



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: “ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE EMISIONES
GENERADAS POR EL SISTEMA SCR CON INYECCIÓN ADBLUE EN
EL ESCAPE DE MOTORES DE COMBUSTIÓN GASOLINA – DIÉSEL”**

AUTORES:

**DORADO CHILQUINGA, WILLIAM JAVIER
OÑA QUISHPE, DANNY ANDRÉS**

DIRECTOR: ING. CASTRO CLAVIJO, JUAN TRAJANO MSc.

LATACUNGA

2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE EMISIONES GENERADAS POR EL SISTEMA SCR CON INYECCIÓN ADBLUE EN EL ESCAPE DE MOTORES DE COMBUSTIÓN GASOLINA – DIÉSEL”**, realizado por los señores **DORADO CHILQUINGA, WILLIAM JAVIER Y OÑA QUISHPE, DANNY ANDRES**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente..

Latacunga, 06 de junio del 2018

Ing. Juan Castro

C.C. 1801625862

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **DORADO CHILQUINGA, WILLIAM JAVIER**, y **OÑA QUISHPE, DANNY ANDRÉS**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “**ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE EMISIONES GENERADAS POR EL SISTEMA SCR CON INYECCIÓN ADBLUE EN EL ESCAPE DE MOTORES DE COMBUSTIÓN GASOLINA – DIÉSEL**”, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 06 de junio del 2018

William Javier Dorado Chiliquinga

C.C.: 0401839790

Danny Andrés Oña Quishpe

C.C.: 1721730230



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **DORADO CHILQUINGA, WILLIAM JAVIER**, y **OÑA QUISHPE, DANNY ANDRÉS**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “**ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE EMISIONES GENERADAS POR EL SISTEMA SCR CON INYECCIÓN ADBLUE EN EL ESCAPE DE MOTORES DE COMBUSTIÓN GASOLINA – DIÉSEL**”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 06 de junio del 2018

William Javier Dorado Chiliquina

C.C.: 0401839790

Danny Andrés Oña Quishpe

C.C.: 1721730230

DEDICATORIA

A los pilares fundamentales de lo que soy, mis padres, Irma y Fabio, por brindarme la educación académica y la de la vida, por su constante apoyo y amor en cada paso que doy.

A mis abuelos, por ser mi ejemplo de lucha y cariño incondicional.

A mis hermanos, porque de una u otra forma siempre han estado conmigo, motivándome a ser mejor día a día.

A mi sobrina Micaela, que el presente trabajo sea una alegoría de esfuerzo y compromiso, con mucho cariño.

Finalmente, a las personas que no comparten lazos de sangre conmigo, pero sí de cariño, en especial a Leslie, por sus palabras de aliento y estar siempre prestos a brindarme su mano de apoyo cada vez que lo necesité.

William Javier Dorado Chiliquina

DEDICATORIA

Con mucho amor y cariño dedico este trabajo a Dios y a la Virgencita del Quinche por darme fortaleza, sabiduría y paciencia para poder culminar con éxito este sueño tan anhelado.

A mis queridos y amados padres Rubén Oña y Mariana Quishpe ya que con su esfuerzo y apoyo que me han brindado día a día he logrado cumplir un sueño tan deseado, les doy infinitas gracias por todo el amor y paciencia que me han dedicado y por formarme como un gran profesional.

Con mucho cariño a mi tía Eufemia que siempre me demostró que nunca hay que rendirse y que cada día hay que aprovecharlo al máximo, y ahora se ha convertido en un angelito que desde el cielo me está cuidando.

A mis queridos hermanos Gaby y Rubén dedico este trabajo, ya que han sido un enorme apoyo en toda mi vida y deseando que esto sea un ejemplo para que logren terminar su carrera profesional y nunca dejen de luchar por sus sueños.

A mis abuelitos que han sido un ejemplo de vida, ya que siempre han estado pendientes y preocupados por mí, en especial a mi abuelita Concepción.

Con mucho amor a mi amada Yesi, que con su apoyo incondicional y sus palabras de aliento ha sido motivación para culminar mi proyecto.

A mis grandes amigos Ricardo, Gabriel y Vinicio que en toda mi vida estudiantil aparte de ser mis compañeros se volvieron mi familia.

Danny Andrés Oña

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser el artífice de todo, gracias por bendecirme en cada parte de este camino llamado vida, porque con él nada es imposible.

Gracias a mi familia, a mis padres, abuelos y hermanos por vivir este proceso de la mano conmigo; a mis tíos, tías y primos, por no dejar de creer en mí nunca, en especial a mis tíos Danny y Patricio, quienes han sido incondicionales y me han brindado todo su cariño y enseñanzas.

Agradezco a mi compañero Danny Oña, quien ha trabajado junto a mí para realizar esta investigación y poder sacarla adelante con éxito.

A mis maestros: Ing. Juan Castro e Ing. PHD Ricardo Urrutia por velar por nuestros intereses y buscar siempre la manera de destacar nuestro trabajo para que sea reconocido por todos.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, en especial a mi Carrera de Ingeniería Automotriz quienes se convirtieron en mi segundo hogar, además de la formación académica brindada por todos sus profesores y en especial a los ingenieros Leonidas Quiroz, Germán Erazo, José Quiroz y Alex Cevallos por brindarme sus conocimientos y su amistad.

Finalmente quiero agradecer a los hermanos que me ha dado la vida, “mis panas 04” y a mis amigos en general, por compartir experiencias buenas y malas, por hacer que la palabra amistad tenga un verdadero significado.

William Javier Dorado Chilibuina

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios y a la Virgencita del Quinche por la salud y la vida, por darme su bendición todos los días e iluminar mi camino en la toma de decisiones.

Infinitas gracias a mis amados padres Rubén Oña y Mariana Quishpe por la paciencia brindada y enseñarme que con esfuerzo, dedicación y perduración se puede alcanzar todos los sueños.

A mis hermanos Gaby y Rubén por estar siempre conmigo en las buenas y las malas, que a pesar de los enojos y de mi carácter siempre están preocupados por mí.

Un agradecimiento muy especial a mi amigo William por la dedicación, tiempo y perseverancia para poder lograr la culminación con éxito de nuestro proyecto.

A Yesi que en los últimos años se ha convertido en una persona que siempre ha estado acompañándome y preocupándose por mí.

A mis abuelitos, tíos, primos y amigos que fueron un pilar muy importante en mi vida estudiantil, por su constante preocupación y apoyo incondicional.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga que se convirtió en mi segundo hogar, además por la formación académica brindada, a sus docentes por los conocimientos impartidos y en especial al Ing. Juan Castro e Ing. PHD Ricardo Urrutia por brindarnos su colaboración y tiempo para el desarrollo de este proyecto. Al Ing. Leónidas Quiroz, Ing. José Quiroz y al Ing. German Erazo por brindarnos sus conocimientos.

Danny Andrés Oña

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xix
RESUMEN	xxii
ABSTRACT	xxiii

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Árbol del problema.....	4
1.4. Descripción resumida de la investigación.....	4
1.5. Presentación.....	5
1.6. Justificación e importancia.....	6
1.7. Objetivos.....	6
1.7.1. Objetivo general.....	6
1.7.2. Objetivos específicos.....	7
1.8. Metas.....	7

1.9.	Hipótesis.....	7
1.10.	Variables de investigación	7
1.10.1.	Variable independiente	7
1.10.2.	Variable dependiente.....	8
1.10.3.	Operacionalización de las variables	8
1.11.	Metodología de desarrollo del proyecto.....	9

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	14
2.1.	Antecedentes	14
2.2.	Motores de Combustión Interna.....	14
2.2.1.	Motor Gasolina	15
2.2.2.	Motor Diésel	16
2.3.	Sistema de Escape	16
2.4.	Emisiones contaminantes producidas por los vehículos	17
2.4.1.	Descripción	17
2.4.2.	Tipos de emisiones contaminantes.....	17
2.4.3.	Combustión completa	18
2.4.4.	Combustión incompleta	18
2.4.5.	Compuestos derivados de la combustión	19
a.	Óxidos Nítricos (NO _x).....	19
b.	Hidrocarburos (HC)	20
c.	Monóxido de Carbono	20
d.	Dióxido de Carbono (CO ₂)	20
e.	Oxígeno (O ₂).....	21
f.	Opacidad	21
2.5.	Termografía.....	21

2.5.1.	Transferencia de calor	22
2.5.2.	Termografía infrarroja.....	22
2.5.3.	Termografía activa	22
2.5.4.	Termografía pasiva	23
2.5.5.	Leyes aplicables a la termografía.....	23
2.5.6.	Emisividad	23
2.5.7.	Termograma	24
2.6.	Sistema SCR	24
2.6.1.	Descripción	25
2.6.2.	Componentes.....	25
a.	Catalizador SCR.....	25
b.	Bomba de inyección.....	26
c.	Inyector	26
d.	Módulo de control de inyección de AdBlue	26
e.	AdBlue	27
a.	Depósito de AdBlue	27
2.7.	Equipos.....	27
2.7.1.	Vehículo Mazda BT-50 Diésel	27
2.7.2.	Vehículo Mazda BT-50 Gasolina	28
2.7.3.	Analizador de gases Brian Bee AGS-688	29
a.	Componentes del equipo	30
b.	Accesorios del equipo	30
c.	Software	31
2.7.4.	Opacímetro.....	32
2.7.5.	Cámara termográfica.....	32
a.	Cámara Fluke TiS60	33
b.	Componentes Fluke TiS60.....	33

c.	Características Fluke TiS60	34
d.	Software SmarView 4.3	35
2.8.	Normas Nacionales	35
2.8.1.	NTE INEN 2202:2000	35
2.8.2.	NTE INEN 2203:2000	36
2.8.3.	NTE INEN 2004:2000	36
2.8.4.	NTE INEN 2207:2002	36
2.9.	Norma Internacionales	37
2.9.1.	SAE J1667.....	37
2.9.2.	EURO 5.....	37
CAPÍTULO III.....		38
3.	METODOLOGÍA	38
3.1.	Implementación del sistema SCR con inyección AdBlue	38
3.2.	Selección del controlador del arduino.....	39
3.3.	Circuito regulador de voltaje.....	39
3.4.	Controladores de activación de actuadores del sistema SCR	40
3.5.	Módulo de control del sistema SCR para el motor Diésel	41
3.5.1.	Señal sensor árbol de levas (CMP)	41
3.5.2.	Señal sensor de temperatura (ECT).....	42
3.5.3.	Señal sensor de posición del pedal del acelerador (APP)	43
3.5.4.	Programación módulo motor Diésel	44
3.6.	Módulo de control del sistema SCR para motor Gasolina.....	45
3.6.1.	Señal del distribuidor electrónico.....	45
3.6.2.	Señal del sensor de temperatura (ECT).....	46
3.6.3.	Señal de posición del acelerador (TPS).....	47
3.6.4.	Programación módulo motor Gasolina.	48
3.7.	Guía de uso del módulo de control SCR.....	48

3.8.	Medición de emisiones en los vehículos Diésel y Gasolina	50
3.8.1.	Protocolo	50
3.9.	Medición de opacidad	51
3.9.1.	Protocolo	51
3.10.	Mediciones de termografía en los vehículos Diésel y Gasolina	52
3.10.1.	Procedimiento.....	52
CAPÍTULO IV		56
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.1.	Emisiones	56
4.1.1.	Análisis de mediciones de emisiones en el vehículo Diésel	56
a.	Medición de NO _x (ppm Vol.)	57
b.	Medición de O ₂ (% Vol.)	59
c.	Medición de HC (ppmVol.)	62
d.	Medición de CO ₂ (% Vol.).....	65
e.	Medición de CO (% Vol.).....	68
f.	Medición de COcorr (% Vol.).....	70
4.1.2.	Análisis de mediciones de emisiones en el vehículo a Gasolina.....	73
a.	Mediciones de NO (ppm Vol.).....	74
b.	Mediciones de O ₂ (% Vol.).....	76
c.	Mediciones de HC (ppm Vol.).....	79
d.	Mediciones de CO ₂ (% Vol.)	82
e.	Mediciones de CO (% Vol.).....	84
f.	Mediciones de COcorr (% Vol.)	87
g.	Mediciones de Lambda (-)	90
4.2.	Opacidad	92
4.2.1.	Análisis de mediciones de opacidad.....	93
4.3.	Termografía.....	94

4.3.1. Mediciones termográficas en el vehículo Mazda BT-50 Diésel	94
a. Mediciones termográficas en el Punto 1	94
b. Mediciones termográficas en el Punto 2	96
c. Mediciones termográficas en el Punto 3	97
d. Mediciones termográficas en el Punto 4	98
e. Mediciones termográficas en el Punto 5	100
4.3.2. Mediciones termográficas en el vehículo a Gasolina.....	101
a. Mediciones termográficas en el Punto 1	101
b. Mediciones termográficas en el Punto 2	103
c. Mediciones termográficas en el Punto 3	105
d. Mediciones termográficas en el Punto 4	106
e. Mediciones termográficas en el Punto 5	108
CAPÍTULO V	110
5. MARCO ADMINISTRATIVO	110
5.1. Recursos	110
5.1.1. Recursos Humanos	110
5.1.2. Recursos Institucionales	110
5.1.3. Recursos Materiales	110
5.1.4. Recursos Tecnológicos.....	111
5.1.5. Presupuesto de la investigación.....	111
CAPÍTULO VI	113
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
6.1. Conclusiones	113
6.2. Recomendaciones.....	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
NORMAS	121
ANEXOS	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Componentes principales del MCI	145
Figura 2.	Motor Gasolina	15
Figura 3.	Motor Diésel	16
Figura 4.	Sistema de escape Mazda BT-50	16
Figura 5.	Combustión completa	18
Figura 6.	Compuestos derivados de la combustión.....	19
Figura 7.	Termografía	21
Figura 8.	Termografía Infrarroja	22
Figura 9.	Termograma.....	24
Figura 10.	Diagrama de funcionamiento del sistema SCR	25
Figura 11.	Catalizador SCR	26
Figura 12.	Mazda BT-50 Diésel.....	28
Figura 13.	Mazda BT-50 Gasolina.....	29
Figura 14.	Analizador Gases Brain Bee AGS-688.....	30
Figura 15.	Opacímetro CAP3030.....	32
Figura 16.	Cámara Termográfica	32
Figura 17.	Cámara Fluke TiS60	33
Figura 18.	Componentes Fluke TiS60.....	35
Figura 19.	Software SmartView	35
Figura 20.	Diagrama de funcionamiento Sistema SCR.....	38
Figura 21.	Circuito esquemático del regulador de voltaje.	40
Figura 22.	Circuito de activación de la bomba de AdBlue	40
Figura 23.	Circuito de control para el inyector de AdBlue	41
Figura 24.	Señal del sensor CMP.....	41
Figura 25.	Pin de señal del CMP.....	42
Figura 26.	Señal del Sensor ECT	43
Figura 27.	Oscilograma sensor ECT	43
Figura 28.	Señal sensor APP.....	44
Figura 29.	Oscilograma sensor APP	44
Figura 30.	Señal del distribuidor	45
Figura 31.	Oscilograma distribuidor electrónico.....	46
Figura 32.	Señal de sensor de temperatura.....	46
Figura 33.	Oscilograma sensor ECT	47

Figura 34.	Señal del sensor TPS.....	47
Figura 35.	Oscilograma sensor TPS	48
Figura 36.	Partes del módulo de control del sistema SCR.....	49
Figura 37.	Visualización de datos ingresados al sistema SCR.....	49
Figura 38.	Selección de frecuencia de inyección de AdBlue	50
Figura 39.	Pruebas de emisión de gases en los vehículos diesel y gasolina	50
Figura 40.	Medidor de revoluciones y temperatura MGT-300 EVO.....	51
Figura 41.	Medición de Opacidad en el vehículo diésel	51
Figura 42.	Opacómetro CARTEK.....	52
Figura 43.	MGT-300 EVO	53
Figura 44.	Ubicación del vehículo	53
Figura 45.	Zonas de medición.....	53
Figura 46.	Calibración de la cámara termográfica	54
Figura 47.	Resultado de Emisiones en los vehículos Gasolina y Diesel.....	56
Figura 48.	Emisiones de NOx a 1000 RPM, Mazda BT-50 Diésel	58
Figura 49.	Emisiones de NOx a 2000 RPM, Mazda BT-50 Diésel	58
Figura 50.	Emisiones de NOx a 3000 RPM, Mazda BT-50 Diésel	59
Figura 51.	Porcentaje de emisiones de NOx a 1000, 2000 y 3000 RPM.....	59
Figura 52.	Emisiones de O ₂ a 1000 RPM, Mazda BT-50 Diésel.....	61
Figura 53.	Emisiones de O ₂ a 2000 RPM Mazda, BT-50 Diésel.....	61
Figura 54.	Emisiones de O ₂ a 3000 RPM, Mazda BT-50 Diésel.....	62
Figura 55.	Porcentaje de emisiones de O ₂ a 1000, 2000 y 3000 RPM.....	62
Figura 56.	Emisiones de HC a 1000 RPM Mazda BT-50 Diésel.....	64
Figura 57.	Emisiones de HC a 2000 RPM Mazda BT-50 Diésel.....	64
Figura 58.	Emisiones de HC a 3000 RPM Mazda BT-50 Diésel.....	64
Figura 59.	Porcentajes emisiones de HC a 1000, 2000 y 3000 RPM	65
Figura 60.	Emisiones de CO ₂ a 1000 RPM Mazda BT-50 Diésel	66
Figura 61.	Emisiones de CO ₂ a 2000 RPM Mazda BT-50 Diésel	67
Figura 62.	Emisiones de CO ₂ a 3000 RPM Mazda BT-50 Diésel	67
Figura 63.	Porcentaje de emisiones de CO ₂ a 1000, 2000 y 3000 RPM	67
Figura 64.	Emisiones de CO a 1000 RPM Mazda BT-50 Diésel.....	69
Figura 65.	Emisiones de CO a 2000 RPM Mazda BT-50 Diésel.....	69
Figura 66.	Emisiones de CO a 3000 RPM Mazda BT-50 Diésel.....	70
Figura 67.	Porcentajes de emisiones de CO a 1000, 2000 y 3000 RPM.....	70

Figura 68.	Emisiones de COcorr a 1000 RPM Mazda BT-50 Diésel	72
Figura 69.	Emisiones de COcorr a 2000 RPM Mazda BT-50 Diésel	72
Figura 70.	Emisiones de COcorr a 3000 RPM Mazda BT-50 Diésel	73
Figura 71.	Porcentaje de emisiones de COcorr 1000, 2000 y 3000 RPM.....	73
Figura 72.	Emisiones de NOx a 1000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	75
Figura 73.	Emisiones de NOx a 2000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	75
Figura 74.	Emisiones de NOx a 3000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	76
Figura 75.	Porcentaje de emisiones de NOx a 1000, 2000 y 3000 RPM.....	76
Figura 76.	Emisiones de O ₂ a 1000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	78
Figura 77.	Emisiones de O ₂ a 2000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	78
Figura 78.	Emisiones de O ₂ a 3000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	78
Figura 79.	Porcentaje de emisiones de O ₂ a 1000, 2000 y 3000 RPM.....	79
Figura 80.	Emisiones de HC a 1000 RPM Mazda BT-50 Gasolina.....	80
Figura 81.	Emisiones de HC a 2000 RPM Mazda BT-50 Gasolina.....	81
Figura 82.	Emisiones de HC a 3000 RPM Mazda BT-50 Gasolina.....	81
Figura 83.	Porcentajes emisiones de HC a 1000, 2000 y 3000 RPM	81
Figura 84.	Emisiones de CO ₂ a 1000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	83
Figura 85.	Emisiones de CO ₂ a 2000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	83
Figura 86.	Emisiones de CO ₂ a 3000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	84
Figura 87.	Porcentaje de emisiones de CO ₂ a 1000, 2000 y 3000 RPM	84
Figura 88.	Emisiones de CO a 1000 RPM Mazda BT-50 Gasolina.....	86
Figura 89.	Emisiones de CO a 2000 RPM Mazda BT-50 Gasolina.....	86
Figura 90.	Emisiones de CO a 3000 RPM Mazda BT-50 Gasolina.....	86
Figura 91.	Porcentajes de emisiones de CO a 1000, 2000 y 3000 RPM.....	87
Figura 92.	Emisiones de COcorr a 1000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	88
Figura 93.	Emisiones de COcorr a 2000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	89
Figura 94.	Emisiones de COcorr a 3000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	89
Figura 95.	Porcentaje de emisiones de COcorr 1000, 2000 y 3000 RPM.....	89
Figura 96.	Emisiones de Lambda a 1000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	91
Figura 97.	Emisiones de Lambda a 2000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	91
Figura 98.	Emisiones de Lambda a 3000 RPM Mazda BT-50 Gasolina	91
Figura 99.	Porcentaje de emisiones de Lambda 1000 2000 y 3000 RPM	92
Figura 100.	Informe de Opacidad en el vehículo Mazda BT-50 Diésel	92
Figura 101.	Mediciones de Opacidad Vehículo Mazda BT-50 Diésel.....	94

- Figura 102. Comparación de temperaturas del Punto 1, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel..... 95
- Figura 103. Comparación de temperaturas del Punto 2, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel..... 97
- Figura 104. Comparación de temperaturas del Punto 3, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel..... 98
- Figura 105. Comparación de temperaturas del Punto 4, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel..... 100
- Figura 106. Comparación de temperaturas del Punto 5, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel..... 101
- Figura 107. Comparación de temperaturas del Punto 1, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina.... 103
- Figura 108. Comparación de temperaturas del Punto 2, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina.... 104
- Figura 109. Comparación de temperaturas del Punto 3, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina.... 106
- Figura 110. Comparación de temperaturas del Punto 4, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina.... 107
- Figura 111. Comparación de temperaturas del Punto 5, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina 109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de la variable independiente	8
Tabla 2.	Operacionalización de la variable dependiente	8
Tabla 3.	Metodología, equipos y lugar de la investigación	11
Tabla 4.	Elementos básicos del MCI gasolina y diesel	14
Tabla 5.	Valores de emisividad de materiales comunes	23
Tabla 6.	Especificaciones Mazda BT-50 Diésel.....	28
Tabla 7.	Especificaciones Mazda BT-50 Gasolina.....	29
Tabla 8.	Accesorios del analizador de gases Brian Bee AGS-688.....	30
Tabla 9.	Componentes y funciones cámara TiS60	34
Tabla 10.	Límites máximos de emisiones para motores gasolina. Marcha mínima o ralentí.....	36
Tabla 11.	Límites máximos de opacidad de emisiones para motores diésel (prueba de aceleración libre)	36
Tabla 12.	Límites de emisiones Euro 5	37
Tabla 13.	Señales obtenidas de los vehículos Diésel y Gasolina	38
Tabla 14.	Selección del controlador Arduino para el módulo de AdBlue.....	39
Tabla 15.	Puntos de medición termográfica en el sistema de escape de los vehículos Gasolina - Diesel	54
Tabla 16.	Resultados de mediciones de NO _x en el vehículo Mazda BT-50 Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.....	57
Tabla 17.	Resultados de emisiones de O ₂ en el vehículo Mazda BT-50 Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue	60
Tabla 18.	Resultados de mediciones de HC en el vehículo Mazda BT-50Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue	63
Tabla 19.	Resultados de mediciones de CO ₂ en el vehículo Mazda BT-50 Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue	65
Tabla 20.	Resultados de mediciones de CO en el vehículo Mazda BT-50 Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue	68
Tabla 21.	Resultados de mediciones de COcorr en el vehículo Mazda BT-50 Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.....	71
Tabla 22.	Resultados de mediciones de NO _x en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.....	74

Tabla 23.	Resultados de emisiones de O ₂ en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.....	77
Tabla 24.	Resultados de mediciones de HC en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.....	79
Tabla 25.	Resultados de mediciones de CO ₂ en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.....	82
Tabla 26.	Resultados de mediciones de CO en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.....	85
Tabla 27.	Resultados de mediciones de COcorr en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.....	87
Tabla 28.	Resultados de mediciones de Lambda en el vehículo Mazda BT-50 Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.....	90
Tabla 29.	Mediciones de Opacidad en el vehículo Mazda BT-50 Diésel implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.....	93
Tabla 30.	Resultados de las mediciones termográficas en el punto 1, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel	94
Tabla 31.	Resultados de las mediciones termográficas en el punto 2 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel	96
Tabla 32.	Resultados de las mediciones termográficas en el punto 3 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel	97
Tabla 33.	Resultados de las mediciones termográficas en el punto 4 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel	99
Tabla 34.	Resultados de las mediciones termográficas en el punto 4 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel	100
Tabla 35.	Resultados de las mediciones termográficas en el punto 1 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina	102

Tabla 36.	Resultados de las mediciones termográficas en el punto 2 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina	103
Tabla 37.	Resultados de las mediciones termográficas en el punto 3 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina	105
Tabla 38.	Resultados de las mediciones termográficas en el punto 4 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina	106
Tabla 39.	Resultados de las mediciones termográficas en el punto 5 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina	108
Tabla 40.	Recursos Humanos.....	110
Tabla 41.	Recursos Institucionales.....	110
Tabla 42.	Recursos Materiales	111
Tabla 43.	Recursos Tecnológicos.....	111
Tabla 44.	Presupuestos Recursos Materiales	112
Tabla 45.	Presupuestos recursos tecnológicos	112
Tabla 46.	Presupuesto Total	112

RESUMEN

La investigación presenta el análisis termográfico y de control de emisiones de gases en el escape, en los vehículos Mazda BT-50 diésel y gasolina, implementando el sistema de reducción catalítica selectiva (SCR), mediante la inyección de AdBlue que permite reducir gases contaminantes de NOx. Las pruebas experimentales se realizaron en condiciones estáticas; se utilizó el escape de los vehículos en su forma original y con la implementación del sistema SCR que está constituido por un módulo de control, depósito, bomba e inyector; con parámetros de frecuencia de inyección de AdBlue a 5, 10, 20, 30, 40 y 50 ms, además de las velocidades gobernadas a 1000, 2000 y 3000 RPM y con una temperatura de funcionamiento del motor a 80 °C. Los resultados alcanzados se presentan en cuadros estadísticos y de forma gráfica, para determinar la reducción de óxido de nitrógeno (NOx) de 26.44 % con un aumento considerado de opacidad del 1,36 % en el vehículo diésel sin sobrepasar las normas ya establecidas, mientras que en el vehículo gasolina el impacto fue diferente ya que el tipo de combustión no es apto para la implementación del sistema SCR. Para los parámetros termográficos se utilizó la cámara Fluke TiS60 con la que se determina las mediciones termográficas a las cuales está trabajando el sistema SCR.

PALABRAS CLAVE

- **MOTORES DIÉSEL**
- **MOTORES GASOLINA**
- **SISTEMA SCR**
- **EMISIONES DE GASES**
- **OPACIDAD**
- **TERMOGRAFÍA**

ABSTRACT

The research presents the thermographic analysis and control of gas emissions in the exhaust, in the Mazda BT-50 diesel and gasoline vehicles, implementing the selective catalytic reduction system (SCR), by means of the AdBlue injection that allows to reduce polluting gases of NO_x. The experimental tests are carried out under static conditions; the vehicle exhaust is used in its original form and with the implementation of the SCR system that is constituted by a control module, tank, pump and injector; with AdBlue injection frequency parameters at 5.10, 20, 30, 40 and 50 ms, in addition to the speeds governed at 1000, 2000 and 3000 RPM and with an operating temperature of the engine at 80 ° C. The results achieved are presented in statistical tables and graphically, to determine the reduction of nitrogen oxide (NO_x) of 26.44% with a considered increase of opacity of 1.36% in the diesel vehicle without exceeding the standards already established, while that in the petrol vehicle the impact was different since the type of combustion is not suitable for the implementation of the SCR system. For the thermographic parameters, the Fluke TiS60 camera is used, with which the thermographic measurements to which the SCR system is working are determined.

KEYWORDS

- DIESEL ENGINES
- GASOLINE ENGINES
- SCR SYSTEM
- ADBLUE
- GAS EMISSION
- OPACITY
- THERMOGRAPHY

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La industria automotriz se encuentra en constantes actualizaciones tecnológicas con el fin de solucionar problemas o proponer alguna información con la finalidad de proyectar un aporte de información al mundo automotriz, así estableciendo la mayor parte de análisis e investigaciones posibles.

En el mantenimiento preventivo se utilizan técnicas diferentes, pero una de las más utilizadas es el análisis termográfico debido a que es considerado una técnica que puede utilizarse en el diagnóstico de fallas con la ventaja de no ser invasivo y tener una amplia gama de observaciones. Esta metodología basada en la segmentación de imágenes termográficas para la detección de fallas en motores de inducción y la repercusión de estas fallas a lo largo de la cadena cinemática. Los resultados muestran la viabilidad de la detección de fallas, así como el impacto térmico de las condiciones en el motor de inducción y la cadena cinemática asociada (García A., 2013).

El plan nacional de calidad del aire indica que el mayor foco de contaminación del país es el que produce los vehículos con el 76% mientras que el 24% restante de la industria, la generación eléctrica y de fuentes naturales como los volcanes (Ministerio del ambiente, 2010).

El sistema de reducción catalítica (SCR) es una tecnología muy importante en el desarrollo de los vehículos a diésel debido a que reduce el impacto ambiental considerablemente, específicamente en la reducción de los óxidos nitrosos (NOx) mediante el uso de un catalizador y la inyección de AdBlue en el sistema de escape. Este innovador sistema es utilizado en países europeos que tienen en su mercado vehículos a diésel que de acuerdo a las normas vigentes que son: euro 4 y euro 5, con la implementación de este sistema los vehículos diésel aprueban sin inconvenientes. (Cross L, 2015).

NOx, es decir óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), puede crearse cuando el oxígeno y el nitrógeno entrante del aire reaccionan con el combustible a altas temperaturas en la cámara de combustión de un motor diésel. La oxidación del nitrógeno molecular de la combustión comprende aproximadamente el 90% de todos los NOx, mientras que el otro 10%

es el resultado de la oxidación del nitrógeno orgánico presente en el combustible residual. La cantidad de NOx producido depende de la temperatura de combustión, la mezcla previa del combustible, el aire y la duración del combustible en el cilindro. Una vez liberado, se ha demostrado que la presencia de NOx en el medio ambiente produce enfermedades de la piel y problemas respiratorios; del mismo modo, los NOx son sustancias que participan en la formación de smog y lluvia ácida, lo que representa un riesgo para el medio ambiente. (Prieto I, 2012).

Entre las diversas tecnologías avanzadas de control de emisiones utilizadas para reducir la emisión de NOx de los motores diésel, la técnica de reducción catalítica selectiva (SCR) ha demostrado ser más eficiente. Sin embargo, aún enfrenta la mejora del rendimiento a baja temperatura y la evitación de la formación de depósitos de urea debido a complejos procesos de interacción de la pared de pulverización. (Ries & Nishad, 2017)

En el congreso de la UE se estableció una normativa más rigurosa para controlar las emisiones contaminantes de los vehículos en especial los que tienen motores diésel debido a esto se ha expuesto las normas Euro 4, 5 y 6 las cuales están designadas para vehículos comerciales que van desde el año 2005 hasta el 2014, respectivamente. De acuerdo a los límites que rigen en la actualidad se prevé una reducción considerable de gases contaminantes, hasta con un 60% en óxidos nitrosos que es un gran inconveniente para el medio ambiente, así como también para los seres humanos. La implementación de innovadores sistemas son las técnicas que se utilizan para reducir la contaminación ambiental que son provocadas por los vehículos, en la actualidad para los constructores de vehículos diésel la implementación del sistema SCR (System Catalitic Reduce) que consiste en reducir los NOx que genera la combustión de los motores diésel que mediante la inyección de AdBlue en los gases de escape se produzca una reacción química en el catalizador, para cumplir con la normativa establecida en la UE. (Aus der Wiesche , 2007)

La normativa Euro y TIER (norma estadounidense que busca regular las emisiones producto de la combustión de los motores en vehículos de distintas tamaños, combustibles y uso), son las utilizadas actualmente en el mundo las cuales controlan las emisiones de azufre y gases de los combustibles. La normativa europea insta a requerimientos que regulan los límites para las emisiones contaminantes en los vehículos de combustión que se comercializan en la Unión Europea. Mientras que la normativa TIER, en Estados Unidos, define estándares para una gasolina más limpia mediante la reducción de azufre y de las emisiones de gases. En Ecuador

se encuentra establecida la normativa que promueve el uso de combustibles con calidad Euro 3, no obstante, en el informe de calidad de combustibles de Petrocomercial, el combustible es de calidad inferior (Euro 2). Debido al impacto ambiental se promueven nuevas tecnologías que ayuden a reducir la polución ya que la calidad de los combustibles afecta considerablemente al medioambiente, por ello es importante que su calidad sea la que las normas vigentes determinen o incluso superen en calidad los estándares mínimos determinados. (AEADE, 2016)

1.2. Planteamiento del problema

El impacto ambiental producido por los vehículos con un 76% da una problemática en la contaminación atmosférica, por lo que contienen óxidos de nitrógeno (NOx) en un 90% debido a la oxidación del nitrógeno en el proceso de combustión, mientras que el 10% restante es un residual del combustible.

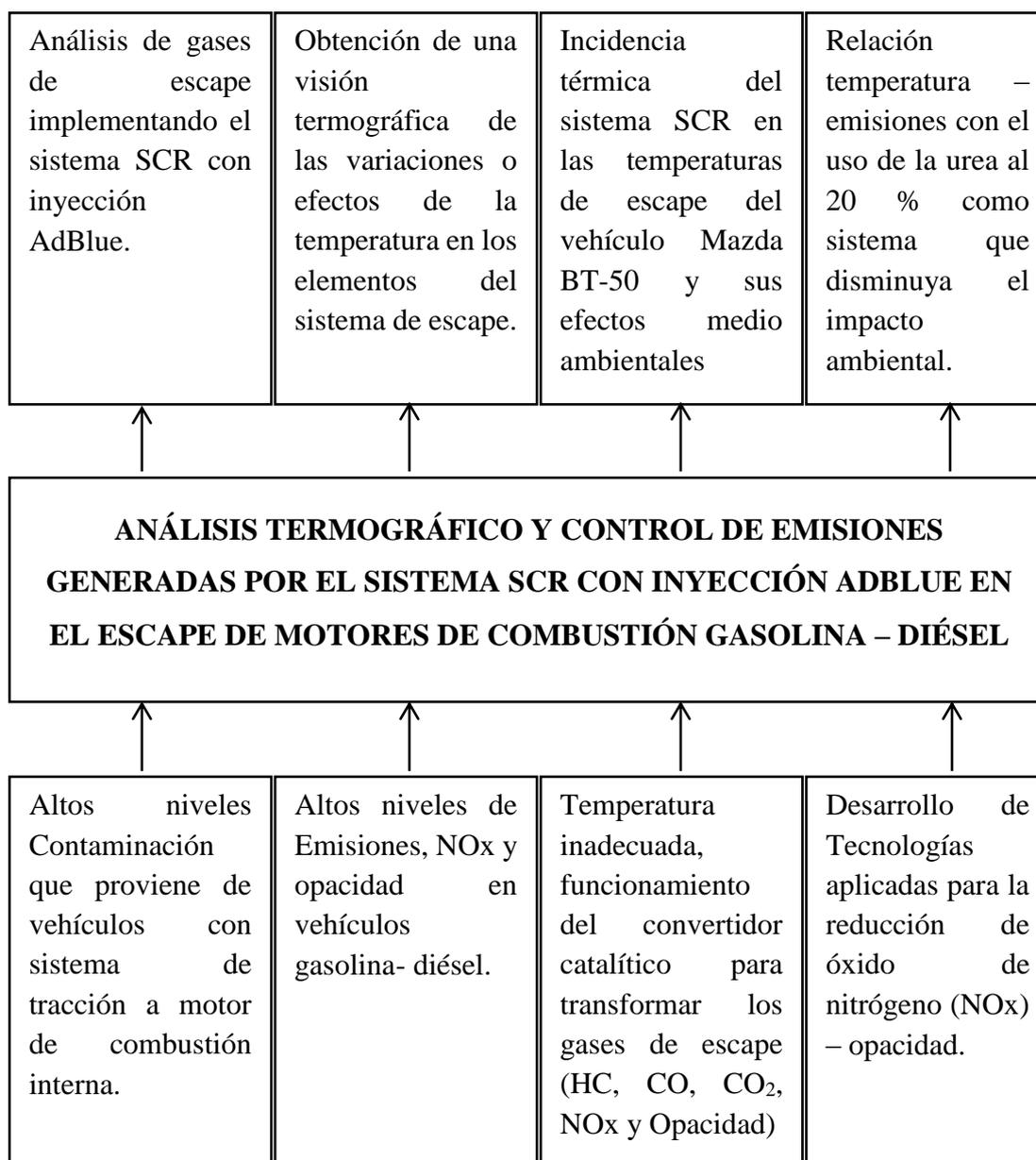
La presencia de óxidos nitrosos (NOx) en el ambiente conlleva a ser víctima de enfermedades de la piel y ser propensos a dificultades respiratorias; del mismo modo, los NOx son sustancias que participan en la formación de smog y lluvia ácida, lo que representa un riesgo para el medio ambiente.

Por lo tanto, el problema a investigar se origina con la incidencia del sistema SCR con inyección de AdBlue® en los gases de escape de un motor de combustión interna “gasolina – diésel” a partir de una reacción térmica en el sistema de escape del vehículo Mazda BT – 50.

La termografía consiste en el registro gráfico de calor emitido por el gas de escape en forma de radiación infrarroja. Las radiaciones que emiten los objetos aumentan con la temperatura. Por tanto, al detectar estas radiaciones infrarrojas las cámaras termográficas permitirán visualizar, registrar y esquematizar las diferencias de temperaturas en el sistema de gases de escape.

La propuesta de investigación contempla el análisis termográfico del sistema SCR a partir de la inyección de AdBlue® bajo diferentes condiciones de funcionamiento y la relación con los gases de escape especialmente orientado a los niveles de HC, CO, CO₂, NOx, O₂, COcorr, O₂, Lambda y Opacidad.

1.3. Árbol del problema



1.4. Descripción resumida de la investigación

Se recolectó información técnica-científica que fundamente aspectos teóricos y prácticos para la realización del proyecto mediante información confiable considerando su procedencia, de fuentes como bases de datos digitales, libros, manuales, fichas técnicas, normas y artículos.

Se procedió a realizar las pruebas termográficas antes y después de la implementación del sistema SCR en la camioneta Mazda BT – 50 en su sistema de escape de tal forma de identificar la incidencia que tiene el sistema SCR con inyección AdBlue, a partir de factores de emisividad en puntos calientes y fríos en el sistema de escape empleado.

Se ejecutó pruebas de emisiones durante el funcionamiento del sistema SCR con inyección de AdBlue en el escape de los motores diésel y gasolina, de acuerdo protocolo de pruebas estáticas, en ralentí, velocidad cruce y régimen gobernado mediante el empleo del analizador de gases AGS 688 para HC, CO, CO₂, NO_x, O₂, COcorr, Lambda y el opacímetro Cartek CAP3030, para establecer el coeficiente de Absorción de luz y opacidad.

Se realizó la tabulación de los datos obtenidos para analizar desde el punto de vista gráfico – matemático la relación termografía – emisiones – opacidad considerando la normativa NTE INEN 2202, 2203, 2204 para motores gasolina, NTE INEN 2207 en motores diésel como rangos permisibles de emisiones.

1.5. Presentación

La investigación “ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE EMISIONES GENERADAS POR EL SISTEMA SCR CON INYECCIÓN ADBLUE EN EL ESCAPE DE MOTORES DE COMBUSTIÓN GASOLINA – DIÉSEL” se basa en el análisis a los cambios temperatura generados en el sistema de escape de la camioneta Mazda BT-50 a partir de la implementación del sistema SCR con inyección AdBlue.

Capítulo 1, contiene el marco metodológico de la investigación para el estudio del análisis termográfico y control de emisiones, del sistema de escape en la camioneta BT-50 gasolina y diésel.

Capítulo 2, revisión de los temas que van a ser utilizados durante la investigación, como: sistemas de escape, emisiones contaminantes, termografía, sistema SCR, equipos, y normas.

Capítulo 3, protocolos para la utilización de equipos, y procedimiento para realizar las pruebas de funcionamiento del sistema SCR y cámara termográfica.

Capítulo 4, tabulación y análisis de resultados de las mediciones de gases, opacidad y cámara termográfica.

Capítulo 5, análisis de los recursos: humanos, institucionales, materiales y tecnológicos; que se llevaron a cabo durante la investigación.

Capítulo 6, conclusiones y recomendaciones finales, luego de la culminación de la investigación realizada.

1.6. Justificación e importancia

De acuerdo a las disposiciones gubernamentales que mediante el Instituto Nacional de Eficiencia y Energías Renovables (INER) presenta la formación de nuevos proyectos relacionados con la eficiencia energética que permitirá la optimización de la energía la cual ayudará en la mejora de los procesos de producción de vehículos y en la reducción del impacto ambiental, que se realizará mediante la investigación y la disertación de estudios innovadores generando un uso adecuado de la energía y la fomentación de tecnologías dirigidas al beneficio del medio ambiente con fuentes de energía limpias y amigables con el entorno.

Entre los aspectos más importantes está el desarrollo energético que debido al inadecuado consumo de energía o ineficiencia energética se ve afectado la sustentabilidad ambiental por lo que es necesario el uso de nuevas tecnologías para generar fuentes alternas de energía y congestión vehicular.

El impacto ambiental es un causal negativo hacia la naturaleza y las personas debido a la ineficiencia energética que producen los vehículos al utilizar los combustibles. Para la protección de la salud del entorno y los habitantes, se debe crear combustibles de calidad que se distribuyan en las regiones del país, para establecer la contaminación ambiental, por lo que se identifica claramente al transporte terrestre como el de mayor causante en la contaminación ambiental del Ecuador.

Para la reducción de los gases de NOx que se producen por los vehículos diésel en su proceso de combustión se tomará medidas de optimización energética, para esto una propuesta beneficiosa con el entorno es el reemplazo de los combustibles fósiles por otras opciones energéticas, como bio-combustibles provenientes de fuentes renovables o sin aprovechamiento de la industria automotriz.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

- Realizar el análisis termográfico y de emisiones generadas por el sistema SCR con inyección Ad-Blue en el escape, de motor diésel MZR-CD 2.5L y un motor gasolina MZR-CS 2.6L.

1.7.2. Objetivos específicos

- Recopilar información teórica y técnica inherente a los vehículos gasolina y diésel, control de emisiones, termografía, y equipos a utilizar en el desarrollo del proyecto de investigación.
- Obtener datos de temperatura, generados en el motor diésel y gasolina, colector de escape y catalizador, los mismos que se obtendrán mediante el uso de la cámara termográfica Fluke TiS60.
- Realizar pruebas de control de emisiones y opacidad antes y después de la instalación del sistema SCR mediante los protocolos de funcionamiento tanto en motores gasolina (NTE INEN 2202, 2203, 2204), como en motores diésel (NTE INEN 2207), usando el analizador Brian Bee AGS-688 y el opacímetro CAP3030.
- Efectuar un análisis de los gases contaminantes (HC, CO, CO₂, NO_x, O₂, CO_{corr}, Lambda y Opacidad) que se producen durante la combustión de cada emulsión del sistema SCR.
- Analizar estadísticamente la relación termografía – emisiones – opacidad considerando la normativa NTE INEN 2204 para motores gasolina, NTE INEN 2207 en motores diésel.

1.8. Metas

- Implementar el sistema de inyección de SCR en la camioneta Mazda BT-50.
- Determinar la incidencia térmica de la inyección de AdBlue en el sistema de escape de la camioneta Mazda BT-50.
- Analizar emisiones y opacidad y de qué manera influye la inyección de AdBlue.

1.9. Hipótesis

La inyección de AdBlue en el sistema de escape disminuirá las emisiones de NO_x en un 20%.

1.10. Variables de investigación

1.10.1. Variable independiente

Sistema SCR con inyección AdBlue en el sistema de escape.

1.10.2. Variable dependiente

Parámetros termográficos y niveles de gases contaminantes.

1.10.3. Operacionalización de las variables

En la Tabla 1, es analizada la operacionalización o subdivisiones de la variable independiente.

Tabla 1.
Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
El sistema SCR con inyección AdBlue es un conjunto de procedimientos que se usa para la reducción de gases contaminantes.	Parámetros del MCI y subsistemas	Temperatura del motor	°C	Medición	GPR
		Revoluciones del motor	RPM	Medición	GPR
		Temperatura de gases de escape	°C	Cálculo	Ensayo pruebas de laboratorio
		Temperatura de funcionamiento del catalizador	°C	Medición	Cámara Fluke TiS60

En la Tabla 2, es analizada la operacionalización o subdivisiones de la variable dependiente.

Tabla 2
Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
Son las variaciones de temperatura que se logran obtener del M.C.I., catalizador y escape	Termografía del múltiple de escape, catalizador Niveles de contaminación, emisión de gases y opacidad.	Temperatura Análisis dinámico de temperatura	°C, °K, °F	Medición	Ensayo pruebas de laboratorio
		NOx	ppmVol	Medición	NTE INEN 2203:2000; NTE INEN 2204:2000
		HC	ppmVol	Medición	NTE INEN 2203:2000; NTE INEN 2204:2000
		CO	% Vol.	Medición	NTE INEN 2203:2000; NTE INEN 2204:2000
		CO ₂	% Vol.	Medición	NTE INEN 2203:2000;

CONTINUA



			NTE INEN 2204:2000
COcorr	% Vol.	Medición	NTE INEN 2203:2000; NTE INEN 2204:2000
O ₂	% Vol.	Medición	NTE INEN 2203:2000; NTE INEN 2204:2000
Lambda	-	Medición	NTE INEN 2203:2000; NTE INEN 2204:2000
Opacidad	%	Medición	NTE INEN 2202:2000; NTE INEN 2207:2000 EURO V

1.11. Metodología de desarrollo del proyecto

- **Método análisis de contenido**

La investigación inicia con la recolección de información, obtenido de diferentes fuentes de bibliografía como: libros, revistas, investigaciones, artículos, normas, manuales, que serán seleccionadas examinando su contenido y su fuente de información, comprobando que es una información veraz para utilizarla en el desarrollo de estudio

- **Método Inductivo**

El proyecto de investigación tiene como objetivo comprobar la incidencia de la temperatura con las distintas emulsiones a diferentes proporciones expuestas anteriormente, esto, mediante la resolución de cálculos, y con los datos generados en el escape por la cámara termográfica Fluke TIS60.

- **Método deductivo**

Dado que la investigación se enfoca en el análisis del colector de escape del motor gasolina y diésel, se analizará la variación de los parámetros (RPM) en sistema SCR, para obtener diferentes resultados tanto en emisiones y temperatura.

- **Método analítico**

En el análisis de resultados es tomado en cuenta los datos obtenidos en las pruebas, con ayuda de la ejecución del programa Excel, para demostrar las pruebas realizadas y compara las hipótesis planteadas de la investigación para cumplir los objetivos planteados.

- **Método de síntesis**

Este método logrará representar el resultado de las emisiones y temperaturas los cuales son obtenidos para determinar la eficiencia del sistema implementado. Conjuntamente, se obtendrá un documento resultante de las mediciones y pruebas realizadas para finalmente presentar la información de una forma sistemática, lo que permite un fácil análisis y entendimiento de la misma.

- **Método experimental**

Este método es utilizado para verificar la influencia del sistema SCR con AdBlue y analizar como incide térmicamente en el control de emisiones de gases con la ayuda de una cámara termográfica Fluke TIS60, analizador de gases Brian Bee y Opacímetro CAP3030 que proporcionaran los parámetros característicos ideales de los motores.

- **Método comparativo**

Los resultados de las emisiones generadas por los vehículos diésel - gasolina obtenidas de la investigación al implementar el sistema SCR con inyección de AdBlue en los gases de escape son comparados a diferentes frecuencias de inyección además verificar con la normativa INEN NTE y EURO 5 para su cumplimiento obligatorio.

- **Método de medición**

Mediante la técnica de medición son obtenidos los valores de temperatura y emisiones mediante protocolos de pruebas según la norma nacional vigente NTE INEN 2203, 2004 para motores gasolina, NTE INEN 2207 y la normativa internacional EURO V en motores diésel; también está establecido la escala y las unidades apropiadas de acuerdo al equipo a utilizar en las mediciones.

- **Método de matematización**

Una vez representados los resultados de la investigación mediante números, será utilizado este método para justificar los cambios temperatura en °C y las concentraciones de una forma científica para HC, CO, CO₂, NO_x, O₂, COcorr, Lambda y opacidad.

En la Tabla 3 es visualizado el resumen de los métodos empleados en el proyecto de investigación.

Tabla 3.

Metodología, equipos y lugar de la investigación

Metodología	Descripción	Equipo	Lugar
Análisis de contenido	La investigación inicia con la recolección de información, obtenido de diferentes fuentes de bibliografía como: libros, revistas, investigaciones, artículos, normas, manuales, que serán seleccionadas examinando su contenido y su fuente de información, comprobando que es una información veraz para utilizarla en el desarrollo de estudio	• Computadora portátil	Biblioteca ESPE-L
Inductivo	El proyecto de investigación tiene como objetivo comprobar la incidencia de la temperatura con las distintas emulsiones a diferentes proporciones expuestas anteriormente, esto, mediante la resolución de cálculos, y con los datos generados en el escape por la cámara termográfica Fluke TIS60.	• Cámara termográfica Fluke TiS60	Laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L
Deductivo	Dado que la investigación se enfoca en el análisis del colector de escape del motor gasolina y diésel, se analizará la variación de los parámetros (RPM) en	• Motor Mazda BT-50 CD 4X2 STD 2.5 Diésel	Laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L

CONTINUA



	sistema SCR, para obtener diferentes resultados tanto en emisiones y temperatura.	<ul style="list-style-type: none"> • Motor Mazda BT-50 CS 4X2 STD CRD 2.6 Gasolina • Cámara termográfica Fluke TIS60 • Analizador de Gases • Opacímetro CAP 3030 	
Analítico	Se utilizará en el análisis de resultados tomando en cuenta los datos obtenidos en las pruebas, con ayuda de la ejecución del programa Excel, para demostrar las pruebas realizadas y comparar las hipótesis planteadas de la investigación conjuntamente cumplir los objetivos planteados.	<ul style="list-style-type: none"> • Computador Microsoft office: • Word • Excel 	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L
Síntesis	Al utilizar este método se logrará representar el resultado de las emisiones y temperaturas obtenidas para determinar la eficiencia del sistema implementado. Conjuntamente, se obtendrá un documento resultante de las mediciones y pruebas realizadas para finalmente presentar la información de una forma sistemática, lo que permite un fácil análisis y entendimiento de la misma.	<ul style="list-style-type: none"> • Computador Microsoft office: • Word • Excel 	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L
Experimental	Se utilizará este método para verificar la influencia del sistema SCR con AdBlue® y analizar como incide térmicamente en el control de emisiones de gases con la ayuda de una	<ul style="list-style-type: none"> • Motor Mazda BT-50 CD 4X2 STD CRD 2.5 Diésel • Motor Mazda BT-50 CD 4X4 STD 	Laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L



	cámara termográfica Fluke TIS60 y un analizador de gases Brian Bee, que proporcionaran los parámetros característicos ideales de los motores.	<ul style="list-style-type: none"> • CRD 2.6 Gasolina • Cámara termográfica Fluke TIS60 • Analizador de Gases 	
Comparativo	Los resultados de las emisiones generadas por los vehículos diésel - gasolina obtenidas en la investigación al implementar el sistema SCR con inyección de AdBlue en los gases de escape son comparados a diferentes frecuencias de inyección además verificar con las normativas INEN NTE y EURO 5 para su cumplimiento obligatorio.	<ul style="list-style-type: none"> • Computador Microsoft office: • Word • Excel 	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L
Medición	Mediante la técnica de medición se obtendrán los valores de temperatura y emisiones mediante protocolos de pruebas según la norma nacional vigente NTE INEN 2203, 2004 para motores gasolina, NTE INEN 2207, y la normativa internacional EURO 5 en motores diésel; también se establecerá la escala y las unidades apropiadas de acuerdo al equipo a utilizar en las mediciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Motor Mazda BT-50 CD 4X2 STD Diésel CRD 2.5 • Motor Mazda BT-50 CS 4X2 STD Gasolina CRD 2.6 • Cámara termográfica Fluke TIS60 • Analizador de Gases– opacímetro 	Laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L
Matematización	Una vez representados los resultados de la investigación mediante números, se utilizará este método para justificar los cambios temperatura en °C y las concentraciones de una forma científica para HC, CO, CO ₂ , NO _x , O ₂ , COcorr, Lambda y opacidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Calculadora • Computador Microsoft office: • Word • Excel 	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En el presente capítulo se definen conceptos a utilizar durante la investigación como son los motores de combustión interna, gasolina y diésel, termografía, partes del sistema de escape, sistema SCR y análisis de gases de escape.

2.2. Motores de Combustión Interna

Los motores de combustión interna alternantes (MCI) a causa del estado térmico que se genera en el propio fluido que evoluciona en el motor obtiene el trabajo mediante el empuje lineal del émbolo de combustión interna, por eso son motores térmicos de desplazamiento positivo (o volumétricos). (Rovira & Muñoz, 2015)

La Figura 1, ilustra los principales componentes del motor de combustión interna, siguiente, la Tabla 4, describe de manera rápida cada uno de ellos.

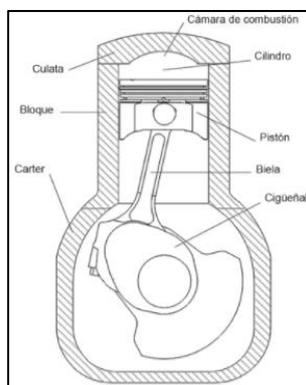


Figura 1. Componentes principales del MCI

Fuente: (Rovira & Muñoz, 2015)

Tabla 4

Elementos básicos del MCI gasolina y diesel

Pistón	Componente con movimiento rectilíneo de forma alternativa. Es el émbolo del conjunto biela – manivela e interactúa con el volumen del cilindro.
Biela	La biela conjuntamente con el cigüeñal transforma el movimiento lineal que produce el pistón en el movimiento de rotación del cigüeñal.

CONTINUA



Cigüeñal	Pieza rotativa del motor en la cual se constituye la manivela del conjunto.
Cilindro	Representa el volumen que cede el fluido de trabajo.
Cámara de combustión	Volumen donde la mezcla estequiométrica aire-combustible se combustiona
Culata	Componente del motor que sella la parte superior del block, donde se sincroniza las válvulas de admisión y escape
Bloque	Parte del motor que contiene los cilindros y en donde tiene lugar la combustión.
Cárter	Elemento que sella el block en su parte inferior y almacena el aceite de motor.

Fuente: (Rovira & Muñoz, 2015)

2.2.1. Motor Gasolina

El motor de combustión interna (MCI) de la Figura 2, funciona por encendido externo, transforma la energía química producida por la combustión de la mezcla aire combustible en energía cinética (Bosh, 2003).

Los avances tecnológicos han perfeccionado los sistemas del automóvil como el sistema de inyección que dosifica correctamente el carburante.



Figura 2. Motor Gasolina

Fuente: (Agudo, 2015)

El motor a gasolina enciende a través de la combustión de la energía química almacenada en los combustibles fósiles que se convierte en energía mecánica con el fin de emitir el movimiento del cigüeñal a los neumáticos interviniendo en los diferentes sistemas automotrices.

2.2.2. Motor Diésel

El motor diésel de la Figura 3, logra el encendido por combustión interna mediante la elevada temperatura que emite la compresión del aire en el cilindro. Tanto el proceso de funcionamiento del motor diésel como del motor gasolina son muy similares diferenciándose en el encendido ya que el motor diésel no necesita de la chispa que otorga la bujía y lo hace mediante la elevada compresión del mismo y por la baja inflamabilidad del diésel. (Maldonado , 2010)



Figura 3. Motor Diésel

Fuente: (Chicaiza, 2017)

2.3. Sistema de Escape

El sistema de escape de la Figura 4 es el encargado de expulsar fuera del automóvil los gases producidos por la combustión dentro del motor, de igual manera reducir el ruido que se causan al momento de ser arrojados hacia el exterior.

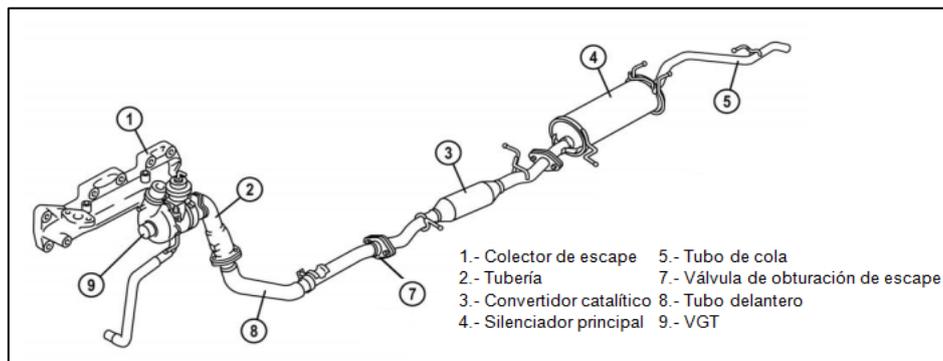


Figura 4. Sistema de escape Mazda BT-50

Fuente: (Mazda Motor Europe GmbH, 2006)

2.4. Emisiones contaminantes producidas por los vehículos

Durante más de un siglo, la humanidad ha utilizado vehículos para sus necesidades. Estos pueden moverse usando la fuente de energía mecánica que, en la gran mayoría, representa el motor de combustión interna. El motor de combustión interna convierte la energía química en energía mecánica. Durante el proceso de conversión de energía química, la oxidación del combustible en forma de combustión está presente. (Sarkan & Stopka, 2017)

Los sistemas también deben analizarse desde los aspectos ambientales. Como se tienen en cuenta los motores de gasolina o diésel, el nivel de emisiones de escape de estos motores es muy importante. Existen estudios limitados con el objetivo de investigar las emisiones de gases de escape de los motores de gasolina en función de la velocidad del motor. (Ali & Mohamad, 2016)

2.4.1. Descripción

Cuando se habla de la composición de los gases de escape de un vehículo se utilizan siempre los mismos términos: monóxido de carbono, óxido nítrico, partículas de hollín o hidrocarburos. Decir que estas sustancias representan una fracción muy pequeña del total de los gases de escape. Debido a ello, antes de describir las diferentes sustancias que integran los gases de escape, se muestra a continuación la composición aproximada de los gases que despiden los motores diésel y de gasolina (Correa & Fuentes, 2017).

El nivel de producción de gases de escape de los vehículos de carretera está afectando principalmente por las leyes impuestas por cada país que determina los valores máximos de los elementos de gas individuales. Sin embargo, entre otras cosas, la composición de los vehículos en una región o país en particular es un aspecto muy importante en el contexto de la producción de gases de escape en funcionamiento normal.

2.4.2. Tipos de emisiones contaminantes

El sector del transporte es el mayor contribuyente a las emisiones de monóxido de carbono en las grandes ciudades, por lo que la cantidad de monóxido de carbono aumenta con el aumento del número de vehículos en las zonas urbanas. Según la OMS, la producción anual de monóxido de carbono en el mundo es aproximadamente equivalente a 2600 millones de toneladas por año de esto, el 60% es producido por actividades humanas. Varios parámetros afectan la emisión de contaminantes atmosféricos, incluidos la velocidad, el diseño geométrico de las rutas, el

volumen, el flujo y el ciclo de conducción. Según los cambios en la velocidad y aceleración del vehículo, los ingenieros ambientales calculan la cantidad de contaminantes producidos en las calles urbanas (Pouresmaeili & Aghayan, 2017).

Dentro de las emisiones vehiculares, los principales emisores de NO son los camiones y tractores utilizados para el transporte de mercancías. Los principales emisores de CO son los automóviles y furgonetas de gasolina. (D'Angelo & González, 2017)

Teniendo en cuenta la flota de vehículos livianos, sus contribuciones a las emisiones de NOx son: diésel: 12.2%, gasolina: 29% y sus contribuciones a las emisiones de CO son: diésel: 4.8%, gasolina: 81.5%. (D'Angelo & González, 2017)

2.4.3. Combustión completa

El aire en este tipo de combustión debe ser superior a la teórica o estequiometría, la presencia de oxígeno en los gases de combustión es normal por lo tanto se utiliza un exceso de aire para hacer reaccionar en su totalidad el combustible que está disponible en el proceso. Figura 5. (Duque & Jiménez, 2012).

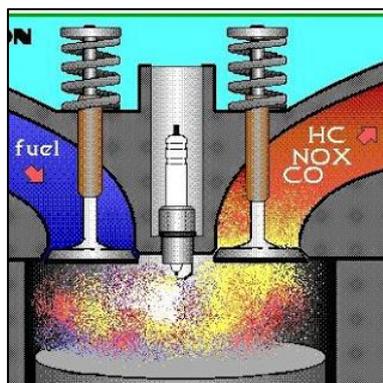


Figura 5. Combustión completa

Fuente. (Duque & Jiménez, 2012)

2.4.4. Combustión incompleta

Este tipo de combustión no se ha alcanzado el grado máximo de oxidación por lo tanto existe presencia de sustancias combustibles o llamadas también inquemados. Por lo general estas sustancias son el carbono (hollín), CO, H₂. La combustión incompleta se produce cuando se aporta aire en cantidad insuficiente. (Duque & Jiménez, 2012).

2.4.5. Compuestos derivados de la combustión

La combustión completa e ideal que se efectúa en la cámara de combustión se produce con oxígeno puro sin reacciones secundarias, por lo que se forma únicamente agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2), como muestra la Figura 6. (López, 2016)

El proceso de combustión de los motores diésel no se completa idealmente, debido a que existen residuos en forma de vapor o películas líquidas de combustible en las paredes de la cámara de combustión y con la presencia de nitrógeno del aire atmosférico se da la formación de agentes tóxicos para el medio ambiente y las personas por ejemplo NO_x , hidrocarburos, hidrocarburos quemados parcialmente, conjuntamente con los productos propios de la combustión. Figura 6. (López, 2016).

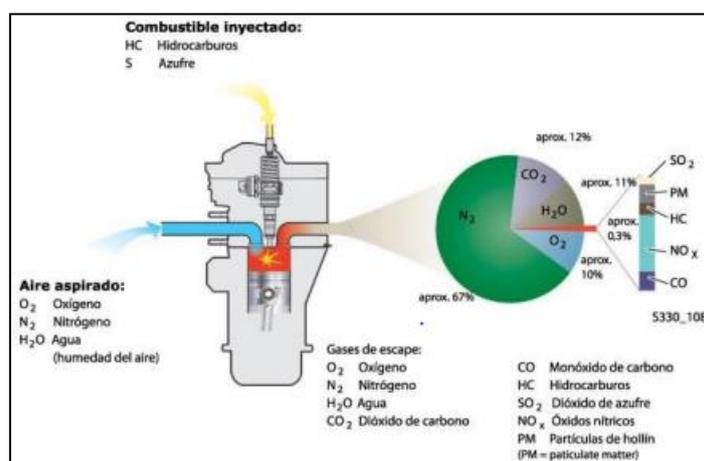


Figura 6. Compuestos derivados de la combustión

Fuente: (López, 2016)

a. Óxidos Nítricos (NO_x)

El NO es un gas incoloro que se oxida en el aire a NO_2 ; de tal manera el NO_2 es un gas rojo parduzco con un fuerte olor. La dependencia del óxido de nitrógeno en el valor de λ es exactamente opuesta en comparación con el CO y HC . En el área del excedente de combustible, el NO_x aumenta al aumentar el valor de λ debido al aumento de la concentración de oxígeno. En el área de mezcla pobre, el NO_x disminuye al aumentar el valor de λ . (Sarkan & Stopka, 2017)

b. Hidrocarburos (HC)

Los hidrocarburos son gases no quemados en el proceso de combustión, en el área de mezcla rica, el valor de HC aumenta con el valor decreciente de λ . Esta es la consecuencia del exceso de combustible y la combustión incompleta, y, por lo tanto, las emisiones aumentaron el valor de los hidrocarburos no quemados y parcialmente quemados. El valor mínimo de λ se encuentra en el rango de 1.1 a 1.2, y con el valor creciente de λ , el contenido de HC continúa aumentando debido a la combustión incompleta. El contenido de HC por volumen es significativamente menor que el contenido de CO. Su valor se expresa en ppm (partes por millón) de unidades y se aplica lo siguiente: 100% del contenido de HC en volumen = 1000000 ppm; 1% de contenido de HC en volumen = 10000 ppm. (Sarkan & Stopka, 2017)

c. Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro y venenoso. Surge especialmente en la mezcla rica, ya que no hay suficiente cantidad de oxígeno requerida para la oxidación del carbono a dióxido de carbono inofensivo. En el área de exceso de combustible, el contenido en volumen de CO aumenta con la disminución del valor de λ prácticamente de forma lineal. En el área de excedentes de aire, el contenido en volumen de CO es bajo y es virtualmente independiente del valor λ . En el área de composición estequiométrica de la mezcla, el contenido de CO es aproximadamente de 0.3 a 0.5%. (Sarkan & Stopka, 2017)

d. Dióxido de Carbono (CO₂)

El aumento del contenido de dióxido de carbono en la atmósfera es una de las principales causas del efecto invernadero. El dióxido de carbono es un producto no tóxico de la combustión. (Sarkan & Stopka, 2017)

Los valores máximos de dióxido de carbono se alcanzan en el área de relación estequiométrica y estos son aproximadamente 14,7% de contenido. El valor de CO₂ tiene un alto valor explicativo sobre la condición del motor y el estado de sus partes. Los valores bajos de CO₂, así como los valores bajos de CO y HC indican las fugas del sistema de escape. En el caso del funcionamiento adecuado del catalizador, el valor de CO₂ puede ser incluso mayor que cuando se realiza una combustión completa. (Sarkan & Stopka, 2017)

e. Oxígeno (O₂)

El oxígeno constituye un elemento indispensable para producir combustión encontrándose presente en el aire con una concentración del 21%. Si su combinación es muy rica o muy pobre, el oxígeno no está en capacidad de oxidar todos los enlaces de hidrocarburos y será desalojado con las emisiones contaminantes. (Alvarado Corti, 2016)

f. Opacidad

La opacidad es el grado en que el humo bloquea la luz y la base para medir la cantidad de humo que proviene de un vehículo que funciona con diésel. Los motores mal mantenidos o que funcionan mal a veces son la causa del humo excesivo.

Los límites máximos de opacidad se consultó la norma (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2002) la cual implanta que para: toda fuente móvil con motor diésel, en condiciones de aceleración libre, no podrá descargar al aire, humos en cantidades superiores al 50% para vehículos a partir del año 2000, y el 60% para años posteriores. (INEN 2207:2000, 2000)

2.5. Termografía

La termografía se enfoca en calibrar la radiación infrarroja de un cuerpo, Figura 7, que emite una temperatura superior al cero absoluto, y, por tanto, se puede medir la temperatura de cualquier material tanto mecánico o eléctrico sin necesidad de contacto físico con el mismo, teniendo numerosas aplicaciones. (Palma Selles, 2015),

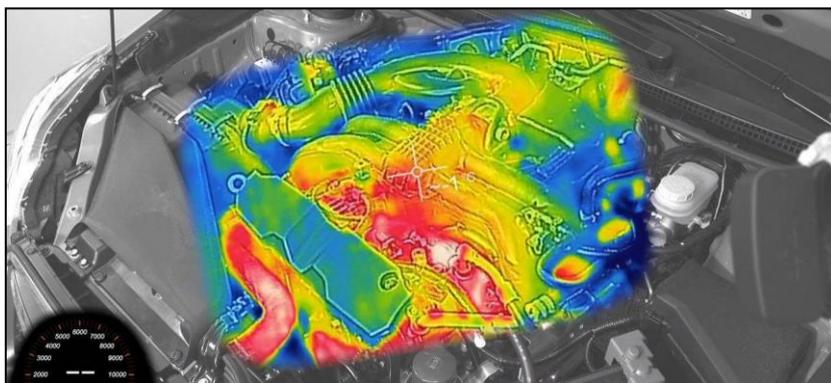


Figura 7. Termografía

Fuente: (Álvarez, 2017)

2.5.1. Transferencia de calor

La transferencia de energía de un cuerpo a otro permite definir la diferencia de temperatura de dichos cuerpos. En el universo se encuentra distintas diferencias de temperatura permitiendo ecuménicos fenómenos de flujo de calor, así como atracciones gravitacionales, no obstante, el flujo de energía está presidido por una serie leyes físicas independientes. (Kreith & Manglik, 2012)

Los procesos de convección, radiación o conducción se originan por el intercambio de energía, los estudios de estos métodos pueden ser a la vez o prevalecer uno sobre los otros dos.

2.5.2. Termografía infrarroja

La termografía infrarroja, Figura 8, permite que una imagen de infrarrojos se convierta en una imagen radiométrica, donde se representa las distribuciones superficiales y lecturas de valores de la temperatura, ésta información térmica emitida por un mecanismo eléctrico o mecánico indica la condición de trabajo de un equipo monitoreado dentro de entornos de operación normales o anormales para diseñar un posible escenario de fallas futuras. (Neita & Peña, 2011)

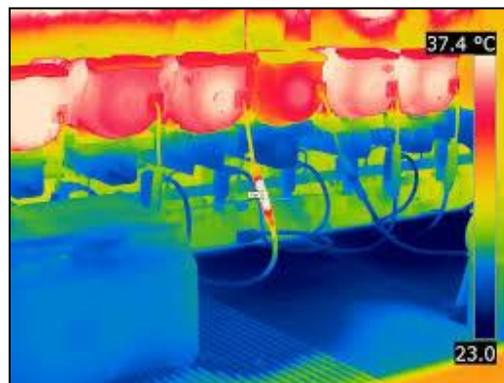


Figura 8. Termografía Infrarroja

Fuente: (FLIR, 2016)

2.5.3. Termografía activa

Se transgrede la muestra a estudiar con cierta cantidad de calor para determinar la diferencia de temperaturas significativas que determinen los defectos de la parte interior del material a utilizarse. Los datos conseguidos establecen de manera cuantitativa el tamaño y profundidad de

los daños por medio de las imágenes captadas por la cámara de la muestra ensayada. (Rodríguez & LLamas, 2004)

2.5.4. Termografía pasiva

La termografía pasiva evalúa de manera cualitativa la radiación infrarroja sin que exista una fuente de calor externa para revelar los lugares o zonas con defectos. (Rodríguez & LLamas, 2004).

2.5.5. Leyes aplicables a la termografía

El avance continuo de las ciencias aplicadas permite a la termografía estar basada en cuatro leyes elementales:

- Ley de Planck
- Ley de Wien
- Ley de Stefan-Boltzmann
- Ley de Kirchoff

2.5.6. Emisividad

La emisividad comprende la eficacia de una superficie que genera radiación térmica, por lo que, la temperatura de un objeto es directamente proporcional a la energía infrarroja emitida del mismo, el rango prescrito de la emisividad es de 0,0 a 1,0.

Un ejemplo de emisividad 1,0 es el cobre brillante que emite insuficiente energía comparado a la piel humana que cuenta con una emisividad de 0,98, a continuación, en la Tabla 5, se presentan valores de emisividad de materiales comunes.

El valor predeterminado es de 0,95.

Tabla 5.

Valores de emisividad de materiales comunes

Material	Emisividad*
Aluminio, pulido	0.05
Ladrillo, común	0.85
Ladrillo, refractario, basto	0.94
Hierro fundido, fundición Esbozada	0.81
Hormigón	0.54

CONTINUA



Cobre, pulido	0.01
Cobre, negro oxidado	0.88
Cinta aislante, plástico negro	0.95
Vidrio	0.92
Barniz, Bakelite	0.93
Pintura, sintética normal	0.94
Papel, negro, mate	0.94
Porcelana, vidriada	0.92
Goma	0.93
Acero, galvanizado	0.28
Acero, muy oxidado	0.88
Papel de alquitrán	0.92
Agua	0.98

*La emisividad de la mayoría de los materiales se mide a 0°C pero no varían mucho a temperatura ambiente

Fuente: (Fluke Corporation, 2009)

2.5.7. Termograma

A través de tonos grises o tonos de color obtenidos se constituye la distribución de infrarrojos en una imagen o mapa térmico. Figura 9.

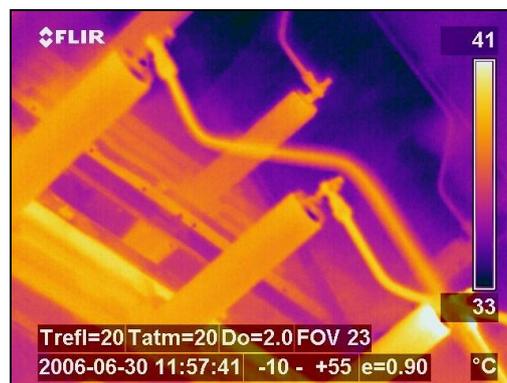


Figura 9. Termograma

Fuente: (FLIR, 2016)

2.6. Sistema SCR

Debido a la contaminación atmosférica que producen los vehículos se han optado nuevas técnicas para reducir las emisiones contaminantes en especial la reducción de los óxidos nitrosos (NOx), la industria europea de vehículos diésel ha establecido una técnica que cumple la norma establecida por la UE, la implementación del sistema SCR (reducción catalítica selectiva) en vehículos diésel, que reduce considerablemente los óxidos de nitrosos (NOx) en nitrógeno (N) y agua (H₂O) que resultan ser inocuos al ambiente (Wiesche S , 2016).

2.6.1. Descripción

Los catalizadores de reducción SCR alcanzan su temperatura de trabajo a aproximadamente 200° C. La bomba succiona el agente reductor AdBlue (una solución acuosa de urea al 32,5% producida de forma sintética) y lo bombea con una presión de unos 5 bares hacia el inyector del sistema. La unidad de control del motor es la encargada de controlar al inyector, el cual inyecta una dosificación en el tubo de escape. Figura 10. (Fleetguard C, 2009)

El agente reductor es arrastrado por los gases de escape, diluyéndose uniformemente con ayuda del mezclador. De camino hacia los catalizadores de reducción, el denominado tramo de hidrólisis, el agente reductor se descompone en amoníaco (NH_3) y dióxido de carbono (CO_2). En los catalizadores de reducción el amoníaco reacciona con los óxidos de nitrógeno, convirtiéndose en nitrógeno y agua.

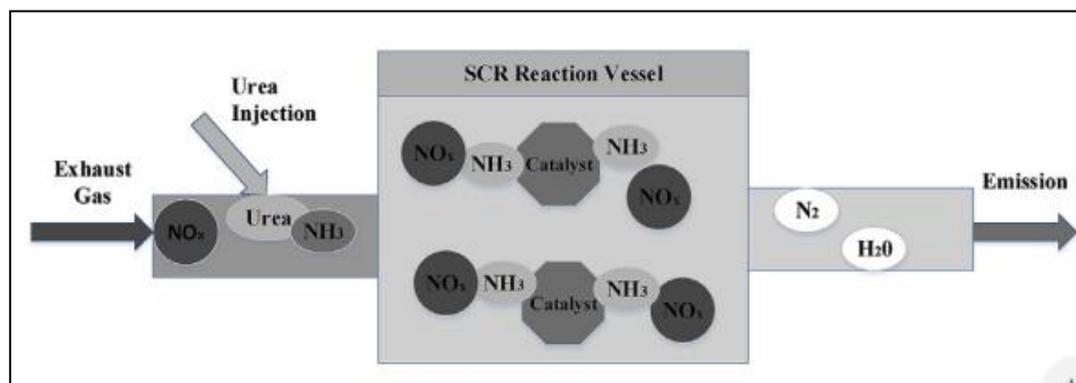


Figura 10. Diagrama de funcionamiento del sistema SCR

Fuente: (You, Wei, & Jiang, 2017)

2.6.2. Componentes

a. Catalizador SCR

Los catalizadores empleados, ha sido propuesto un elevado número, siendo los más utilizados los basados en óxidos, destacando entre otros: Al_2O_3 , $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, TiO_2 , ZrO_2 , Fe_2O_3 , CeO_2 , La_2O_3 y zeolitas, tales como mordenita y ZSM-5, intercambiadas con diversos metales: Cu, Co, Ni, Pt, Rh y Pd. El empleo como agentes reductores de hidrocarburos de bajo peso molecular (metano, etano, propano, etc.), o mezclas de hidrocarburos (gas natural), presentan una serie de grandes ventajas frente al extendido empleo de amoníaco como reductor, entre las que cabe destacar su fácil manejo y disponibilidad, especialmente el gas natural, dado que

algunas de las plantas de generación de energía utilizan éste como combustible. Figura 11. (Cegarra, 2002).

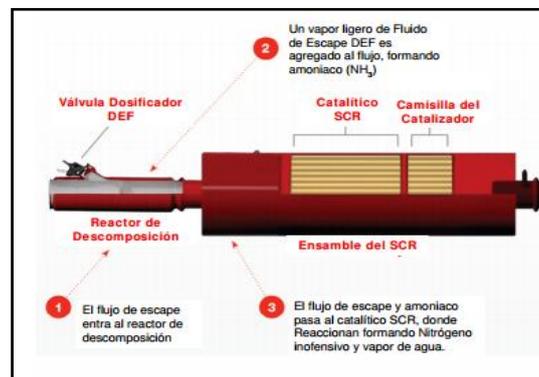


Figura 11. Catalizador SCR

Fuente: (Fleetguard C, 2009)

b. Bomba de inyección

El sistema SCR utiliza una bomba de transferencia de AdBlue el cual es un elemento en el sistema de recarga que transfiere el fluido desde donde se almacena en el vehículo. Es importante que las bombas diseñadas específicamente para la distribución de AdBlue se usen con el fluido. Esto se debe a la importancia de que AdBlue se mantenga libre de cualquier contaminación, ya que la pureza de la solución debe mantenerse para que el sistema SCR funcione correctamente. Además, si el contenido de agua desionizada se evapora debido al aire que ingresa al sistema. El AdBlue puede causar cristalización en los componentes de la bomba AdBlue, lo que produce un desgaste desigual y también daños en el inyector del sistema SCR. (CTS, 2016).

c. Inyector

El inyector de AdBlue, está localizado junto al catalizador de escape, es utilizado para distribuir el AdBlue en los gases de escape con la mayor uniformidad posible, el cual tendrá diferentes condiciones de funcionamiento de acuerdo a los tiempos de inyección. (BlueTec, 2016)

d. Módulo de control de inyección de AdBlue

El módulo de bombeo se localiza cerca del tanque de AdBlue, su función es filtrar el AdBlue y proveerlo a la unidad dosificadora. Consta de una bomba eléctrica de membrana dentro de

una cubierta plástica, atornillada a una carcasa de aluminio. Además convierte las señales analógicas a señales digitales para el MR2, monitoreando las emisiones y administrando el consumo de AdBlue (BlueTec, 2016).

e. AdBlue

Este agente químico posee una solución al 32,5% en peso de urea, porque el punto de cristalización alcanza un mínimo de 11°C, relación de mezcla eutéctica a esa concentración. Comercialmente distribuida en países de Europa con el nombre de AdBlue. Este componente es muy importante en el funcionamiento del sistema SCR, debido a que al reaccionar el agente reductor en el catalizador se produce una nueva reacción química. Luego de una evaluación de los aspectos, marcas registradas y derechos de patente, el nombre fue elegido conjuntamente por los representantes del negocio del aceite mineral, la industria química, el automóvil fabricantes y sus proveedores. AdBlue puede ser producido a partir de urea y agua destilada en cualquier lugar, donde la urea se sintetiza en plantas de la industria química. (Erdgas und Kohle, 2003)

a. Depósito de AdBlue

En los vehículos, el AdBlue está contenido en un depósito aparte, normalmente junto al de gasóleo. Solo hay que rellenar el depósito de AdBlue cuando el indicador señale que se está agotando. (YARA, 2016)

2.7. Equipos

2.7.1. Vehículo Mazda BT-50 Diésel

El vehículo Mazda BT-50, Figura 12, motor diésel, se utilizó, en pruebas de mediciones de gases, opacidad y termografía; en la Tabla 6, se describe las especificaciones del vehículo.



Figura 12. Mazda BT-50 Diésel

Tabla 6.

Especificaciones Mazda BT-50 Diésel

Especificaciones	Mazda BT-50 CRDi
Marca	Mazda
Modelo	BT-50
Generación	BT-50
Modificación (motor)	2.5 TD (143 Hp)
Potencia máxima	143 CV / 3500 rpm
Velocidad máxima	158 km/h
Aceleración 0 – 100 km/h	12.5 s
Capacidad depósito	70 l
Modelo del motor	2.5 MZR-CD
Posición del motor	Frente, a lo largo
Cilindrada –real-	2500 cm ³
Par máximo	330 Nm / 1800 rpm
Sistema de Combustible	CRDi
Turbina	Turbocompresores
Distribución	DOHC
Construcción de los cilindros	En línea
Número Cilindros	4
Diámetro del cilindro	93 mm
Recorrido del cilindro	92 mm
Radio de Compresión	18.1
Número de válvulas por cilindro	4
Combustible	Diésel

Fuente: (Carrillo & Taco, 2018)

2.7.2. Vehículo Mazda BT-50 Gasolina

El vehículo Mazda BT-50, Figura 13, motor gasolina, se utilizó en pruebas de mediciones de gases, opacidad y termografía; en la Tabla 7, se describe las especificaciones del vehículo.



Figura 13. Mazda BT-50 Gasolina

Tabla 7.

Especificaciones Mazda BT-50 Gasolina

Especificaciones	Mazda BT-50 Gasolina
Marca	Mazda
Modelo	BT-50
Generación	BT-50
Modificación (motor)	2599 cc
Potencia máxima	135.3hp / 4600 rpm
Velocidad máxima	158 km/h
Aceleración 0 – 100 km/h	12.5 s
Modelo del motor	2.6 MZR-SC
Posición del motor	Frente, a lo largo
Cilindrada –real-	2600 cm ³
Par máximo	330 Nm / 1800 rpm
Sistema de Combustible	Inyección multipunto de gasolina de control electrónico
Construcción de los cilindros	En línea
Número Cilindros	4
Radio de Compresión	8.4:4
Número de válvulas por cilindro	4
Combustible	Gasolina

2.7.3. Analizador de gases Brian Bee AGS-688

El analizador de gases Brain Bee AGS – 688, Figura 14, es el equipo utilizado para realizar las pruebas de control de emisiones, teniendo en cuenta parámetros de funcionamiento del motor, así como también cumple protocolos y normativas vigentes aplicadas a los vehículos diésel – gasolina. Entre las diferentes formas de operación del analizador de gases está el modo dinámico y el estático. Con la ayuda del teclado del analizador, el operario puede disponer todas las funciones del equipo comenzando desde la calibración y auto cero del analizador continuando con las pruebas iniciales hasta las pruebas que rige la norma nacional requerida;

posee seis unidades de display a cristales líquidos retro-iluminados los cuales muestran los datos relativos a las pruebas realizadas. (Rivadeneira & Toaza, 2017).

a. Componentes del equipo



Figura 14. Analizador Gases Brain Bee AGS-688

Fuente. (Brain Bee, 2016)

- Impresora Térmica 24 columnas
- Panel de control 13 botones
- Displays LCD Retro-iluminados

b. Accesorios del equipo

La Tabla 8, detalla todos los accesorios con los que viene equipado el analizador de gases Brian Bee, para realizar las pruebas de análisis de gases.

Tabla 8.

Accesorios del analizador de gases Brian Bee AGS-688

Equipo	Fotografía
<p>Sonda extracción de gas Elemento rígido que se introduce en el tubo de escape del vehículo, resistente al calor</p>	

CONTINUA



Tubo sonda de extracción

Manguera flexible que hace unión entre la sonda y el analizador



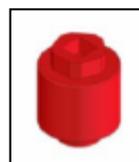
Filtro Sonda de extracción

Elemento que retiene partículas sólidas y agua del equipo.



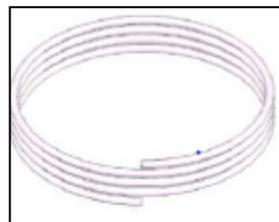
Sensor O₂

Elemento encargado de medir el O₂



Tubo drenaje de condensado

Manguera flexible transparente que ayuda a la expulsión de agua en el equipo.



Sensor NO_x

Elemento encargado de medir el NO_x



Fuente: (Brain Bee, 2016)

c. Software

Mediante el cual se pueden realizar un sin número de pruebas adicionales y también optar por las pruebas oficiales de cada país, Menú en español. El analizador de gases AGS-688 es fabricado en Italia bajo las más estrictas normas de calidad CE (Comunidad Europea) y TUV (Norma Alemana de Calidad) Capacidad de medir los 5 gases que se analizan en los vehículos modernos: HC, CO, CO₂, O₂ y NO_x (Disemaq, 2017).

2.7.4. Opacímetro

Es un equipo mixto marca CAP3030, opacímetro y analizador de gases, el cual con la ayuda de una sonda que es colocada en el tubo de escape se realiza pruebas de opacidad, mediciones que son comparados con las normas Euro. Figura 15. (Villacis & Burgos, 2016)

Este equipo de medición de opacidad nos brinda datos de porcentaje, que son comparados con datos de la norma Euro para lo cual nos dará un resultado de aprobación o rechazo en la medican en el vehículo.



Figura 15. Opacímetro CAP3030

2.7.5. Cámara termográfica

Los miles de elementos radiométricos o píxeles que posee una cámara termográfica determinan los colores por medio de complejos algoritmos, que miden el valor exacto de temperatura de un determinado punto del cuerpo. Figura 16.



Figura 16. Cámara Termográfica

Fuente: (Fluke Corporation, 2009)

a. Cámara Fluke TiS60

Cuenta con muchas aplicaciones ya que captura imágenes por infrarrojo, se utiliza en la reparación y mantenimiento de equipos, como también en los análisis estructurales de la industria investigativa. Figura 17.



Figura 17. Cámara Fluke TiS60

Fuente: (FLUKE, 2017)

b. Componentes Fluke TiS60

Los componentes de la cámara termográfica se muestran en la Figura 18, y se detallan en la Tabla 9.

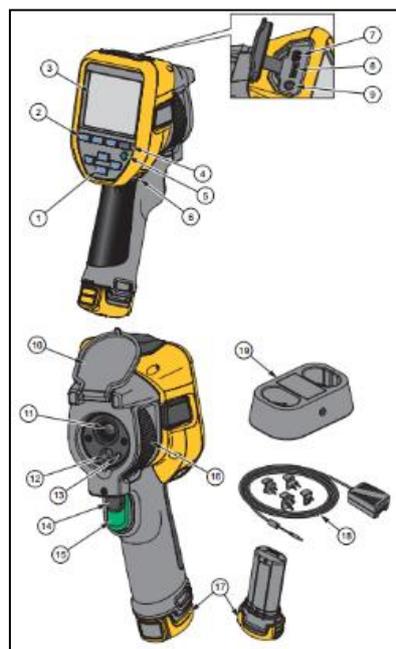


Figura 18. Componentes Fluke TiS60

Fuente: (Fluke, 2015)

Tabla 9.
Componentes y funciones cámara TiS60

Elemento	Descripción
1	Botones de Flecha
2	Botones de Función (F1, F2, F3)
3	Pantalla
4	Botón de consulta de memoria
5	Encendido/Apagado Calibration-On-Demand
6	Enganche de la correa
7	Conexión por cable USB
8	Ranura para tarjetas de memoria inicio SD extraíbles
9	Conexión de adaptador de CA/alimentación externa
10	Cubierta retráctil para la lente
11	Lente de cámara de infrarrojos
12	Lente de cámara de luz visual
13	Puntero láser
14	Disparo secundario
15	Disparo Primario
16	Control de enfoque manual
17	Batería inteligente de ión-litio
18	Alimentación de CA con adaptadores
19	Base de carga de baterías con 2 bahías

Fuente: (Fluke, 2015)

c. Características Fluke TiS60

- Tecnología con enfoque fijo.
- Procesos con dirección fija.
- Calidad de resolución en sus imágenes de 260 x 195 (50.700 píxeles)

- Profundidad de campo de 417:1
- Intervalo de medición de temperatura entre -20 °C a 550 °C (-4 °F a 1022 °F)
- Descubre los inconvenientes con rapidez por medio de su tecnología de IR-Fusion® y el modo PIP que analiza e identifica de manera precisa la ubicación de los problemas.
- Pantalla LCD de 3,5 pulgadas, 320 x 240
- Cámara digital de rendimiento industrial de 5 megapíxeles
- Sistema de batería inteligente: batería inteligente de iones de litio con indicador de nivel de carga LED de cinco segmentos
- Permite enviar las imágenes por correo electrónico y compártalas en tiempo real mediante Fluke Connect®
- Memoria interna de 4 GB y tarjeta micro SD de 4 GB

d. Software SmarView 4.3

Este software, Figura 19, genera un grupo de herramientas que permite indicar, optimizar, apuntar y estudiar imágenes y videos en infrarrojo, permitiendo un trabajo profesional con informes específicos de las capturas de imagen.



Figura 19. Software SmartView

2.8. Normas Nacionales

2.8.1. NTE INEN 2202:2000

La (INEN 2202:2000, 2000) “Gestión Ambiental Aire Vehículos Automotores. Determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diésel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre.”; que permite determinar el método de ensayo para determinar en nivel de opacidad en las emisiones de escape en motores diésel.

2.8.2. NTE INEN 2203:2000

La (INEN 2203:2000, 2000) “Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralentí”. Prueba estática.”; muestra el método de ensayo para la determinación de las emisiones provenientes del sistema de escape, en condiciones de marcha mínima o ralentí.

2.8.3. NTE INEN 2004:2000

La (INEN 2204:2000, 2000) “Gestión ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de Gasolina.”; presenta los límites con los cuales deben trabajar los vehículos gasolina en condiciones estáticas, como se referencia en la Tabla 10.

Tabla 10.

Límites máximos de emisiones para motores gasolina. Marcha mínima o ralentí

Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0-1500**	1500-3000**	0-1500**	1500-3000 **
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1000	1200

* Volumen

**Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm)

Fuente: (INEN 2204:2000, 2000)

2.8.4. NTE INEN 2207:2002

La (INEN 2207:2000, 2000) “Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diésel” proporciona los límites de emisiones y opacidad con los cuales deben trabajar los vehículos diésel. Tabla 11.

Tabla 11.

Límites máximos de opacidad de emisiones para motores diésel (prueba de aceleración libre)

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

Fuente: (INEN 2207:2000, 2000)

2.9. Norma Internacionales

2.9.1. SAE J1667

La SAE J1667 “Procedimiento de Aceleración Libre para la Medición de Opacidad en Vehículos Equipados con Motor Diésel”; estas pruebas determinan el método de ensayo para la medición de escape de vehículos diésel mediante el procedimiento de aceleración rápida.

2.9.2. EURO 5

Se basa en el reglamento (CE) 715/2007, con el fin de limitar la contaminación producida por los vehículos, esta norma EURO 5 está encaminada a reducir las emisiones de partículas y precursores de ozono, como los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, con el objetivo de mejorar la calidad del aire y disminuir la contaminación. Tabla 12.

Tabla 12.
Límites de emisiones Euro 5

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 (NOx)		Masa combinada total de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno totales (HCT + NOx)		Masa de partículas (MP)		Número de partículas (1) (P)	
			L1 (mg/km)		L2 (mg/km)		L3 (mg/km)		L4 (mg/km)		L2+L4 (mg/km)		L5 (mg/km)		L6 (#/km)	
			PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI
M	-	Todos	1000	500	100	-	68	-	60	180	-	230	5,0	5,0		
N ₁	I	MR≤1305	1000	500	100	-	68	-	60	180	-	230	5,0	5,0		
	II	1305<MR≤1760	1810	630	130	-	90	-	7	235	-	295	5,0	5,0		
	III	1760<MR	2270	740	160	-	108	-	82	280	-	350	5,0	5,0		
N ₂			2270	740	160	-	108	-	82	280	-	350	5,0	5,0		
PI= encendido por chispa																
CI= encendido por compresión																
(1) Se establecerá una norma relativa al número lo antes																
(2) Las normas sobre normas de masa de partículas de los vehículos de encendido por chispa se aplican únicamente a los vehículos con inyección directa.																

Fuente: (Unión Europea, 2007)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Implementación del sistema SCR con inyección AdBlue

Para la implementación del sistema SCR con inyección de AdBlue® en el escape de los vehículos diésel – gasolina los componentes principales que se utilizaron son: catalizador tres vías, módulo de control, inyector AdBlue®, Bomba, depósito, cables y elementos de fijación como muestra la Figura 20. (Flores & Toapanta , 2018)

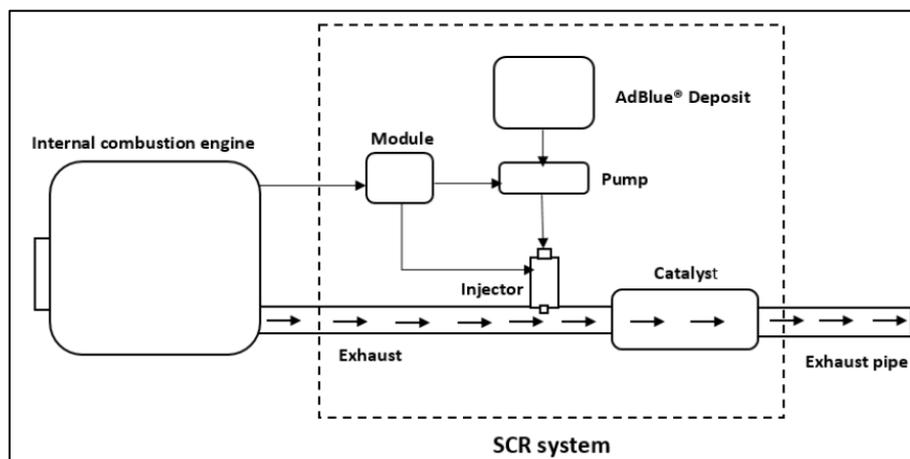


Figura 20. Diagrama de funcionamiento Sistema SCR

Para la programación del módulo de control del sistema SCR son obtenidas las señales independientemente, de los siguientes sensores detallados en la Tabla 13, tanto en el motor diésel y gasolina.

Tabla 13.

Señales obtenidas de los vehículos Diésel y Gasolina

MOTOR DIÉSEL	MOTOR GASOLINA
Sensor de Posición del árbol de levas (CMP)	Distribuidor electrónico
Sensor de temperatura (ECT)	Sensor de temperatura (ECT)
Sensor Posición pedal del acelerador (APP)	Sensor de posición del acelerador (TPS)
Voltaje de la batería	Voltaje de la batería

3.2. Selección del controlador del arduino

En la selección del controlador Arduino es importante tener en cuenta algunas consideraciones como son: la velocidad de transferencia de datos y la tensión de alimentación debido a que los actuadores se controlan mediante el módulo AdBlue funcionan con 12V, para lo cual es esencial utilizar un regulador de voltaje además que verifica el número de entradas/salidas. Tabla 14.

Una función del controlador de Arduino es recibir las señales de los sensores para luego procesarlas y así realizar el proceso de control de los actuadores, también se podrá calcular la frecuencia de inyección.

Los datos que se reciben de los sensores y los datos calculados por el controlador de Arduino son visualizados en el LCD del módulo de AdBlue.

Tabla 14.

Selección del controlador arduino para el módulo de AdBlue.

Características	Tipo de controlador Arduino	
	Nano	AT mega 2560
Puertos analógicos/digitales	8/14	16/54
Voltaje de alimentación	5 – 12V	5 – 12V
Memoria SRAM	2 Kb	8 Kb
Velocidad	16 MHz	16 MHz
Lenguaje de programación	C/Processing	C/Processing
Costo	Bajo	Alto

Fuente: (Flores & Toapanta , 2018)

Para la implementación del módulo de control es necesario escoger el controlador Arduino tipo Nano, debido a que el número de señales de entradas y salidas son menores que 8, además de su bajo costo en el mercado.

3.3. Circuito regulador de voltaje

El voltaje de entrada que proporciona la batería del vehículo es 12V, por lo tanto, se necesita implementar un regulador de voltaje (LM7805) para alimentar al controlador Arduino que opera con un voltaje constante de 5V. Figura 21.

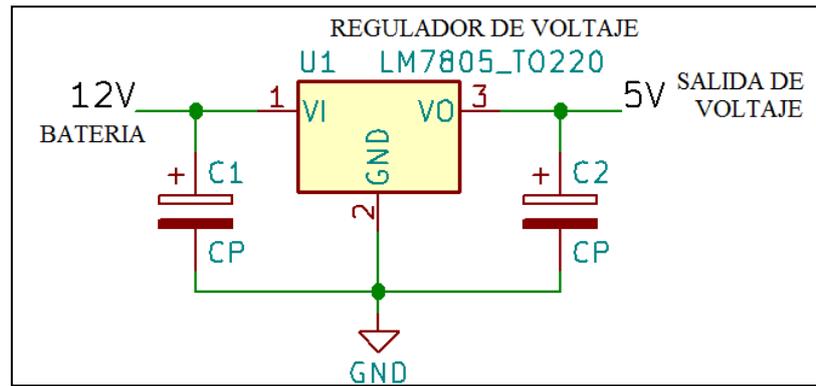


Figura 21. Circuito esquemático del regulador de voltaje.

3.4. Controladores de activación de actuadores del sistema SCR

El módulo de control activa los actuadores de acuerdo a las señales recibidas del vehículo, los actuadores que son controlados por el módulo son la bomba y el inyector, los cuales envían información al módulo de control como tiempo de activación de la bomba, número de inyecciones y frecuencia de inyección.

- **Controlador de activación de la bomba**

En la Figura 22, se indica el control de tiempos de activación de la bomba de inyección de AdBlue el cual es controlado por un relé, además tiene un fusible como protección del circuito.

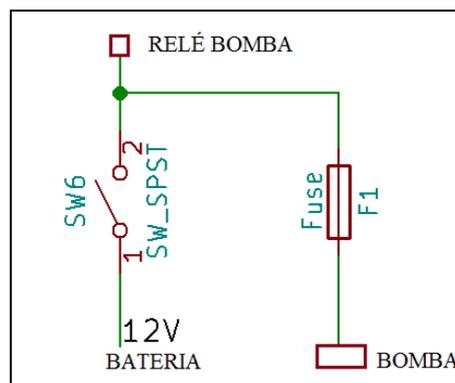


Figura 22. Circuito de activación de la bomba de AdBlue

- **Controlador de activación del inyector**

Para el diseño electrónico que controla el inyector se utiliza un transistor NPN (Tipo 122), el cual registra los pulsos de inyección; la activación del inyector está controlada por el Arduino dependiendo de las señales recibidas del vehículo, como se muestra en la Figura 23.

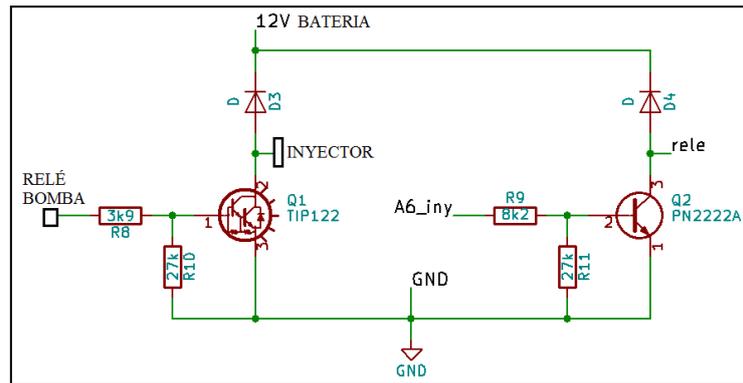


Figura 23. Circuito de control para el inyector de AdBlue

3.5. Módulo de control del sistema SCR para el motor Diésel

3.5.1. Señal sensor árbol de levas (CMP)

La señal que recibe el módulo es una onda cuadrada que oscila entre 0 – 5V, esta señal es enviada del vehículo mediante el CMP que es un sensor de efecto Hall de tres cables (señal, alimentación y masa).

El árbol de levas tiene en su extremo un pequeño imán, y en cada giro sobre el sensor de efecto Hall produce una salida de voltaje indicando el punto muerto superior del pistón 1, debido a esto el sensor proporciona un régimen de revoluciones de 720 rpm con una oscilación de 155 ms, mientras que a 3000 rpm la oscilación es de 37ms. Figura 24.

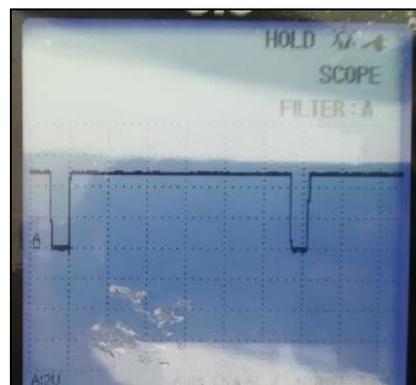


Figura 24. Señal del sensor CMP

Una de las condiciones para que el sistema SCR funcione es que el régimen de giro debe estar en 1000 rpm con una oscilación de 112 ms, estos datos están controlados por el módulo de AdBlue.

Acorde a lo mencionado se tiene el sensor CMP de efecto Hall, que está provisto de 3 cables, de acuerdo al diagrama eléctrico del vehículo, obteniendo que el Pin N° 2 es el que envía la señal al módulo, el color del cable es GRN/YEL (VER/AMAR), como muestra la Figura 25.



Figura 25. Pin de señal del CMP

3.5.2. Señal sensor de temperatura (ECT)

La señal que recibe el módulo de control que genera el sensor de temperatura (ECT) es un oscilograma exponencial en función de la temperatura, este sensor es de tipo termistor de coeficiente negativo (NTC), el cual al aumentar la temperatura disminuye el voltaje y el rango de valores que genera el sensor es de 0 a 5V.

Para el correcto funcionamiento del Sistema SCR se toma el valor de temperatura de 80 °C con una tensión de 1.72V, debido a que la temperatura es un factor muy importante en el desempeño del motor.

El sensor posee dos terminales: voltaje referencia (Vref) que es enviado desde la ECU y el de masa (GND). Para receptor la señal del sensor ECT, se coloca un cable con una aguja en el pin N° 1 del sensor de cable de color BL/WH como se muestra en la Figura 26.

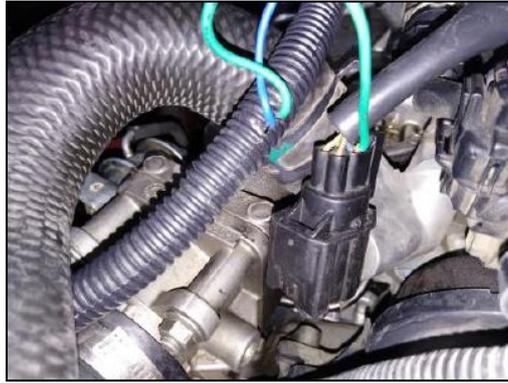


Figura 26. Señal del Sensor ECT

En el oscilograma se observa la señal del sensor ECT en el que esta evidenciado el valor de tensión de corriente que es de 2.6V, que representa una temperatura en el motor de 60°C, como indica la Figura 27.



Figura 27. Oscilograma sensor ECT

3.5.3. Señal sensor de posición del pedal del acelerador (APP)

Entre los parámetros de funcionamiento del módulo de control es necesario obtener la señal del sensor de posición del pedal del acelerador (APP), el cual está ubicado en interior del vehículo. El sensor APP tiene como finalidad indicar cuál es la posición del pedal del acelerador en función de un voltaje, los valores de voltaje están en el rango de 0,5 a 4,5 V, además que estos valores son visualizados en porcentajes de 0 a 100 %.

Para las mediciones realizadas en el vehículo se tiene un valor de tensión de 0,65V con un porcentaje de posición del pedal del 0% y un valor de tensión de 4,20V con un porcentaje de posición del pedal del 100%, indicando que el pedal está presionado al fondo.

De acuerdo al diagrama del sensor APP, el pin N° 2 proporciona la señal al módulo de control, el color del cable es PNK, para la conducción de la señal al módulo se coloca un cable con una aguja en el pin como en la Figura 28.

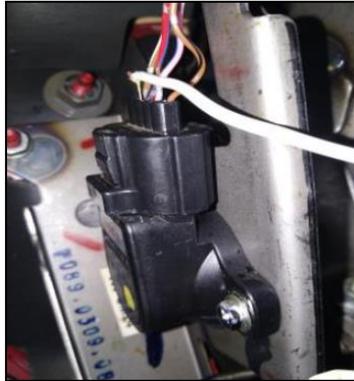


Figura 28. Señal sensor APP

Para verificar la señal del sensor APP se obtuvo un oscilograma, que se observa en la Figura 29, la cual indica los diferentes voltajes de posición del acelerador.

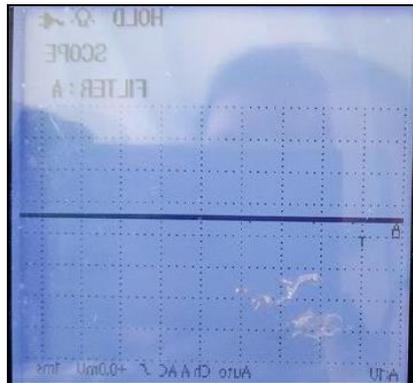


Figura 29. Oscilograma sensor APP

3.5.4. Programación módulo motor Diésel

En la programación del módulo de control SCR se utiliza el lenguaje de programación C++ para poder procesar al Arduino nano.

De acuerdo al lenguaje de programación que se utiliza se tiene que declarar variables de entrada las cuales están dadas por el voltaje de la batería, las señales de los sensores (CMP, APP, ECT), señal de nivel de AdBlue, para obtener variables de salida que son: luces testigo que controla el encendido y apagado del módulo, la visualización de los parámetros del sistema

SCR, el control de frecuencia de inyección, el control de activación de la bomba y el nivel de AdBlue.

3.6. Módulo de control del sistema SCR para motor Gasolina

3.6.1. Señal del distribuidor electrónico

En el vehículo Mazda BT-50 2,6 lt gasolina, se obtiene la señal del distribuidor electrónico, el cual posee tres terminales de conexión que son de alimentación, masa y señal. Esta señal que es enviada al módulo de control presenta una similitud con la señal enviada por el CMP de un vehículo diésel.

Para la recepción de la señal del distribuidor se coloca un cable con una aguja en el pin N° 3, Como muestra la Figura 30.



Figura 30. Señal del distribuidor

El distribuidor electrónico en su configuración interna posee un sensor de efecto Hall, que al girar el árbol de levas sobre el sensor se produce una salida de voltaje indicando el punto muerto superior del pistón 1, debido a esto el sensor proporciona un régimen de revoluciones de 720 rpm una oscilación de 155 ms y un régimen de 3000 rpm una oscilación de 37ms. En la Figura 31, se observa el oscilograma de onda cuadrada que se encuentra en un rango de 0 a 5V generada por el distribuidor electrónico.

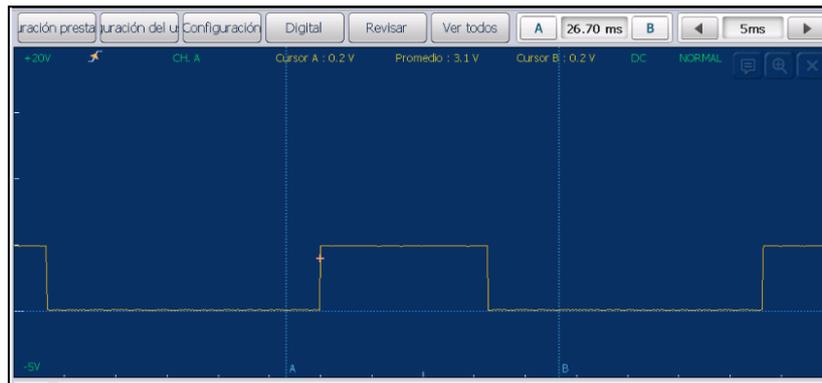


Figura 31. Oscilograma distribuidor electrónico.

3.6.2. Señal del sensor de temperatura (ECT)

En el funcionamiento del sistema SCR se necesita el dato de temperatura del motor para que el módulo de control pueda realizar las acciones solicitadas, debido a que la temperatura influye considerablemente en el sistema de combustión del motor.

El sensor de temperatura (ECT) en su configuración posee 2 terminales de conexión que proporcionan señal de control de masa y señal voltaje referencia enviados desde la ECU. Para la obtención de la señal del sensor ECT se coloca un cable con una aguja en terminal de control de masa el cual es representado por el pin N°2 como muestra la Figura 32.



Figura 32. Señal de sensor de temperatura

El oscilograma que representa la Figura 33, es una onda exponencial con un rango de tensión de 0 – 5V que indica que a mayor temperatura el voltaje disminuye, como requerimiento para el correcto funcionamiento del sistema SCR se tiene un dato de 80°C con un voltaje de 1,60V.

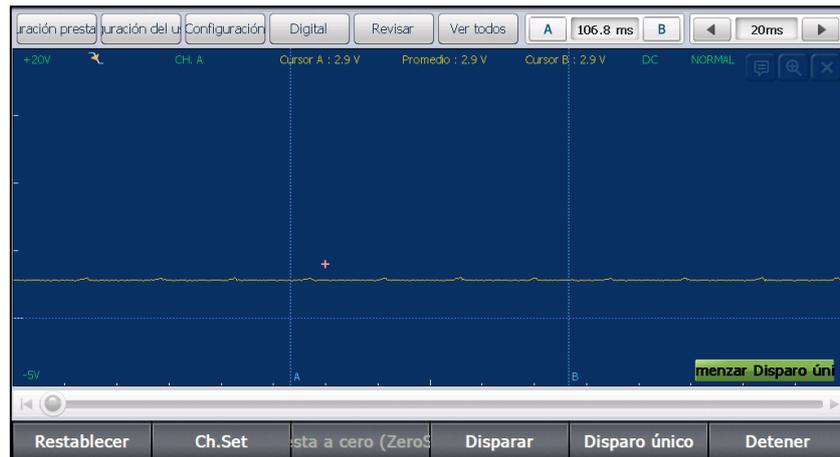


Figura 33. Oscilograma sensor ECT

3.6.3. Señal de posición del acelerador (TPS)

Para el funcionamiento del módulo de control se obtiene la señal del sensor de posición de la aleta del acelerador (TPS) el cual está ubicado en la mariposa del vehículo. El sensor TPS tiene como finalidad indicar cuál es la posición del acelerador en función de un voltaje; los valores de voltaje están en el rango de 0,5 a 4,5 V, además que estos valores se los puede visualizar en porcentajes 0 a 100 %.

Para las mediciones realizadas se tiene un valor de tensión de 0,65V con un porcentaje de posición del pedal al 0% y de 4,80V con un porcentaje de posición del acelerador al 100% que nos indica que el pedal está presionado al fondo.

De acuerdo al diagrama del sensor TPS se ubica el pin N° 2 el cual proporciona la señal al módulo de control, el color del cable es PNK, para la conducción de la señal al módulo se coloca un cable con una aguja en el pin como muestra la Figura 34.



Figura 34. Señal del sensor TPS

El oscilograma que se muestra en la Figura 35, indica los diferentes voltajes de posición del acelerador.

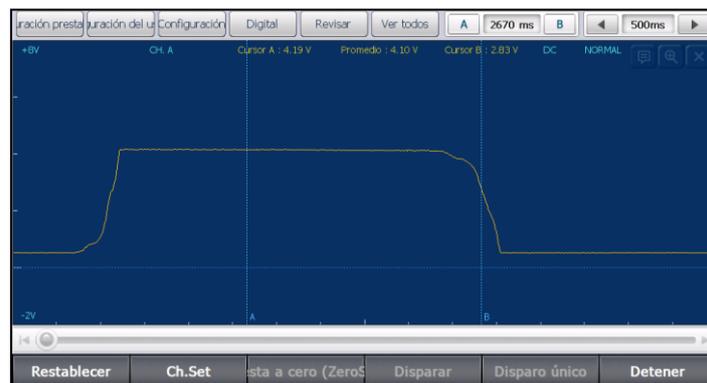


Figura 35. Oscilograma sensor TPS

3.6.4. Programación módulo motor Gasolina.

En la programación del módulo de control SCR se utiliza el lenguaje de programación C++ para poder procesar al Arduino nano.

De acuerdo al lenguaje de programación se tiene que declarar: variables de entrada que están dadas por el voltaje de la batería, señales de los sensores (distribuidor electrónico, TPS, ECT), señal de nivel de AdBlue, para luego obtener variables de salida que son: luces testigo que controla el encendido y apagado del módulo, la visualización de los parámetros del sistema SCR, el control de frecuencia de inyección, el control de activación de la bomba y el nivel de AdBlue.

3.7. Guía de uso del módulo de control SCR

En la Figura 36, se detalla las partes que está compuesto el módulo que controlará la frecuencia de inyección de AdBlue mediante el sistema SCR.

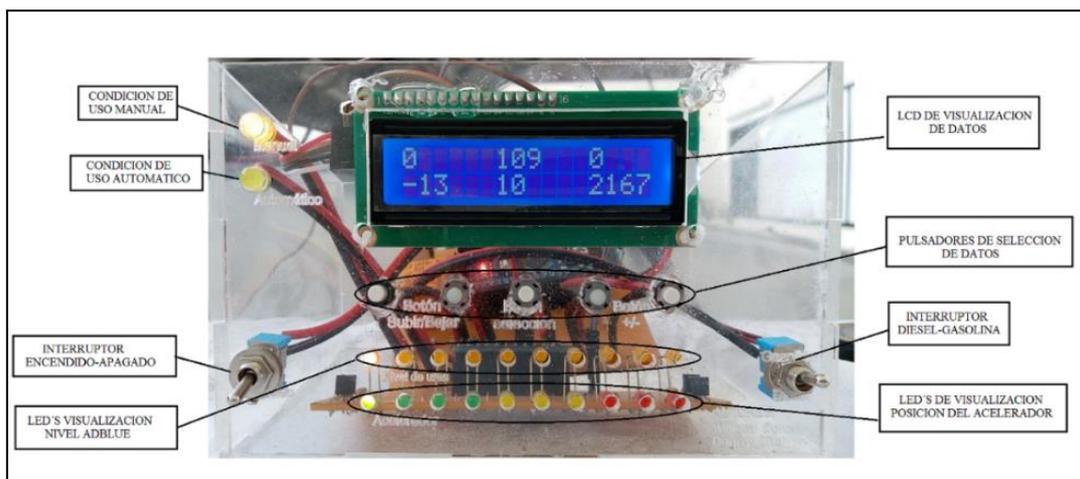


Figura 36. Partes del módulo de control del sistema SCR

Para el manejo del módulo del sistema SCR se sigue los pasos en detalle:

- Encendido del módulo de control SCR.
- Selección del tipo de vehículo diésel – gasolina.
- Activación del sistema con los pulsadores de selección de datos.
- Visualización de datos y verificación de condiciones del funcionamiento del sistema SCR. Figura 37.

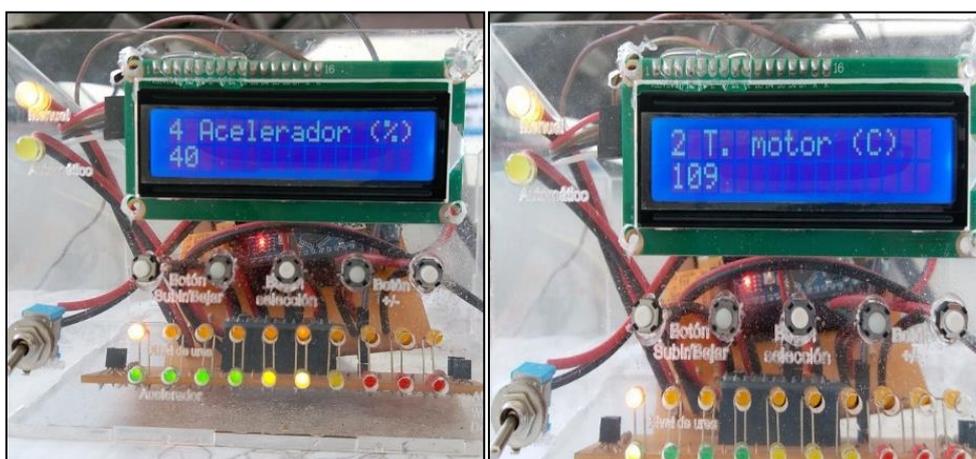


Figura 37. Visualización de datos ingresados al sistema SCR

- Selección del modo manual.
- Selección de la frecuencia de inyección. Figura 38.

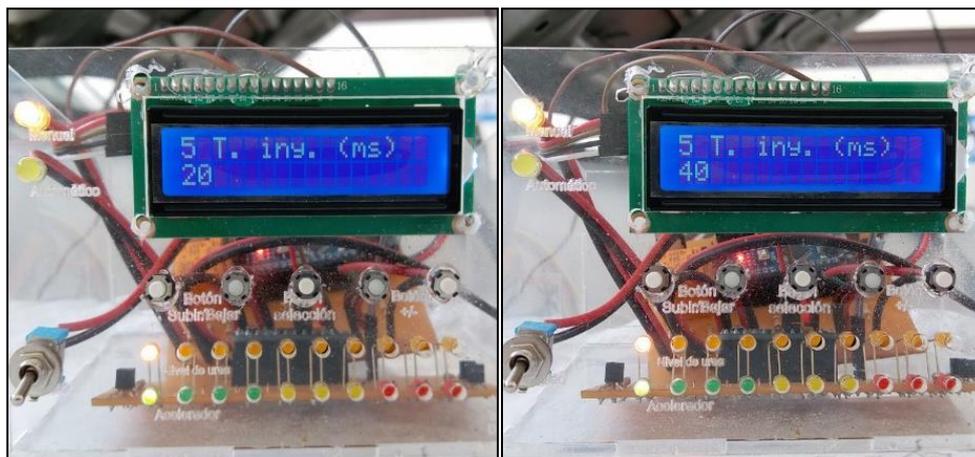


Figura 38. Selección de frecuencia de inyección de AdBlue

3.8. Medición de emisiones en los vehículos Diésel y Gasolina

3.8.1. Protocolo

Las pruebas de emisiones, se realiza a partir de las normas NTE INEN 2203:2000 tanto para vehículos diésel, como los de gasolina, y hace referencia a ensayos de aceleración libre o pruebas estáticas de la Figura 39.

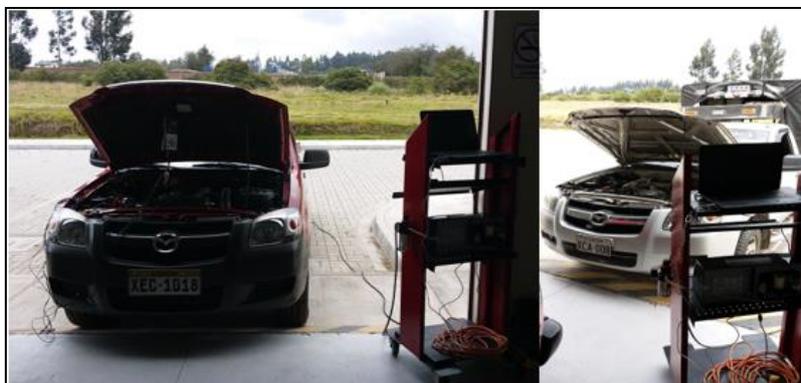


Figura 39. Pruebas de emisión de gases en los vehículos diésel y gasolina

- Calibrar el equipo antes de realizar cada prueba.
- Realizar a una revisión técnica a los vehículos antes iniciar las pruebas.
- Someter los vehículos a un período de calentamiento (80 °C), y estabilización.
- Colocar el MGT-300 EVO que es el contador de RPM el cual se conectará a los bornes de la batería, a continuación, conectar la sonda a la bayoneta del motor que permite

medir la temperatura del mismo, y mediante bluetooth transmitir la información al analizador Brian Bee AGS-688. Figura 40.



Figura 40. Medidor de revoluciones y temperatura MGT-300 EVO

- Verificar el sistema de escape que se encuentre en perfecto funcionamiento, evitando que exista fugas o daños tanto en su forma original y de igual manera cuando se instala el sistema SCR.
- Las pruebas son de manera estacionario tal como referencia en la norma INEN 2203:2000 tanto para vehículos diésel como gasolina.

3.9. Medición de opacidad

3.9.1. Protocolo

La prueba de opacidad, se realiza a partir de las normas NTE INEN 2202:2000 y 2207:2000 para vehículos diésel, y hace referencia al método de ensayo y límites para determinar los niveles de opacidad, Figura 41.



Figura 41. Medición de Opacidad en el vehículo diésel

- Calibrar el equipo antes de realizar las pruebas.
- Realizar a una revisión técnica a los vehículos antes iniciar las pruebas.
- Verificar el sistema de escape se encuentre en perfecto funcionamiento, evitando que exista fugas o daños tanto en su forma original y de igual manera cuando se instala el sistema SCR.
- Someter el vehículo a un período de calentamiento (80 °C), y estabilización.
- Colocar el MGT-300 EVO, para lo cual se conectará la sonda a la bayoneta del motor que permite controlar la temperatura, como precaución para realizar las pruebas.
- Realizar las calibraciones pertinentes en el CAP3030 Figura 42, como indica el software del opacómetro CARTEK.



Figura 42. Opacómetro CARTEK

- Las pruebas son de manera estacionario tal como referencia en la norma INEN 2202:2000.

3.10. Mediciones de termografía en los vehículos Diésel y Gasolina

Las pruebas de termografía, permite determinar mediante imágenes el comportamiento de los materiales con respecto a la temperatura de los mismos, por lo que en el siguiente estudio se utilizará la cámara Fluke TiS60.

3.10.1. Procedimiento

- 1) Colocar el MGT-300 EVO Figura 43, que controla las revoluciones de manera precisa, de igual manera la temperatura a la que se encuentra el motor para tener las precauciones necesarias.



Figura 43. MGT-300 EVO

- 2) Ubicar el vehículo en el elevador para facilitar las mediciones, como se muestra en la Figura 44.



Figura 44. Ubicación del vehículo

- 3) Determinar los lugares en el sistema de escape donde se toma las mediciones de termografía como se observa en la Figura 45; se utilizará taípe 3M, para que no refleje brillo al momento de la toma de datos y generar resultados más precisos.



Figura 45. Zonas de medición.

- 4) Encender la cámara termográfica y calibrar manualmente los indicadores necesarios para obtener imágenes más precisas, mostradas en la Figura 46.



Figura 46. Calibración de la cámara termográfica

- 5) Encender el vehículo y colocar a una temperatura de trabajo óptima.
6) Realizar seis tomas con la cámara termográfica en los puntos indicados de la Tabla 15, y se recomienda enfocar de la manera correcta.

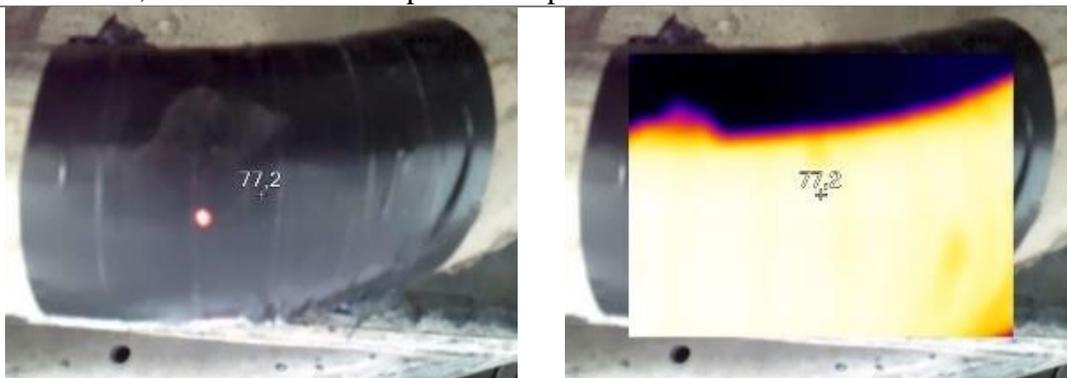
Las pruebas se las realiza a 1000, 2000 y 3000 RPM, además del cambio de frecuencias en el módulo de control del sistema SCR.

Tabla 15.

Puntos de medición termográfica en el sistema de escape de los vehículos Gasolina - Diesel

PUNTO 1

Localizado, a la salida del múltiple de escape

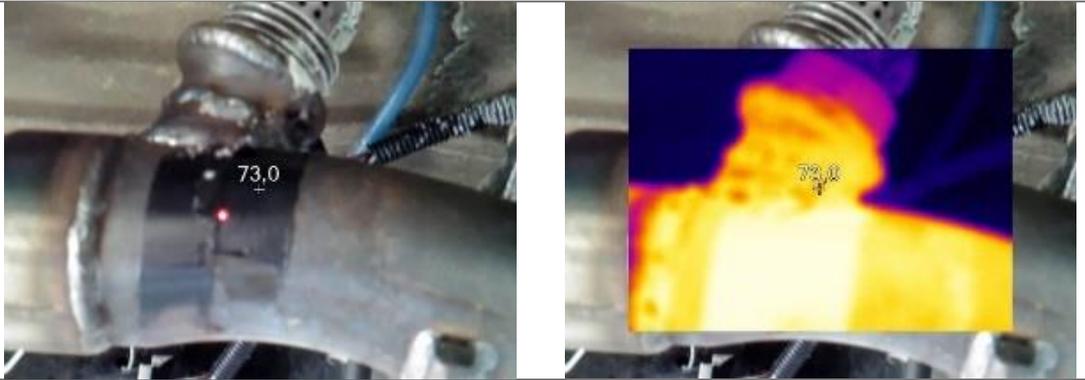


PUNTO 2

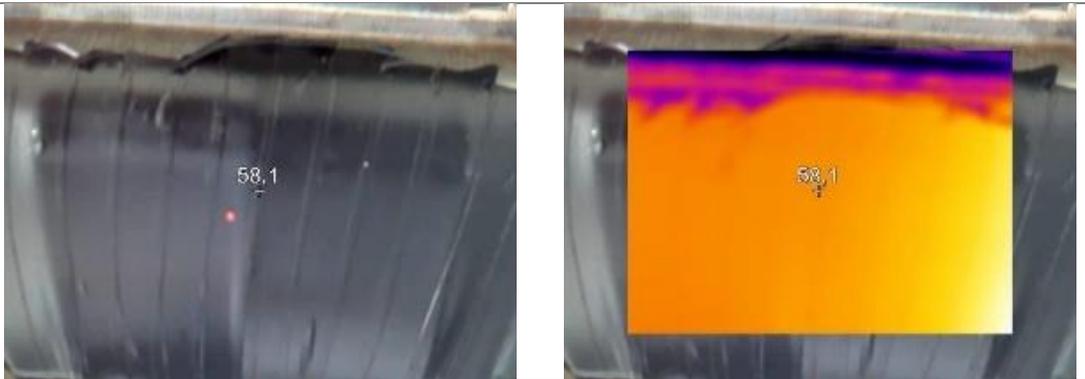
La medición se realiza en la posición de inyector del Sistema SCR antes y después de la implementación del sistema SCR.

CONTINUA



**PUNTO 3**

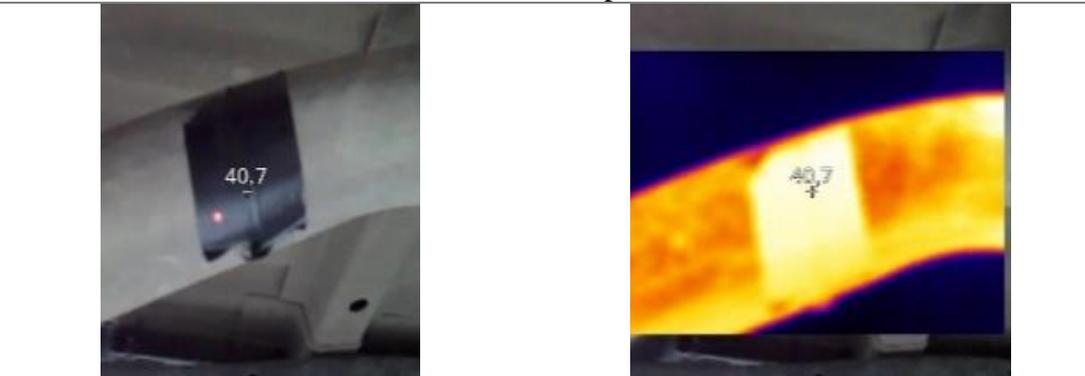
La medición se ejecuta en el catalizador antes y después de la implementación del Sistema SCR.

**PUNTO 4**

La medición se obtiene a la salida del catalizador antes y después de la implementación del Sistema SCR.

**PUNTO 5**

La medición se efectúa al final del tubo de escape de los vehículos



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Emisiones

Los resultados de las pruebas de emisiones en los vehículos diésel y gasolina, se realiza mediante tres parámetros de funcionamiento del motor que son 1000, 2000 y 3000 rpm, tanto de manera estándar, y con la implementación del sistema SCR.

Luego de la implementación del sistema SCR se realizó la programación del módulo para la frecuencia de inyección del AdBlue a 5, 10, 20, 30, 40 y 50 (ms); para lo cual por cada una de las pruebas realizadas se tomó 6 resultados de las mismas para realizar análisis estadístico significantes.

El resultado de las pruebas de emisiones como muestra la Figura 47, se obtiene mediante un informe donde se conoce la información detallada de los vehículos como de igual manera los valores de CO_{corr}, CO, CO₂, HC, O₂, NO y Lambda; para su respectivo análisis.

 ANÁLISIS GASES ESCAPE		 ANÁLISIS GASES ESCAPE	
ANALIZADOR Número de serie :	AGS-888 150513000054	CUENTARREVOLUCIONES Número de serie :	AGS-888 150513000054
LATAUNGA BELIZARIO GUEVEDO		LATAUNGA BELIZARIO GUEVEDO	
ESPE-L TELEPHONE FAX - EMAIL		ESPE-L TELEPHONE FAX - EMAIL	
Datos del vehículo:			
Marca :	MAZDA	Modelo :	BT-50
Matrícula :	XCA-008	No. Chasis :	8LFUNY06A8M000159
Combustible :	GASOLINA	Km recorridos :	196804
Valores relevados:			
Temp. motor [°C] :	63	Temp. motor [°C] :	90
RPM [1/min] :	2020	RPM [1/min] :	950
CO _{corr} [%Vol] :	0.51	CO _{corr} [%Vol] :	0.50
Lambda [-] :	1.041	Lambda [-] :	---
CO [%Vol] :	0.49	CO [%Vol] :	0.08
CO ₂ [%Vol] :	13.8	CO ₂ [%Vol] :	2.3
HC [ppmVol] :	32	HC [ppmVol] :	0
O ₂ [%Vol] :	1.16	O ₂ [%Vol] :	16.6
NO [ppmVol] :	293	NO [ppmVol] :	239
Fecha y hora prueba :	21/03/2018 13:25	Fecha y hora prueba :	13/03/2018 16:22
Sello		Sello	
Firma		Firma	

Figura 47. Resultado de Emisiones en los vehículos Gasolina y Diesel

4.1.1. Análisis de mediciones de emisiones en el vehículo Diésel

Se tabulan los resultados de las emisiones estándar y con la implementación del sistema SCR respectivamente y de esta manera los datos obtenidos pueden ser comparados.

Se realizaron 6 mediciones en cada frecuencia de inyección y a una velocidad gobernada de 1000, 2000 y 3000 RPM. Los cambios de frecuencia se los realizó manualmente y se estableció la frecuencia de inyección más óptima para el funcionamiento del sistema.

Las 6 mediciones de emisiones tanto de NO_x, O₂, HC, CO₂, CO y COcorr, se describen en el Anexo A.

a. Medición de NO_x (ppm Vol.)

La Tabla 16, presenta los promedios de las mediciones de NO_x realizadas con las frecuencias de inyección programadas y con la velocidad gobernada respectiva, este promedio se obtiene estadísticamente de las mediciones realizadas como se indica en el Anexo A1.

Tabla 16.

Resultados de mediciones de NO_x en el vehículo Mazda BT-50 Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue

Frecuencia de inyección	NO _x (ppmVol)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar*	235,2	86,3	82,5
5 ms	236,5	74,0	75,8
10 ms	230,2	79,7	79,7
20 ms	229,5	75,3	77,5
30 ms	165,2	81,0	77,5
40 ms	249,3	88,3	96,3
50 ms	173,0	86,8	86,2

* Sin la implementación del sistema SCR

La tasa de emisión de contaminantes de óxidos nitrosos (NO_x), está establecido mediante las unidades de (ppm/Vol). Las emisiones de NO_x a 1000, 2000 y 3000 RPM sin implementar el sistema SCR fueron 235.3, 86.3, y 82.5 (ppmVol), respectivamente como se puede ver en las líneas entrecortadas de las Figuras 48, 49 y 50. Las emisiones de NO_x medidas con el sistema SCR implementado varían notablemente en comparación con los valores medidos sin la implementación del sistema. Se puede observar en las Figuras 48, 49 y 50, que al inyectar AdBlue® a una frecuencia de inyección de 30 ms, a 1000, 2000 y 3000 RPM, las emisiones de NO_x, disminuyen a 165.2, 81.0 y 77.5 (ppmVol), respectivamente, con respecto a las mediciones estándar. La Figura 51 muestra una tasa decreciente significativa del 30% a una velocidad de 1000 rpm con una frecuencia de inyección de 30ms, mientras que la tasa de crecimiento más notable es de 27% a una velocidad de 3000 rpm y frecuencia de inyección de

40ms; esto en comparación a la medición inicial de 5 ms. Conjuntamente, al realizar una comparación se observa que a 1000, 2000 y 3000 RPM existe una desviación estándar con los valores de la implementación del sistema SCR de: 35.54, 5.83 y 7.86 (ppm/Vol.) respectivamente, apreciando que a 1000 RPM no existe mayor dispersión en los datos, debido a que existe datos dispersos a 30 y 50ms con valores de 165,2 y 173 (ppm/Vol.). Además, se analizó el promedio de los resultados con las diferentes frecuencias de inyección con los siguientes resultados. A 1000, 2000 y 3000 RPM se tiene valores de 213.95, 80.85 y 82.16 (ppm/Vol.) respectivamente, que al comparar con los resultados de las mediciones estándar podemos visualizar una reducción de 21.25, 5.45 y 0.33 (ppm/Vol.) a las velocidades antes mencionadas, señalando que a 1000 rpm existe una reducción del 29.79% de NOx.

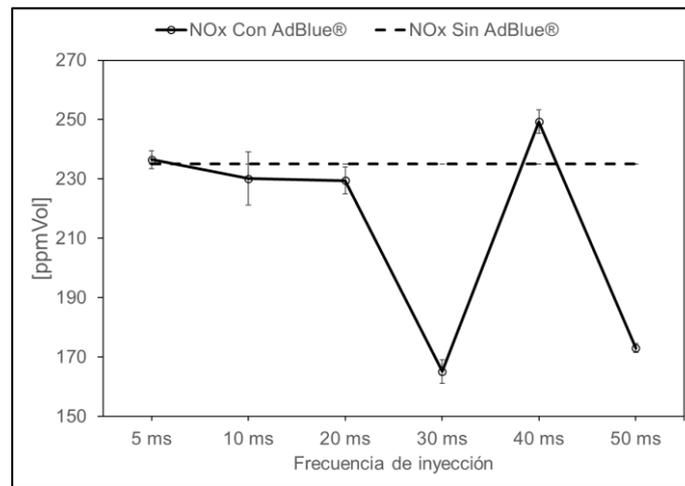


Figura 48. Emisiones de NOx a 1000 RPM, Mazda BT-50 Diésel

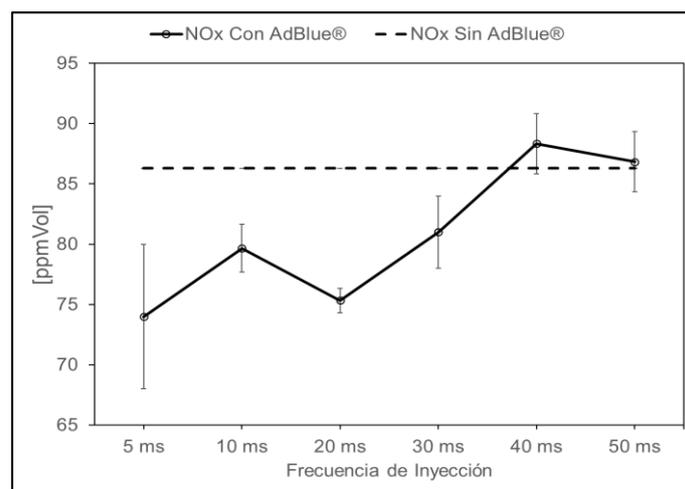


Figura 49. Emisiones de NOx a 2000 RPM, Mazda BT-50 Diésel

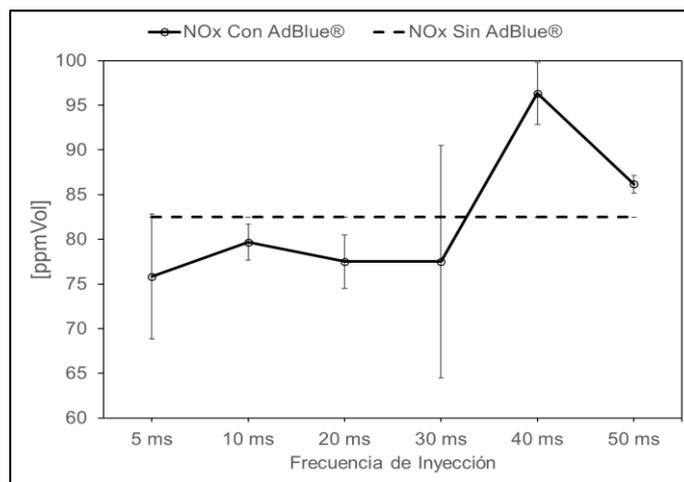


Figura 50. Emissiones de NOx a 3000 RPM, Mazda BT-50 Diésel

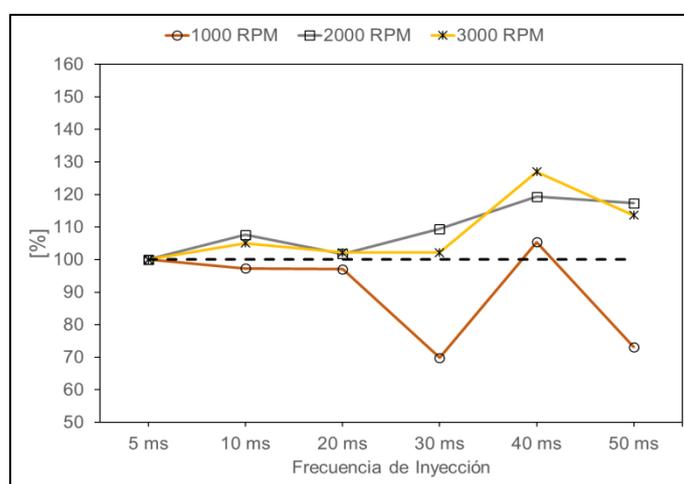


Figura 51. Porcentaje de emisiones de NOx a 1000, 2000 y 3000 RPM

b. Medición de O₂ (% Vol.)

Los promedios obtenidos de las mediciones de O₂ mostrados en la Tabla 17, se realizó con las frecuencias de inyección programadas y con la velocidad gobernada respectiva, el promedio se obtiene estadísticamente para conocer la veracidad de las mediciones tomadas en cada prueba, como muestra el Anexo A2.

Tabla 17.

Resultados de emisiones de O₂ en el vehículo Mazda BT-50 Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue

Frecuencia de inyección	O₂ (% Vol.)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar*	17,1	17,2	16,7
5 ms	17,1	17,1	16,7
10 ms	16,9	16,8	16,1
20 ms	16,9	16,9	16,1
30 ms	17,2	16,9	16,7
40 ms	17,5	17,3	16,5
50 ms	17,8	17,4	16,8

* Sin la implementación del sistema SCR

Independiente de que el Oxígeno (O₂) es un gas inocuo para el medio ambiente y las personas. Se realizó un análisis estadístico de las emisiones de O₂ a 1000, 2000 y 3000 RPM sin implementar el sistema SCR. Las unidades que regulan las emisiones de Oxígeno (O₂) están ajustados en base al porcentaje de volumen (%Vol.). Los resultados fueron los siguientes: 17.1, 17.2 y 16.7 (% Vol.), con respecto a las velocidades antes mencionadas, como se puede observar en las líneas entrecortadas de las Figuras 52, 53 y 54.

Los promedios de las emisiones de O₂, medidos con el sistema SCR implementado a las diferentes frecuencias de inyección son: 17.23, 17.06 y 16.48 (% Vol.) a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, lo que demuestra que posee una diferencia mínima en la variación del O₂ con los siguientes resultados: 0.13, 0.13 y 0.21 (% Vol.), con respecto a los valores medidos sin la implementación del sistema. Se puede observar en las Figuras 52, 53 y 54, que, al inyectar AdBlue, a una frecuencia de inyección de 50 ms y con velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM, las emisiones de O₂, aumentan a: 17.8, 17.4 y 16.8 (%Vol.), respectivamente, en comparación a las mediciones estándar siendo esta la más significativa. En la Figura 56, se muestra una tasa creciente de O₂ con los siguientes valores: 4.09, 2.05 y 0.20 %, con una frecuencia de inyección de 50 ms y a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM con respecto a la medición inicial del 5 ms; mientras que a una frecuencia de inyección de 10 ms se tiene valores de: 1.27, 1.47 y 3.6 % con las velocidades mencionadas anteriormente, demostrando una tasa de decrecimiento en el oxígeno. Esta comparación se la realizó con mediciones de 5ms.

Se obtiene la desviación estándar con los valores de la implementación del sistema SCR a las siguientes revoluciones de 1000, 2000, y 3000 RPM, con diferentes frecuencias de inyección y obteniendo valores de: 0.35, 0.24 y 0.31; evidenciando que existe uniformidad en los resultados.

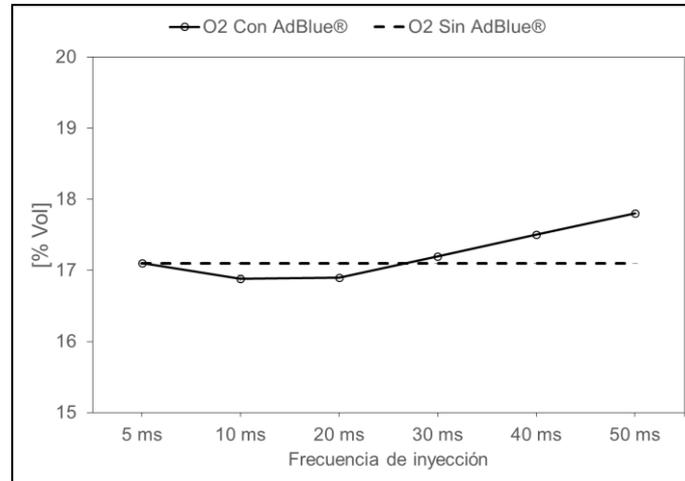


Figura 52. Emisiones de O₂ a 1000 RPM, Mazda BT-50 Diésel

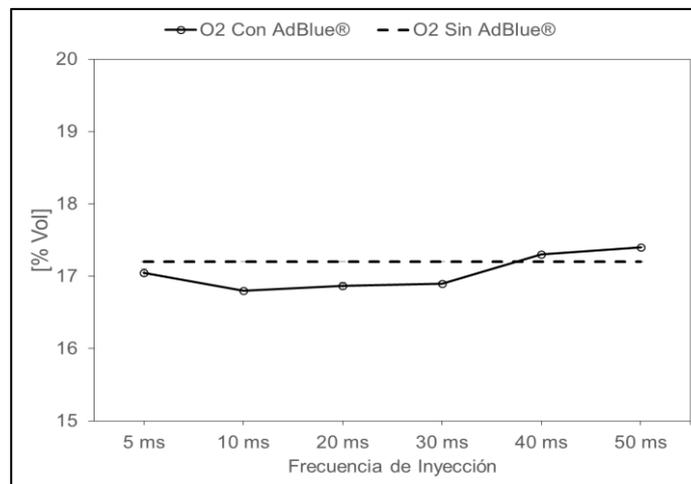


Figura 53. Emisiones de O₂ a 2000 RPM Mazda, BT-50 Diésel

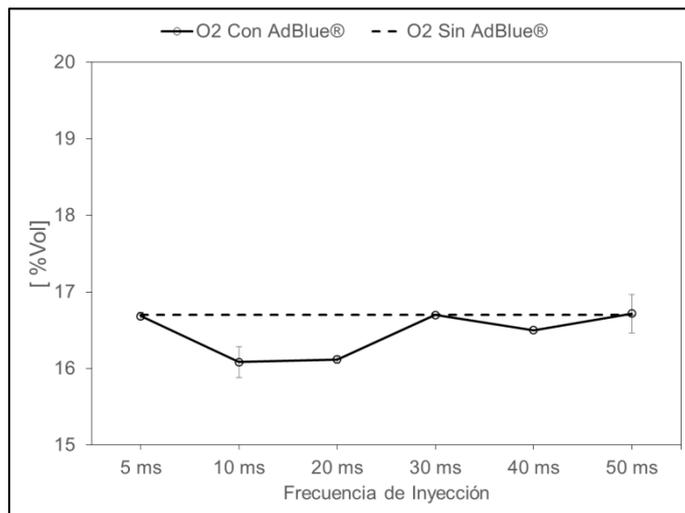


Figura 54. Emisiones de O₂ a 3000 RPM, Mazda BT-50 Diésel

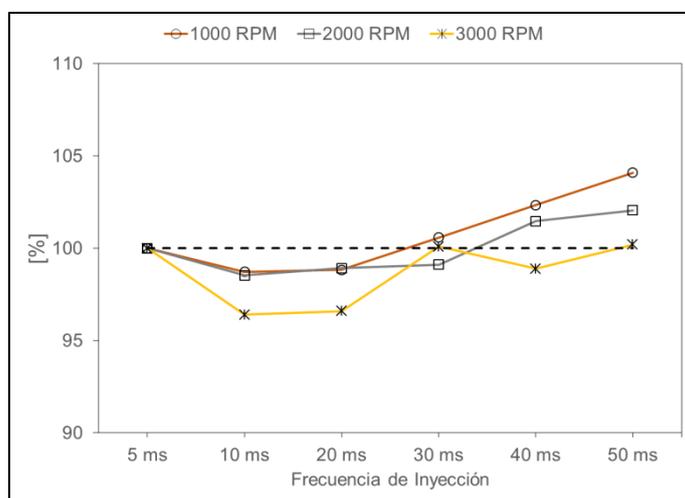


Figura 55. Porcentaje de emisiones de O₂ a 1000, 2000 y 3000 RPM

c. Medición de HC (ppmVol.)

Realizadas las pruebas se obtuvo los promedios de hidrocarburos (HC), a diferentes frecuencias de inyección y con las velocidades gobernadas respectivas, como se indica en la Tabla 18. El promedio de las mediciones se obtuvo estadísticamente como lo muestra en el Anexo A3.

Tabla 18.

Resultados de mediciones de HC en el vehículo Mazda BT-50 Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue

Frecuencia de inyección	HC (ppmVol.)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar*	0	0	18
5 ms	0	0,3	11
10 ms	0	0,2	16
20 ms	0	0,3	14
30 ms	0	0	24
40 ms	0	0	21
50 ms	0	0	18

* Sin la implementación del sistema SCR

Obtenidos los datos de hidrocarburos (HC) se analizó los resultados, sin la implementación del sistema SCR, y se tiene valores de: 0, 0 y 18 (ppmVol) a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, como se observa en las líneas entrecortadas de las Figuras 56, 57 y 58, de esta manera se concluyó que los residuos en ppm de HC en la mayoría de mediciones tiene un valor de 0 (ppm/Vol.). La Figura 59, muestra una tasa de crecimiento más significativa a una frecuencia de inyección de 30 ms con una velocidad de 3000 rpm, calculando un porcentaje de 114.71%, mientras que a frecuencias de: 30, 40 y 50 ms, se produce un decrecimiento de HC en un 100% a una velocidad de 1000 RPM, todo esto con respecto a la medición inicial de 5ms.

Mediante un análisis estadístico se obtuvo el promedio de los resultados de HC que son: 0, 0.13 y 17.33 (ppm/Vol.), con diferentes frecuencias de inyección y velocidades de: 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente. Al comparar los resultados se demostró que el promedio de mayor relevancia es a 1000 RPM con un valor de 0 (ppm/Vol.), con respecto al valor estándar de 15 (ppm/Vol.), esto se debe a que a bajas revoluciones no se generan los hidrocarburos no quemados por el tipo de combustión que se produce. Además, se observó que a 3000 RPM se generan partículas de HC con un promedio de 17.33 (ppm/Vol.). En un análisis más concreto se obtiene los valores de la desviación estándar de la implementación del sistema SCR, que se dan a diferentes frecuencias de inyección y con las velocidades antes mencionadas, estos resultados son: 0, 0.15 y 4.72, demostrando que a 1000 RPM existe mayor dispersión en los datos obtenidos debido a que todos los resultados a dicha revolución es 0 (ppm/Vol.).

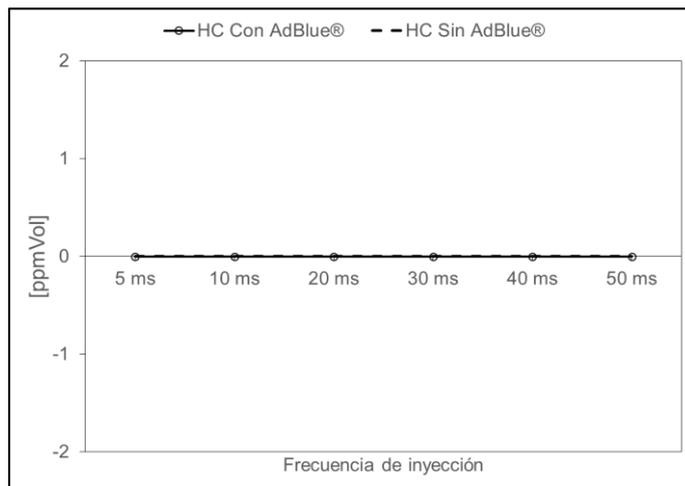


Figura 56. Emisiones de HC a 1000 RPM Mazda BT-50 Diésel

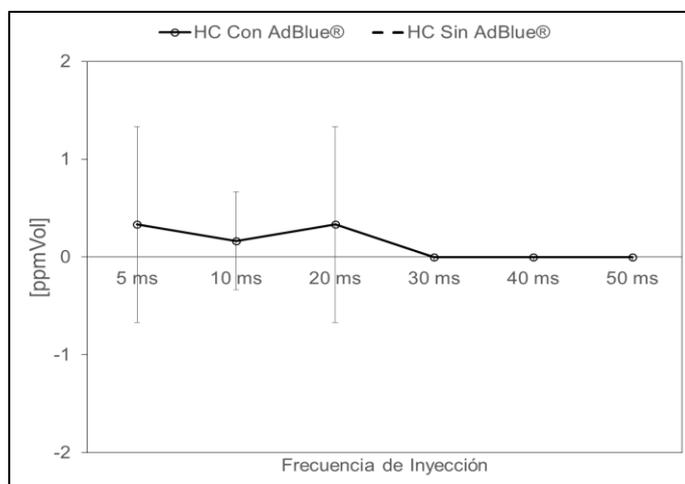


Figura 57. Emisiones de HC a 2000 RPM Mazda BT-50 Diésel

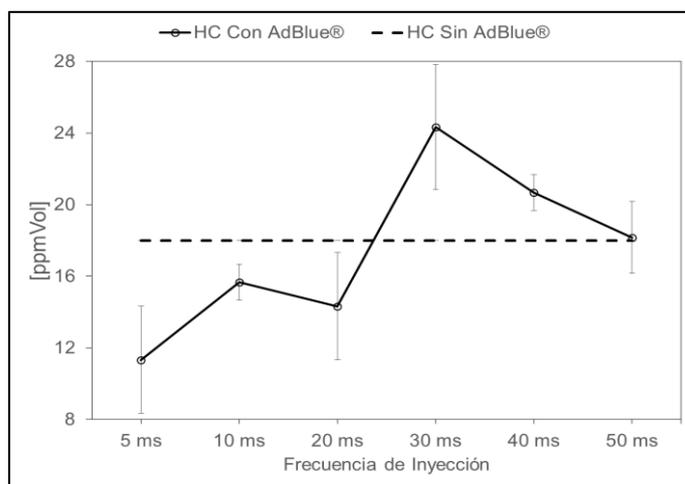


Figura 58. Emisiones de HC a 3000 RPM Mazda BT-50 Diésel

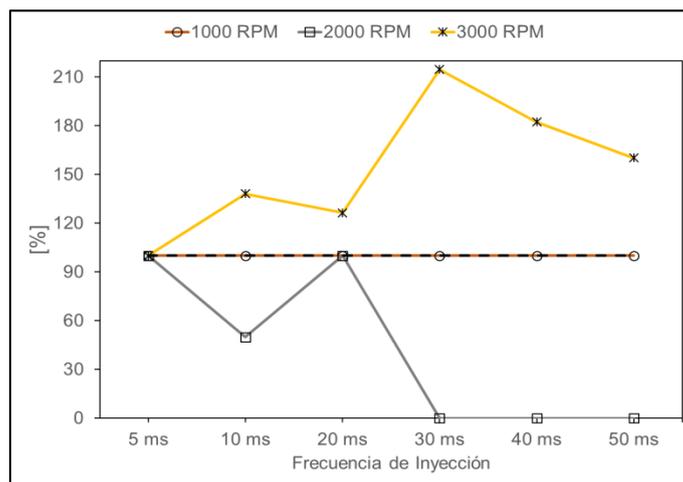


Figura 59. Porcentajes emisiones de HC a 1000, 2000 y 3000 RPM

d. Medición de CO₂ (% Vol.)

Los promedios obtenidos de las mediciones de CO₂ mostrados en la Tabla 19, se realizaron con las frecuencias de inyección programadas y la velocidad gobernada respectiva, el promedio se obtiene estadísticamente como se demuestra en el Anexo A4.

Tabla 19.

Resultados de mediciones de CO₂ en el vehículo Mazda BT-50 Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue

Frecuencia de inyección	CO ₂ (% Vol.)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar	2,4	2,7	2,7
5 ms	2,4	2,7	2,7
10 ms	2,5	3,0	3,0
20 ms	2,4	3,0	3,0
30 ms	2,4	2,8	2,8
40 ms	2,4	3,0	3,0
50 ms	0	0	3,0

* Sin la implementación del sistema SCR

En la Figuras 60, 61 y 62, las líneas entrecortadas muestran al dióxido de carbono CO₂ (%Vol.) en condiciones estándar, donde se observa que, a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM tiene valores de: 2.4, 2.7 y 2.7 (%Vol.) respectivamente. Estos datos se compararon con el promedio encontrado estadísticamente a diferentes frecuencias de inyección, obteniendo valores de: 2.01, 2.41 y 2.92 (%Vol.) de CO₂, encontrando una diferencia con la frecuencia de

inyección de 50 ms que posee los siguientes valores: 0, 0 y 3 (% Vol.), demostrando una disminución de CO₂ a 1000 y 2000 RPM; mientras que a 3000 RPM existe un aumento del 0.3 (% Vol.), estableciendo así que el sistema SCR a una frecuencia de 50 ms y a velocidades de 1000 y 2000 RPM funciona en óptimas condiciones, además ayuda en la disminución de contaminación ambiental. En la Figura 63 se muestra que el CO₂ a 1000, 2000 y 3000 RPM tiene una tasa creciente, a una frecuencia de 10 ms con porcentajes de: 3.45, 11.11 y 11.11% respectivamente, de acuerdo a la medición inicial de 5 ms.

Los valores de la desviación estándar de la implementación del sistema SCR son los siguientes: 0.99, 1.19 y 0.14 (% Vol.), a diferentes frecuencias de inyección, evidenciando que no existe una notable dispersión en los resultados de las emisiones de CO₂, a pesar de que a una frecuencia de 50 ms con revoluciones de 1000 y 2000 RPM se tiene resultados de 0 (% Vol.); además que a dicha frecuencia de inyección se puede establecer un valor mínimo de 0 (% Vol.), y 3 (% Vol.) como valor máximo a velocidades antes mencionadas.

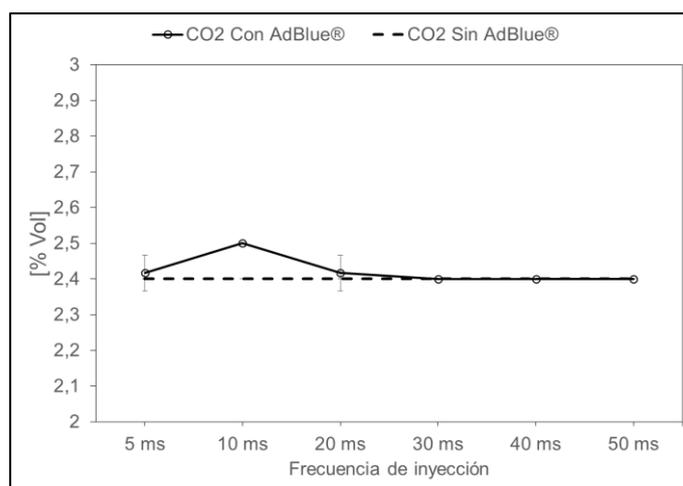


Figura 60. Emisiones de CO₂ a 1000 RPM Mazda BT-50 Diésel

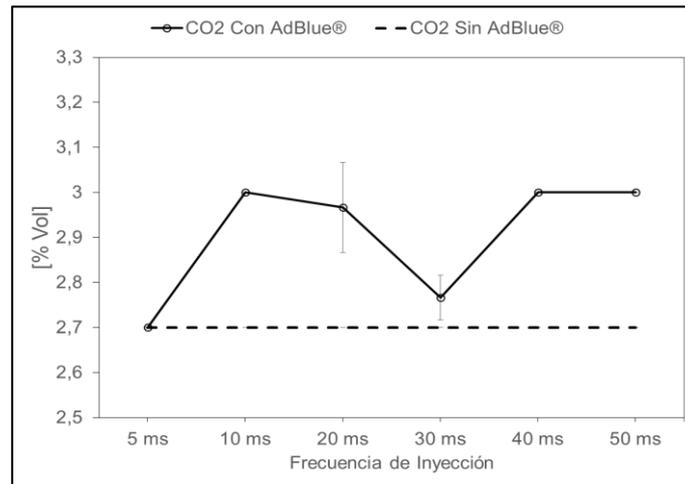


Figura 61. Emisiones de CO₂ a 2000 RPM Mazda BT-50 Diésel

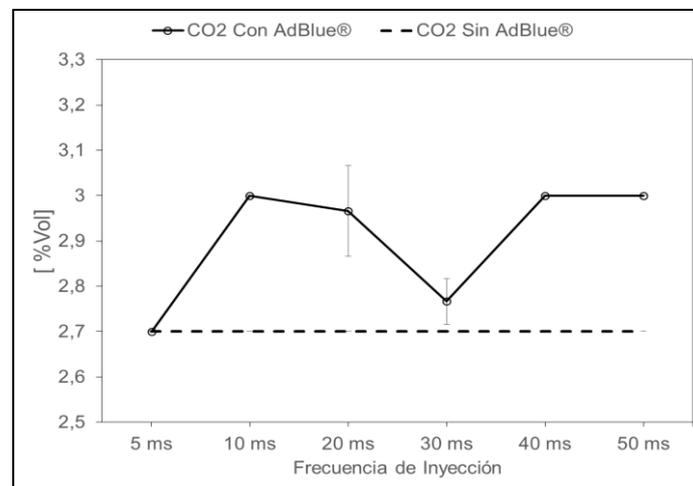


Figura 62. Emisiones de CO₂ a 3000 RPM Mazda BT-50 Diésel

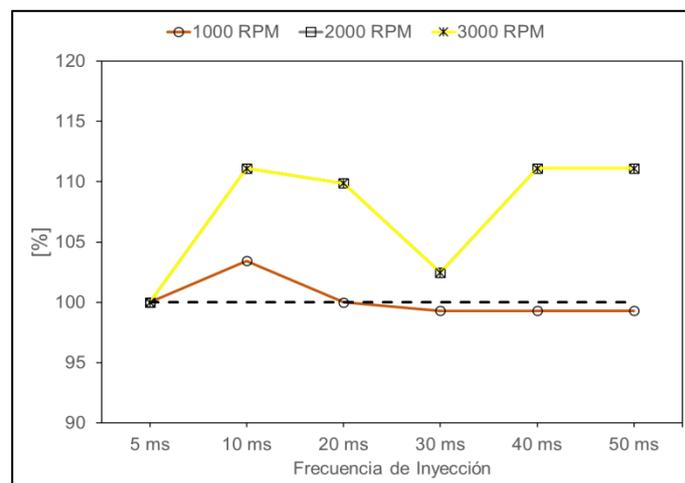


Figura 63. Porcentaje de emisiones de CO₂ a 1000, 2000 y 3000 RPM

e. Medición de CO (% Vol.)

Los promedios obtenidos de las mediciones de CO que se indican en la Tabla 20, se efectuaron con las frecuencias de inyección programadas y con la velocidad gobernada respectiva, el promedio se obtuvo estadísticamente como se presenta en el Anexo A5.

Tabla 20.

Resultados de mediciones de CO en el vehículo Mazda BT-50 Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue

Frecuencia de inyección	CO (% Vol.)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar*	0.09	0,11	0,17
5 ms	0.09	0,12	0,21
10 ms	0.09	0,11	0,16
20 ms	0.09	0,11	0,20
30 ms	0.05	0,12	0,25
40 ms	0.08	0,11	0,20
50 ms	0.05	0,11	0,20

* Sin la implementación del sistema SCR

En la Figura 64, 65 y 66 el monóxido de carbono (CO) se refleja en unidades de porcentaje de volumen (%Vol.), el cual a 1000, 2000 y 3000 RPM y con diferentes frecuencias de inyección se obtiene los siguientes promedios: 0.08, 0.11 y 0.20 (%Vol.), que tienen una variación mínima con los resultados de CO sin la implementación del sistema SCR obteniendo los siguientes valores: 0.09, 0.11 y 0.17 (%Vol.) como se visualiza en las líneas entrecortadas, encontrando una similitud del promedio a 1000 RPM respecto a la medición estándar, de igual manera a 2000 RPM existe un promedio de 0,11 (%Vol.), dónde existe una igualdad con el resultado de la medición estándar, mientras que a 3000 RPM se refleja un promedio de 0,21 (%Vol.), evidenciando una diferencia de 0,034 (%Vol.) con la medición estándar, en la Figura 67, se observa que a 1000 y 2000 RPM con frecuencias de 50 ms una reducción de porcentaje de CO de 44.44 y 11.27 %, de acuerdo a la medición inicial de 5 ms que representa el 100%, lo que no sucede a 3000 RPM ya que aumenta hasta un 58.06 % las emisiones de CO con respecto a la medición inicial de 5 ms.

Los resultados de la desviación estándar con la implementación del sistema SCR son los siguientes 0.02, 0.01 y 0.03 evidenciando que existe mayor dispersión en todos los resultados obtenidos, además se puede visualizar que a una frecuencia de inyección de 50 ms y una

velocidad de 1000 RPM consta el valor mínimo con 0.05 (%Vol.), mientras que a una frecuencia de 30 ms y una velocidad de 3000 RPM se encuentra el valor máximo de 0.25 (%Vol.), demostrando que el sistema SCR a bajas revoluciones trabaja efectivamente al contrario que a velocidades altas tiende a desprender mayores emisiones de CO.

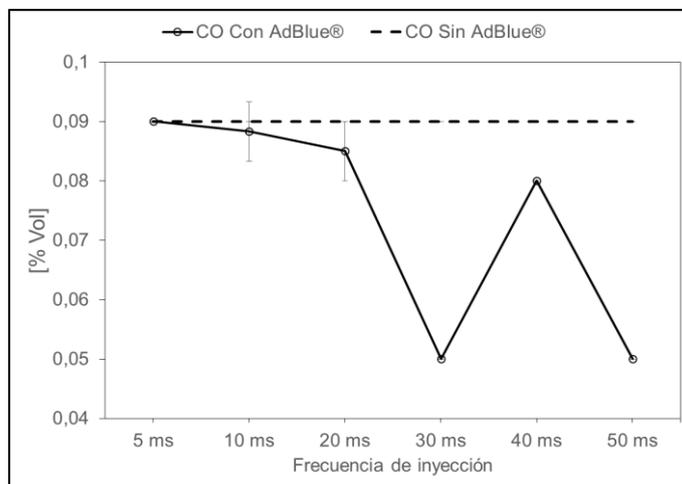


Figura 64. Emisiones de CO a 1000 RPM Mazda BT-50 Diésel

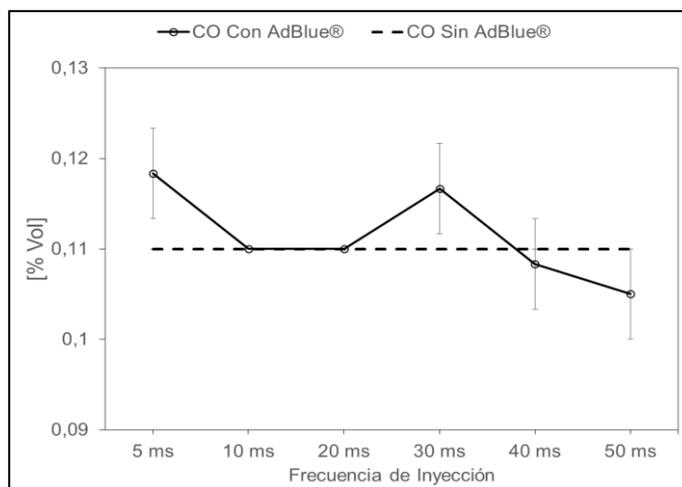


Figura 65. Emisiones de CO a 2000 RPM Mazda BT-50 Diésel

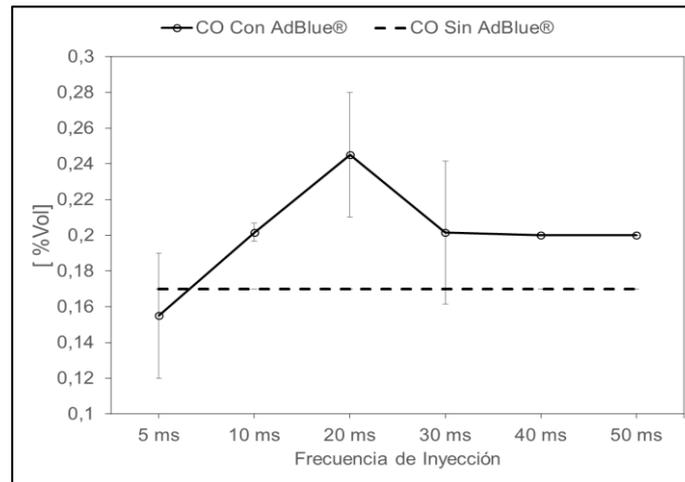


Figura 66. Emisiones de CO a 3000 RPM Mazda BT-50 Diésel

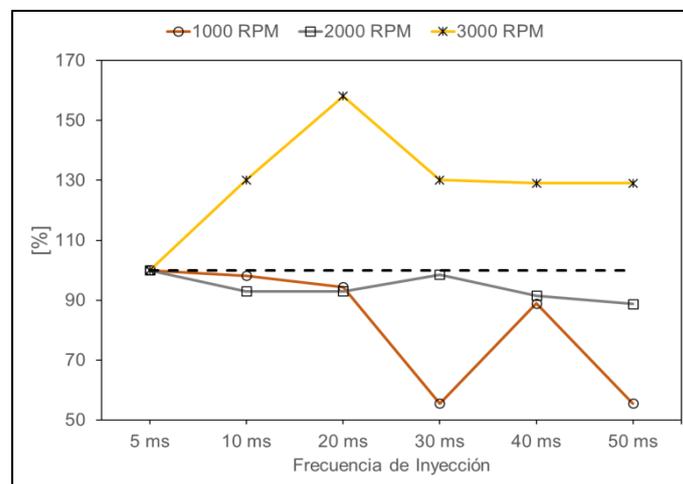


Figura 67. Porcentajes de emisiones de CO a 1000, 2000 y 3000 RPM

f. Medición de CO_{corr} (% Vol.)

En la Tabla 21 se muestra los resultados promedio de las mediciones de CO_{corr}, obtenidas con las frecuencias de inyección programadas y con la velocidad gobernada respectiva, el promedio se obtuvo estadísticamente como se presenta en el Anexo A6.

Tabla 21.

Resultados de mediciones de COcorr en el vehículo Mazda BT-50 Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue

COcorr (ppm Vol.)			
Frecuencia de inyección	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar*	0,54	0,65	0,90
5 ms	0,53	0,70	0,83
10 ms	0,54	0,63	0,95
20 ms	0,51	0,66	1,22
30 ms	0,32	0,69	1,19
40 ms	0,50	0,66	0,94
50 ms	0,33	0,66	0,95

* Sin la implementación del sistema SCR

Las Figuras 67, 68 y 69 muestran los resultados de monóxidos de carbono no diluidos (COcorr), las líneas entrecortadas muestran valores sin la implementación del sistema SCR, estas cantidades son: 0.54, 0.65 y 0.90 (ppm/Vol.), a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, se comparan con los promedios de COcorr encontrados estadísticamente a las velocidades antes mencionadas, los valores son los siguientes: 0.46, 0.67 y 1.01 (ppmVol.), de esta manera se encuentra una diferencia mínima con respecto a las mediciones estándar, en relación a los COcorr a una frecuencia de 30 ms, se encuentra diferencia a 1000 RPM ya que se reduce un valor de 0.22 (ppm/Vol.) respecto a la medición estándar, mientras que a velocidades de 2000 y 3000 RPM con relación a los valores estándar existe un aumento de COcorr en 0.04 y 0,29 (ppm/Vol.); la Figura 72, muestra variaciones porcentuales con respecto a la medición inicial de 5 ms que representa el 100%, demostrando que a una frecuencia de 50 ms y velocidad de 1000 RPM existe una tasa decreciente del 39%, mientras que a 2000 RPM y frecuencias de inyección de 40-50 ms se establece una tasa de reducción uniforme con un porcentaje de 5.26%, al contrario con la velocidad de 3000 RPM a una frecuencia de 20 ms existe una tasa de crecimiento del 47.09%.

En un análisis estadístico más puntual se obtiene los valores de la desviación estándar con la implementación del sistema SCR los cuales son: 0.10, 0.025 y 0.16 a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente con el sistema SCR implementado, dándose a notar que existe una dispersión mínima en los resultados de las emisiones de COcorr. También se puede señalar que el valor mínimo es a 1000 RPM a una frecuencia de 30 ms con una cantidad de 0.32

(ppm/Vol.); mientras que, el valor máximo de COcorr es a 3000 RPM a una frecuencia de 20 ms con un valor de 1.22 (ppm/Vol.).

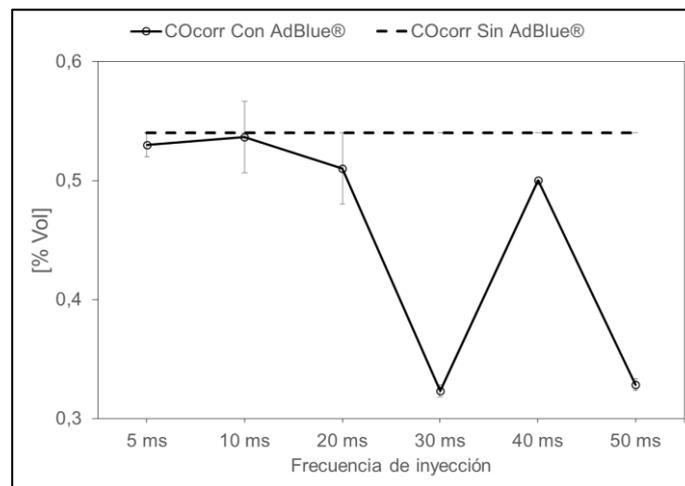


Figura 68. Emisiones de COcorr a 1000 RPM Mazda BT-50 Diésel

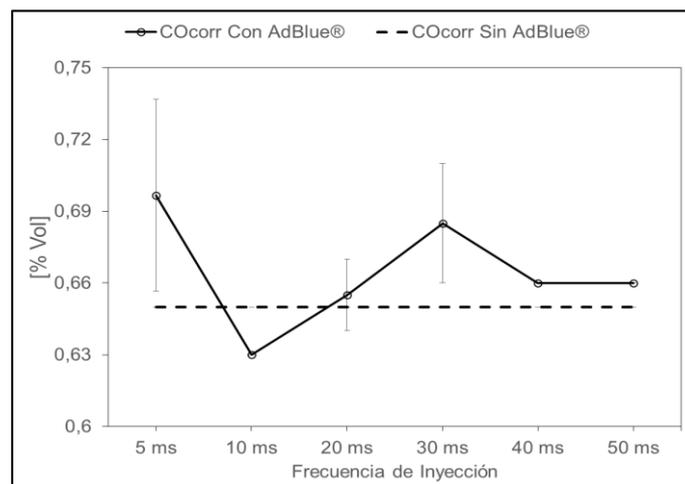


Figura 69. Emisiones de COcorr a 2000 RPM Mazda BT-50 Diésel

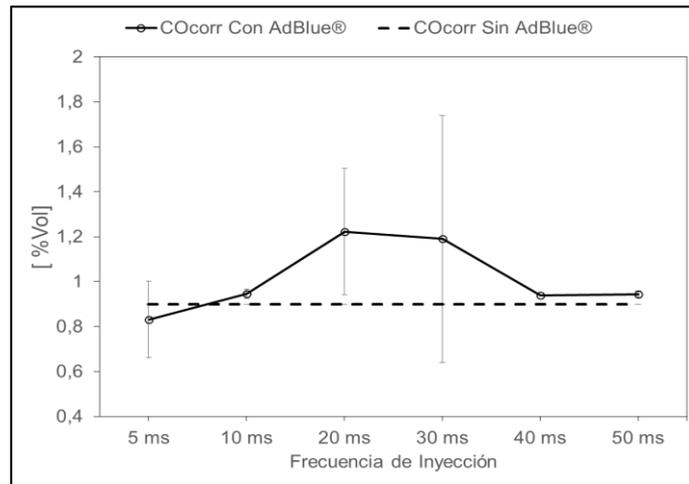


Figura 70. Emisiones de COcorr a 3000 RPM Mazda BT-50 Diésel

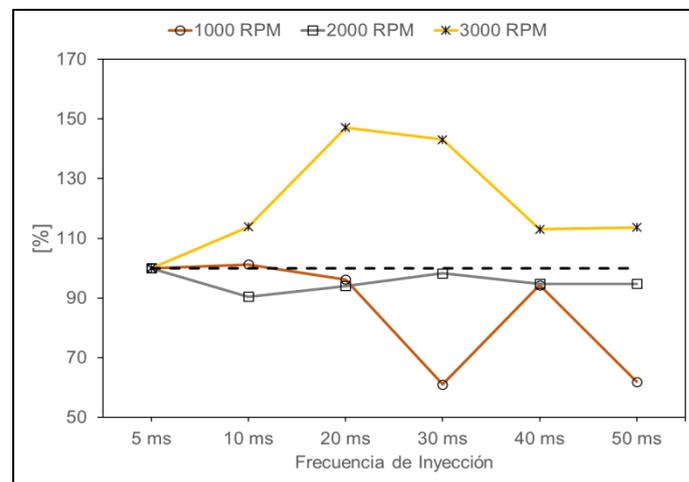


Figura 71. Porcentaje de emisiones de COcorr 1000, 2000 y 3000 RPM

4.1.2. Análisis de mediciones de emisiones en el vehículo a Gasolina

En el análisis de mediciones en el vehículo a gasolina se presenta los resultados tanto de las pruebas estándar y con la implementación del sistema SCR.

Se realizaron 6 mediciones en cada frecuencia de inyección y a una velocidad gobernada de 1000, 2000 y 3000 RPM. Los cambios de frecuencia se los realizó manualmente y se estableció la frecuencia de inyección más óptima para el funcionamiento del sistema.

Las 6 mediciones de emisiones de NO_x, O₂, HC, CO₂, CO, COcorr y Lambda, se describen en el Anexo B.

a. Mediciones de NO (ppm Vol.)

La Tabla 22, contiene los promedios de los resultados de las mediciones antes y después de implementar el sistema SCR a diferentes condiciones, como son la velocidad y la frecuencia de inyección de AdBlue en el escape; el promedio se obtuvo estadísticamente como se presenta en el Anexo B1.

Tabla 22.

Resultados de mediciones de NOx en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue

Frecuencia de inyección	NOx (ppmVol)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar*	19,67	0,0	0,0
5 ms	78,50	200,2	706,5
10 ms	147,50	244,8	519,2
20 ms	186,17	266,3	636,8
30 ms	48,50	150,0	654,2
40 ms	97,33	348,3	491,7
50 ms	277,00	132,0	688,0

* Sin la implementación del sistema SCR

La tasa de emisión de contaminantes de óxidos nitrosos (NOx) fueron regulados en unidades de partículas por millón sobre el volumen (ppm/Vol.). Las emisiones de NOx a 1000, 2000 y 3000 RPM sin implementar el sistema SCR son: 19.67, 0 y 0 (ppm/Vol.) respectivamente como se puede observar en las líneas entrecortadas de la Figura 72, 73 y 74. Las emisiones de NOx medidas con el sistema SCR implementado varían notablemente en comparación con los valores medidos sin la implementación del sistema. Se realizó un análisis estadístico con lo que se obtuvo el promedio de NOx generados por el vehículo diésel con la implementación del sistema a revoluciones gobernadas de 1000, 2000 y 3000 RPM, los resultados fueron: 139.16, 223.6 y 616.06 (ppm/Vol.). Demostrando una diferencia de: 119.16, 223.6 y 616.06 (ppm/Vol.) con respecto a las mediciones estándar.

Se puede observar en las Figuras 72, 73 y 74, que al inyectar AdBlue® a una frecuencia de inyección de 50 ms, a 1000, 2000 y 3000 RPM, las emisiones de NOx tienen una variación irregular de 277, 132 y 688 ppm/Vol., respectivamente, en comparación a la medición estándar; esto se debe a que el sistema no está diseñado para vehículos gasolina.

La Figura 75, muestra una tasa creciente con valores porcentuales significativos con relación a la medición inicial de 5 ms que representa el 100%. A una velocidad de 1000 RPM y frecuencia de inyección de 50 ms existe un aumento de NOx muy notable con un porcentaje de 252,87%, de igual manera a una velocidad de 2000 RPM y frecuencia de inyección de 40 ms una tasa porcentual creciente del 74.02%.

Los resultados de la desviación estándar con la implementación del sistema SCR son los siguientes 83.57, 80.22 y 89.53 con las velocidades gobernadas antes mencionadas, evidenciando que el sistema SCR posee efectos adversos, debido a que sus resultados son muy variables.

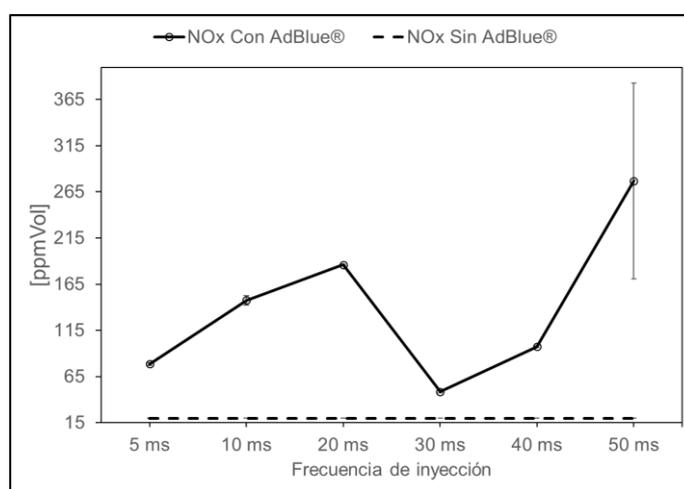


Figura 72. Emisiones de NOx a 1000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

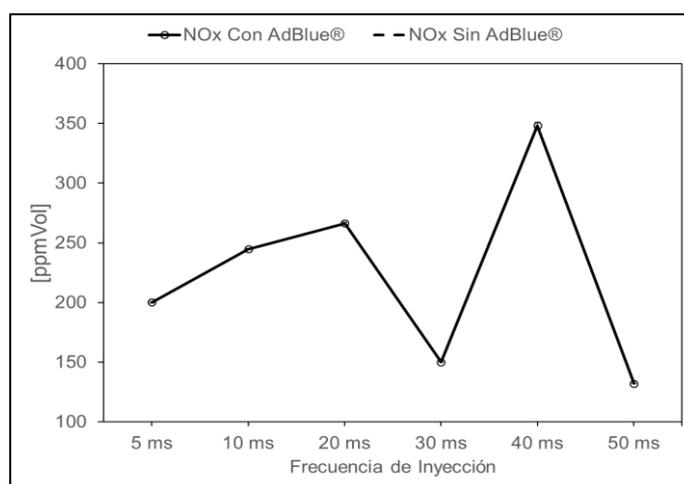


Figura 73. Emisiones de NOx a 2000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

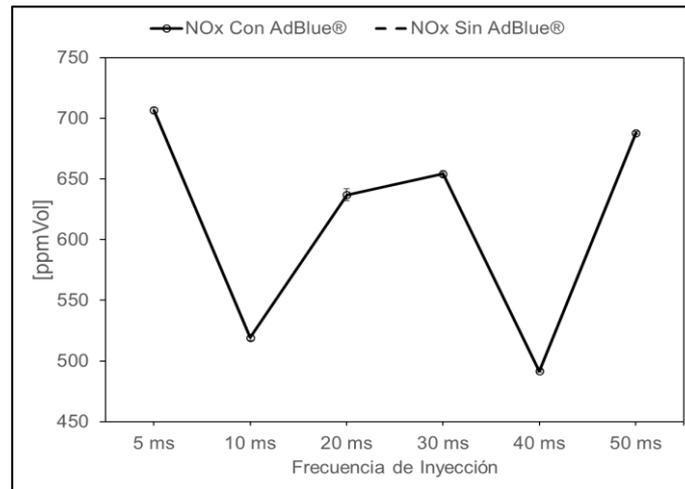


Figura 74. Emisiones de NOx a 3000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

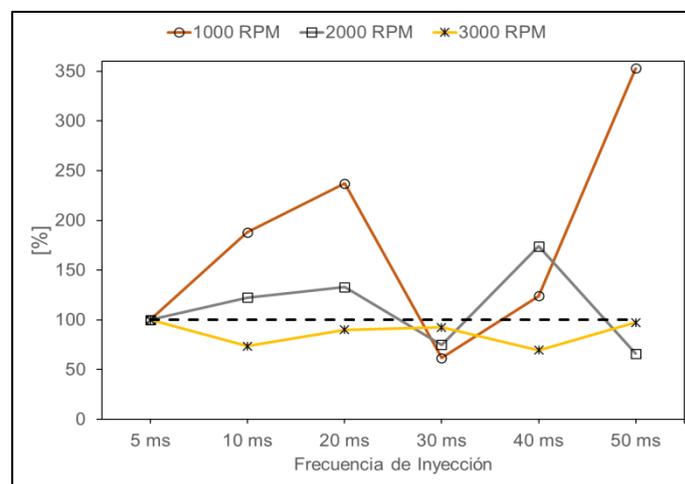


Figura 75. Porcentaje de emisiones de NOx a 1000, 2000 y 3000 RPM

b. Mediciones de O₂ (% Vol.)

Los resultados promedio obtenidos mostrados en la Tabla 23, sin la implementación del sistema SCR y con el sistema implementado se los realizó estadísticamente en el Anexo B2, para en lo posterior realizar un análisis individual del comportamiento del sistema en los vehículos gasolina.

Tabla 23.

Resultados de emisiones de O₂ en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.

Frecuencia de inyección	O₂ (% Vol.)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar*	0,22	0,15	0,13
5 ms	2,65	1,16	0,41
10 ms	2,95	1,16	0,41
20 ms	3,46	1,15	0,45
30 ms	3,79	1,15	0,42
40 ms	4,01	1,13	0,42
50 ms	4,19	1,12	0,41

* Sin la implementación del sistema SCR

Independiente de que el Oxígeno (O₂), es un gas inocuo para el medio ambiente y las personas. Se realizó un análisis estadístico de las emisiones de O₂ a 1000, 2000 y 3000 RPM sin implementar el sistema SCR. Las unidades que regulan las emisiones de Oxígeno (O₂) están ajustados en base al porcentaje de volumen (%Vol.). Los resultados fueron los siguientes: 0.22, 0.15 y 0.13 (%Vol.) sin la implementación del sistema, de acuerdo a las velocidades antes mencionadas, como se puede observar en las líneas entrecortadas de las Figuras 76, 77 y 78.

Los promedios de las emisiones de O₂ medidas con el sistema SCR implementado a las diferentes frecuencias de inyección son: 3.50, 1.15 y 0.42 (%Vol.) a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, lo que demuestra que posee una diferencia en la variación del O₂ con los siguientes resultados: 3.28, 1 y 0.29 (%Vol.), con respecto a los valores medidos sin la implementación del sistema. Se puede observar en las Figuras 76, 77 y 78, que, al inyectar AdBlue® a una frecuencia de inyección de 50 ms, a una velocidad de 1000 RPM, las emisiones de O₂, aumentan con un promedio de 3.5 (%Vol.), en comparación a las mediciones estándar, siendo esta la más significativa. En la Figura 79, se muestra una tasa porcentual de O₂ con los siguientes valores: 58.09, 0 y 2.85%, a una frecuencia de inyección de 50 ms y a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM con respecto a la medición inicial del 5 ms.

Se obtiene la desviación estándar de la implementación del sistema SCR a revoluciones de 1000, 2000, y 3000 RPM a diferentes frecuencias de inyección con los siguientes valores: 0.60, 0.01 y 0.02 evidenciando que existe homogenización en los resultados obtenidos.

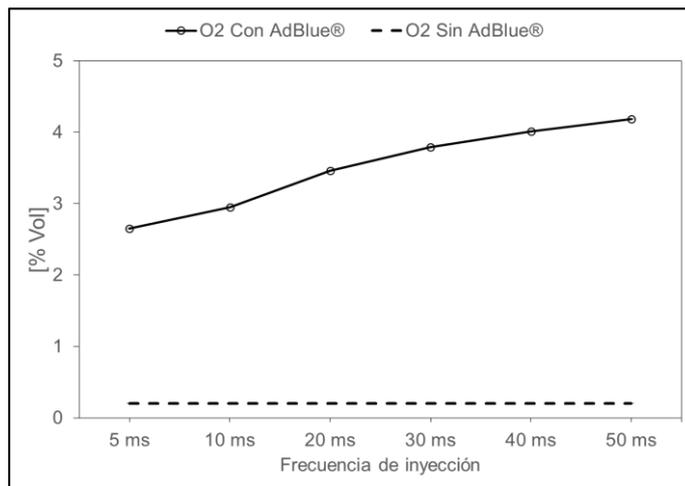


Figura 76. Emisiones de O₂ a 1000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

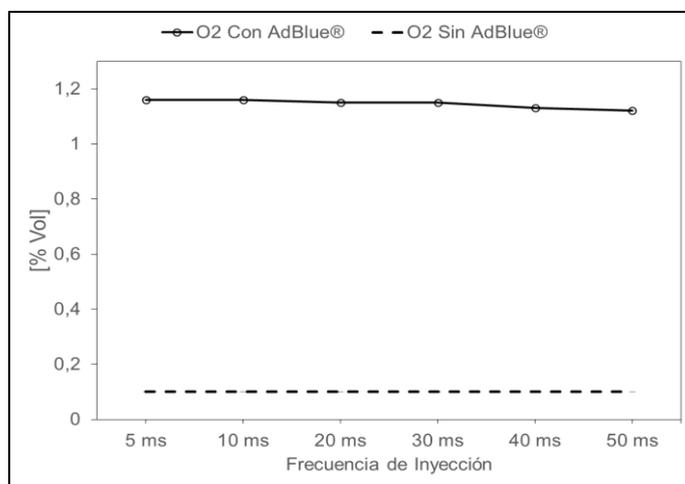


Figura 77. Emisiones de O₂ a 2000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

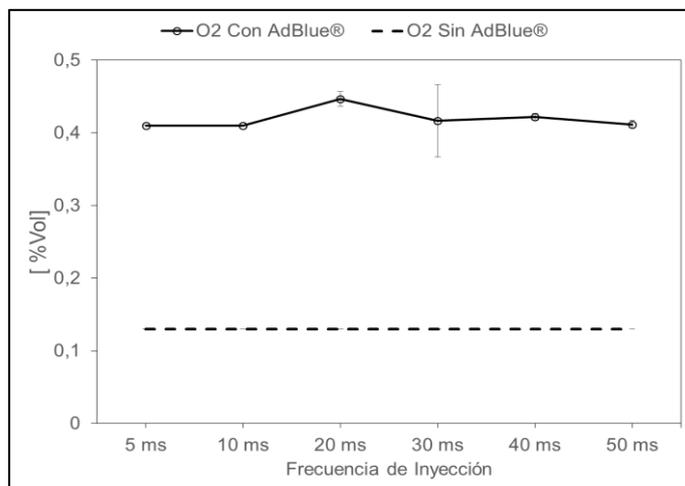


Figura 78. Emisiones de O₂ a 3000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

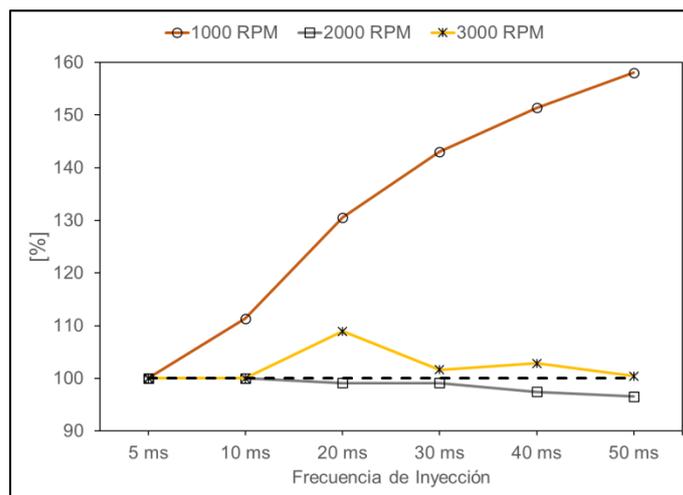


Figura 79. Porcentaje de emisiones de O₂ a 1000, 2000 y 3000 RPM

c. Mediciones de HC (ppm Vol.)

Ejecutadas las mediciones de emisiones se procede a sacar los promedios de hidrocarburos (HC), con las diferentes frecuencias de inyección y velocidades gobernadas respectivas como se muestra en la Tabla 24; el promedio se obtuvo estadísticamente como se presenta en el Anexo A6

Tabla 24.

Resultados de mediciones de HC en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.

Frecuencia de inyección	HC (ppm Vol.)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar*	13,3	8,5	10,7
5 ms	23,0	16,2	14,2
10 ms	32,7	19,0	14
20 ms	24,8	26,3	13,3
30 ms	41,2	35,2	11,8
40 ms	45,0	32,2	13,7
50 ms	47,8	29,2	12,7

* Sin la implementación del sistema SCR

Los hidrocarburos no combustiónados son gases muy perjudiciales para las personas y el ambiente, por lo que se realizó un análisis obteniendo los datos de (HC) sin la implementación del sistema SCR, de donde se tiene valores de: 13.3, 8.5 y 10.7 (ppm/Vol.) a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente como se observa en las líneas entrecortadas de las

Figuras 80, 81 y 82, de esta manera se concluye que los residuos en ppm de HC en la mayoría de mediciones aumenta considerablemente comparados con los promedios obtenidos estadísticamente a 1000, 2000 y 3000 RPM a diferentes frecuencias de inyección cuyos valores son: 35.75, 26.35 y 13.28 (ppm/Vol.). Además, se tiene una mayor incidencia a los 50 ms con los siguientes los valores: 47.8, 29.2 y 12,7 (ppm/Vol.) a 1000, 2000 y 3000 RPM con respecto las mediciones estándar.

Mencionando que el sistema SCR en el vehículo a gasolina tiene un impacto negativo debido al aumento considerable de HC.

La Figura 83, muestra la tasa de crecimiento a una frecuencia de inyección de 30 ms y una velocidad de 1000 rpm con un porcentaje 107.97% con respecto a la medición inicial de 5ms, mientras que a frecuencias de 50 ms se produce un aumento notable de HC en un 117.52% a una velocidad de 2000 RPM esto con respecto a la medición inicial de 5ms. Por lo contrario, a una frecuencia de inyección de 30 ms se observa un decrecimiento porcentual en las emisiones de HC con 16.48%.

En un análisis más concreto se obtiene los valores de la desviación estándar con la implementación del sistema SCR los cuales se dan a diferentes frecuencias de inyección y velocidades antes mencionadas, los resultados son 10.50, 7.45 y 0.9, demostrando que a 1000 RPM no existe mayor dispersión en los datos obtenidos, mientras que 3000 RPM se encuentran los datos menos dispersos.

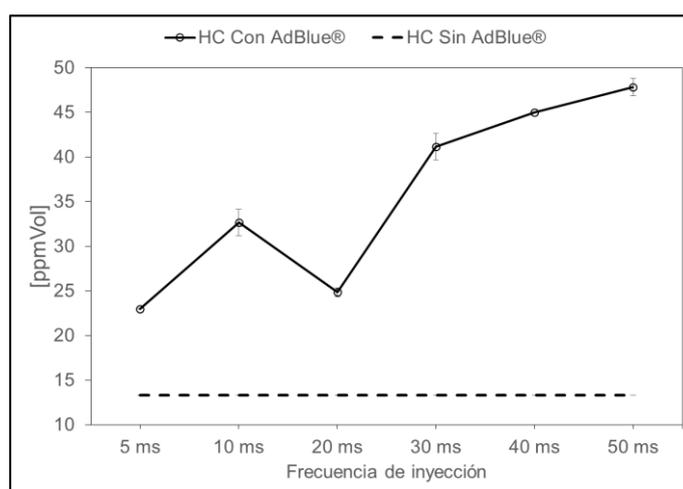


Figura 80. Emisiones de HC a 1000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

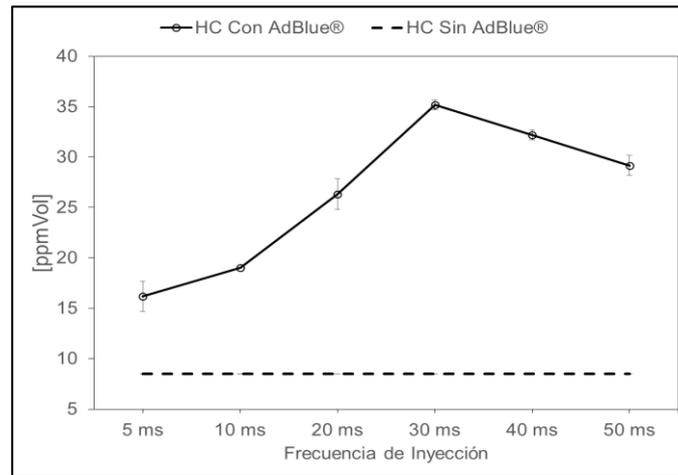


Figura 81. Emisiones de HC a 2000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

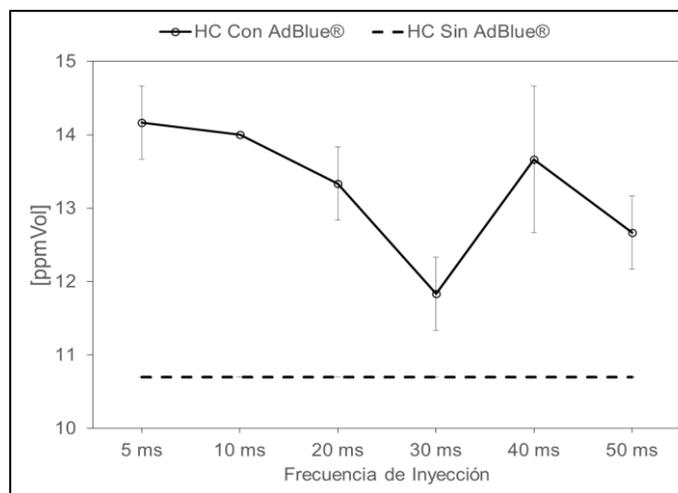


Figura 82. Emisiones de HC a 3000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

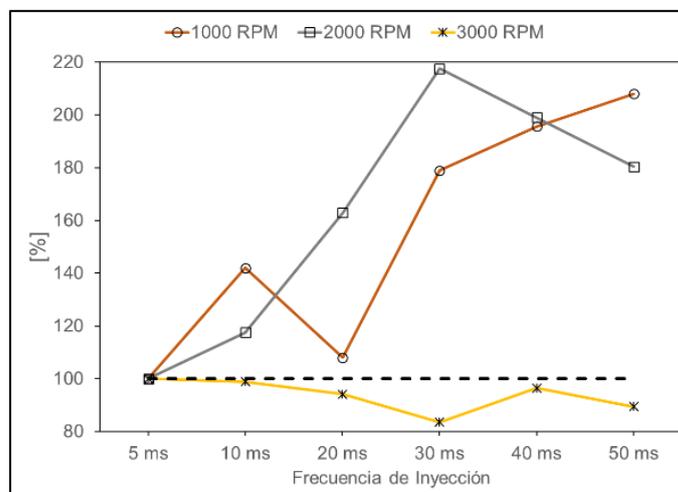


Figura 83. Porcentajes emisiones de HC a 1000, 2000 y 3000 RPM

d. Mediciones de CO₂ (% Vol.)

El promedio de mediciones de CO₂, efectuadas a diferentes pruebas de emisiones como se muestra en la Tabla 25, se obtiene con las diferentes frecuencias de inyección y con la velocidad gobernada respectiva, el promedio se obtuvo al realizar 6 ensayos de cada prueba, y posteriormente se obtiene estadísticamente como se presenta en el Anexo B4.

Tabla 25.

Resultados de mediciones de CO₂ en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.

Frecuencia de inyección	CO ₂ (% Vol.)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar*	14,5	14,9	14,8
5 ms	13,3	14,8	14,9
10 ms	15,3	16,1	14,7
20 ms	16,5	17,2	14,7
30 ms	16,8	19,3	14,8
40 ms	18,2	18,7	14,8
50 ms	17,7	17,4	14,8

* Sin la implementación del sistema SCR

Las Figuras 84, 85 y 86, las líneas entrecortadas muestran al dióxido de carbono CO₂ en unidades de (%Vol.) donde se observó que, a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM existen valores de: 14.5, 14.9 y 14.8 (%Vol.) respectivamente antes de implementar el sistema SCR, estos datos se compararon con el promedio encontrado estadísticamente a diferentes frecuencias de inyección, obteniendo valores de: 16.3, 17.25 y 14.78 (%Vol.) de CO₂.

Se encontró una diferencia en la frecuencia de inyección de 40 ms con los siguientes valores: 18.2, 18.7 y 14.8 (% Vol.), demostrando un aumento considerable a 1000 y 2000 RPM; mientras que a 3000 RPM existe una similitud en los resultados respecto a las mediciones estándar, estableciendo así que el sistema SCR con una frecuencia de 40 ms y a velocidades de 1000 y 2000 RPM produce un impacto nocivo al medio ambiente. En la Figura 87 se muestra que a 1000 y 2000 RPM existe una tasa porcentual de crecimiento del 26 y 30% de CO₂ en la frecuencia de 30 ms. Mientras que a 3000 RPM se mantiene uniforme la tasa porcentual de variación de CO₂ con un 0.94% con respecto la medición inicial de 5 ms.

Los valores de la desviación estándar con la implementación del sistema SCR son los siguientes 1.78, 1.65 y 0.07 (% Vol.), a diferentes frecuencias de inyección, evidenciando que no existe una notable dispersión en los resultados de las emisiones de CO₂, conjuntamente se concluye que a 3000 RPM existe una mayor dispersión, además se establece que a una frecuencia de inyección de 30 ms y velocidad de 2000 RPM el valor máximo es 19.3 (% Vol.), mientras que a una frecuencia de inyección de 5ms y velocidad de 1000 RPM el valor mínimo es de 13.3 (% Vol.).

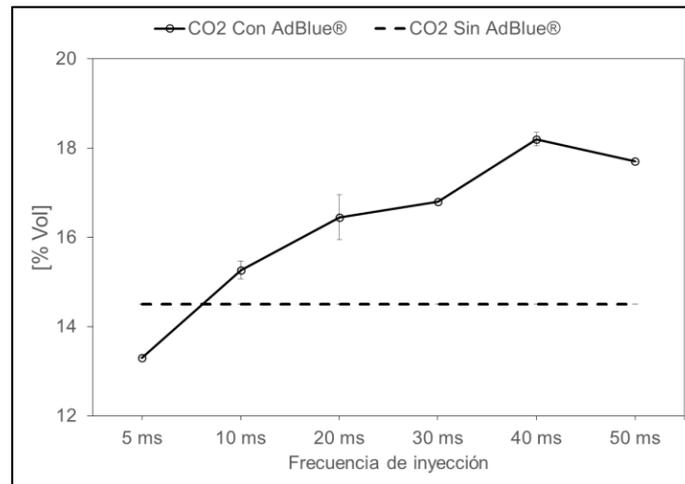


Figura 84. Emisiones de CO₂ a 1000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

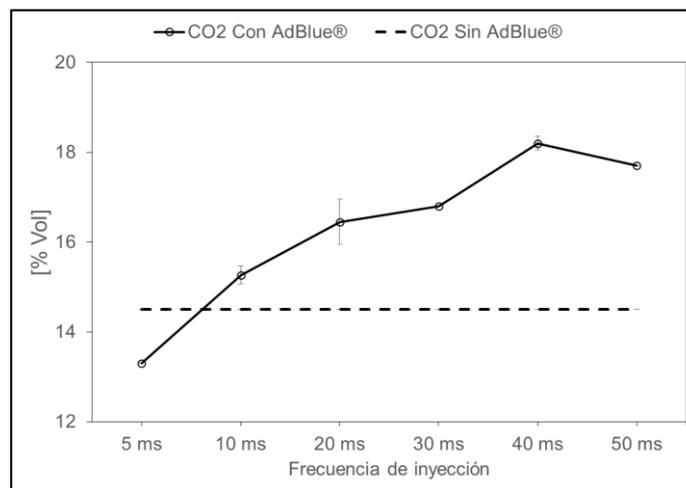


Figura 85. Emisiones de CO₂ a 2000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

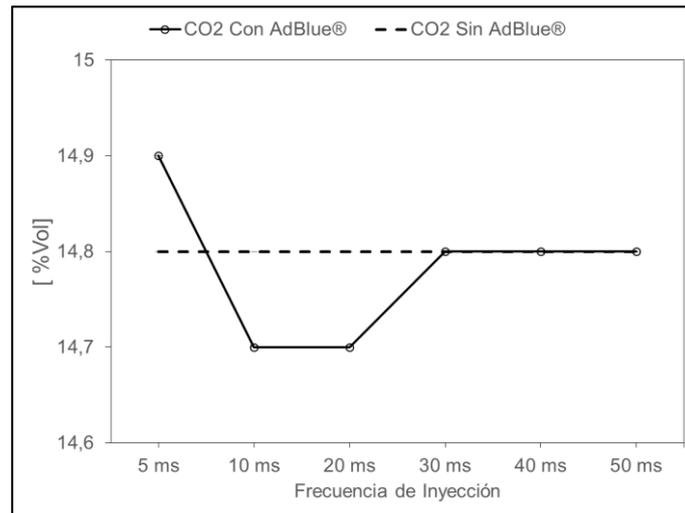


Figura 86. Emisiones de CO₂ a 3000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

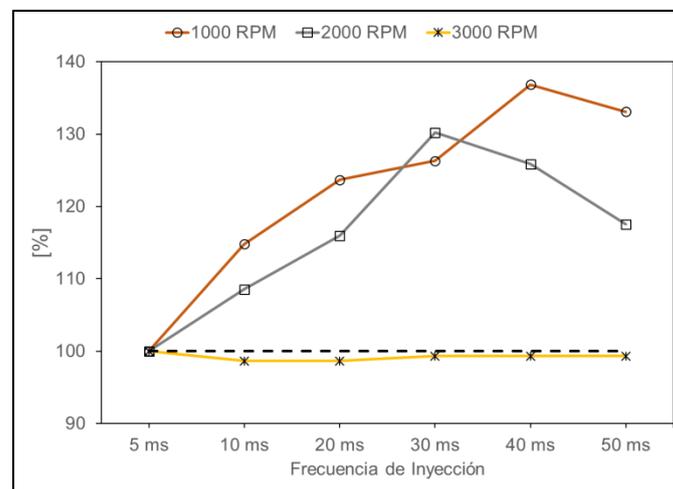


Figura 87. Porcentaje de emisiones de CO₂ a 1000, 2000 y 3000 RPM

e. Mediciones de CO (% Vol.)

Realizadas las pruebas se procede a sacar promedios de monóxido de carbono (CO) a diferentes frecuencias de inyección y con la velocidad gobernada respectiva como se muestra en la Tabla 26, el promedio se obtuvo estadísticamente de cada prueba como se refleja en el Anexo B5.

Tabla 26.

Resultados de mediciones de CO en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.

Frecuencia de inyección	CO (% Vol.)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar*	0,02	0,01	0,07
5 ms	0,02	0,05	0,08
10 ms	0,10	0,11	0,05
20 ms	0,18	0,11	0,07
30 ms	0,24	0,19	0,07
40 ms	0,27	0,25	0,09
50 ms	0,29	0,30	0,09

* Sin la implementación del sistema SCR

En las Figuras 88, 89 y 90 el monóxido de carbono (CO) se refleja en unidades de porcentaje de volumen (% Vol.), en el cual a 1000, 2000 y 3000 RPM a diferentes frecuencias de inyección existen los siguientes promedios: 0.18, 0.16 y 0.075 (% Vol.) que tiene una variación mínima con los resultados de CO sin la implementación del sistema con los siguientes valores: 0.02, 0.01 y 0.07 (% Vol.) como se visualiza en las líneas entrecortadas. Demostrando un aumento de 0.10 (% Vol.), en comparación con los parámetros de velocidad a 1000 y 2000 RPM, mientras que a 3000 RPM se refleja un promedio de 0,07 (% Vol.), evidenciando una similitud con respecto a la medición estándar. En la Figura 91 se muestra que a 1000, 2000 y 3000 RPM existe un aumento del: 60%, 76% y 1% de CO aplicando una frecuencia de 50 ms respecto a la medición inicial de 5 ms que corresponde al 100%.

Los resultados de la desviación estándar con la implementación del sistema SCR son los siguientes 0.10, 0.09 y 0.015 evidenciando que existe mayor dispersión en todos los resultados obtenidos, además se visualiza que a una frecuencia de inyección de 50 ms y una velocidad de 2000 RPM consta el valor máximo con 0.30 (% Vol.), mientras que a una frecuencia de 5 ms y una velocidad de 1000 RPM se encuentra el valor mínimo de 0.02 (% Vol.), demostrando que el sistema SCR a altas revoluciones trabaja efectivamente al contrario que a velocidades bajas tiende a desprender mayores emisiones de CO.

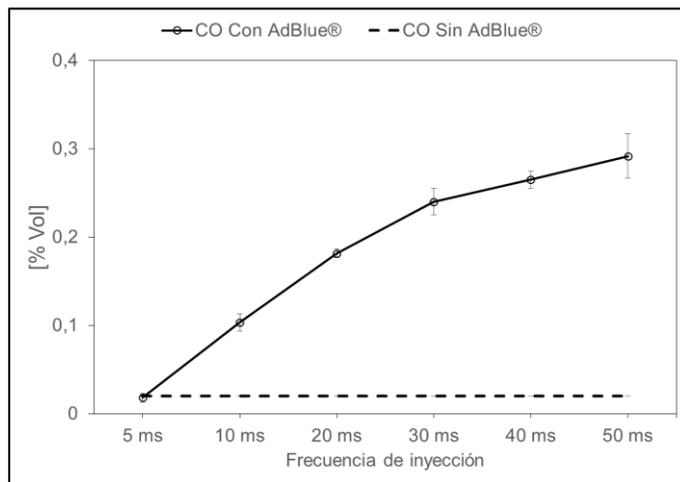


Figura 88. Emisiones de CO a 1000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

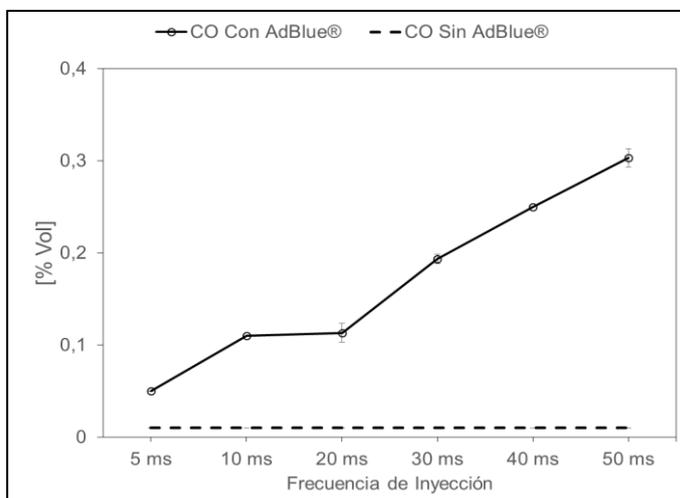


Figura 89. Emisiones de CO a 2000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

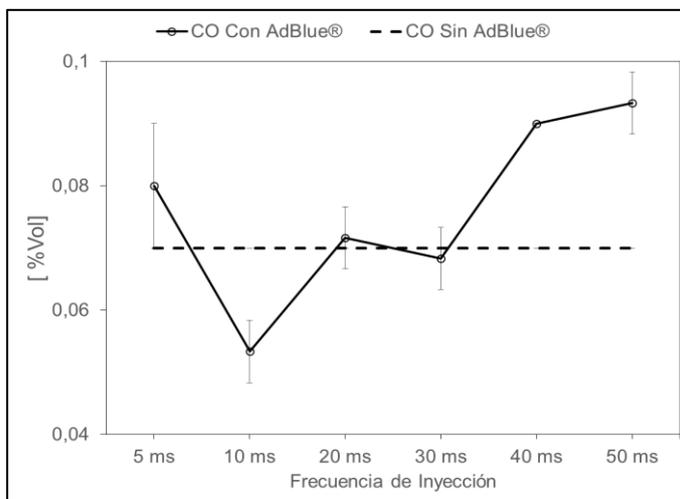


Figura 90. Emisiones de CO a 3000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

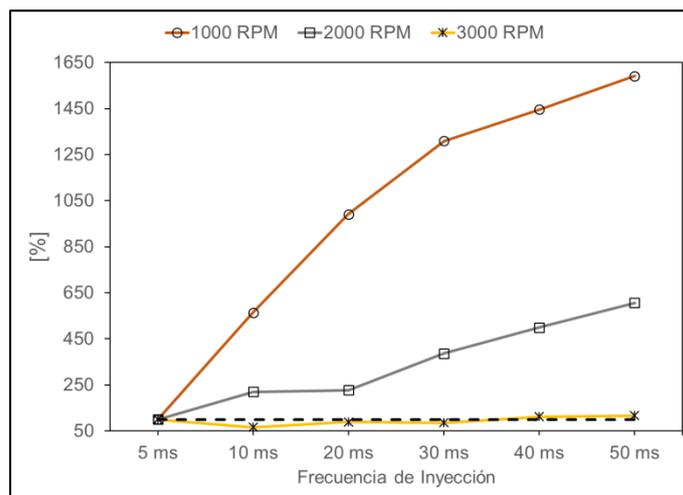


Figura 91. Porcentajes de emisiones de CO a 1000, 2000 y 3000 RPM

f. Mediciones de CO_{corr} (% Vol.)

Los resultados promedios obtenidos de las mediciones de CO_{corr} que se muestran en la Tabla 27, se efectuaron con las diferentes frecuencias de inyección y velocidades gobernadas respectivas, el promedio se obtuvo estadísticamente como presenta en el Anexo B6.

Tabla 27.

Resultados de mediciones de CO_{corr} en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.

Frecuencia de inyección	CO _{corr} (ppm Vol.)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar*	0,01	0,01	0,07
5 ms	0,04	0,04	0,08
10 ms	0,06	0,07	0,12
20 ms	0,09	0,11	0,15
30 ms	0,11	0,13	0,15
40 ms	0,12	0,12	0,15
50 ms	0,12	0,14	0,14

* Sin la implementación del sistema SCR

Las Figuras 92, 93 y 94 muestran los resultados de monóxidos de carbono no diluidos (CO_{corr}), las líneas entrecortadas son valores sin la implementación del sistema SCR, estas cantidades son: 0.01, 0.01 y 0.07 (ppm/Vol.), a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente. Se analizaron con los promedios de CO_{corr} encontrados estadísticamente a las velocidades antes mencionadas, obteniendo los siguientes valores: 0.09, 0.10 y 0.13

(ppmVol.), de esta manera se encuentra una diferencia mínima con respecto a las mediciones estándar.

En relación a los COcorr a una frecuencia de 50 ms, se encuentra diferencia a 1000, 2000 y 3000 RPM, ya que aumenta los valores de COcorr con diferencias de: 0.11, 0.13 y 0.07 (ppm/Vol.) con respecto a las mediciones estándar. La Figura 95 muestra variaciones porcentuales con respecto a la medición inicial de 5 ms que representa el 100%, demostrando que, a una frecuencia de 50 ms y velocidad de 1000, 2000 y 3000 RPM existe una tasa creciente del: 250, 180 y 66% respectivamente.

En un análisis estadístico más puntual se obtuvo valores de la desviación estándar con la implementación del sistema SCR los cuales son: 0.03, 0.04 y 0.03 a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente con el sistema SCR implementado, dándose a notar que existe una dispersión mínima en los resultados de las emisiones de COcorr. También se puede señalar que el valor mínimo es a 1000 RPM a una frecuencia de 5 ms con una cantidad de 0.04 (ppm/Vol.); por lo contrario, el valor máximo es a 3000 RPM con una frecuencia de 20 y 30 ms y un valor de 0.15 (ppm/Vol.).

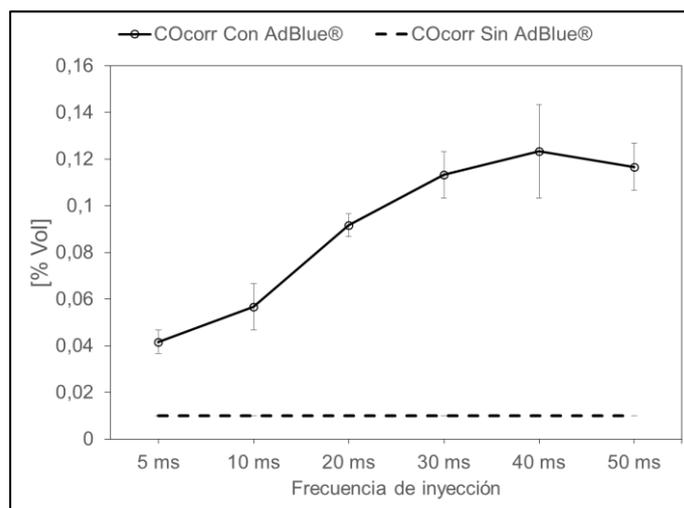


Figura 92. Emisiones de COcorr a 1000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

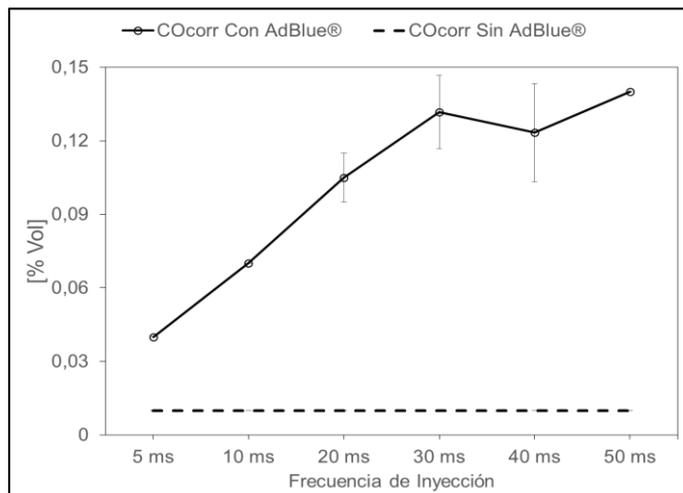


Figura 93. Emisiones de COcorr a 2000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

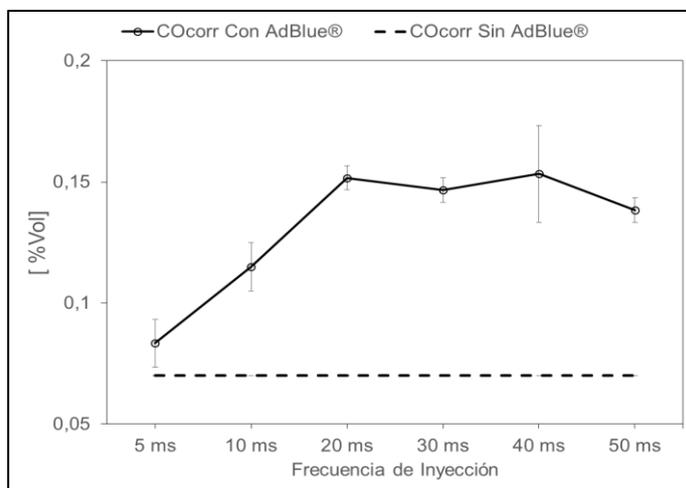


Figura 94. Emisiones de COcorr a 3000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

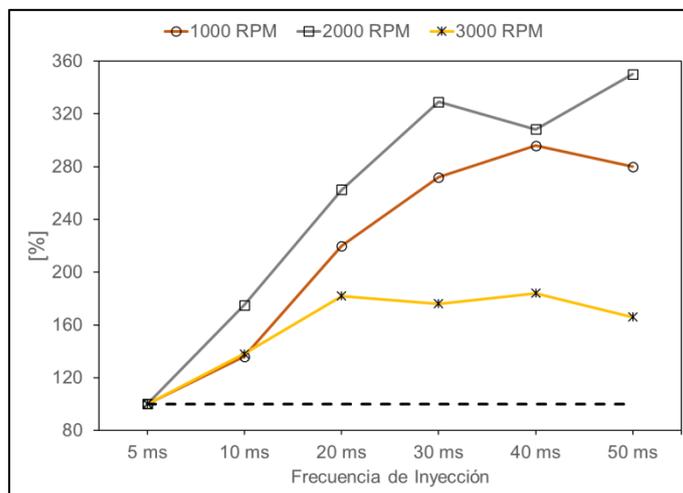


Figura 95. Porcentaje de emisiones de COcorr 1000, 2000 y 3000 RPM

g. Mediciones de Lambda (-)

La Tabla 28, presenta los promedios de las mediciones de Lambda realizadas con cada una de las frecuencias de inyección programadas y con la velocidad gobernada respectiva, este promedio se obtuvo estadísticamente de las mediciones tomadas como se indica en el Anexo B7.

Tabla 28.

Resultados de mediciones de Lambda en el vehículo Mazda BT-50 Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.

Frecuencia de inyección	Lambda (-)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar*	1,01	1,01	1,00
5 ms	1,14	1,05	1,02
10 ms	1,17	1,05	1,02
20 ms	1,15	1,04	1,02
30 ms	1,18	1,04	1,03
40 ms	1,19	1,04	1,02
50 ms	1,23	1,06	1,04

* Sin la implementación del sistema SCR

Las Figuras 96, 97 y 98 muestran los resultados del valor de lambda dichos resultados son muy particulares en vehículos gasolina los cuales indican la homogeneidad en la mezcla en el proceso de combustión, para lo cual sin la implementación del sistema SCR se obtuvo los siguientes valores de: 1.01, 1.01 y 1 como se pueden observar en las líneas entrecortadas de las figuras a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM, estos valores son comparados con la frecuencia de inyección de más incidencia la cual es 50 ms que tiene las siguientes mediciones: 1.23, 1.06 y 1.04 con las velocidades antes mencionadas, además con la implementación del sistema SCR se calculó estadísticamente los promedios de lambda que son: 1.17, 1.04 y 1.025 a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, que al ser comparadas con las mediciones estándar se demostró un crecimiento mínimo en el valor de lambda.

Evidenciando que el valor de lambda en la Figura 99, tiene una tasa de crecimiento con respecto a la medición de 5 ms que representa el 100%, se tiene los siguientes valores: 7.86, 2.96 y 0.93% y a una frecuencia de inyección de 50 ms y con velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM. Los resultados de la desviación estándar con la implementación del sistema SCR son: 0.03, 0 y 0, demostrando una dispersión mínima en los resultados del valor lambda.

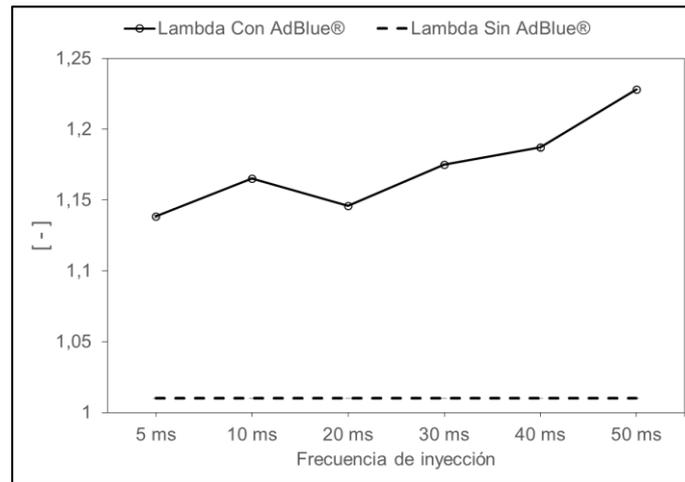


Figura 96. Emisiones de Lambda a 1000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

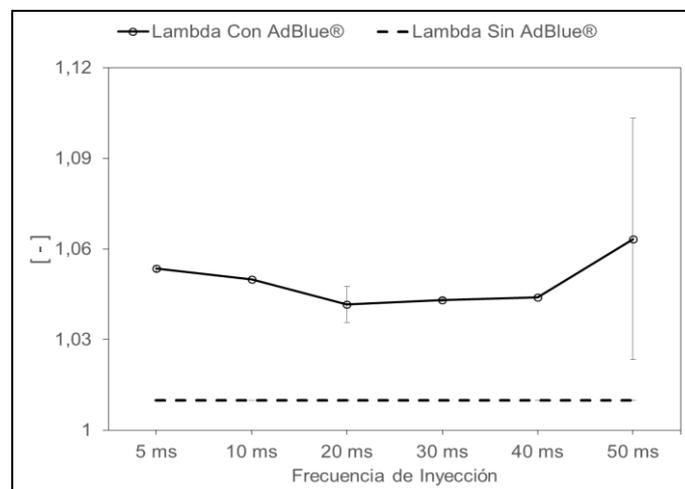


Figura 97. Emisiones de Lambda a 2000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

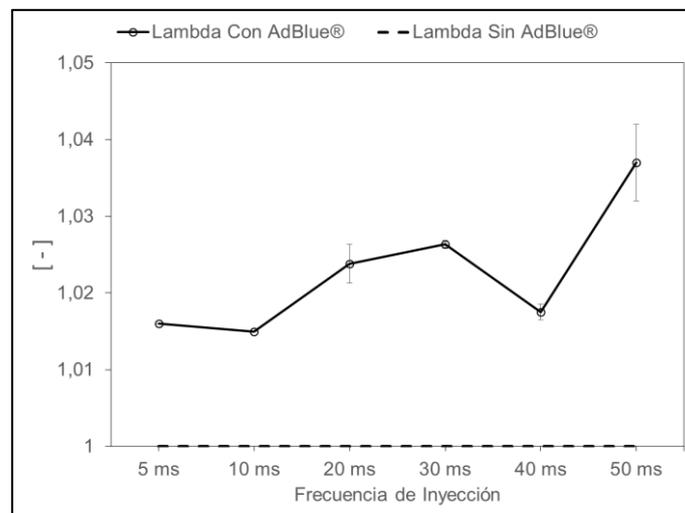


Figura 98. Emisiones de Lambda a 3000 RPM Mazda BT-50 Gasolina

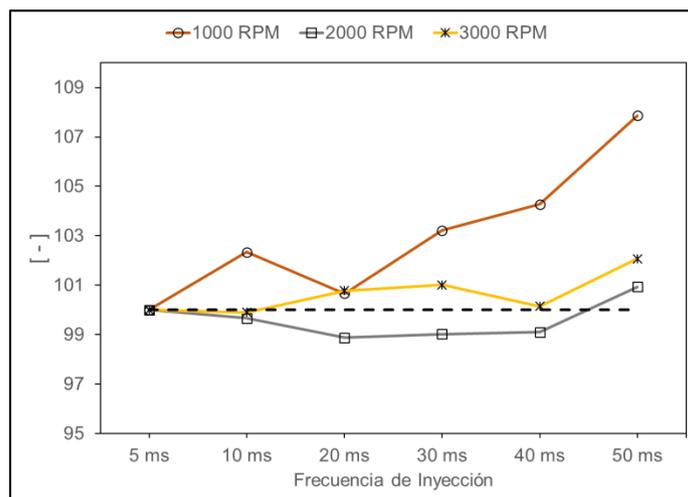


Figura 99. Porcentaje de emisiones de Lambda 1000 2000 y 3000 RPM

4.2. Opacidad

Para obtener las mediciones de opacidad se realizaron tanto con el sistema de escape en su forma original y con la implementación del sistema SCR.

Luego de la implementación del sistema SCR se realizó la programación del módulo, con la frecuencia de inyección de AdBlue deseada a 5, 10, 20, 30, 40 y 50 (ms), comparando con los valores de opacidad de la norma NTE INEN 2207 y los límites de Opacidad de nuestro equipo de medición.

El equipo realizó cuatro mediciones que consisten en la auto calibración y 3 pruebas de mediciones una a continuación de la otra, como se indica en la Figura 100 de las cuales se obtuvo el promedio para determinar el resultado de la opacidad, con lo cual el equipo determina si la prueba es aprobada, rechazada o anulada.

DATOS DEL CLIENTE		DATOS DEL VEHICULO	
NOMBRE:	WILLIAM	PLACA:	XEC1018
APELLIDO:	DORADO	MODELO:	2009
IDENTIFICACION:	0401639790	MARCA:	MAZDA
		LINEA:	BT50
		NUMERO DE MOTOR:	
		VIN:	8LFUNV0W0SN000332
		DIAM EXHOSTO:	63.00
PRUEBA ENSAYO:	2.15 %	DISPOSITIVO DE MEDICION	8181
PRUEBA 1:	2.37 %	RPM RALENTI	760 RPM
PRUEBA 2:	2.60 %	RPM GOBERNADA	4513 RPM
PRUEBA 3:	3.71 %	TEMPERATURA DE OPACIDAD:	0 °
OPACIDAD:	2.89 %	NORMA	
FECHA Y HORA DE LA PRUEBA:	3/14/2018 11:00:37	OPACIDAD LIMITE:	15.00 %
		MOTIVO:	
		RESULTADO:	APROBADA
OPERARIO RESPONSABLE: _____			
QUIROZ			

Figura 100. Informe de Opacidad en el vehículo Mazda BT-50 Diésel

A continuación, se muestran los valores de los resultados de la opacidad de las pruebas estándar y con la implementación del sistema SCR respectivamente, para que de esta manera los datos puedan ser comparados.

4.2.1. Análisis de mediciones de opacidad

Los resultados promedio de la prueba de opacidad se observa en la Tabla 29, en la cual contiene los valores estándar y los valores medidos a diferentes frecuencias de inyección. Las mediciones efectuadas se realizaron según el protocolo de pruebas NTE INEN 2207:2000, para posteriormente analizar estadísticamente los resultados obtenidos.

Tabla 29.

Mediciones de Opacidad en el vehículo Mazda BT-50 Diésel, implementado el sistema SCR con inyección AdBlue.

	Ensayo	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Opacidad
Estándar*	0,93	2,13	2,14	2,52	2,26
5	0,93	2,13	2,14	2,52	2,26
10	2,15	2,37	2,6	3,71	2,89
20	2,22	2,44	3,22	3,86	3,17
30	1,86	2,71	3,4	3,82	3,31
40	1,86	2,86	3,72	3,8	3,46
50	2,14	3,05	3,83	3,97	3,61

* Sin la implementación del sistema SCR

Los valores de opacidad se incluyen en la Figura 101, que muestra el porcentaje de absorción de luz [%]. Esta vez, se observó un aumento en el porcentaje de opacidad cuando se implementa el sistema SCR y cuando la frecuencia de inyección aumenta (hasta 3.1% en comparación con un valor de opacidad de 2.2% sin el sistema SCR implementado).

El valor de opacidad más bajo se registró cuando el sistema tenía una frecuencia de inyección de AdBlue de 5 ms dependiendo de la temperatura del catalizador, mostrando una opacidad resultante del 2,2%, y se puede ver una opacidad creciente como una función de la frecuencia de inyección. Cuando se utilizan diferentes frecuencias de inyección, la opacidad aumenta hasta un valor no superior al 3,1%.

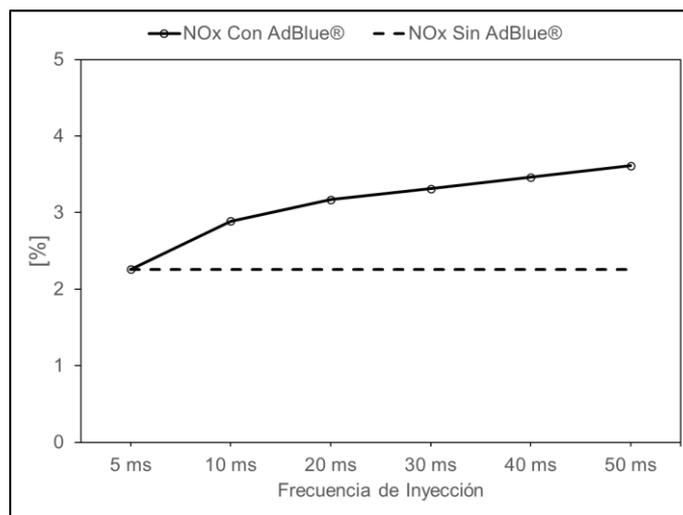


Figura 101. Mediciones de Opacidad Vehículo Mazda BT-50 Diésel

4.3. Termografía

4.3.1. Mediciones termográficas en el vehículo Mazda BT-50 Diésel

Mediante la utilización de la cámara Fluke TiS60 se obtuvieron los valores de temperatura en °C, tanto de las pruebas estándar y con la implementación del sistema SCR respectivamente, para de esta manera lograr obtener los promedios como se muestra en el Anexo C.

a. Mediciones termográficas en el Punto 1

La Tabla 30, muestra los promedios de mediciones de temperatura en el Punto 1 realizadas a diferentes frecuencias de inyección y con la velocidad gobernada respectiva; el promedio se obtuvo estadísticamente para conocer la veracidad de las mediciones tomadas en cada una de las pruebas como se muestra en el Anexo C.

Tabla 30.

Resultados de las mediciones termográficas en el punto 1 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel

Frecuencia de inyección	Punto 1 (°C)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar	73,9	79,3	98,9
5 ms	67,9	87,7	109,6
10 ms	119,0	114,7	128,2
20 ms	74,0	79,3	106,9

CONTINUA



30 ms	107,9	107,5	118,7
40 ms	66,8	80,0	101,3
50 ms	107,5	107,4	118,6
* Sin la implementación del sistema SCR			

Se realizó el análisis de la temperatura en el Punto 1 como muestra la Figura 102, donde se observa la incidencia de temperatura con la implementación del sistema SCR, delimitando que en el primer punto no habrá variaciones de temperatura al inyectar AdBlue, debido a que el primer punto está ubicado antes del inyector, los resultados con el sistema estándar mostrados por las líneas entrecortadas son los siguientes: 73.9, 79.3 y 98.9 [°C] a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, se compara con la frecuencia de inyección de 20 ms de color gris, con los siguientes valores: 74, 79.3 y 106.9 [°C] con las velocidades antes mencionadas, evidenciando así que al inyectar AdBlue en los gases de escape no hay modificaciones de temperatura en con respecto a las mediciones estándar.

Para lo cual se ejecuta un análisis más puntual debido a las condiciones de funcionamiento del vehículo que no pueden sobrepasar los límites de temperatura, por esta razón se obtiene los resultados de la desviación estándar con la implementación del sistema SCR son: 23.45, 15.60 y 9.76 a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, evidenciando que 1000 RPM no existe mayor dispersión en los resultados de temperatura a las diferentes frecuencias de inyección. Al comparar los resultados de la desviación estándar con los parámetros de velocidad de 1000 y 2000 RPM existe variación notable en los efectos que produce las condiciones de funcionamiento del vehículo.

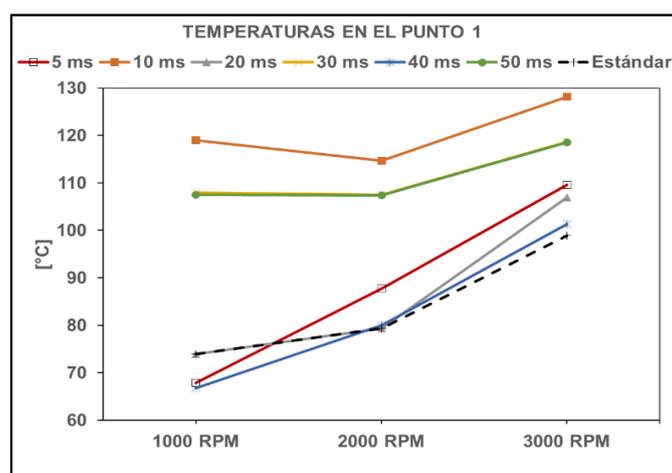


Figura 102. Comparación de temperaturas del Punto 1, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel

b. Mediciones termográficas en el Punto 2

El promedio de las mediciones termográficas efectuadas en el Punto 2, como se muestra en la Tabla 31, son obtenidas a diferentes frecuencias de inyección y con las velocidades gobernadas respectivas; el promedio es obtenido estadísticamente de las mediciones tomadas en cada una de las pruebas como se muestra en el Anexo C.

Tabla 31.

Resultados de las mediciones termográficas en el punto 2 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel

Frecuencia de inyección	Punto 2 (°C)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar	63,1	74,9	94,8
5 ms	62,8	79,1	98,7
10 ms	107,7	106,7	116,6
20 ms	70,8	76,9	94,3
30 ms	95,2	98,7	108,4
40 ms	67,1	78,1	91,9
50 ms	96,5	100,6	112,0

* Sin la implementación del sistema SCR

La Figura 103 muestra el balance de temperatura en el punto 2, el cual está ubicado en el inyector de AdBlue, donde se obtiene los siguientes resultados: 63.1, 74.9 y 94.8 [°C], a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, mostrados por la línea entrecortada. La incidencia de la temperatura al inyectar AdBlue se observa en la línea gris, a una frecuencia de inyección de 20 ms con los siguientes valores 70.8, 76.9 y 94.3 [°C] demostrando que existe un aumento controlado de la temperatura debido a la presencia del agente químico en los gases de escape.

Entre los parámetros de funcionamiento del vehículo establecidos por el fabricante se encuentra los límites de temperatura, debido a esto se realiza un análisis más preciso con los resultados para lo cual se obtuvo los valores de la desviación estándar con la implementación del sistema SCR que son: 18.70, 13.40 y 10.09 a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, evidenciando a 1000 RPM que no existe mayor dispersión en los resultados de temperatura a las diferentes frecuencias de inyección. Al comparar los resultados de la desviación estándar entre los parámetros de velocidad a 1000 y 2000 RPM existe variación notable en los efectos que produce las condiciones de funcionamiento del vehículo.

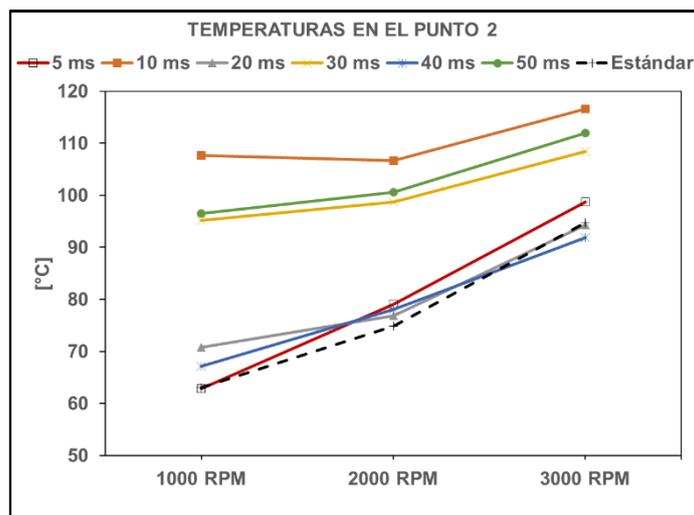


Figura 103. Comparación de temperaturas del Punto 2, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel

c. Mediciones termográficas en el Punto 3

Ejecutadas las mediciones termográficas en el Punto 3, se procedió a sacar los promedios de temperaturas a las diferentes frecuencias de inyección como se muestra en la Tabla 32. Realizados los ensayos respectivos se obtuvo los datos tabulados en el Anexo C, el promedio es obtenido estadísticamente para conocer la veracidad de las mediciones tomadas en cada prueba.

Tabla 32.

Resultados de las mediciones termográficas en el punto 3 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel

Frecuencia de inyección	Punto 3 (°C)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar	43,6	50,2	58,0
5 ms	70,9	64,1	76,2
10 ms	86,7	89,1	88,6
20 ms	76,6	71,7	74,8
30 ms	83,5	83,5	85,0
40 ms	76,7	74,0	75,0
50 ms	83,1	85,4	86,5

* Sin la implementación del sistema SCR

La tasa de variación de temperatura en el punto 3, está ubicado en el catalizador como se muestra en la Figura 104; la línea entrecortada, son los resultados antes de implementar el

sistema SCR con valores de: 43.6, 50.2 y 58 [°C] a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, teniendo en cuenta que la temperatura medida se realizó superficialmente, lo que se pretende analizar es la diferencia de temperatura a diferentes frecuencias de inyección, encontrando importantes variaciones de temperatura a 10 ms (línea naranja) con las siguientes temperaturas: 86.7, 89.1 y 88.6 [°C] a velocidades mencionadas anteriormente, indicando que tiene un aumento de temperatura debido a la reacción catalítica que se efectúa internamente en el catalizador.

Se establece un análisis más preciso debido a las condiciones de funcionamiento del vehículo que no pueden sobrepasar los límites de temperatura, por esta razón se obtiene los resultados de la desviación estándar con la implementación del sistema SCR, los cuales son 5.84, 9.56 y 6.34 a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, evidenciando que 1000 RPM existe escasa dispersión en los resultados de temperatura a las diferentes frecuencias de inyección. Al comparar los resultados de la desviación estándar entre los parámetros de velocidad a 2000 y 3000 RPM existe variación notable en los efectos que produce las condiciones de funcionamiento del vehículo.

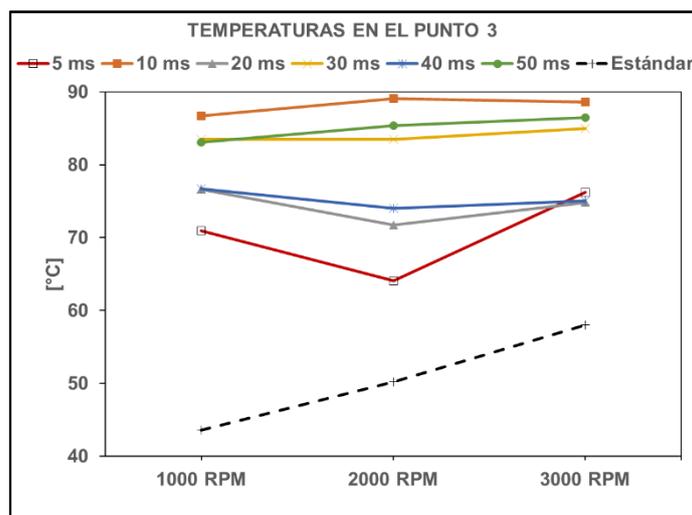


Figura 104. Comparación de temperaturas del Punto 3, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel

d. Mediciones termográficas en el Punto 4

La Tabla 33, muestra el promedio de los resultados obtenidos de las mediciones termográficas antes y después de implementar el sistema SCR a diferentes condiciones como son la velocidad y la frecuencia de inyección de AdBlue en el escape, y a continuación realizar

un análisis estadístico de las Figuras correspondientes, el promedio es alcanzado estadísticamente para conocer las mediciones tomadas en cada prueba como se muestra en el Anexo C.

Tabla 33.

Resultados de las mediciones termográficas en el punto 4 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel

Frecuencia de inyección	Punto 4 (°C)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar	62,3	74,1	99,7
5 ms	65,4	83,2	98,2
10 ms	108,6	108,9	123,2
20 ms	75,6	84,2	96,5
30 ms	98,8	100,8	109,5
40 ms	73,5	76,6	91,7
50 ms	101,2	101,6	112,1

* Sin la implementación del sistema SCR

En la Figura 106, se observa el registro de temperatura realizado en el punto 4, ubicado a la salida del catalizador donde se obtiene los siguientes resultados: 62.3, 74.1 y 99.77 [°C] a 1000, 2000 y 3000 RPM en el modo estándar mostrados por la línea entrecortada. Se compara con las mediciones realizadas a una frecuencia de 10 ms (línea naranja) donde se encuentra una diferencia significativa con los siguientes valores: 108.6, 108.9 y 123.2 [°C] a las velocidades antes mencionadas, demostrando una tasa de crecimiento del: 46.3, 34.8 y 23.43 [°C] en la temperatura a la salida del catalizador al implementar el sistema SCR.

De acuerdo a las condiciones de funcionamiento del vehículo establecidos por el fabricante se encuentra los límites de temperatura, debido a esto se realiza un análisis más preciso con los resultados para lo cual se obtuvo los valores de la desviación estándar de la implementación del sistema SCR que son: 17.81, 12.87 y 11.80 a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, evidenciando a 1000 RPM que no existe mayor dispersión en los resultados de temperatura a las diferentes frecuencias de inyección. Al comparar los resultados de la desviación estándar entre los parámetros de velocidad a 1000 y 2000 RPM existe variación notable en los efectos que produce las condiciones de funcionamiento del vehículo.

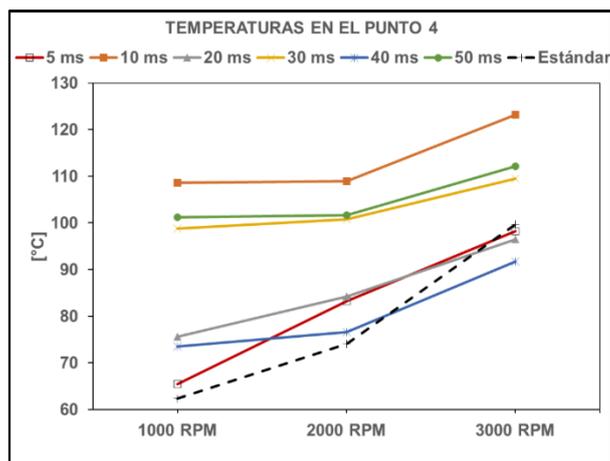


Figura 105. Comparación de temperaturas del Punto 4, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel

e. Mediciones termográficas en el Punto 5

La Tabla 34, muestra los promedios de las mediciones termográficas en el Punto 5 realizadas a cada frecuencia de inyección y con la velocidad gobernada respectivas, el promedio se obtuvo estadísticamente para conocer la veracidad de las mediciones tomadas en cada prueba como se muestra en el Anexo C.

Tabla 34.

Resultados de las mediciones termográficas en el punto 4 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel

Frecuencia de inyección	Punto 5 (°C)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar	42,9	48,2	65,2
5 ms	48,4	57,2	69,5
10 ms	73,9	79,9	86,9
20 ms	54,1	59,8	68,2
30 ms	69,3	74,1	78,1
40 ms	53,7	59,0	64,9
50 ms	70,6	74,4	84,8

* Sin la implementación del sistema SCR

La tasa de variación de temperatura en la salida del escape del punto 5 se muestra en la Figura 106, estos valores se los obtiene antes de implementar el sistema SCR los cuales son: 42.9, 48.2 y 65.2 [°C] a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente mostrados por la línea entrecortada, donde se encuentra una diferencia uniforme en los intervalos con

respecto a las mediciones tomadas a una frecuencia de inyección de 10 ms (línea naranja) que son las siguientes: 73.9, 79.9 y 86.9 [°C] a velocidades inicialmente indicadas, señalando que existe una diferencia de temperatura en comparación a las mediciones estándar.

Se realizó un análisis más puntual debido a las condiciones de funcionamiento del vehículo que no pueden sobrepasar los límites de temperatura, por esta razón se obtiene los resultados de la desviación estándar con la implementación del sistema SCR los cuales son: 10.82, 9.83 y 9.21 a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, evidenciando que 1000 RPM no existe homogenización en los resultados de temperatura a las diferentes frecuencias de inyección. Al comparar los resultados de la desviación estándar entre los parámetros de velocidad a 1000 y 2000 RPM existe variación notable en los efectos que produce las condiciones de funcionamiento del vehículo.

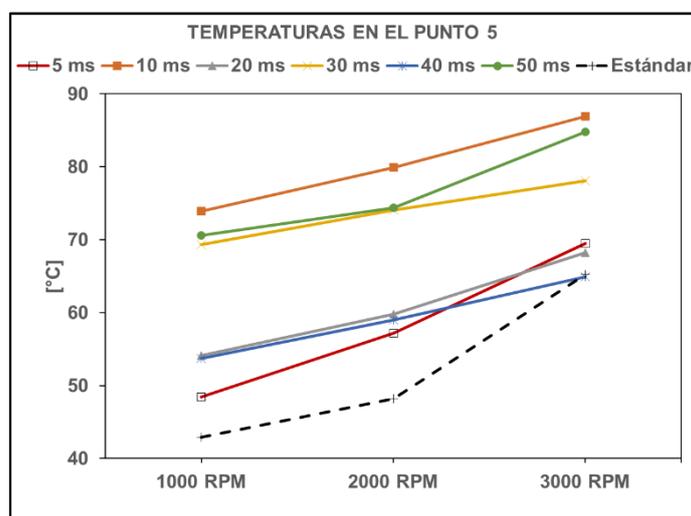


Figura 106. Comparación de temperaturas del Punto 5, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Diésel

4.3.2. Mediciones termográficas en el vehículo a Gasolina

Mediante la utilización de la cámara Fluke TiS60 se obtuvieron los valores de temperatura en °C, tanto de las pruebas estándar y con la implementación del sistema SCR respectivamente, para de esta manera lograr obtener los promedios como se muestra en el Anexo D.

a. Mediciones termográficas en el Punto 1

La Tabla 35, muestra los promedios de las mediciones termográficas en el Punto 1 realizadas en cada frecuencia de inyección y con la velocidad gobernada respectivas, el

promedio se obtuvo estadísticamente para conocer la veracidad de las mediciones tomadas en cada prueba como se muestra en el Anexo D.

Tabla 35.

Resultados de las mediciones termográficas en el punto 1 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina

Frecuencia de inyección	Punto 1 (°C)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar	65,1	72,1	94,3
5 ms	67,4	87,1	109,3
10 ms	118,3	110,5	127,7
20 ms	74,6	80,3	106,7
30 ms	111,3	110,7	123,4
40 ms	69,7	83,5	112,1
50 ms	112,1	116,1	125,4

* Sin la implementación del sistema SCR

El análisis de temperatura en el punto 1, como muestra la Figura 107, donde es observada la incidencia de la temperatura con la implementación del sistema SCR, delimitando que en el primer punto no habrá variaciones de temperatura al inyectar AdBlue, con respecto al estándar debido a que el primer punto está ubicado antes del inyector, los resultados con el sistema estándar son las líneas entrecortadas, con los siguientes valores: 65.1, 80.3 y 94.3 [°C] a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, se compara con la frecuencia de inyección de 20 ms (línea gris) con los siguientes resultados 74.6, 79.3 y 106.7 [°C] a velocidades antes mencionadas, evidenciando así que al inyectar AdBlue, en los gases de escape hay tasas de variaciones de temperatura mínimas en con respecto a las mediciones estándar.

El fabricante del vehículo establece condiciones de funcionamiento del motor, debido a esto se estableció un límite de temperatura entre 80 – 100 °C, para lo cual se realizó un análisis más puntual con los resultados, en consecuencia se obtuvo los valores de la desviación estándar, con la implementación del sistema SCR que son: 23.97, 16.04 y 9.10 a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, evidenciando a 1000 RPM existe mayor dispersión en los resultados de temperatura a las diferentes frecuencias de inyección. Al comparar los resultados de la desviación estándar entre los parámetros de velocidad a 1000 y 2000 RPM existe variación notable en los efectos que produce las condiciones de funcionamiento del vehículo.

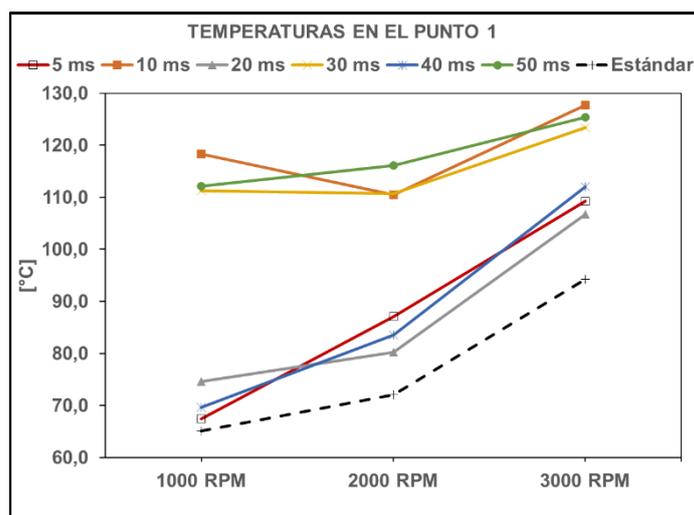


Figura 107. Comparación de temperaturas del Punto 1, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina

b. Mediciones termográficas en el Punto 2

Ejecutadas las mediciones termográficas en el Punto 2, se procedió a obtener los promedios de temperaturas en las diferentes frecuencias de inyección como se muestra la Tabla 36, realizados los ensayos respectivos se obtiene los siguientes datos tabulados en el Anexo D.

Tabla 36.

Resultados de las mediciones termográficas en el punto 2 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina

Frecuencia de inyección	Punto 2 (°C)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar	64,5	71,2	86,0
5 ms	68,1	78,2	96,6
10 ms	106,1	107,8	120,6
20 ms	71,2	76,9	93,6
30 ms	98,0	103,3	111,3
40 ms	73,3	83,5	115,8
50 ms	115,2	117,2	122,8

* Sin la implementación del sistema SCR

La Figura 108 muestra el balance de temperatura en el punto 2 el cual está ubicado en el inyector de AdBlue, donde son obtenidos los siguientes resultados antes de implementar el sistema SCR: 64.5, 71.2 y 86 [°C] a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente

como lo muestra la línea entrecortada, la incidencia de la temperatura al inyectar AdBlue es observada a una frecuencia de inyección de 20 ms (línea gris) con los siguientes valores: 71.2, 76.9 y 93.6 [°C] demostrando que existe un aumento controlado de la temperatura con valores de: 6.7, 5.7 y 7.6 [°C] a las diferentes velocidades respectivamente, debido a la presencia del agente químico en los gases de escape.

Se obtiene la desviación estándar con la implementación del sistema SCR para verificar la dispersión de los datos, esto debido a las condiciones especificadas por el fabricante el cual establece límites de temperatura del motor de 80 – 100 °C. Por esta razón se consigue los resultados de la desviación estándar los cuales son: 20.29, 17.12 y 12.32 a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, evidenciando que 1000 RPM existe menor homogenización en los resultados de temperatura a las diferentes frecuencias de inyección. Al comparar los resultados de la desviación estándar entre los parámetros de velocidad a 1000 y 2000 RPM existe variación notable en los efectos que produce las condiciones de funcionamiento del vehículo.

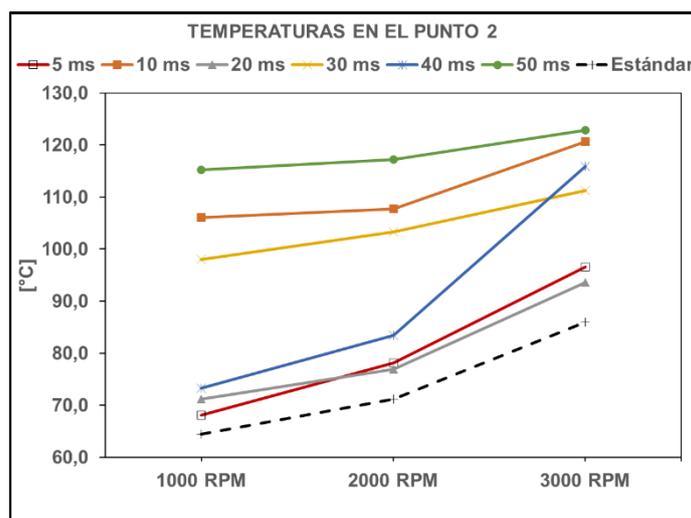


Figura 108. Comparación de temperaturas del Punto 2, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina

c. Mediciones termográficas en el Punto 3

La Tabla 37, muestra los promedios de las mediciones de temperatura en el punto 3, realizadas en cada frecuencia de inyección, con la velocidad gobernada respectiva, este promedio es obtenido estadísticamente de acuerdo a las mediciones realizadas como se muestra en el Anexo D.

Tabla 37.

Resultados de las mediciones termográficas en el punto 3 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina

Frecuencia de inyección	Punto 3 (°C)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar	60,5	60,8	70,1
5 ms	65,4	64,0	74,9
10 ms	86,1	90,5	90,7
20 ms	76,9	70,8	75,4
30 ms	85,0	85,4	87,8
40 ms	80,4	76,6	83,5
50 ms	85,4	88,5	92,7

* Sin la implementación del sistema SCR

La tasa de variación de temperatura en el punto 3, el cual está ubicado en el catalizador como se muestra en la Figura 109, los resultados antes de implementar el sistema SCR son: 60.5, 60.8 y 70.1 [°C] (línea entrecortada), con velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, teniendo en cuenta que la temperatura medida se realizó superficialmente, lo que se pretende analizar es la diferencia de temperatura a diferentes frecuencias de inyección, encontrando importantes variaciones de temperatura a 20 ms (línea amarilla) con las siguientes temperaturas 76.9, 70.8 y 75.4 [°C] a velocidades mencionadas anteriormente, indicando que tiene un aumento considerable de temperatura con los siguientes valores: 16.4, 10 y 5.3 [°C], debido a la reacción catalítica que se efectúa internamente en el catalizador.

De acuerdo a los límites de temperatura establecidos por el fabricante, el cual se encuentra en un rango de 80 – 100 °C. Se establece un análisis más exacto, por esta razón se obtiene los resultados de la desviación estándar los cuales son 7.92, 10.60 y 7.64 a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, evidenciando que 1000 y 3000 RPM existe escasa dispersión en los resultados de temperatura a las diferentes frecuencias de inyección. Al comparar los resultados de la desviación estándar con la implementación del sistema SCR entre

los parámetros de velocidad a 2000 RPM existe variación notable en los efectos que produce las condiciones de funcionamiento del vehículo.

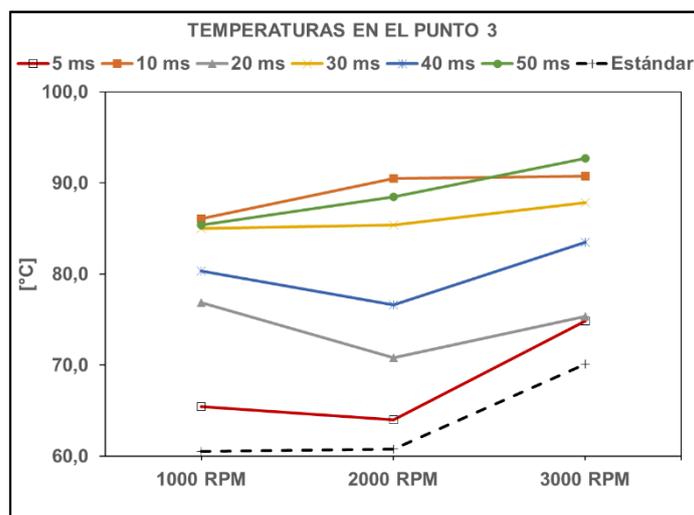


Figura 109. Comparación de temperaturas del Punto 3, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina

d. Mediciones termográficas en el Punto 4

En la Tabla 38, es visualizado el promedio de los resultados obtenidos de las mediciones termográficas antes y después de implementar el sistema SCR a diferentes condiciones como son la velocidad y la frecuencia de inyección de AdBlue en el escape, para realizar un análisis estadístico de las figuras correspondientes, el promedio es alcanzado estadísticamente para conocer la veracidad de las mediciones tomadas de las prueba como se muestra en el Anexo D.

Tabla 38.

Resultados de las mediciones termográficas en el punto 4 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina

Punto 4 (°C)			
Frecuencia de inyección	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar	67,0	76,5	89,2
5 ms	68,4	84,3	100,6
10 ms	106,7	109,1	123,1
20 ms	76,8	84,6	97,2
30 ms	102,0	102,6	111,9
40 ms	76,8	84,5	94,9
50 ms	107,7	111,7	120,7



* Sin la implementación del sistema SCR

En la Figura 110, el registro de temperatura que se realizó en el punto 4 ubicado en la salida del catalizador donde se obtiene los siguientes resultados mostrados por la línea entrecortada: 67, 76.5 y 89.2 [°C] a 1000, 2000 y 3000 RPM en el modo estándar como muestra la línea entrecortada, se compara con las mediciones realizadas a una frecuencia de 20 ms (línea gris) donde se encuentra con los siguientes valores: 76.8, 84.6 y 97.2 [°C] a las velocidades antes mencionadas, demostrando una tasa de crecimiento de: 9.8, 8.1 y 8 [°C] a 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, en la temperatura a la salida del catalizador al implementar el sistema SCR.

Se realizó un análisis más puntual debido a las condiciones de funcionamiento del vehículo que no pueden sobrepasar los límites de temperatura, por esta razón se obtiene los resultados de la desviación estándar con los valores la implementación del sistema SCR los cuales son: 17.61, 13.11 y 12.22 a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, evidenciando que 1000 RPM existe menor dispersión en los resultados de temperatura a las diferentes frecuencias de inyección. Al comparar los resultados de la desviación estándar entre los parámetros de velocidad a 1000, 2000 y 3000 RPM existe variación notable en los efectos que produce las condiciones de funcionamiento del vehículo.

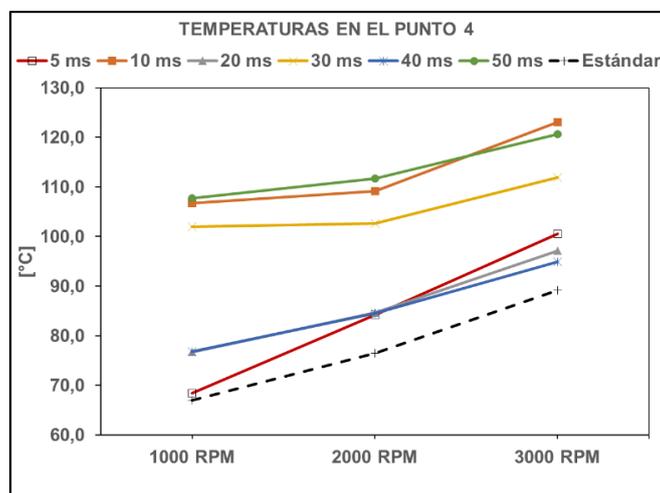


Figura 110. Comparación de temperaturas del Punto 4, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina

e. Mediciones termográficas en el Punto 5

El promedio de las mediciones termográficas efectuadas en el Punto 5 se muestra en la Tabla 39, los cuales se obtuvieron en cada frecuencia de inyección y con la velocidad gobernada respectiva, el promedio se obtuvo luego de realizar 6 ensayos en cada prueba por lo cual se obtuvo estadísticamente como se muestra en cada una de las pruebas del Anexo D.

Tabla 39.

Resultados de las mediciones termográficas en el punto 5 con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina

Frecuencia de inyección	Punto 5 (°C)		
	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
Estándar	42,9	50,2	63,2
5 ms	49,6	54,9	68,0
10 ms	85,6	84,0	87,1
20 ms	59,7	58,6	68,4
30 ms	72,8	79,8	80,3
40 ms	62,2	76,1	74,4
50 ms	78,9	81,9	93,6

* Sin la implementación del sistema SCR

La tasa de variación de temperatura en la salida del escape del punto 5, se muestra en la Figura 111, estos valores se los obtiene antes de implementar el sistema SCR los cuales son: 42.9, 50.2 y 63.2 [°C] a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente mostrados por la línea entrecortada, donde se encuentra una diferencia uniforme en los intervalos con respecto a las mediciones tomadas a una frecuencia de inyección 20 ms (línea gris), que son las siguientes: 59.7, 58.6 y 68.4 [°C] a velocidades inicialmente indicadas, señalando que existe una diferencia de temperatura en comparación a las mediciones estándar.

Se obtuvo la desviación estándar con los valores de la implementación del sistema SCR para analizar la dispersión de los datos, esto debido a las condiciones especificadas por el fabricante el cual establece límites de temperatura del motor de 80 – 100 °C. Por esta razón se consigue los resultados de la desviación estándar los cuales son: 13.36, 12.56 y 10.33 a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, evidenciando que 1000 RPM existe menor dispersión en los resultados de temperatura a las diferentes frecuencias de inyección. Al comparar los resultados de la desviación estándar entre los parámetros de velocidad a 1000 y 2000 RPM

existe variación notable en los efectos que produce las condiciones de funcionamiento del vehículo.

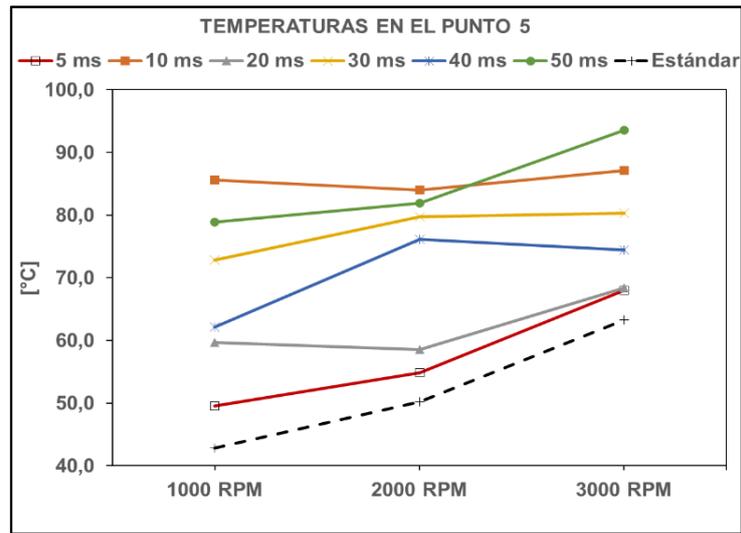


Figura 111. Comparación de temperaturas del Punto 5, con la implementación del sistema de escape SCR en el vehículo Mazda BT-50 Gasolina

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Recursos

Para llevar a cabo el estudio de investigación, se tomó en cuenta recursos como: humanos, institucional, materiales y tecnológicos.

5.1.1. Recursos Humanos

Para efectuar la investigación: “ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE EMISIONES GENERADAS POR EL SISTEMA SCR CON INYECCIÓN ADBLUE EN EL ESCAPE DE MOTORES DE COMBUSTIÓN GASOLINA – DIÉSEL”; los recursos humanos se describen a continuación en la Tabla 40:

Tabla 40.

Recursos Humanos

Ord.	Descripción	Función
1.	Dorado Chilliquinga William Javier	Investigador
2.	Oña Quishpe Danny Andres	Investigador
3.	Ing. Juan Castro	Director del proyecto de Titulación
4.	Ing. PHD Ricardo Urrutia	Investigador

5.1.2. Recursos Institucionales

La Tabla 41, presenta los recursos institucionales donde se llevó a cabo el estudio de investigación son los siguientes:

Tabla 41.

Recursos Institucionales

Ord.	Institución	Dirección	Teléfono
1.	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga Laboratorio de Autotrónica	Ecuador, Cotopaxi – Latacunga Calle Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez	593(3) 2810-206 / 2813-130 / 2810-326

5.1.3. Recursos Materiales

Los recursos materiales que se utilizaron para llevar a cabo la investigación, se los detalla en la Tabla 42:

Tabla 42.
Recursos Materiales

Ord.	Cantidad	Unidades	Descripción
1.	10	Galón	Diésel
2.	10	Galón	Gasolina
3.	1	Caneca	AdBlue
4.	1	Unidad	Catalizador SCR
5.	1	Unidad	Módulo
6.	1	Unidad	Trampa de Agua
7.	4	Unidades	Filtros
8.	2	Unidades	Taípe
9.	4	Metros	Cable # 16
10.	4	Metros	Cable # 21
11.	1	Resma	Hojas
12.	2	Unidades	Cd
13.	1	Unidad	Misceláneos

5.1.4. Recursos Tecnológicos

Para obtener datos más precisos, durante las pruebas de emisiones de gases, opacidad y pruebas de termografía, se utilizó varios equipos tecnológicos, para que sea más sencillo la apreciación de los mismos, los cuales se detallan en la Tabla 43:

Tabla 43.
Recursos Tecnológicos

Ord.	Cantidad	Unidades	Descripción
1.	1	Unidad	Cámara Termográfica Fluke
2.	1	Unidad	Analizador Brian Bee
3.	2	Unidad	Opacímetro Cartek
4.	1	Unidad	Multímetro Automotriz
5.	1	Unidad	Scanner Automotriz
6.	1	Unidad	Osciloscopio Automotriz
7.	4	Unidad	Cámara Fotográfica
8.	2	Unidades	Computador Personal

5.1.5. Presupuesto de la investigación

El presupuesto que generó la investigación: “ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE EMISIONES GENERADAS POR EL SISTEMA SCR CON INYECCIÓN ADBLUE EN EL ESCAPE DE MOTORES DE COMBUSTIÓN GASOLINA – DIÉSEL”; fue de 1461,40 dólares americanos, y se detallará a continuación en la Tabla 44, Tabla 45 y Tabla 46; la cual contiene tanto los recursos materiales y tecnológicos, que fueron necesarios para el desarrollo de la misma.

Tabla 44.
Presupuestos Recursos Materiales

Ord.	Cant.	Unidades	Descripción	Costo Unitario	Costo total
1.	10	Galón	Diésel	1,02	10,20
2.	10	Galón	Gasolina	1,48	14,80
3.	1	Caneca	AdBlue	30,00	30,00
4.	1	Unidad	Módulo	150,00	150,00
5.	1	Unidad	Trampa de Agua	25,00	25,00
6.	4	Unidades	Filtros	13,00	52,00
7.	2	Unidades	Taipe 3M	1,20	2,40
8.	6	Metros	Cable # 16	0,50	3,00
9.	6	Metros	Cable # 21	0,25	1,50
10.	1	Resma	Hojas	3,50	3,50
12.	2	Unidades	Cd	1,50	3,00
13.	1	Unidad	Misceláneos	10,00	10,0
				Total:	305,40

Tabla 45.
Presupuestos recursos tecnológicos

Ord.	Cant.	Unidades	Descripción	Costo Unitario	Costo total
1.	6	Días	Cámara Termográfica Fluke	150,00	900,00
2.	4	Unidad	Analizador Brian Bee (Calibraciones)	13,00	26,00
3.	2	Unidad	Opacímetro Cartek (Calibraciones)	40,00	80,00
4.	1	Unidad	Multímetro Automotriz	-	0,00
5.	1	Unidad	Scanner Automotriz	-	0,00
6.	1	Unidad	Osciloscopio Automotriz	-	0,00
7.	4	Unidad	Cámara Fotográfica	-	0,00
8.	2	Unidades	Computador Personal	-	0,00
				Total:	1006,00

Tabla 46.
Presupuesto Total

Ord.	Recursos	Costo total
1.	Recursos Materiales	305,40
2.	Recursos Tecnológicos	1006,00
3.	Imprevistos	150,00
Total		1461,40

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se seleccionó información apropiada para el desarrollo de proyecto de investigación, lo cual fue de gran aporte el uso de artículos científicos, libros, revistas y fuentes bibliográficas.
- Se determinaron los parámetros de funcionamiento del motor diésel - gasolina del vehículo Mazda BT-50, los cuales son la velocidad (RPM), temperatura y posición del acelerador, para la implementación del sistema SCR con inyección de AdBlue en los gases de escape.
- La instalación del sistema SCR con inyección de AdBlue en los gases de escape de los motores diésel – gasolina del vehículo Mazda BT-50, se considera aspectos como: el inyector con un caudal de 2.7 lt/min y una presión de 55 psi, la bomba con una presión de 87 psi y un caudal de 7.2 lt/min, el catalizador cerámico de tres vías, y un depósito de AdBlue con volumen de $9 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.
- El diseño e implementación del módulo de control SCR se realizó de acuerdo a las condiciones de funcionamiento de los motores diésel – gasolina, con el modo de operación manual en el módulo de control.
- Las frecuencias de inyección de AdBlue de 5, 10, 20, 30, 40 y 50 ms, las cuales son las más óptimas para el uso del módulo de control SCR, lo que determinó que la frecuencia de 30 ms, es la más efectiva en la reducción de NOx.
- Se realizó las pruebas de control de emisiones y opacidad antes y después de implementar el sistema SCR, siguiendo las normas y protocolos de funcionamiento de motores diésel y gasolina; para obtener confiabilidad en los resultados obtenidos. Posteriormente se tabuló los resultados de las mediciones efectuadas obteniendo el promedio y su desviación estándar.
- El sistema SCR tuvo como objetivo principal la reducción óxidos nitrosos (NOx) en el motor diésel, por lo que en el control de pruebas de emisiones a diferentes frecuencias de inyección de AdBlue se obtuvo un promedio de: 213.95, 80.85 y 82.16 (ppm/Vol.) a velocidades de 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, con respecto a las mediciones estándar, teniendo una reducción del 26,44%.

- Se obtuvo los valores de las mediciones de opacidad con un valor estándar de 2.26% con un aumento del 0.85% al implementar el sistema SCR respecto al promedio obtenido de las frecuencias de inyección de AdBlue.
- A pesar de una serie de estudios experimentales centrados en el control de emisiones contaminantes del motor diésel, hay una pequeña cantidad de experimentos que se han centrado en la variación de NO_x y opacidad mediante la implementación del sistema SCR con AdBlue. El uso del analizador de gases Brian Bee y el opacímetro CAP3030, en condiciones estáticas, ha permitido demostrar que un sistema SCR con inyección de AdBlue puede implementarse con la consiguiente reducción de emisiones de NO_x para un motor diésel a pesar de un ligero aumento en la opacidad.
- En el análisis de control de emisiones del vehículo gasolina se obtuvo los promedios de NO_x los cuales evidenciaron un incremento del 80 % a 1000 RPM con la implementación del sistema SCR, además se calculó la desviación estándar de 89.53, a la velocidad antes mencionada, lo que demostró una menor dispersión en los resultados de NO_x.
- El tipo de combustión que posee el motor gasolina es uno de los causales que intervienen en el incorrecto funcionamiento del sistema SCR debido a que los valores de NO_x en el motor gasolina son casi despreciables.
- La máxima reducción de los gases contaminantes se obtiene cuando el catalizador de 3 vías procesa gases de escape producidos por la quema de mezcla estequiométrica, o sea, cuando el motor funciona admitiendo mezcla con $\Lambda = 1,0 \pm 2 \%$. Debido a este parámetro de funcionamiento y la inyección de AdBlue en los gases de escape el sistema SCR no posee una incidencia positiva.
- Los resultados obtenidos de gases contaminantes de NO_x, HC y CO demuestran una tasa porcentual de crecimiento de: 252, 117, 150 %, respectivamente, debido a que el sistema SCR implementado en el vehículo gasolina por el tipo de combustión y las reacciones que se producen al inyectar AdBlue y realizar la mezcla en el catalizador, lo cual aumentan las emisiones contaminantes.
- Las mediciones termográficas en el sistema de escape estándar e implementado el sistema SCR, se requiere la utilización de taípe que tiene un factor de emisividad de 0.95 que ayuda a obtener una correcta medición debido a que los materiales del sistema SCR posee aleaciones que no permiten saber el factor de emisividad exacto. Los

componentes analizados son: salida del múltiple de escape, inyector de AdBlue, catalizador, salida del catalizador y final del tubo de escape.

- Los datos de las mediciones termográficas efectuadas en los diferentes puntos de los motores diésel – gasolina con el sistema de escape estándar e implementado el sistema SCR, para lo cual se realizó 6 mediciones en cada punto debido al análisis estadístico que permitió verificar la precisión y exactitud de las pruebas ejecutadas. Posteriormente se tabuló los resultados obteniendo los promedios y la desviación estándar.
- La implementación del sistema SCR con inyección de AdBlue es efectiva en la reducción de las emisiones de NO_x generadas por un motor diésel. Sin embargo, un aumento en las emisiones de opacidad en un 3,7% es evidente.
- Las mediciones termográficas con la cámara FLUKE se realizó en los puntos de incidencia, por lo que se pudo evidenciar la dispersión de los datos obtenidos en el motor diésel – gasolina, debido a las condiciones de funcionamiento del vehículo las cuales especifica los límites de temperatura de 80 – 100 °C.
- El promedio de mediciones termográficas realizadas en el punto 2 (inyector de AdBlue) donde posee mayor incidencia, a una velocidad de 1000 RPM, demuestran una tasa creciente de temperatura con una diferencia de 20.25 °C con respecto a las mediciones sin la implementación del sistema SCR.
- La mayor incidencia de temperatura está ubicada en el punto 3 (catalizador) que al comparar la temperatura estándar respecto a la temperatura con el sistema SCR implementado a una velocidad de 1000 RPM, se determinó una tasa porcentual de crecimiento de 83%.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda cambiar los filtros del analizador de gases Brain Bee AGS-688, luego de realizar seis pruebas de control de emisiones.
- Se recomienda realizar más estudios para definir las respuestas en condiciones dinámicas y con diferentes cargas.
- Realizar la programación del módulo de control SCR con la obtención de las señales del sensor de Oxígeno (O₂), Sensor de Masa de Flujo de Aire (MAF), Sensor de Presión de Aire (MAP) e inyectores, para establecer la incidencia de los sensores y actuadores en el sistema SCR.
- Se recomiendan pruebas adicionales para definir las condiciones óptimas de operación para el motor diésel. Se podrían hacer algunos ajustes en las variaciones de las frecuencias de inyección para determinar la incidencia que puede existir en otros gases contaminantes.
- Realizar las mediciones termográficas en lugares con menor luminosidad para obtener los resultados con mayor precisión y exactitud, además de establecer el adecuado factor de emisividad de acuerdo al material en el que se realizará las pruebas
- Realizar proyectos de investigación que beneficien al medio ambiente con la reducción de emisiones contaminantes, mediante el uso de otros recursos tecnológicos, además que ayuden con el diagnóstico y análisis de motores de combustión interna.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aus der Wiesche , S. (2007). Numerical heat transfer and thermal engineering of AdBlue. *Applied Thermal Engineering*, 2-3.
- AEADE. (12 de Marzo de 2016). *aeade.net*. Recuperado el 15 de Enero de 2018, de <http://www.aeade.net/anuario-2016/anuario2016.pdf>
- Agudo, D. (2015). Downsizing y resurgimiento de los motores gasolina. *Revista Motor*. Recuperado el 14 de diciembre de 2017, de <https://revistamotor.eu/index.php/de-calle/mecanica/399-downsizing-y-resurgimiento-de-los-motores-de-gasolina>
- Ali, K., & Mohamad, Q. (2016). Exhaust gas analysis of an eight cylinder gasoline engine based on engine speed. *Energy Procedia*, 2.
- Alvarado Corti, H. R. (2016). *Análisis de la incidencia en los parámetros característicos del motor QR25 del vehículo Nissan X-Trail cuando se utiliza el variador de avance añ encendido Spark 11*. Tesis grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga.
- Álvarez, D. (23 de ENERO de 2017). *DIARIOMOTOR*. Obtenido de <https://www.diariomotor.com/noticia/motor-calentamiento-camara-termica/>
- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. (2016). *Límites permitos de emisiones producidaas por fuentes móviles terrestres*. Quito.
- Balageas, D. (2007). Termografía Infrarroja: una técnica multifacética para la Evaluación No Destructiva (END). 2. Obtenido de <http://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/128.pdf>
- Becerra, D., & Molina, J. (2014). *Caracterización de fallos en la ignición de un motor de combustión interna alternativo Diesel, mediante el uso de la termografía infrarroja*. Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca.
- BlueTec. (2016). *Bluetec.com*. Recuperado el 18 de Enero de 2018, de http://postventa-autobusesmb.com/wp-content/uploads/2016/08/Folleto_Euro5_FINAL.pdf
- Bosh. (2003). *Técnica de los gases de escape para motores de gasolina*. Alemania: Reverte.
- Brain Bee. (2016). *Brain Bee*. Recuperado el 29 de 12 de 2017, de file:///C:/Users/Danny/Downloads/AGS-688_ES.pdf
- Carrillo, I., & Taco, C. (2018). *ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE EMISIONES DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIÉSEL – SURFACTANTES DEL AGUA EN EL MOTOR MZR-D 2.5*. Latacunga. Recuperado el 02 de Mayo de 2018

- Cegarra, I. (2002). *Reduccion Catalitica Selectiva de Oxidos de Nitrogeno empleando Zeolitas intercambiadas como catalizador*. Tesis Doctoral, Universidad de Castilla - La Mancha, Ciudad Real.
- Chicaiza, O. F. (2017). *Investigación del Potencial Energético de la Emulsión Dese-Etanol para Determinar su Influencia en los Parámetros Mecánico y Térmicos del Motor de Combustión Interna a Diésel*. Tesis Pregrado, Latacunga.
- Comercio, E. (17 de Octubre de 2016). *Líderes*. Obtenido de <http://www.revistalideres.ec/lideres/vehiculos-seguridad-medioambiente-regulaciones.html>
- Correa, A., & Fuentes, J. (2017). *Investigación de la generación de emisiones contaminantes producidas por la variación de la presión de combustible en el sistema de alimentación en motores de combustión interna gasolina-diesel*. Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Extensión Latacunga, Latacunga.
- Cross L. (2015). *FINDADBLUE*. Obtenido de <http://es.findadblue.com/adblue/scr/>
- CTS. (12 de Octubre de 2016). *centretank.com*. Recuperado el 24 de Enero de 2018, de <https://www.centretank.com/support/product-guide/adblue-pumps-content>
- D'Angelo, M., & González, A. (2017). First approach to exhaust emissions characterization of light vehicles in Motevideo, Uruguay. *Science Total Eviroment*, 2.
- Disemaq. (2017). *disemaq.com*. Recuperado el 29 de Diciembre de 2017, de <http://www.disemaq.com/productos/analizador-de-gas/17-brain-bee-analizador-de-gas>
- Duque, V. M., & Jiménez, I. A. (2012). *Análisis de impacto y control ambiental en base a ala composición química de los gases provenientes de maquinas y equipos de uso industrial utilizando el analizador de gases TESTO 335*. Tesis grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí.
- Ebizar B. (11 de Octubre de 2016). *Calidad Clúster*. Obtenido de Ebizar: <http://www.calidad.ebizar.com/ecuador-aumenta-exigencias-de-control-ambiental-en-exportacion-de-vehiculos/>
- Erdgas und Kohle. (2003). *DGMK*. Obtenido de http://www.dgmk.de/downstream/publikationen/im_netz/report_616-1_e.pdf
- Fleetguard C. (2009). *Cummins Filtration*. Obtenido de <https://www.cumminsfiltration.com/sites/default/files/MB10033-ES.pdf>
- FLIR. (2016). *FLIR.com*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, de <http://www.flir.com.mx/instruments/content/?id=70502&collectionid=1346&col=704>

- Flores, M. M., & Toapanta, A. F. (2018). *Investigación del desempeño y emisiones del motor diesel MZR - CD 2,5LT al implementar el conjunto SCR con inyección de AdBlue en el sistema de escape*. Latacunga.
- Fluke. (2015). *Manual de Uso*. USA. Obtenido de <http://www.fluke.com/fluke/eces/support/manuals/default.htm>
- FLUKE. (2017). Recuperado el 29 de diciembre de 2017, de <http://www.fluke.com/fluke/eses/termografia/fluke-tis60.htm?pid=79865>
- Fluke Corporation. (2009). *Introducción a los principios de la Termografía*. Illinois: American Technical Publishers.
- García A. (2013). Fault detection in induction motors and the impact on the kinematic chain through thermographic analysis. *ELSEVIER*, 9.
- González E. (18 de Mayo de 2015). *Camiones Europa*. Obtenido de <http://www.europacamiones.com/news-camiones/a43406/comparativa-camiones-pesados-euro-5-euro-6>
- Greenchem A. (2010). *Greenchem Agrofert*. Obtenido de <http://test.greenchem-adblue.com/?907/normas-de-calidad-para-adblue-y-urea-iso-din>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2002). *Norma INEN*.
- Kreith, F., & Manglik, R. (2012). *Principios de transferencia de calor*. México D.F: Cengage Learning Editores.
- López, A. M. (2016). *Análisis de la incidencia del consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes de los automotores a gasolina de la Escuela de Conducción Profesional ESPE Latacunga mediante la propuesta de un protocolo de conducción eficiente*. Tesis grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga.
- Maldonado, C. E. (2010). *Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo de Motores Diésel Basado en Análisis de Aceite*. Tesis de Pregrado, EPN, Quito.
- Mazda Motor Europe GmbH. (2006). *Training Manual Mazda BT-50 NMT-009*. Obtenido de https://www.mazdabg.com/ftp-uploads/MAZDA%20material%20for%20technician/BT-50_en.pdf
- Ministerio del ambiente. (2010). *Plan Nacional de Calidad del Aire*. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>
- Neita, L., & Peña, E. (2011). *Principios básicos de termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo*. Tesis de Pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana, Floridablanca.

- Palma Selles, P. (2015). *Aplicación de la termografía en auditorías energéticas de edificios*. Tesis de Pregrado, Universidad de Alicante, España.
- Paucar, A., & Singueza, A. (2016). *Termografía aplicada al diagnóstico de un motor Hyundai Diésel 2.0 CRDI de combustión interna alternativo como técnica de mantenimiento predictivo de fallos, provocados por el sistema de alimentación aire combustible*. Tesis de Posgrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Pouresmaeili, M., & Aghayan, I. (2017). Development of a Mashhad driving cycle for passenger car to model vehicle exhaust emissions calibrated using on-board measurements. *Semman University*, 3.
- Prieto I. (2012). Obtenido de http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/1015/mod_resource/content/1/1C_C12757_0910/04_GT17_Reduccion_de_NOX_en_humos.pdf
- Ries, F., & Nishad, K. (2017). Analysis of spray dynamics of urea–water-solution jets in a SCR-DeNOx. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 1-2.
- Rivadeneira, G. L., & Toaza, A. I. (2017). *Influencia de los convertidores catalíticos y agentes reductores de polución en la transformación de emisiones contaminantes de los motores de combustión diésel- gasolina*. Tesis grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga.
- Rodriguez, I., & LLamas, J. M. (2004). Un procedimiento para la superposición de texturas a modelos tridimensionales. 4. Obtenido de <http://intranet.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXV/documentos/11-osfernaial.pdf>
- Rovira, A., & Muñoz, M. (2015). Motores de Combustión Interna. En *Motores de Combustión Interna* (pág. 27). Madrid: Editorial UNED.
- Sarkan, B., & Stopka, O. (2017). Investigation of Exhaust Emissions of Vehicles with the Spark Ignition Engine within Emission Cotrol. *Procedia Engineering*, 1.
- Verband D. (2013). *Automobilindustrie e. V*. Obtenido de <http://www.vda.de>
- Villacis, C. Y., & Burgos, D. A. (2016). *Caracterización de la mezcla combustible diesel a partir de aceite de frituras, en concentración 5% - 10% - 15% - 20% - 30% para determinar los parámetros térmicos y mecánicos del motor*". Tesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga.
- Wiesche S. (26 de Junio de 2016). *Science Direct*. Obtenido de www.sciencedirect.com
- YARA. (2016). *bobcat.eu*. Recuperado el 28 de Diciembre de 2017, de <http://www.bobcat.eu/assets/imported/transformations/content/download->

attachments/%7Blanguage%7D_DownloadDocuments_Files/42F5FAC5F8B944B795AAE94C59BAB8EA/es-bobcat-drivers-guide.pdf

You, K., Wei, L., & Jiang, K. (2017). A fuzzy logic urea dosage controller design for Two-cell Selective Catalytic Reduction Systems. *ISA transactions*, 1.

NORMAS

INEN 2202:2000. (2000). *Gestión Ambiental Aire Vehículos Automotores. Determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diesel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre*. Quito. Recuperado el 24 de Enero de 2018

INEN 2203:2000. (2000). “*Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralentí”. Prueba estática.*”. Quito. Recuperado el 24 de Enero de 2018

INEN 2204:2000. (2000). “*Gestión ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de Gasolina.*”. Quito. Recuperado el 24 de Enero de 2018

INEN 2207:2000. (2000). “*Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diesel*”. Quito. Recuperado el 24 de Enero de 2018

Unión Europea. (22 de mayo de 2007). *REGLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6)*. Obtenido de <http://register.consilium.europa.eu/doc/srv?l=ES&f=ST%203602%202007%20REV%202>

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores, **WILLIAM JAVIER DORADO CHILQUINGA** y **DANNY ANDRÉS OÑA QUISHPE**.

En la ciudad de Latacunga, a los 6 días del mes de junio del 2018.

Ing. Juan Castro

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Victor Danilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA



Dr. Freddy Jaramillo

SECRETARIO ACADÉMICO