, Universidad de Castilla-La Mancha.

Copyrigh. (15 de Julio de 2018). *Silenciadores*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2021, de OSCARO: https://www.oscaro.es/es/consejos-mecanicos/escape/diagnostico-silenciador-escape?__cf_chl_jschl_tk__=UUO7KMBcdh2ZSCxI97fOS38yHtcmq7bHy_qbKC AUQIE-1638494466-0-gaNycGzNCNE

DS. (2022). *Regulador de presión de combustible*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2021, de <https://www.ds.ind.br/es/produtos/regulador-de-presion-de-combustible/11185>

Elprocus. (2013). *An Overview of Arduino Nano Board*. Recuperado el 26 de Octubre de 2021, de ELECTRONIS: <https://www.elprocus.com/an-overview-of-arduino-nano-board/>

FINISH METAL PLATING. (26 de Noviembre de 2018). *Ficha de datos AdBlue*. Recuperado el 27 de Octubre de 2021, de fillblue: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiqIt3s46T1AhWfSjABHTPIDmoQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Ffillblue.es%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F02%2FD-048-FDS-Adblue.pdf&usg=AOvVaw0rgcRIhI86MfFt1IVFDGHW>

Garcia, A. M. (05 de Marzo de 2021). *Ley de Ohm*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2021, de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/ley-de-ohm.html>

GreenChem. (21 de 02 de 2017). Recuperado el 12 de Noviembre de 2021, de <https://es.greenchem-adblue.com/greenchem-has-a-new-product-8/>

Herranz, D. (26 de Octubre de 2016). *Cómo reducir los NOx con un sistema SCR*. Recuperado el 19 de Octubre de 2021, de Blog Mecanicos: <http://www.blogmecanicos.com/2016/10/como-reducir-los-nox-con-un-sistema-scr.html>

Herranz, D. (5 de Enero de 2016). *El AdBlue*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2021, de <http://www.blogmecanicos.com/2016/01/el-adblue-parte-ii.html>

INEN, N. (2002). *Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diesel*. Quito.

Lopez, D. (17 de Mayo de 2015). *Filtro de combustible*. Recuperado el 18 de Octubre de 2021, de ActualidadMotor: <https://www.actualidadmotor.com/filtro-de-gasolina/#comment-152414>

Masteram. (2018). *Multímetro digital Pro'sKit MT-1210*. Recuperado el 08 de Octubre de 2021, de TOOLBOOM: <https://toolboom.com/es/digital-multimeter-pro-skit-mt-1210/>

Mena, L. A. (2019). *Compilador de ejercicios de motores de combustión interna diésel-gasolina*. (2da edi) ROS-TOB.

Naylamp Mechatronics SAC. (2021). *Módulo Relay 1CH 5VDC*. Recuperado el 13 de Octubre de 2021, de Naylamp Mechatronics: <https://naylampmechatronics.com/drivers/297-modulo-relay-1-canal-5vdc.html>

- ON, P. (12 de Mayo de 2014). *Normativa europea de emisiones en vehículos: Normas Euro 5 y Euro 6*. Recuperado el 23 de Octubre de 2021, de Ingelibre: <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/05/12/normativa-europea-de-emisiones-en-vehiculos-normas-euro-5-y-euro-6/>
- Ortiz Ruiz, C. (2018). *ANÁLISIS DE SISTEMAS DE REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA CON INYECCIÓN DE UREA MEDIANTE CFD*. Universitat Politècnica de València.
- PACHECO, S. C. (2007). *MODULO MOTORES DIESEL*. Instituto Tecnológico de Soledad Atlantico- ITSA.
- Pardiñas, J. (2012). *Sistema Auxiliares del motor*. Editex.
- Rioja, G. d. (05 de Agosto de 2016). *La Rioja*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2021, de <https://www.larioja.org/medio-ambiente/es/calidad-aire-cambio-climatico/contaminacion/problemas-contaminacion-atmosferica/tipos-contaminantes>
- Tecnotalleres. (27 de Mayo de 2020). *Analizador de Gases Automotriz*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2021, de TECNOTALLERES: https://tecnotalleres.com/producto/ANALIZADOR_AUTOMOTRIZ_DE_4_5_GASES
- TekniStore. (15 de Mayo de 2016). *JH JDS2022A Osciloscopio de mano*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2021, de TekniStore: <https://www.teknistore.com/es/multimetros-digitales/68414-jh-jds2022a-double-channel-handheld-digital-oscilloscope-20mhz-bandwidth-200msas-sample-rate-automotive-oscilloscope.html>
- Union Europea. (12 de Mayo de 2014). *Ingelibre*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2021, de <https://ingelibreblog.files.wordpress.com/2014/05/euro6.jpg>

Anexos