



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: INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO Y EMISIONES
DEL MOTOR DIESEL MZR – CD 2.5L CRDI AL
IMPLEMENTAR EL CONJUNTO SCR CON INYECCIÓN DE
ADBLUE EN EL SISTEMA DE ESCAPE.

AUTORES: MARCO JAVIER FLORES MANOSALVAS
CRISTIAN FRANCISCO TOAPANTA AGUILAR

DIRECTOR: ING. LEONIDAS QUIROZ MSc

LATACUNGA

2018



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO Y EMISIONES DEL MOTOR DIESEL MZR – CD 2.5L CRDI AL IMPLEMENTAR EL CONJUNTO SCR CON INYECCIÓN DE ADBLUE EN EL SISTEMA DE ESCAPE”** realizado por los señores MARCO JAVIER FLORES MANOSALVAS Y CRISTIAN FRANCISCO TOAPANTA AGUILAR, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores MARCO JAVIER FLORES MANOSALVAS Y CRISTIAN FRANCISCO TOAPANTA AGUILAR para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 02 de marzo de 2018

Ing. Leonidas Quiroz
DIRECTOR



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **MARCO JAVIER FLORES MANOSALVAS**, con cédula de identidad N° 1004012348, Y **CRISTIAN FRANCISCO TOAPANTA AGUILAR**, con cédula de identidad N° 0503342297, declaramos que este trabajo de titulación “**INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO Y EMISIONES DEL MOTOR DIESEL MZR – CD 2.5L CRDI AL IMPLEMENTAR EL CONJUNTO SCR CON INYECCIÓN DE ADBLUE EN EL SISTEMA DE ESCAPE**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 02 de marzo de 2018

Marco Javier Flores Manosalvas

C.C.: 1004012348

Cristian Francisco Toapanta Aguilar

C.C.: 0503342297



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **MARCO JAVIER FLORES MANOSALVAS Y CRISTIAN FRANCISCO TOAPANTA AGUILAR**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en repositorio de la institución el presente trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO Y EMISIONES DEL MOTOR DIESEL MZR – CD 2.5L CRDI AL IMPLEMENTAR EL CONJUNTO SCR CON INYECCIÓN DE ADBLUE EN EL SISTEMA DE ESCAPE”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 02 de marzo de 2018

Marco Javier Flores Manosalvas

C.C.: 1004012348

Cristian Francisco Toapanta Aguilar

C.C.: 0503342297

DEDICATORIA

Con mucho amor y cariño dedico mi trabajo a Dios y la Virgencita del Quinche por todas las bendiciones derramadas en el transcurso de toda mi vida estudiantil y permitirme llegar a cumplir unos de mis sueños tan anhelados.

A mis padres Marco Flores y Rosa Manosalvas, que me han inculcado valores y principios, por todo el apoyo y amor incondicional que siempre me han brindado a pesar de mis comportamientos, por su esfuerzo y sacrificio que han realizado para cumplir una de mis primeras metas, y que sepan perdonarme todos mis errores y malas decisiones.

A mi sobrino Marco Alejandro le dedico mi trabajo ya que es la persona que ocupa gran parte de mi corazón, a mi hermana Evelyn, que ha sabido apoyarme en los momentos más difíciles, deseando que le sirva como ejemplo, para que logre todos sus sueños, junto con su hogar y a mi hermano Daniel, ya que a pesar de mis malos ejemplos ha sabido ser un buen hermano, un excelente hijo haciéndome sentir muy orgulloso de él y esperando que sea un excelente profesional en el futuro.

Marco Javier Flores

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios por darme las fuerzas, la paciencia y el conocimiento necesario para terminar esta carrera, por darme la maravillosa familia que tengo.

A mi madre Carmen Aguilar, quien es la persona más importante de mi vida, la cual siempre está presente para cuidarme y darme su bendición, la persona quien me educo y me enseñó buenos valores, gracias a su apoyo pude terminar esta gran etapa de mi vida.

A mis hermanas María, Yadira y Nicol quienes nunca dejaron que abandone mis sueños y que con su ejemplo pude seguir adelante.

A toda mi familia quienes estuvieron pendientes de mi a cada momento.

Cristian Francisco Toapanta Aguilar

AGRADECIMIENTO

Doy las gracias a Dios y a la Virgencita del Quinche por brindarme la salud y vida para lograr culminar mi carrera.

A mis amados padres Marco Flores y Rosa Manosalvas por brindarme su amor y dedicación por enseñarme el inmenso sacrificio que cuesta ganarse un dólar, les agradezco de corazón por siempre buscar mi bienestar y felicidad, por siempre brindarme un consejo antes que reprenderme.

A sobrino Marco Alejandro y mis hermanos Evelyn y Daniel les agradezco por la paciencia y sobre todo su amor, sabiendo que había momentos difíciles supieron brindarme su apoyo y comprensión por no estar en casa, enseñándome la verdadera importancia que tiene la Familia.

A todos mis tíos, primos que me han ayudado cuando lo he necesitado y sobre todo a mi abuelita Luz María que es como mi segunda madre, que supo criarme desde niño y darme todo su amor incondicional.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga por la formación académica brindada a sus docentes por los conocimientos impartidos, en especial al Ing. Leonidas Quiroz por brindarnos sus conocimientos, ayudarnos en la culminación del proyecto y principalmente brindarme su sincera amistad, agradezco también al Ing. Germán Erazo por servirnos de ejemplo como profesionales y personas de bien, pero sobre todo por haberme sabido dar un consejo como un amigo.

Marco Javier Flores

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un agradecimiento muy especial a Dios, que ha sido testigo de todo este camino de formación y ayudarme a tomar las decisiones correctas en mi vida.

A mi tutor el Ing. Leonidas Quiroz por su asesoramiento, colaboración y paciencia en el desarrollo de este proyecto de titulación.

A mi madre por sus buenos consejos y alentarme en cada momento de mi proceso de formación de mi carrera.

A mis hermanas María, Yadira y Nicol que siempre me mantuvieron de pie en todos los momentos difíciles.

A mi novia Johanna por siempre estar a mi lado y ser mi ejemplo, y a toda su familia por dejarme entrar a sus corazones.

A la familia que uno no escoge que son mis amigos y amigas por su apoyo incondicional, su ayuda y por todos los momentos compartidos.

A todos los docentes que conforman la Carrera de Ingeniería Automotriz por los conocimientos compartidos en las aulas de clases.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga por abrirme las puertas permitiéndome formarme en sus aulas y salir por la puerta grande siendo un profesional.

Cristian Francisco Toapanta Aguilar

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
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxi
RESUMEN	xxii
ABSTRACT	xxiii

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Planteamiento del problema	4
1.3. Descripción resumida del proyecto	6
1.4. Justificación e importancia	7
1.5. Proyectos relacionados.....	8
1.6. Objetivos del proyecto.....	9
1.6.1. Objetivo general.....	9
1.6.2. Objetivos Específicos.....	9

1.7.	Metas.....	10
1.8.	Hipótesis.....	10
1.9.	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.10.	Operacionalización de variables.....	11
1.11.	Metodología de la investigación.....	12

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	16
2.1.	Normas Internacionales de Emisiones y Opacidad.....	16
2.1.1.	Normas EURO.....	16
2.2.	Normas Nacionales.....	17
2.2.1.	NTE INEN 2207:2002.....	17
2.3.	Curvas características del motor Diésel.....	18
2.3.1.	Torque o par motor.....	18
2.3.2.	Potencia.....	18
2.4.	Sistema de escape del motor MZR 2.5L-CD.....	19
2.4.1.	Colector de escape.....	20
2.4.2.	Catalizador.....	20
2.4.3.	Tubo de escape.....	21
2.4.4.	Silenciador.....	21
2.5.	Sensores del motor MZR 2.5L-CD.....	22
2.5.1.	Sensor de Temperatura del Motor (ECT).....	22
2.5.2.	Sensor de posición del árbol de levas (CMP).....	23
2.5.3.	Sensor de posición del acelerador (APP).....	23
2.6.	Compuestos contaminantes derivados de la combustión.....	24
2.6.1.	Óxidos nítricos (NOx).....	24

2.6.2.	Hidrocarburos (HC)	25
2.6.3.	Monóxido de Carbono (CO).....	25
2.6.4.	Dióxido de Carbono (CO ₂).....	25
2.6.5.	Oxígeno (O ₂)	26
2.6.6.	Partículas sólidas.....	26
2.7.	El sistema SCR (Reducción Catalítica Selectiva).....	26
2.7.1.	La reacción química básica del proceso SCR	27
2.7.2.	Componentes	28
2.7.3.	AdBlue.....	29
2.7.4.	Depósito de AdBlue	30
2.7.5.	Catalizador SCR.....	31
2.7.6.	Inyector.....	33
2.7.8.	Módulo de control de inyección de AdBlue	34
2.7.9.	Sensor de nivel	35
2.8.	Ley de Ohm	36
2.9.	Número de Reynolds	36
2.9.1.	Perdidas de energía.....	37
2.10.	Ecuacion general de la energía.....	38
2.11.	Arduino	38
2.12.	Equipos.....	39
2.12.1.	Analizador de Gases Brain Bee AGS-688.....	39
2.12.2.	Opacímetro	40
2.12.3.	ElmScan 5	40
2.12.3.	Dinamómetro de rodillos MAHA 3000 LPS.....	41

CAPÍTULO III

3.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SCR DE INYECCION DE ADBLUE.	43
3.1.	Levantamiento de requerimientos	43
3.2.	Diseño	43
3.3.	Diseño Mecánico	44
3.3.1.	Tubo de escape	44
3.3.2.	Catalizador SCR	45
3.3.4.	Construcción e implementación	46
3.3.5.	Simulación	46
3.4.	Diseño Hidráulico	48
3.4.1.	Selección de la bomba	48
3.4.2.	Selección de la cañería	48
3.4.3.	Sensor de nivel de AdBlue	49
3.4.4.	Depósito de AdBlue	51
3.4.5.	Sistema hidráulico	52
3.4.7.	Simulación	53
3.4.6.	Implementación	54
3.5.	Diseño Eléctrico	54
3.5.1.	Batería	54
3.5.2.	Conmutador electromagnético	55
3.5.3.	Determinación del sistema de protección	55
3.5.4.	Selección del cable conductor	56
3.5.5.	Control de activación de la bomba	57
3.6.	Diseño Electrónico	58
3.6.1.	Señal del sensor de posición del árbol de levas CMP	58

3.6.2.	Señal del sensor de temperatura ECT	60
3.6.3.	Señal del sensor de posición del pedal de aceleración APP	63
3.6.4.	Selección del controlador Arduino.....	65
3.6.5.	Selección de la termocupla	66
3.6.6.	Circuito regulador de tensión	67
3.6.7.	Programación	68
3.6.7.	Implementación.....	71

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SCR.	73
4.1.	Puesta a punto del vehículo	73
4.2.	Pruebas de torque y potencia	75
4.2.1.	Protocolo.....	75
4.2.1.	Resultados	77
4.2.2.	Análisis.....	78
4.3.	Pruebas de opacidad	80
4.3.1.	Protocolo	80
4.3.2.	Resultados.....	83
4.3.3.	Análisis	84
4.4.	Pruebas de emisiones	87
4.4.1.	Protocolo.....	87
4.4.2.	Resultados.....	89
4.4.3.	Análisis	94
4.5.	Consumo de combustible	107
4.5.1.	Protocolo.....	107
4.5.2.	Circuito para la prueba.....	108

4.5.3.	Resultados	110
4.5.4.	Análisis	110
4.6.	Pruebas consumo del inyector de AdBlue	112
4.5.1.	Resultados	114
4.6.1.	Análisis	115

CAPÍTULO V

5.	MARCO ADMINISTRATIVO.....	117
5.1.	Recursos.....	117
5.1.1.	Recursos humanos	117
5.1.2.	Recursos institucionales	117
5.1.3.	Recursos materiales	118
5.1.4.	Recursos tecnológicos	119
5.2.	Presupuesto de la investigación.....	119
5.2.1.	Presupuesto de los recursos materiales.	119
5.2.2.	Presupuesto de los recursos tecnológicos.	120
5.2.3.	Presupuesto total	121
5.3.	Cronograma de actividades.	121

CAPITULO VI

6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	122
6.1.	Conclusiones	122
6.2.	Recomendaciones	128
	BIBLIOGRAFÍA.....	130
	NETGRAFIA.....	131
	NORMAS	136
	ANEXOS	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Análisis del problema.....	4
Figura 2. Curva de par motor.....	18
Figura 3. Curva de potencia del motor.....	19
Figura 4. Sistema de escape del vehículo Mazda BT-50.....	19
Figura 5. Colector de escape con turbocompresor.....	20
Figura 6. Esquema de funcionamiento de un catalizador.....	21
Figura 7. Tubo de escape del motor.....	21
Figura 8. Ubicación de los silenciadores.....	22
Figura 9. Sensores del vehículo Mazda BT-50.....	22
Figura 10. Circuito Sensor ECT.....	23
Figura 11. Circuito sensor CMP.....	23
Figura 12. Conector del sensor APP.....	24
Figura 13. Sistema SCR.....	27
Figura 14. Estructura del sistema SCR.....	29
Figura 15. Aditivo AdBlue.....	30
Figura 16. Disposición de los componentes en el vehículo.....	31
Figura 17. Fases de la reacción química en el catalizador.....	32
Figura 18. Trayecto hidrolítico en el catalizador.....	33
Figura 19. Inyector de AdBlue insertado en el tubo de escape.....	33
Figura 20. Inyecotr de AdBlue.....	34
Figura 21. Sistema Denoxtronic 3.1 de Bosch.....	35
Figura 22. Sensor de nivel del aditivo.....	36
Figura 23. Analizador AGS-688.....	39
Figura 24. Opacímetro BEAR.....	40
Figura 25. Interfaz ElmScan 5.....	41
Figura 26. Dinamómetro de rodillos LPS 3000.....	42
Figura 27. Diagrama de flujo de la construcción e implementación del sistema mecánico.....	46
Figura 28. Elementos del sistema de escape SCR.....	46
Figura 29. Deformación debido al apriete de los pernos.....	47

Figura 30. Flujo de gases de escape.	47
Figura 31. Curva Volumen vs Voltaje.....	50
Figura 32. Depósito de AdBlue.	51
Figura 33. Simulación del sistema hidráulico.	53
Figura 34. Diagrama de flujo de la construcción e implementación del sistema hidráulico.	54
Figura 35. Circuito esquemático del control de activación de la bomba de inyección.	57
Figura 36. Sensor CMP en el motor.....	58
Figura 37. Oscilograma de la señal del sensor CMP.	59
Figura 38. Relación RPM vs Periodo.	60
Figura 39. Sensor ECT en el motor.	61
Figura 40. Oscilograma sensor ECT.....	61
Figura 41. Relación Temperatura vs Voltaje del sensor ECT.....	62
Figura 42. Sensor APP en el pedal de aceleración.	63
Figura 43. Oscilograma sensor APP.....	64
Figura 44. Relación Porcentaje vs Voltaje del sensor APP.....	65
Figura 45. Circuito esquemático de regulación de tensión.	67
Figura 46. Programación modo Manual.....	68
Figura 47. Programación modo Automático.....	69
Figura 48. Programación modo Semiautomático.....	70
Figura 49. Diagrama de flujo de la construcción del sistema eléctrico y electrónico.....	71
Figura 50. Diagrama de flujo de la implementación del sistema eléctrico y electrónico.....	71
Figura 51. Circuito completo del módulo de control de inyección de AdBlue.	72
Figura 52. Diagrama de Flujo Puesta a Punto.	74
Figura 53. Dinamómetro CCICEV.....	75
Figura 54. Diagrama de flujo de Torque y Potencia.	76
Figura 55. Pruebas de torque y potencia.	78
Figura 56. Potencia Estándar vs SCR vs Nominal.	79

Figura 57. Torque Estándar vs SCR vs Nominal.....	80
Figura 58. Opacímetro CARTEK.....	80
Figura 59. Diagrama de flujo de Opacidad.....	82
Figura 60. Informe de Opacidad.	84
Figura 61. Resultados opacidad modo manual.	85
Figura 62. Resultados opacidad (Sensores Individuales).	85
Figura 63. Resultados opacidad (Sensores Combinados).	86
Figura 64. Resultados opacidad modo Automático.	87
Figura 65. Analizador de gases AGS-688.....	87
Figura 66. Diagrama de flujo para pruebas de gases.....	88
Figura 67. Informe Emisiones	89
Figura 68. Valores de Lambda modo manual.	95
Figura 69. Porcentajes de CO modo manual.	95
Figura 70. Porcentajes de CO2 modo manual.	96
Figura 71. Ppm de HC modo manual.....	97
Figura 72. Porcentajes de O2 modo manual.....	97
Figura 73. Ppm de NO modo manual.....	98
Figura 74. Porcentajes de CO (Sensores Individuales).....	98
Figura 75. Porcentajes de CO2 (Sensores Individuales).....	99
Figura 76. Ppm de HC (Sensores Individuales).	99
Figura 77. Porcentajes de O2 (Sensores Individuales).	100
Figura 78. Ppm de NOx (Sensores Individuales)	101
Figura 79. Porcentajes de CO (Sensores Combinados).	101
Figura 80. Porcentajes de CO2 (Sensores Combinados).	102
Figura 81. Ppm de HC (Sensores Combinados).	102
Figura 82. Porcentajes de O2 (Sensores Combinados).	103
Figura 83. Ppm de NOx (Sensores Combinados).	104
Figura 84. Valores de CO modo Automático.....	104
Figura 85. Valores de CO2 modo Automático.....	105
Figura 86. Valores de HC en modo Automático.	105
Figura 87. Valores de O2 modo Automático.	106
Figura 88. Valores de NO modo Automático.....	107

Figura 89. Interfaz OBD Link SX.....	107
Figura 90. Ruta ESPE Belisario Quevedo y CCICEV Quito.	108
Figura 91. Diagrama de flujo para pruebas de consumo de combustible ...	109
Figura 92. Consumo con paradas en litros cada 100km.	110
Figura 93. Consumos sin paradas en litros cada 100km.....	111
Figura 94. Consumo en litros por hora.....	111
Figura 95. Consumo total de combustible.....	112
Figura 96. Pruebas de Consumo.	112
Figura 97. Diagrama de flujo para pruebas de consumo de AdBlue.	113
Figura 98. Consumo del inyector de AdBlue a diferentes regímenes.....	116
Figura 99. Cronograma de actividades.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la variable independiente	11
Tabla 2. Operacionalización de la variable dependiente	12
Tabla 3. Metodología de la investigación.	12
Tabla 4. Normas EURO.....	16
Tabla 5. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel a partir del año modelo 2000.	17
Tabla 6. Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel.....	17
Tabla 7. Propiedades químicas del AdBlue.	30
Tabla 8. Selección del tubo para el escape.	44
Tabla 9. Selección del catalizador para el sistema SCR.	45
Tabla 10. Selección de la bomba para el sistema SCR.	48
Tabla 11. Selección de la cañería para el sistema SCR.	49
Tabla 12. Variación de volumen y voltaje del sensor de nivel de AdBlue.	50
Tabla 13. Calculos del deposito de AdBlue.....	51
Tabla 14. Sistema de bombeo.	52
Tabla 15. Consumo de la batería.....	55
Tabla 16. Cálculo de la intensidad de los componentes.	55
Tabla 17. Intensidad Producida por los actuadores y sensores.	56
Tabla 18. Relación del giro del motor con el período del sensor CMP.	59
Tabla 19. Variación de la temperatura - voltaje del sensor ECT.	61
Tabla 20. Variación porcentaje - Voltaje del sensor APP.	64
Tabla 21. Selección del controlador Arduino para el sistema SCR.	66
Tabla 22. Selección de la termocupla para el sistema SCR.....	66
Tabla 23. Pruebas de Torque y Potencia con el sistema SCR.....	77
Tabla 24. Promedio de los valores máximos de las pruebas de Torque y Potencia.....	79
Tabla 25. Porcentajes de Opacidad Límites y Pruebas	83
Tabla 26. Resultados de Emisiones Estándar.....	90
Tabla 27. Resultados de Emisiones Modo Manual.	91

Tabla 28. Resultados de Sensores Individuales.	92
Tabla 29. Resultados Combinaciones de Sensores.....	93
Tabla 30. Resultados Modo Automático.	94
Tabla 31. Consumo de Combustible.	110
Tabla 32. Consumo del inyector de AdBlue a 1000 - 2000 y 3000 RPM en 2 – 4 y 6min.	114
Tabla 33. Recursos humanos.	117
Tabla 34. Recursos institucionales.	118
Tabla 35. Recursos materiales.	118
Tabla 36. Recursos tecnológicos.....	119
Tabla 37. Presupuesto de los recursos materiales.....	119
Tabla 38. Presupuesto de los recursos tecnológicos.	120
Tabla 39. Presupuesto total del proyecto.....	121

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2. Ley de Ohm.....	36
Ecuación 3. Número de Reynolds.....	37
Ecuación 4. Ecuación de Darcy.	37
Ecuación 5. Ecuación general de la energía.	38

RESUMEN

El presente trabajo de titulación describe parámetros y características de diseño del sistema SCR para la inyección de AdBlue que es la combinación de agua con urea al 32,5 % en el sistema de escape, mediante un módulo de control electrónico que comanda tres modos de operación; manual, semiautomático y automático cuantificando señales de posición del árbol de levas, posición del pedal del acelerador, temperatura del motor y catalizador controlando el tiempo de activación de un inyector de AdBlue mediante un microcontrolador. El sistema cuenta con dispositivos de visualización de datos y mando de los modos de operación. Se realizó pruebas de desempeño y rendimiento motor como torque, potencia, consumo de combustible, consumo del aditivo, emisiones y opacidad. Los resultados obtenidos se representaron gráfica y estadísticamente obteniendo la reducción de óxido de nitrógeno (NOx) de 76,85% determinando una influencia positiva del sistema en el vehículo Mazda BT – 50 con motor MZR – CD 2,5 L CRDI.

PALABRAS CLAVE:

- **ADITIVO - ADBLUE**
- **SISTEMA REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA**
- **SCATALIZADOR SCR**
- **EMISIONES DE GAS NOx**

ABSTRACT

The present titration work describes the parameters and design characteristics of the SCR system for AdBlue injection, which is the combination of water with 32.5% urea in the exhaust system, by means of an electronic control module that controls three modes of operation ; manual, semiautomatic and automatic quantifying position signals of the camshaft, position of the accelerator pedal, temperature of the engine and catalytic converter controlling the activation time of an AdBlue injector by means of a microcontroller. The system has data visualization devices and control of operating modes. Performance and engine performance tests were performed such as torque, power, fuel consumption, additive consumption, emissions and opacity. The results obtained were represented graphically and statistically obtaining the reduction of nitrogen oxide (NO_x) of 76.85% determining a positive influence of the system on the Mazda BT - 50 vehicle with MZR - CD 2.5 L CRDI engine.

KEYWORDS:

- **ADDITIVE - ADBLUE**
- **SCR SYSTEM**
- **SCR CATALYST**
- **NO_x GAS EMISSIONS**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes investigativos

Según el (Ministerio del ambiente, 2010) en su Plan Nacional de Calidad del Aire menciona que el 76% de la contaminación atmosférica proviene de los vehículos y el 24% restante de la industria, la generación eléctrica y de fuentes naturales como los volcanes.

En el Equinoccio (Agencia de Noticias de Ecuador, 2015), Manuel Murtinho, presidente de la Asociación Ecuatoriana Automotriz (AEA), por las calles, carreteras de primer orden y secundarias del Ecuador de los 2 millones 200 mil unidades, 218 mil tendrían más de 35 años, 60 mil entre 25 y 30 años y 160 mil entre 20 y 25 años de edad, estas unidades son las que provocan el 35% de la contaminación ambiental.

Según (Reyes L, 2015) con el fin de cumplir la exigente normativa anticontaminación Euro 6 hay marcas que han combinado varios elementos, desde filtros antipartículas (FAP) con aditivo, el catalizador Selected Catalytic Reduction (SCR).

Menciona (Cross L, 2015) que la tecnología de reducción catalítica selectiva (SCR) reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) mediante el uso de un catalizador. SCR, o Reducción Catalítica Selectiva, es una tecnología de control de las emisiones empleada por primera vez en centrales eléctricas propulsadas por carbón con el objetivo de limpiar los óxidos de nitrógeno (NOx) de los gases de escape. En 2006, la tecnología se introdujo con éxito en el mercado europeo de los motores diésel industriales, y permitió que los camiones

podieran cumplir con los límites establecidos en las normas Euro 4 y Euro 5.

Según (Prieto I, 2012) el nitrógeno formando parte de las moléculas del combustible se presenta en los combustibles tipo carbón o petróleo. El contenido medio de nitrógeno del gas natural y los productos petrolíferos ligeros es despreciable, mientras que en los crudos de petróleo oscila alrededor del 0,1-0,5 %. El carbón abarca una gama de contenidos de 0,5-2 %. De este modo es lógico pensar que la formación de NOx del combustible predomine en el carbón y los petróleos brutos, llegando en los quemadores de carbón pulverizado a constituir del 30-80 % del NOx producido.

Para (Greenchem A, 2010) un sistema SCR utiliza AdBlue junto con un catalizador de vanadio o de metal común montado en el silenciador del vehículo para reducir los óxidos de nitrógeno convirtiéndolos en vapor de agua y nitrógeno atmosférico. AdBlue consiste en 32,5 por ciento de urea y 67,5 por ciento de agua desmineralizada. Es Inodoro, limpio y no tóxico. Las normas ISO 22241 y DIN 70700 establecen un alto nivel de pureza para AdBlue. SCR aborda el problema fuera del motor y tiene el potencial de alcanzar un porcentaje de reducción del NOx superior al 80%, permitiendo que el motor se ponga a punto para obtener su máxima eficiencia. Tener el motor a punto para alcanzar su máxima eficiencia permite un ahorro en combustible estimado entre el 3-5%, proporcionando a los usuarios de los vehículos la oportunidad de ahorrar gran cantidad de dinero en sus facturas anuales de combustible.

Determina (Verband D, 2013) que la solución AdBlue se alimenta desde el tanque a través de tuberías hasta un módulo de inyección regulado por la unidad de control del motor. Este módulo asegura que

siempre se inyecte la cantidad correcta de AdBlue según la temperatura y presión de los gases de escape.

Según (Gonzalez E, 2015) las marcas que poseen y ya comercializan vehículos con el sistema SCR son: Iveco, Scania, Mercedes Benz, Man, Volvo, DAF, Renault y pocos modelos de International en lo que se refiere a camiones; por otro lado algunos modelos de coches que utilizan Adblue y que se comercializan son los vehículos Opel con motores 1.6 CDTi 110 y 136 CV; Mazda CX-7 2.2 MZR-CD; vehículos con motores Bluetec y Blue Efficiency Power de Mercedes-Benz, así como su modelo Sprinter; ; Porsche Macan S Diesel; Volkswagen Crafter, Sharan, Jetta, Tiguan y Touareg, es decir, los vehículos que tienen motores Blue TDi o los denominados Clean Diesel; algunas versiones de la Serie 3 de BMW; Audi Q7; y coches con motores Blue HDi del Grupo PSA (2.0 y 1.6).

Estos fueron los modelos donde se inició la presencia de los sistemas SCR en 2014, a los que se han incorporado rápidamente más modelos en todas las marcas.

En la revista de (Ebizor B, 2016) se menciona, el 9 de octubre de 2016, el presidente de Ecuador, Rafael Correa, informó en el enlace ciudadano 495 que se levantarán los cupos para importar vehículos desde Europa, aunque con mayor rigurosidad en cuanto a los estándares de contaminación ambiental y seguridad ciudadana. Rafael Correa comentó que desde 1992 hasta nuestros días, Ecuador aceptaba la norma Euro 1, mientras que Colombia trabaja con Euro 3, Perú con Euro 4, y Argentina, Chile y Brasil Euro5; por eso solicitó una revisión para que en el país empiecen a regir normas internacionales vigentes.

En una redacción de la Revista Líderes (Comercio, 2016) la clasificación Euro 3 fue expedida en el año 2000 y derogada por la

Euro 4 en el 2005. Hoy en la actualidad, en Europa se rige bajo la norma Euro 6. Desde 1992, en Ecuador, las exigencias ambientales son equivalentes a una Euro 1, por esta razón se busca incrementar las normativas. David Molina, director ejecutivo de la Cámara de la Industria Automotriz del Ecuador (CINAE), explica que gran parte de los vehículos ensamblados en Ecuador cumplen con las normas Euro 2 y Euro 3 y los importados también. Marcas de alta gama como Porsche, BMW, entre otras ya están en el mercado con autos que cumplen con la Euro 4. Los gremios del sector automotor expresaron su total apoyo para el cambio de estas normativas. Aunque como dice Genaro Baldeón, director ejecutivo de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), la aplicación de la misma debe ser consecuente con la realidad económica del país.

1.2. Planteamiento del problema

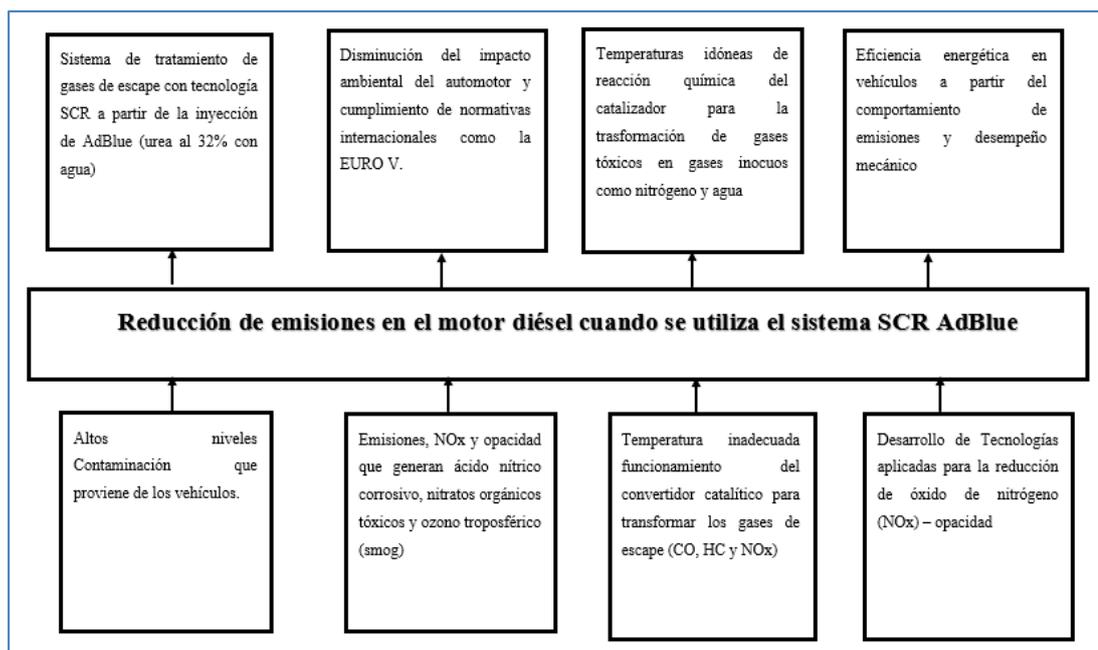


Figura 1. Análisis del problema.

Los altos niveles de contaminación que proviene de vehículos en un 76% como problemática de la contaminación atmosférica, contienen óxidos de

nitrógeno (NOx) en un 80%, este gas resulta de la suma de monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂).

Estos gases se forman cuando el combustible se quema a altas temperaturas, este gas de color marrón reacciona con el aire para formar ácido nítrico corrosivo, nitratos orgánicos tóxicos y ozono troposférico (smog), que conlleva efectos adversos en los ecosistemas terrestres y acuáticos.

Por lo tanto, la investigación se basa en la manera en la que influye la implementación del conjunto SCR con inyección de AdBlue en el sistema de escape, en el comportamiento de emisiones y desempeño mecánicos para lo que se utilizó el motor MZR – CD 2.5L, como tecnología aplicada para la reducción de óxido de nitrógeno (NOx) – opacidad, de tal manera que sea un aporte en el control de los niveles de polución hacia la atmosfera producidos por vehículos.

El convertidor catalítico es un sistema de tratamiento de gases de escape, es un elemento primordial que tiene como misión transformar los gases de escape (CO, HC y NOx) mediante una reacción química en gases inocuos, para lo cual debe alcanzar temperaturas óptimas de funcionamiento.

La propuesta de investigación contempló la implementación del sistema SCR a partir de la inyección de AdBlue (agua al 32.5% de urea), de tal forma que provoque que el catalizador trabaje de una manera eficiente, contribuyendo en la reducción de óxidos nitrosos y la incidencia en los niveles de opacidad en vehículos diésel.

En la actualidad en el país los vehículos ensamblados y comercializados no cuentan con sistemas de tratamiento de gases de escape adicional al catalizador que garantice la disminución de fuentes contaminantes del

ambiente, mediante tecnologías de control de emisiones, por lo que se desarrolló un sistema eficiente que permita reducir la emisión de NOx y opacidad con eficiencia en diferentes condiciones de operación y funcionamiento del vehículo de prueba.

1.3. Descripción resumida del proyecto

En la presente investigación se recolectó información técnica-científica que fundamente aspectos teóricos y prácticos, donde se consideró su procedencia de fuentes confiables como bases de datos digitales, libros, manuales, fichas técnicas, normas y artículos, con lo cual la realización del proyecto está fundamentado con información confiable.

Se implementó el conjunto SCR en el escape del motor MZR –CD 2.5L, mediante un diseño que considere aspectos mecánicos como el tamaño, la ubicación adecuada de un tanque auxiliar donde se almacene el AdBlue, ubicación del inyector y la bomba de AdBlue, así como también la longitud y diámetro del tubo de escape ya que esto influye mucho en los aspectos físicos que pueden determinar la rapidez, presión y temperatura de los gases; los aspectos basados en la gestión electrónica calculando los tiempos de inyección y apertura del inyector, utilizando microprocesadores.

Se realizaron pruebas de emisiones de óxidos nitrosos, además se analizó el desempeño mecánico del motor que comprende las pruebas de torque, potencia, consumo de combustible y rendimiento: normal, motor, a las ruedas y de arrastre, mediante el factor de corrección considerando altitud y presión atmosférica. Se obtuvieron datos de gestión electrónica del sistema de inyección de combustible con el equipo de medición y diagnóstico necesario; antes y después de la implementación del sistema de inyección de AdBlue.

Finalmente se realizó comparaciones de los datos obtenidos mediante la tabulación estadística y análisis gráfico de emisiones – opacidad considerando la normativa NTE INEN 2207, 2002 –NTE INEN 2202, 2000 – SAE J1667 y rendimiento del motor MZR –CD 2.5L 4X2 STD CRD DIESEL, torque, potencia a partir de la norma SAE J1349 con su factor de corrección y consumo de combustible volumétrico.

1.4. Justificación e importancia

El gobierno nacional a través del INER (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables) presenta la creación de nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia energética mediante la investigación y desarrollo de proyectos que aporte a la ciencia mediante el estudio, fomento, e innovación promoviendo las buenas prácticas para el uso adecuado de la energía y la creación de tecnologías dirigidas al aprovechamiento de fuentes energéticas limpias y amigables con el ambiente que demandan los diferentes tipos de transporte motorizados en el país.

Uno de los puntos más relevantes es el ámbito energético por lo que es necesario considerar que el consumo o ineficiencia energética se ve enfocado directamente por la tecnología usada, generación de fuentes alternativas de energía y por la congestión vehicular.

Para preservar la integridad de las personas desde el punto de vista ambiental se debe establecer la calidad y cantidad de los combustibles que se comercializan en el país, para determinar el total la contaminación ambiental, lo que permite identificar al transporte terrestre como el de mayor impacto ambiental en el Ecuador.

Para reducir las emisiones de gases tóxicos generados por el parque automotor se tiene que efectuar medidas de eficiencia energética, para esto una propuesta muy amigable con el medio ambiente es la sustitución de los

combustibles fósiles por otras alternativas energéticas, como biocombustibles provenientes de fuentes renovables o poco aprovechadas en la industria automotriz

El desarrollo social y un objetivo básico es mejorar la calidad de vida, para esto se necesita impulsar proyectos encaminados al cambio de la matriz productiva, el mismo que busca generar nuevos productos a través del talento nacional, para así obtener un medio de transporte de alta calidad, más accesible en lo económico y sobretodo, más amigable con el medio ambiente.

Un valor estratégico de esta investigación está basado en el desarrollo de un sistema alternativo de tecnología SCR que funcione con un módulo de control, para de esta manera cumplir con una de las propuestas de políticas en materia de energías alternativas, ejemplos de esta política son la creación del proyecto de Energías no renovables y Tecnologías en el automóvil.

Mediante esta investigación se encontró las ventajas y desventajas del uso del sistema SCR al aplicarlo en vehículos que utilizan diesel y realizar diferentes pruebas de emisiones de gases. Se determinó el funcionamiento y rendimiento en el vehículo del sistema SCR, se pudo documentar el proceso de implementación del sistema y se logró concluir si es viable como alternativa ecológica.

1.5. Proyectos relacionados

Tema: “ANÁLISIS DE LOS GASES DE ESCAPE MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DEL MOTOR ISUZU DEL LABORATORIO DE MOTORES DIESEL-GASOLINA”

Autor: Cañizares Calderón Jorge David, Cruz Arcos Guillermo Mauricio

Universidad: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L,
Ingeniería Automotriz

Año: 2008

Observación: Con el diseño e implementación de un módulo para el análisis de los gases de escape mediante la optimización del motor Isuzu se logrará disminuir la formación de óxidos de nitrógeno ya que se disminuye la temperatura de combustión en determinadas fases del funcionamiento del motor (a baja y media carga). Esto se consigue mediante el sistema EGR, que introduce en los cilindros ciertas cantidades de gases de escape que ya han sido previamente quemados y que prácticamente no contienen oxígeno, por lo que apenas arderán.

1.6. Objetivos del proyecto

1.6.1. Objetivo general

Investigar el desempeño y emisiones del motor diésel MZR –CD 2.5L al implementar el conjunto SCR con inyección de AdBlue en el sistema de escape.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información teórica y técnica inherente a sistemas de control de emisiones y equipo a utilizar para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Diseñar el módulo de control, que regule los tiempos de inyección y apertura del inyector, considerando todos los parámetros necesarios para obtener un funcionamiento eficiente del sistema SCR.

- Implementar el sistema SCR tomando en cuenta los parámetros mecánicos, físicos y térmicos para la instalación y adecuada ubicación del inyector, depósito de AdBlue, bomba de AdBlue, catalizador y su módulo de control.
- Realizar pruebas de emisiones de óxidos nitrosos, opacidad, torque y potencia.
- Tabular los datos obtenidos, usando gráficas para generar un registro de las variaciones antes y después de la implementación del sistema SCR, en porcentaje de emisiones de gases y de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo de combustible).
- Analizar los resultados obtenidos de la investigación antes y después de haber acondicionado el sistema SCR de tal forma validar su funcionamiento con una optimización del tratamiento de gases de escape.

1.7. Metas

- Implementar el sistema SCR para inyectar AdBlue (agua al 32,5 % con urea), en el sistema de escape del motor MZR –CD 2.5L CD 4x2 STD CRDI Diésel con un módulo de control electrónico para reducir los niveles de emisiones de HC un 30%, NOx un 35% y la opacidad en un 45%.

1.8. Hipótesis

- ¿La implementación del sistema SCR al inyectar agua al 32,5% con urea (AdBlue) en el sistema de escape del motor MZR –CD 2.5L CD 4x2 STD CRDI Diésel, reducirá los óxidos de nitrógeno (NOx) en un 35%?

1.9. Variables de la investigación

- **Variable Independiente:**

Sistema SCR con inyección de AdBlue.

- **Variable Dependiente:**

Desempeño y emisiones de gases del motor diésel.

1.10. Operacionalización de variables

Tabla 1.

Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categorías	Indicadores	Item	Técnica	Instrumentos
El sistema SCR con inyección de AdBlue es una tecnología que se usa para reducir las emisiones de gases de escape.	Parámetros del MCI y subsistemas	Temperatura del motor	°C	Medición	GPR
		Revoluciones del motor	Rpm	Medición	GPR
		Porcentaje de apertura del acelerador	%	Medición	Interfaz ElmScan 5
		Ancho de pulso	mseg	Medición	Osciloscopio OTC
		Torque	Lbf-ft	Medición	Ensayo Prueba de laboratorio
		Potencia	HP	Medición	Ensayo Prueba de laboratorio
		Consumo de combustible	lt	Medición	Interfaz ElmScan 5
		Tiempo de inyección de AdBlue	s	Cálculo	Ensayo Prueba de laboratorio
		Tiempo de apertura del inyector de AdBlue	s	Cálculo	Ensayo Prueba de laboratorio
Temperatura de gases de escape	°C	Cálculo	Pistola térmica		

Tabla 2.
Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Las emisiones de gases contaminantes que produce el motor diésel inciden en la afectación al ambiente debido a la elevada combustión de gases vehiculares y el consumo de combustible, que repercuten en la salud y el bienestar de los seres vivos.	Gases combustionados por el motor de combustión	HC	ppm	Medición	NTE INEN 2207:2002; NTE INEN 2202:2002
		CO	%	Medición	NTE INEN 2207:2002; NTE INEN 2202:2002
		CO ₂	%	Medición	NTE INEN 2207:2002; NTE INEN 2202:2002
		NOx	%	Medición	NTE INEN 2207:2002; NTE INEN 2202:2002 Euro III – Euro IV- Euro V- Euro VI
		Opacidad	%	Medición Calculo	NTE INEN 2207:2002; Euro III – Euro IV- Euro V- Euro VI
		Humos de escape	m ⁻¹	Medición Calculo	SAE J6667 Euro III – Euro IV- Euro V- Euro VI

1.11. Metodología de la investigación

Tabla 3.
Metodología de la investigación.

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Inductivo	En esta investigación se implementó el sistema SCR y se pudo inyectar AdBlue en el sistema de escape para se produzca una reacción química la pasar por el catalizador, cuando los NOx	<ul style="list-style-type: none"> • Motor Mazda BT-50 CD 4X2 STD CRD 2.5 DIESEL • Escáner automotriz • Osciloscopio 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

CONTINÚA 

	se mezclen con el amoníaco y se obtenga nitrógeno y agua.		
Deductivo	<p>El sistema SCR favoreció las reacciones de reducción de NOx con el agente reductor elegido (amoníaco anhidro, disolución amoniaca o disolución de urea) donde se produjo nitrógeno y agua, limitando de esta manera las reacciones colaterales. Los resultados de reducción están garantizados hasta en un 35%. El calor convierte el AdBlue en amoníaco (NH3) continuando con el proceso el amoníaco se mezcla con los óxidos de nitrógeno (NOx) de los gases de escape del motor y finalmente en el catalizador, el amoníaco (NH3) reacciona con los óxidos de nitrógeno (NOx) transformándolos estos últimos en nitrógeno (N) y vapores de agua, estos gases terminan siendo inocuos al medio ambiente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Motor Mazda BT-50 CD 4X2 STD CRD 2.5 DIESEL • Escáner automotriz • Osciloscopio • Analizador de Gases 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Experimental	<p>Se aplicó este método al suministrar las condiciones de funcionamiento al sistema SCR para que este pueda trabajar siendo la ubicación de los elementos con los que cuenta el sistema, así como también parámetros térmicos, mecánicos, eléctricos y electrónicos, algo muy importante para el diseño e implementación del sistema,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Motor Mazda BT-50 CD 4X2 STD CRD 2.5 DIESEL • Escáner automotriz • Osciloscopio • Analizador de Gases • Dinamómetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE • Laboratorio de la Universidad Politécnica Nacional

	de esa manera se realizaron pruebas, mediciones con la ayuda de ensayos, normas, protocolos y demás instrumentos		
Medición	A través del método de medición se obtuvieron los valores de consumo de combustible y emisiones mediante protocolos de pruebas en función de la normativa nacional NTE INEN 2207:2002 y NTE INEN 2202:2000 e internacionales.	<ul style="list-style-type: none"> • Motor Mazda BT-50 CD 4X2 STD CRD 2.5 DIESEL • Escáner automotriz • Osciloscopio • Analizador de Gases 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Analítico	En la investigación se aplicó este método debido a que los compuestos que conforman la contaminación ambiental está dada por los NOx, para lo cual se implementó el sistema SCR con inyección de AdBlue que reducirá los óxidos nitrosos en un 35%. Con lo cual se pudieron obtener datos de pruebas de emisiones y del comportamiento del motor los mismos que se analizaron y relacionaron a las diferentes condiciones que se generaran en la parte experimental	<ul style="list-style-type: none"> • Computador Microsoft office • Word • Excel 	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Extensión Latacunga.
Síntesis	Al utilizar este método se logró representar todas las generalidades del proceso de diseño, construcción e implementación, a partir de los resultados obtenidos con el sistema convencional. De esta manera se pudo llegar al resultado final, el cual reveló	<ul style="list-style-type: none"> • Computador Microsoft office • Word • Excel 	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Extensión Latacunga.

en que porcentaje se redujo el consumo de combustible y emisiones; y así se pudo determinar si el sistema es eficiente. Además se obtuvo un documento resultante de las pruebas y mediciones realizadas, presentando la información de manera ordenada y sintetizada, lo que permitió una fácil asimilación y entendimiento de la misma.

Comparativo

En esta investigación el método comparativo ayudó a establecer la diferencia entre los resultados emisiones; con y sin el sistema SCR mediante la uso de la normativa nacional NTE INEN 2207:2002 y NTE INEN 2202:2000 e internacionales Euro 5 y Euro 6.

- Computador Microsoft office
 - Word
 - Excel

- Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Extensión Latacunga.

Matematización

En la investigación se utilizó este método para establecer la reducción de NOx proveniente de los gases de escapes, se tienen tanto la reducción selectiva como la no selectiva, en el primer caso, se adquiere el consumo del exceso de O2 y en la segunda se minimizó el consumo de este gas y es este último caso el que interesa.

- Calculadora
- Computador Microsoft office
 - Word
 - Excel

- Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Extensión Latacunga.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Normas Internacionales de Emisiones y Opacidad

2.1.1. Normas EURO

Las normas EURO son un conjunto de restricciones que regulan las emisiones de gases emitidos por los automotores dentro de la Unión Europea.

Estas normas han tenido una gran evolución al pasar de los años por lo que (*Diario Oficial de la Unión Europea, 2007*) menciona que: “Los valores límite para un vehículo con motor diesel categoría M (turismo) son los siguientes:”

Tabla 4.
Normas EURO.

Norma	Masa del monóxido de carbono	Masa de hidrocarburos	Masa de los óxidos de nitrógeno	Masa combinada de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno totales (HCT)+ (NOx)	Masa de las partículas (PM)	Unidades
	(CO)	(HCT)	(NOx)	(HCT)+ (NOx)	(PM)	
	L1	L2	L3	L2 + L3	L4	
EURO I	3160	-----	-----	1130	180	mg/km
EURO II	1000	-----	-----	900	100	mg/km
EURO III	640	-----	500	560	50	mg/km
EURO IV	500	-----	250	300	25	mg/km
EURO V	500	-----	180	230	5	mg/km
EURO VI	500	-----	80	170	5	mg/km

Fuente: (Diario Oficial de la Unión Europea, 2007)

2.2. Normas Nacionales

2.2.1. NTE INEN 2207:2002

(INEN, 2002) Menciona que: “Toda fuente móvil con motor de diésel categoría M1 no podrá emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas, en cantidades superiores a las indicadas en la tabla siguiente:”, con las definiciones mencionadas en la norma (INEN, 2000).

Tabla 5.

Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel a partir del año modelo 2000.

CO (g/km)	HC + NOx (g/km)	Partículas (g/km)	CICLOS DE PRUEBA
2.72	0.97	0.14	ECE -15 + EUDC

Fuente: (INEN, 2002)

(INEN, 2002) Indica que: “Requisitos máximos de opacidad de humos para fuentes móviles de diésel.

Toda fuente móvil con motor de diésel, en condición de aceleración libre, no podrá descargar al aire humos en cantidades superiores a las indicadas en la tabla siguiente:”

Tabla 6.

Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel.

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

Fuente: (INEN, 2002)

2.3. Curvas características del motor Diésel

2.3.1. Torque o par motor

Menciona (Atienza C, 2015) que: “Para cada motor existe una determinada velocidad de giro en la que se produce el mejor llenado posible de los cilindros, lo que proporciona la mayor presión media efectiva. El que se alcance unas determinadas revoluciones depende de factores como del diseño de los colectores del sistema de distribución, de su definición, etc”

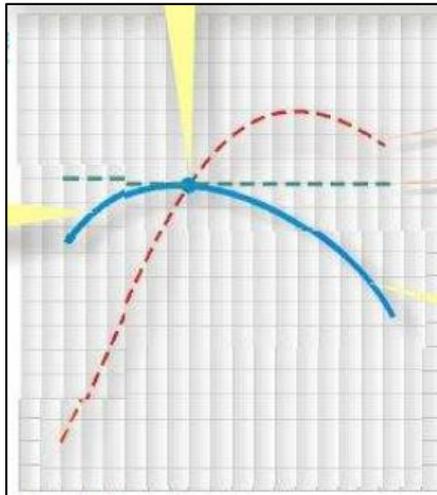


Figura 2. Curva de par motor.

Fuente: (Atienza C, 2015)

2.3.2. Potencia

Según (Atienza C, 2015), “La potencia máxima generada por el motor a cierta velocidad de giro se equilibra con el aumento de rozamientos internos. Es el régimen de giro máximo que puede soportar el motor de manera prolongada y segura.

En el origen de la curva la potencia del motor se equilibra con las resistencias internas del mismo. La velocidad de giro en este punto es la mínima posible para el funcionamiento del motor.

El final de la curva indica el límite de utilización del motor. A partir del punto de máxima potencia, las condiciones de alimentación del motor empeoran y los rozamientos internos

crecen rápidamente, lo que provoca una rápida caída de potencia hasta que su valor efectivo se anula.”

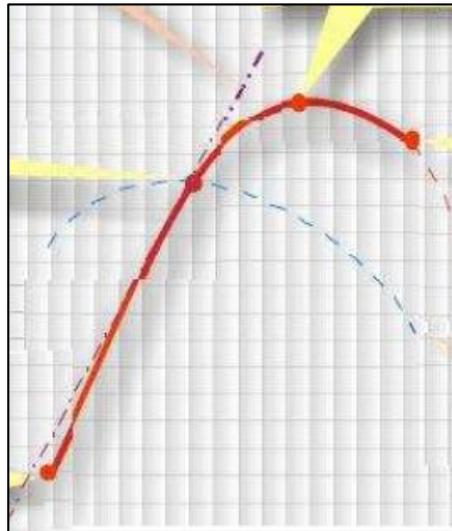


Figura 3. Curva de potencia del motor.

Fuente: (Atienza C, 2015)

2.4. Sistema de escape del motor MZR 2.5L-CD

El conjunto de elementos del sistema de escape son los encargados de conducir los gases de escape producidos por la combustión dentro del cilindro hacia el exterior.

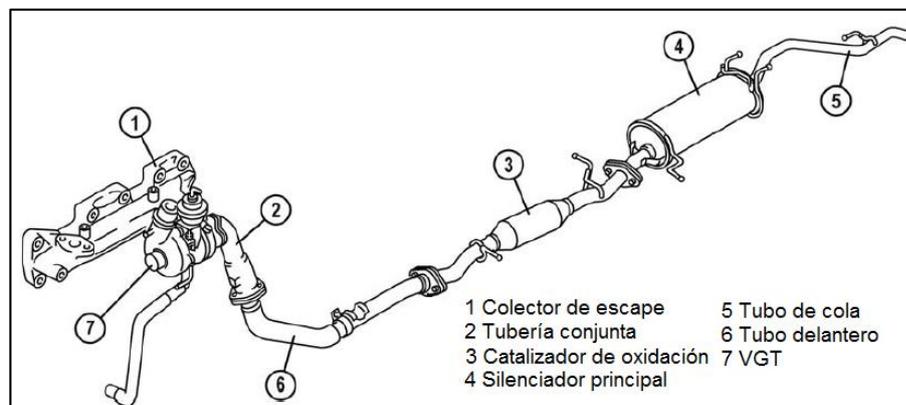


Figura 4. Sistema de escape del vehículo Mazda BT-50.

Fuente: (Mazda, 2006)

(Águeda Casado, Gracia, Navarro, Gómez Morales, & Gracia Jiménez, 2014) indican que "Los gases de escape deben ser evacuados produciendo el menor ruido posible, el menor freno posible (para no reducir la potencia del motor) y la menor contaminación. Para ello, el sistema dispone de los siguientes elementos:"

2.4.1. Colector de escape

(Águeda Casado et al., 2014) Indican que: "Son canalizaciones que unen el motor con el tubo de escape, están fabricados con materiales resistentes a altas temperaturas y diseñados sin curvas agresivas para facilitar la evacuación de los gases. En los motores turboalimentados, el turbocompresor se sitúa a la salida de los colectores".



Figura 5. Colector de escape con turbocompresor.

Fuente: (Águeda Casado et al., 2014)

2.4.2. Catalizador

(Águeda Casado et al., 2014) Sostienen que: "Los catalizadores están intercalados en el tubo de escape, muy cerca de los colectores para que puedan alcanzar la temperatura ideal de funcionamiento. Su función consiste en transformar, en la medida de lo posible, los gases contaminantes que no se han quemado totalmente durante la combustión y reducir así el nivel de contaminación".

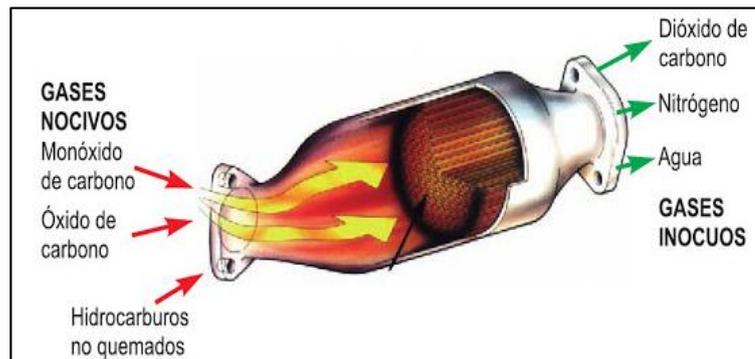


Figura 6. Esquema de funcionamiento de un catalizador.

Fuente: (Águeda Casado et al., 2014)

2.4.3. Tubo de escape

(Águeda Casado et al., 2014) Indican que: “El tubo de escape es la canalización que une los distintos elementos del sistema hasta la evacuación final de gases a la atmósfera”.

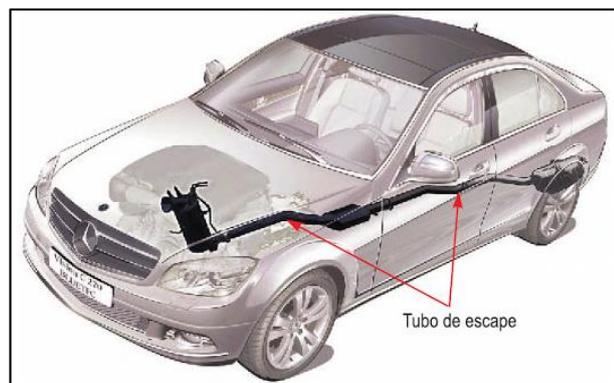


Figura 7. Tubo de escape del motor.

Fuente: (Águeda Casado et al., 2014)

2.4.4. Silenciador

(Águeda Casado et al., 2014) Sostienen que: “Son cajas de resonancia intercaladas entre los colectores de escape y el exterior, su función consiste en disminuir el ruido que provocan las explosiones del combustible, a la salida del escape. Están diseñados para que frenen lo menos posible la salida de gases. Los vehículos pueden llevar instalados más de un silenciador.

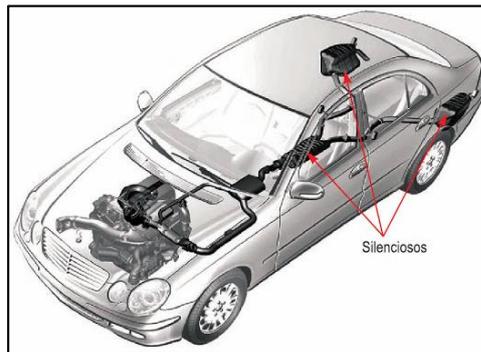


Figura 8. Ubicación de los silenciadores.

Fuente: (Águeda Casado et al., 2014)

2.5. Sensores del motor MZR 2.5L-CD

Los sensores del vehículo utilizados en el sistema SCR para el cálculo de inyección de AdBlue son: el Sensor APP N°3 ubicado en el pedal de aceleración dentro de la cabina y los Sensores CMP y ECT N° 13 y 18 respectivamente ubicados en el motor tal como se puede apreciar en la figura 9.

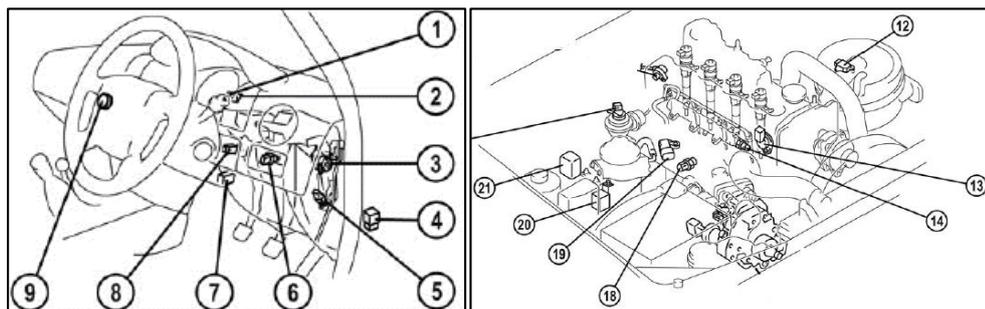


Figura 9. Sensores del vehículo Mazda BT-50.

Fuente: (Mazda, 2006)

2.5.1. Sensor de Temperatura del Motor (ECT)

El sensor de temperatura ECT, figura 10 es de tipo termistor NTC, que posee una resistencia variable que cambia de valor de acuerdo a la temperatura, el PCM coloca un valor de voltaje y de acuerdo al valor de resistencia del sensor.

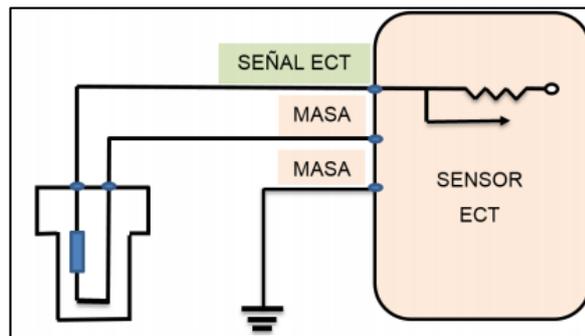


Figura 10. Circuito Sensor ECT

Fuente: (Fidalgo, 2017)

2.5.2. Sensor de posición del árbol de levas (CMP)

Es un sensor de tipo Hall, el cual se encarga de enviar la posición del árbol de levas mediante pulsos que varían entre valores de tensión de 0 a 5 voltios a la computadora del vehículo.

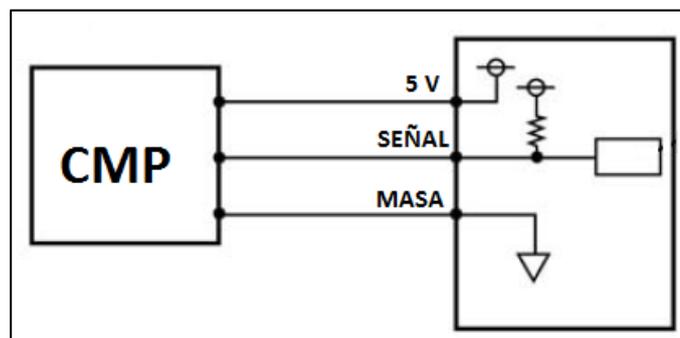


Figura 11. Circuito sensor CMP

Fuente: (Mazda, 2006)

2.5.3. Sensor de posición del acelerador (APP)

Este sensor es de tipo potenciómetro el cual se encarga de enviar un valor de voltaje a la computadora (PCM), esta señal se encarga de informar cual es la posición del pedal del acelerador.

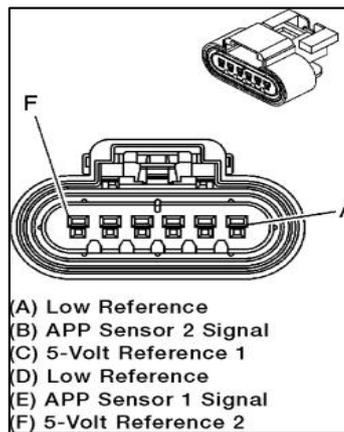


Figura 12. Conector del sensor APP

Fuente: (AutoZone, 2017)

2.6. Compuestos contaminantes derivados de la combustión

2.6.1. Óxidos nítricos (NO_x)

(BOSCH, 2005) Afirma que: “El monóxido de nitrógeno (NO) es un gas incoloro, inodoro e insípido que en la atmósfera se convierte, lentamente, en dióxido de nitrógeno (NO₂). El NO, es, en forma pura, un gas venenoso de color marrón rojizo y olor penetrante. En alta concentración, el NO₂ puede producir irritación de las mucosas.

Los óxidos de nitrógeno se cuentan entre los causantes de daños forestales (lluvia ácida) y, junto con los hidrocarburos, de la formación de niebla contaminante (smog”).

Según (Fernández P, 2012) “Los NO_x se refieren a un conjunto de emisiones de óxido nítrico NO, de dióxido nítrico NO₂ y trazas de otros, generados en la combustión de cualquier combustible, debido a las altas temperaturas y a la disponibilidad de oxígeno y nitrógeno, tanto en el aire comburente, como en el combustible.

Las emisiones de NO_x generadas en los procesos de combustión están constituidas por un 90 - 95% de NO, y el resto por NO₂. Cuando los humos abandonan la chimenea, una gran parte del NO se oxida en la atmósfera, pasando a NO₂”.

2.6.2. Hidrocarburos (HC)

(Pardiñas, 2012) Indica que: “Aparecen por alguna de las siguientes causas:”

- *Combustible sin quemar.*
- *Paso excesivo de aceite a la cámara de combustión.*

(BOSCH, 2005) Sustenta que: “Los hidrocarburos están contenidos de muchas maneras en los gases de escape. Los hidrocarburos alifáticos (alcano, alqueno, alquino y sus derivados cíclicos) son prácticamente inodoros. Los hidrocarburos de estructura anular (benceno, tolueno, hidrocarburos policíclicos) sí tienen olor. Son considerados en parte, si actúan de forma permanente, como cancerígenos. Los hidrocarburos semioxidados tienen un olor desagradable y producen, bajo el efecto del sol, productos derivados, que también se consideran cancerígenos cuando su acción es permanente y se da en determinadas concentraciones”.

2.6.3. Monóxido de Carbono (CO)

(BOSCH, 2005) Menciona que: “Monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro e insípido. En los seres humanos, reduce la capacidad de absorción de oxígeno de la sangre y, por consiguiente, produce el envenenamiento del cuerpo.

Un contenido de 0,3% de CO en el aire respirado puede tener un efecto mortal en 30 minutos”.

2.6.4. Dióxido de Carbono (CO₂)

(Pardiñas, 2012) Indica que: “Aunque no es tóxico, resulta perjudicial para el medio ambiente cuando se encuentra en concentraciones superiores a las normales. Siempre que la cantidad de CO₂ presente en la atmósfera sea superior a la que las plantas puedan absorber para transformar en oxígeno, se produce «el efecto invernadero» que hace que la temperatura de todo el planeta aumente y se produzcan cambios climáticos de imprevisibles consecuencias”.

2.6.5. Oxígeno (O₂)

(Pardiñas, 2012) Señala que: “Forma parte del aire con una proporción del 21%. Como sabemos, es imprescindible para la combustión.

Si esta fuera perfecta no debería sobrar nada de oxígeno, pero como no lo es, todavía sale por el escape un residuo de aproximadamente 0,6% (su valor varía en función de la riqueza de la mezcla)”.

2.6.6. Partículas sólidas

(Pardiñas, 2012) Sustenta que: “La combustión, al ser incompleta, produce partículas sólidas en forma de cenizas y hollín.

Su efecto, respecto a la contaminación, no tiene gran importancia en los motores de gasolina pero sí en los diésel. Estas partículas pueden acumularse en las partes mecánicas del motor (tanto en los motores diésel como en los de gasolina), dificultando su funcionamiento o produciendo la obturación de los pasos de aire. Los efectos que ejercen sobre el organismo humano todavía no están aclarados por completo”.

2.7. El sistema SCR (Reducción Catalítica Selectiva)

Según (Wiesche S , 2016) en el Parlamento de la Unión Europea ha emitido normas de emisión más estrictas (Euro 4, 5 y 6) para los motores diésel de vehículos comerciales para los años 2005 y 2009 y 2014, respectivamente. En comparación con los límites actuales, será necesaria una reducción de las emisiones del 60% para los óxidos de nitrógeno (NOx).

Después de comparar y probar diversas opciones técnicas, los fabricantes europeos de vehículos pesados han acordado un método para cumplir estas normas: la reducción catalítica selectiva (tecnología SCR), que convierte los óxidos de nitrógeno en nitrógeno y agua que resultan ser inocuos al ambiente en

presencia de un agente reductor, Una solución acuosa de urea que se distribuye bajo el nombre comercial AdBlue.

El compuesto químico urea ha desempeñado un papel muy especial en la historia de las ciencias naturales, y marca el comienzo de la química orgánica.

En la revista de Cummins (Fleetguard C, 2009) En concordancia con la experiencia internacional, los sistemas SCR (Reducción Catalítica Selectiva) corresponden a la solución apropiada y recomendada para la reducción de emisiones de NOx, en atención a que esta tecnología se adapta a las necesidades de los equipos que emiten estos gases, condiciones de operación, calidad del combustible y requerimientos de la normativa vigente.

Esta tecnología logra resultados concretos sin generar problemas en el funcionamiento de los equipos, abatiendo considerablemente las emisiones de óxidos de nitrógeno.

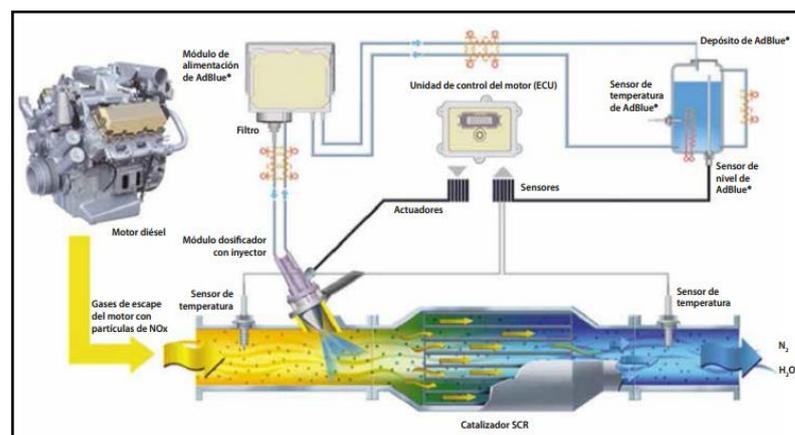


Figura 13. Sistema SCR

Fuente: (Fernández P, 2012)

2.7.1. La reacción química básica del proceso SCR

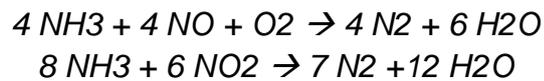
Según la norma ISO 22241 determina en la Guía para aseguramiento de la Calidad (Cefic, 2011) que el AdBlue es inyectado en el gas de escape caliente y sufre una hidrólisis por encima de 180°C (aproximadamente), formando amoníaco (NH₃) según la siguiente ecuación.

Reacción de hidrólisis:



En el catalizador SCR de metal de base homogéneamente extruido, tiene lugar la siguiente reacción para convertir el NOx con NH3 procedente de la reacción de hidrólisis en nitrógeno y agua.

Reacción SCR:



Para que la tecnología SCR de post-tratamiento sea efectiva, es fundamental impedir cualquier contaminación de la AUS 32 causada por elementos extraños y por cualquier condicionante físico fuera de los límites establecidos.

2.7.2. Componentes

Según (Pardiñas, 2012) con la introducción del sistema SCR, el sistema de gases de escape en estos motores está formado por los siguientes componentes. Figura 14.

:

- *Colector de escape con el turbocompresor integrado, que no se muestra en la figura para más claridad.*
- *Catalizador de oxidación.*
- *Filtro de partículas.*
- *Mezclador.*
- *Catalizador de reducción.*
- *Tramo final del tubo de escape que tampoco se muestra para mayor claridad.*

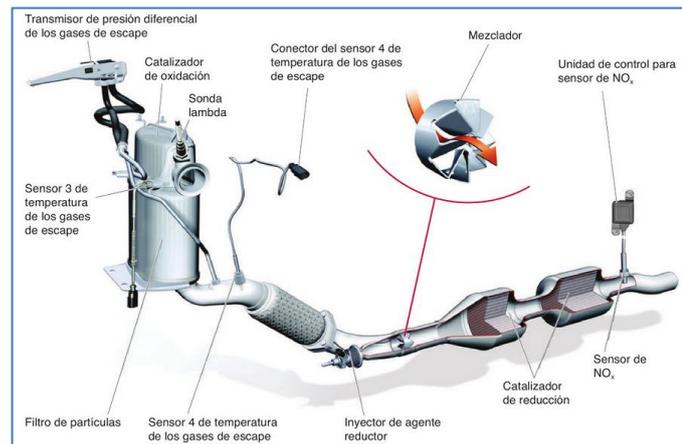


Figura 14. Estructura del sistema SCR

Fuente: (Pardiñas, 2012)

2.7.3. AdBlue

Según (Erdgas und Kohle, 2003) para la aplicación de urea en el método SCR se pretende utilizar una solución de urea técnicamente pura en agua destilada, que es más fácil de manejar y de dosificar.

La solución contiene 32,5% en peso de urea, porque el punto de cristalización alcanza un mínimo de 11 ° C (relación de mezcla eutéctica) a esa concentración. En el futuro esta solución acuosa de urea se distribuirá bajo la denominación internacional "AdBlue".

Tras una cuidadosa evaluación de todos los aspectos derechos de patente y marcas registradas, este 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.



Figura 15. Aditivo AdBlue

Fuente: (BASF O, 2007)

Tabla 7.

Propiedades químicas del AdBlue.

Descripción	Valores	Unidades
Urea	31.8-33.2	% en peso
Alcalinidad como NH ₃	Max. 0,2	% en peso
Densidad	1087.0-1093.0	kg/m ³
Viscosidad	1,4	mPa*s
Punto de cristalización	-11.5	°C
Conductividad térmica	0.570	W/m K
Calor específico	3.40	KJ/Kg K

Fuente: (Cefic, 2011)

2.7.4. Depósito de AdBlue

Según (Perez Bello, 2017) “la ubicación depende del vehículo, así como de su tamaño, figura 16. Los camiones disponen de depósitos de gran capacidad. En su interior se dispone de un sensor de nivel, que informa al conductor, mediante un testigo en el cuadro de instrumentos, cuando el aditivo está próximo a agotarse”.

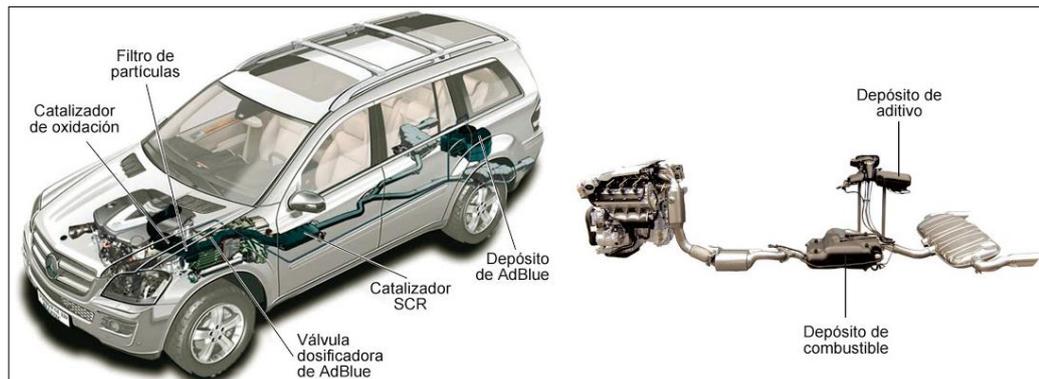


Figura 16. Disposición de los componentes en el vehículo.

Fuente: (Perez Bello, 2017)

2.7.5. Catalizador SCR

(Perez Bello, 2017) Menciona que: “Los catalizadores SCR (Selective Catalytic Reduction), cuyas siglas corresponden a catalizadores de reducción selectiva, eliminan gran parte de los NOx producidos, permitiendo reducir, ostensiblemente, los porcentajes de recirculación EGR, e incluso llegando a prescindir de ella. Con ello se mejora el rendimiento del motor, reduciéndose el consumo”.

En la norma ISO 22241 en la Guía para aseguramiento de la Calidad, menciona (Cefic, 2011) que los catalizadores usados en el sistema SCR de post-tratamiento están formados por compuestos catalíticamente activos de metales de transición, fijados sobre soportes cerámicos. La capacidad del sistema SCR de post-tratamiento para convertir NOx en N₂ y H₂O depende en gran parte de la actividad real de estos centros activos y del grosor de los poros en el soporte cerámico. El tamaño de los poros determina la tasa de difusión de los gases de escape en el catalizador. Para asegurar un funcionamiento correcto del sistema SCR de post-tratamiento durante un largo período, la calidad del AdBlue ha de controlarse de forma muy estricta, pues muchos de los componentes con valores limitados por la norma ISO 22241-1 pueden dañar irreversiblemente el catalizador debido a una obstrucción física de los poros o a la desactivación de los centros donde se produce la reacción. Una escasa efectividad del sistema SCR de post tratamiento debida a un catalizador en mal estado puede tener como consecuencia:

- Incremento de las emisiones de NOx
- Provocar daños secundarios al propio motor, debido al aumento de la presión del gas de escape.

(Pardiñas, 2012) Indica que: “El catalizador de reducción es el encargado de reducir los óxidos de nitrógeno (NOx) a nitrógeno (N₂) y a agua (H₂O). Está ubicado en el tramo central del sistema de escape y suele estar dividido en dos partes para ocupar menos espacio. En su interior presenta un cuerpo cerámico, en estructura panal, con recubrimiento de zeolita de cobre.

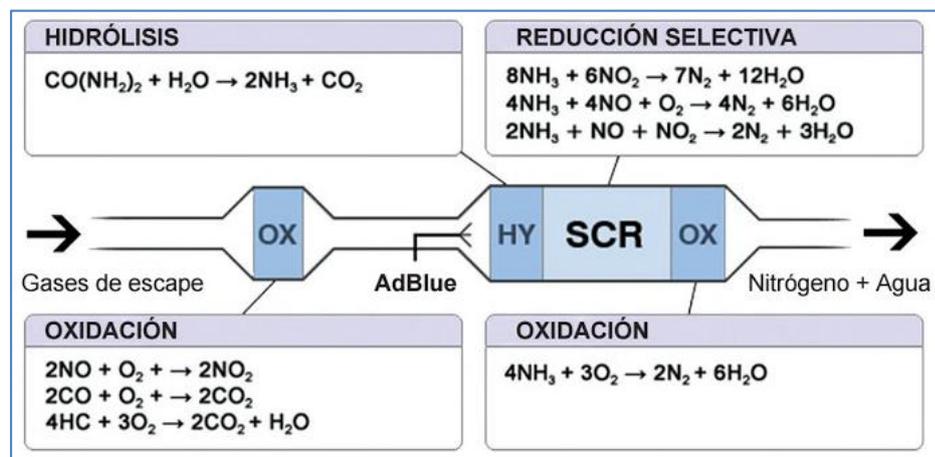


Figura 17. Fases de la reacción química en el catalizador.

Fuente: (Perez Bello, 2017)

(Pardiñas, 2012) Afirma que: “La zeolita de cobre es una estructura porosa compuesta de aluminio, silicio y cobre. Este último es el elemento activo que promueve la reacción química en el catalizador de reducción, siendo más barato que el platino o paladio utilizado en otros tipos de catalizadores”.

(Pardiñas, 2012) Menciona que: “El catalizador de reducción es operativo a partir de aproximadamente 200 °C. Previamente a la reducción en el catalizador, es necesario que el agente reductor esté disgregado. Este tramo previo recibe el nombre de trayecto hidrolítico, figura 18”.

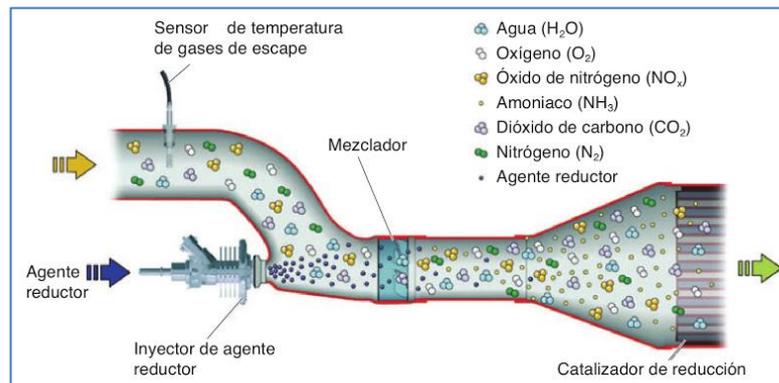


Figura 18. Trayecto hidrolítico en el catalizador.

Fuente: (Pardiñas, 2012)

2.7.6. Inyector

Para (Perez Bello, 2017) es el encargado de dosificar el aporte de aditivo. El control del dosificador queda a cargo de una centralita específica, conectada en red con la centralita de gestión del motor.

Según (Fidalgo, 2017) el inyector va insertado en el tubo de escape y antes del catalizador, pulveriza la cantidad precisa de urea para que tenga lugar la reacción química.



Figura 19. Inyector de AdBlue insertado en el tubo de escape.

Fuente: (Fidalgo, 2017)

(Ruiz Saráchaga, 2012) Menciona que: “El reactivo es inyectado bajo presión y atomizado por una boquilla

especialmente diseñado para crear gotitas de tamaño y distribución óptimos”.

- **Características del inyector**

Para (Ruiz Saráchaga, 2012) los inyectores deben tener las siguientes características:

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



Figura 20. Inyecotr de AdBlue.

Fuente: (Bosch , 2015)

2.7.8. Módulo de control de inyección de AdBlue

(Bosch , 2015) Menciona que: “El control electrónico se puede integrar en la unidad de control del motor (ECU) o, alternativamente, en una unidad de control de dosificación (DCU).

En este último caso, el sistema de dosificación se suministra con los datos de funcionamiento actuales del motor a través de un bus CAN (red de área de controlador) y, además, procesa todos los datos de sensor y actuador requeridos para el sistema de dosificación. La estrategia de dosificación se aplica para adaptarse exactamente a la cantidad de agente de reducción al punto de funcionamiento del motor ya las propiedades del convertidor catalítico para la conversión máxima de óxido de nitrógeno”.

Según (Fidalgo, 2017) el módulo de control es: “Una centralita que debe calcular la cantidad de urea necesaria en cada momento para que la reacción sea estequiométrica (es decir, que todas las moléculas reaccionen sin que sobren de una o de otra). Esta centralita, además, deberá informar al conductor sobre la cantidad que queda en el depósito de urea y recomendar el repostaje del aditivo antes de que se agote”.

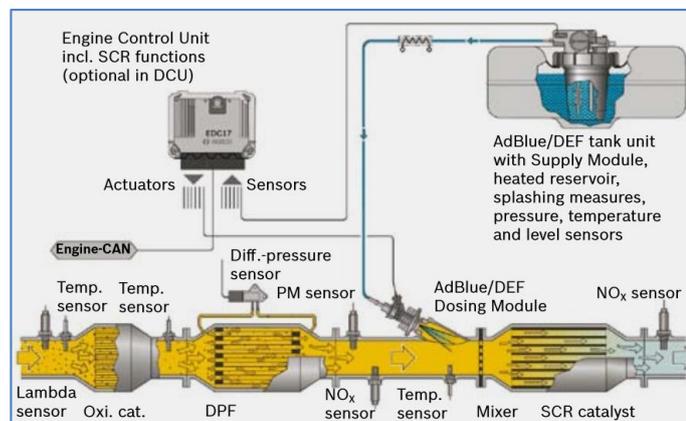


Figura 21. Sistema Denoxtronic 3.1 de Bosch.

Fuente: (Bosch , 2015)

2.7.9. Sensor de nivel

Este sensor es de tipo potenciómetro el cual dentro de su estructura tiene un contacto deslizante el cual varía su resistencia mediante el desplazamiento del flotador.

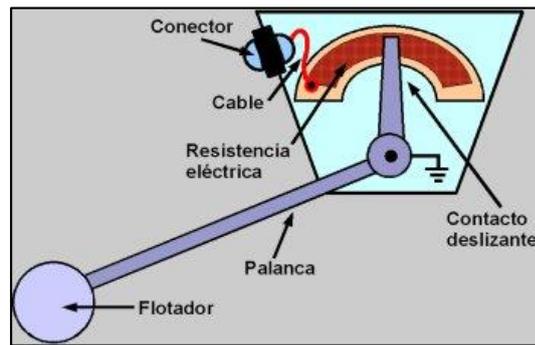


Figura 22. Sensor de nivel del aditivo

Fuente: (sabelotodo.org, 2002)

2.8. Ley de Ohm

Según (López Rodríguez , 2013) la ley de Ohm determina la proporcionalidad entre el voltaje aplicado a un conductor y la corriente que circula por él, a la constante de proporcionalidad le llamé resistencia eléctrica R , la ecuación que expresa dicha ley es:

$$V = I * R$$

Ecuación 1. Ley de Ohm.

Fuente: (López Rodríguez , 2013)

Donde:

V = Voltaje [V]

I = Intensidad de corriente [A]

R = Resistencia [Ω]

2.9. Número de Reynolds

El número de Reynolds es un número adimensional, (Mott, 2006) menciona que: “permite conocer el comportamiento del fluido, en particular en lo que se refiere a las pérdidas de energía, depende de que el flujo sea laminar o turbulento: si $NR < 2000$ el flujo es laminar, si $NR > 4000$ el flujo es turbulento.”

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

Ecuación 2. Número de Reynolds.

Fuente: (Mott, 2006)

Donde:

N_R = Número de Reynolds

V = Intensidad de corriente [m/s]

D = Diámetro del tubo [m]

ρ = Densidad del fluido [Kg/m³]

η = Viscosidad [m*s/Kg]

2.9.1. Pérdidas de energía

(Mott, 2006) menciona que: “Una componente de la pérdida de la energía es la fricción en el fluido que circula, esta fricción es proporcional a la carga de la velocidad del flujo y a la relación de la longitud al diámetro de la componente, esto se expresa matemáticamente en la ecuación de Darcy:”

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 3. Ecuación de Darcy.

Fuente: (Mott, 2006)

Donde:

h_L = Pérdida de energía debido a la fricción [m]

L = Longitud de la corriente del flujo [m]

D = Diámetro del tubo [m]

v = Velocidad del fluido [m/s]

f = Factor de fricción [adimensional]

2.10. Ecuacion general de la energía

(Mott, 2006) afirma que: “La energía de una sección de fluido se incrementa con la energía agregada por las bombas o compresores, se disminuye por el retiro de la energía a través de turbinas o motores; y se disminuye siempre por las pérdidas de energía debidas a fricción y a elementos secundarios”

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_a - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Ecuación 4. Ecuación general de la energía.

Fuente: (Mott, 2006)

Donde:

P_1 y P_2 = Presión al inicio y final [Pa]

V_1 y V_2 = Velocidad del fluido al inicio y al final [m/s]

h_L = Pérdida de energía debido a la fricción [m]

h_a = Energía proporcionada por la bomba [m]

z_1 y z_2 = Altura del depósito a la bomba y de la bomba hacia la salida [m]

γ = Peso específico del fluido [N/m^3]

g = Gravedad [m/s^2]

2.11. Arduino

(Arduino, 2017) menciona que:” Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos.

Arduino puede sentir el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. El microcontrolador de la placa se programa usando el Arduino Programming Language (basado en Wiring) y el Arduino Development Environment (basado en Processing). Los proyectos

de Arduino pueden ser autonomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador”.

2.12. Equipos

2.12.1. Analizador de Gases Brain Bee AGS-688

Según (GlobalTech, 2007) el analizador de gases Brain Bee AGS – 688 es utilizado para determinar las diferentes concentraciones de gases emitidas en el escape de vehículos; el equipo puede ser operado en modo estático o dinámico midiendo el gas del tubo de escape con la ayuda de la respectiva sonda; gracias al teclado del analizador, al culminar las pruebas requeridas se puede imprimir los resultados directamente o guardarlos a un ordenador conectado al analizador, figura 23.



Figura 23. Analizador AGS-688.

Fuente: (OBD2 Soluciones, 2015)

Se lo considera un analizador de gases básico pero gracias a los accesorios varios que se le puede conectar se generan funciones adicionales como: es posible conectar un medidor de revoluciones (MGT-300) el cual se integra con el módulo; también es posible la conexión con el ordenador gracias al cable RS232, USB o con el módulo BT-100 Bluetooth.

2.12.2. Opacímetro

Menciona (Villacís Y, Burgos D, 2016) , el opacímetro es un equipo combinado marca CARTEK, opacímetro y analizador de gases con el cual se realiza la prueba de opacidad para comparar los resultados obtenidos con el analizador de opacidad BEAR, figura 24.



Figura 24. Opacímetro BEAR.

Fuente: (CAPELEC, 2016)

Las especificaciones técnicas del analizador son las siguientes:

- *Configuración básica de análisis diesel.*
- *PC basado en sistema Windows XP*
- *Medidor de humo (Opacímetro)*
- *Pantalla plana 17"*
- *Impresora opcional*
- *110 / 220 Volts-50 / 60 HZ*

2.12.3. ElmScan 5

Para (ScanTool, 2017), el equipo de medición ElmScan 5, permite establecer la conexión entre el vehículo mediante un diagnóstico a bordo OBD II y el computador por USB mediante el software OBDwiz, figura 25.

El equipo crea tableros virtuales que se asemejan a los de un vehículo real, los cuales se puede observar diferentes PIDs del vehículo.



Figura 25. Interfaz ElmScan 5.

Fuente: (ScanTool, 2017)

2.12.3. Dinamómetro de rodillos MAHA 3000 LPS

Según el catálogo (MAHA, 2017) el banco de prueba de potencia LPS 3000, figura 26, ofrece resultados precisos y constantes sobre la potencia del motor y el par del motor.

La gráfica resultante de la prueba, refleja valores de: potencia normal, del motor, de las ruedas, de arrastre, la máxima, el par de motor, el par máximo y las RPM máximas alcanzadas.

Otros de los valores resultantes gracias a los accesorios del dinamómetro son: temperatura ambiente, de aire aspirado, humedad relativa del aire, presión del aire, presión del vapor y la temperatura del aceite del motor.

El dinamómetro extrapola todos los valores de medición a valores normalizados según las normas internacionales. Asimismo, el LPS 3000 cuenta con la posibilidad de conectar aparatos de medición externos, como medidor de consumo de combustible, analizador de gases, etc., completa las posibilidades de uso en la industria, talleres o deportes de motor/tuning.



Figura 26. Dinamómetro de rodillos LPS 3000.

Fuente: (ResearchGate, 2016)

Para (MAHA, 2017) el software ofrece:

- *La medida continua (dinámica) y discreta (estática) de la potencia.*
- *La representación gráfica y digital de la potencia de rueda, la potencia de las pérdidas en la transmisión, la potencia del motor y el momento de torsión.*
- *El cálculo de la potencia del motor en concordancia con DIN 70020, EWG 80/1269, ISO 1585, JIS D 1001, SAE J 1349.*

CAPÍTULO III

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SCR DE INYECCION DE ADBLUE.

3.1. Levantamiento de requerimientos

Los requerimientos necesarios para implementar el Sistema SCR con inyección de AdBlue en el sistema de escape en el motor Diésel MZR – CD 2.5 L, son: catalizador SCR, termocupla, inyector de AdBlue, bomba de inyección de AdBlue, módulo de control de inyección de AdBlue, depósito de AdBlue, sensor de nivel de AdBlue, tubo de acero, cables y sistemas de fijación.

Además, el sistema recibe señales de los sensores existentes en el vehículo como son: sensor de temperatura del motor (ECT), sensor de posición del árbol de levas (CMP), sensor de posición del pedal del acelerador (APP) y el voltaje de la batería.

3.2. Diseño

El sistema SCR está constituido por cuatro partes que son: mecánica, hidráulica, eléctrica y electrónica.

La parte mecánica consta de: catalizador SCR y alojamiento del inyector de AdBlue, encargados de realizar el proceso químico de tratamiento de gases de escape; puntos de fijación y tubos de acero, que conducen los gases de escape hacia el exterior.

El sistema hidráulico conformado por: depósito de AdBlue (agua al 32.5% de urea), cañerías y bomba de inyección; este sistema succiona el aditivo localizado en el depósito mediante la bomba, y empujado hacia el inyector.

El sistema eléctrico es el encargado de proporcionar el voltaje de la batería hacia el módulo de control y los actuadores (inyector y bomba).

El sistema electrónico controla los tiempos de inyección y activación de la bomba, mediante las señales que recibe de los sensores, aplicando elementos semiconductores y pasivos mediante una placa de control alojado en la cabina del vehículo.

3.3. Diseño Mecánico

3.3.1. Tubo de escape

Para la selección del tubo para el sistema de escape se consideró diferentes aspectos tales como: diámetro del tubo, costo y el peso.

El sistema necesita un tubo redondo de 2 ½ pulgadas ya que el sistema de escape original tiene un tubo de esta dimensión y el catalizador también tiene las mismas dimensiones.

- **Selección de alternativas**

Tabla 8.

Selección del tubo para el escape.

Tipo	Diámetro (pulg)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Disponibilidad en el mercado	Costo
Agrícola galvanizado	2 1/4	1.5	2.23	Disponibile	Medio
Tubo de poste galvanizado	2 1/2	2	3.27	Disponibile	Medio
Tubo negro	2 1/2	1.5	2.34	Disponibile	Bajo

De acuerdo a los resultados obtenidos, se seleccionó el tubo de acero negro de 2 ½ pulgadas de diámetro, con un espesor de 1.5 mm el cual tiene un peso de 2.34 kg/m, del catálogo de tubos de (Novacero, 2017), debido que su costo es bajo, y el sistema no requiere de algún recubrimiento especial en el tubo de escape.

3.3.2. Catalizador SCR

El catalizador para el sistema SCR debe de cumplir con diferentes requerimientos, para que el tratamiento de gases de escape funcione correctamente los cuales son: estructura interna cerámica, número de vías deben ser tres y con una entrada y salida de 2 ½ pulgadas.

- **Selección de alternativas.**

Tabla 9.

Selección del catalizador para el sistema SCR.

Versión (Serie)	Diámetro (pulg)	Material	N° vías	Disponibilidad en el mercado	Costo
34000	2 1/2	Acero	3	Disponibile	Medio
36000	2 1/2	Cerámico	2	Bajo pedido	Medio
39000	2 1/2	Cerámico	3	Disponibile	Medio

Para este sistema se escogió el catalizador cerámico de tres vías, con una entrada y salida de 2 ½ pulgadas, de la serie 39000 parte N° 39006 del catalogo de (MagnaFlow, 2011), con una disponibilidad inmediata, este catalizador esta diseñado para que vaya ubicado en la parte posterior de la línea de escape, y con un solo tubo para la salida de gases de escape

3.3.4. Construcción e implementación

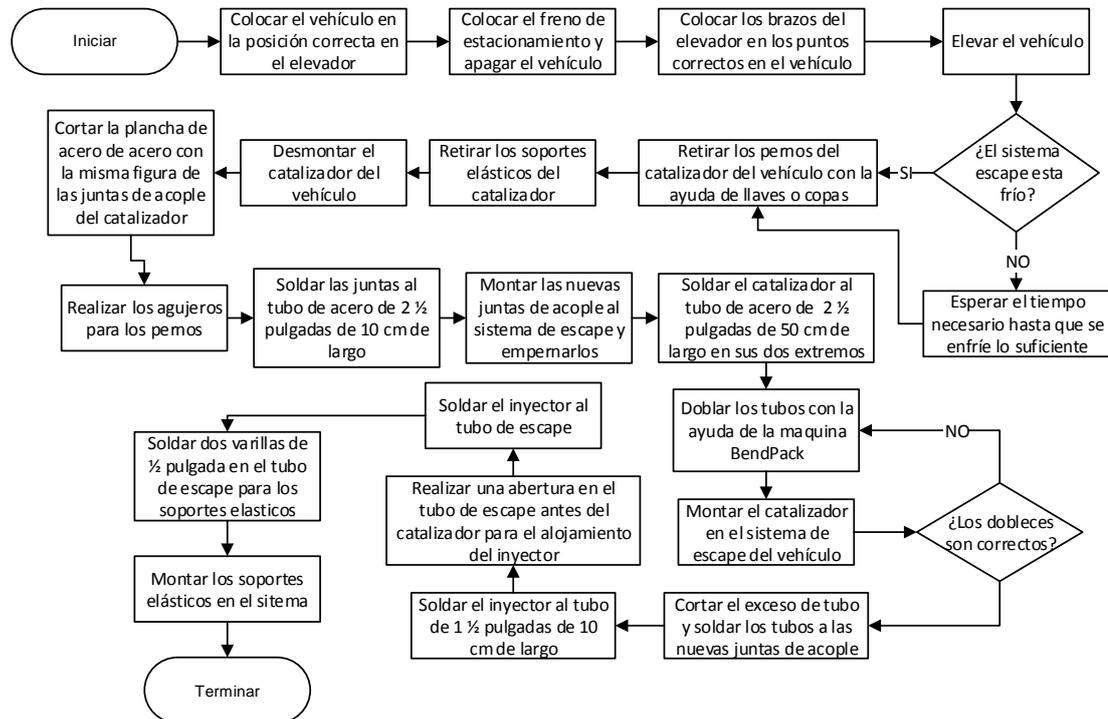


Figura 27. Diagrama de flujo de la construcción e implementación del sistema mecánico.

3.3.5. Simulación

En la figura 28, se muestra el ensamble de todas las piezas que conforman sistema de escape para el sistema SCR está conformado por: (1) catalizador SCR, (2) y (3) tubos de acero, (4) y (5) soportes de fijación y (6) inyector de AdBlue.

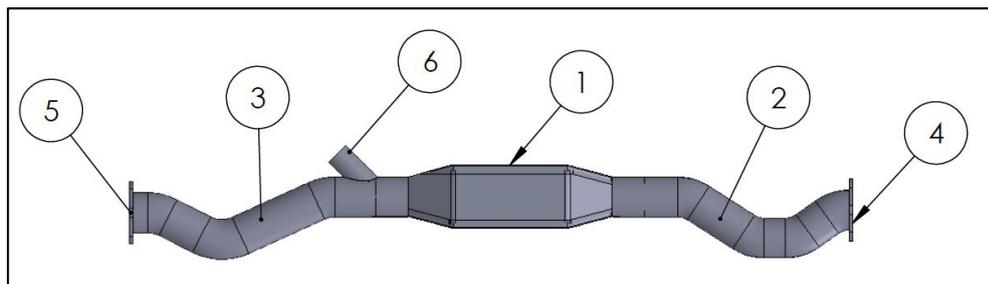


Figura 28. Elementos del sistema de escape SCR.

En la figura 29 se puede apreciar la deformación producida debido al apriete de los pernos en los soportes de fijación del sistema de escape SCR que es de 1.0156×10^{-8} m, la cual es despreciable.

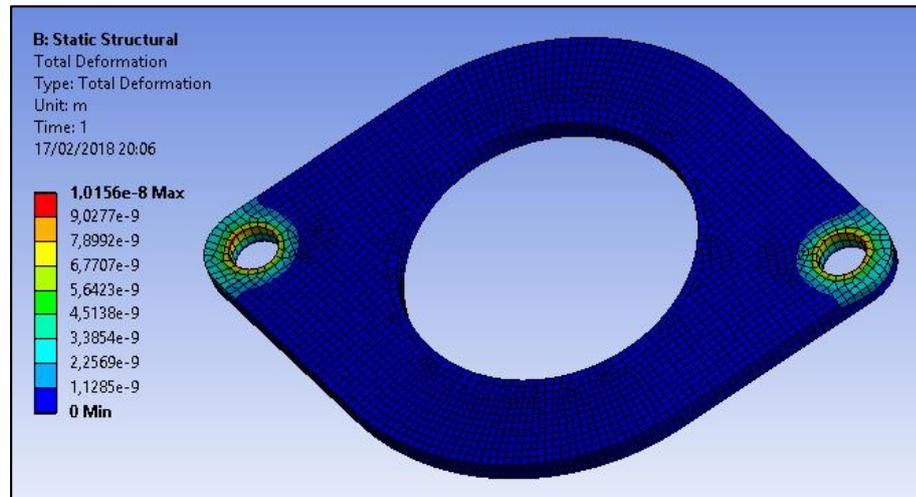


Figura 29. Deformación debido al apriete de los pernos.

En la figura 30 se evidencia los gases de escape circulando por el sistema SCR, los cuales al ser mezclados con el aditivo y procesados por el catalizador SCR tenemos una reducción de temperatura a la salida del sistema de escape.

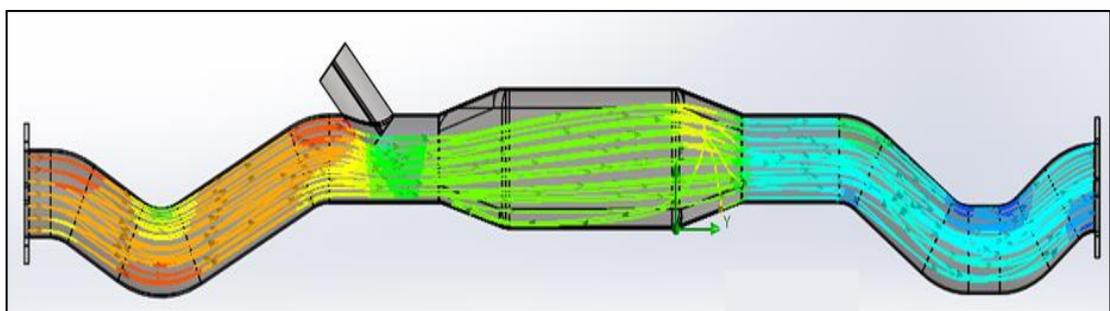


Figura 30. Flujo de gases de escape.

3.4. Diseño Hidráulico

3.4.1. Selección de la bomba

Para el correcto funcionamiento del sistema SCR, la bomba debe proporcionar una presión de trabajo de entre 0.45 a 0.85 MPa (4.5 a 8.5 bares).

- Selección de alternativas

Tabla 10.

Selección de la bomba para el sistema SCR.

Marca	Presión (MPa)	Caudal (m ³ /h)	Tensión (V)	Posición	Disponibilidad en el mercado	Costo
Bosch	0.6	0.12	12	Externa	Disponibile	Medio
Delphi	0.3	0.11	12	Externa	Disponibile	Medio
VDO	0.4	0.095	12	Sumergida	Disponibile	Medio

Según las especificaciones técnicas del sistema SCR, se seleccionó la bomba de combustible de la marca Bosch código HB3065 del catálogo de (Hescher, 2018), que tiene una presión de 0.6 MPa, el cual está dentro del rango establecido, posee un caudal de 0.12 m³/h, su posición es externa, trabaja con una tensión de 12 voltios y su costo no es elevado

3.4.2. Selección de la cañería.

Debido a que la bomba seleccionada para este sistema tiene una presión de 0.6 MPa, la cañería debe soportar dicha presión de trabajo, para lo cual se establece esta condición que debe cumplir la cañería, además debe tener un diámetro interno de 6 mm que encaje en las tomas del inyector, depósito y tomas de entrada y salida de la bomba.

- Selección de alternativas.

Tabla 11.

Selección de la cañería para el sistema SCR.

Tipo	Presión de trabajo (MPa)	Diámetro interno (mm)	Disponibilidad en el mercado	Costo
3225	1	6	Disponible	Medio
4324	0.6	6	Disponible	Medio
4219	0.69 - 3.45	7.9	Disponible	Alto

Según los requerimientos para la selección de la cañería, se seleccionó la cañería de combustible que resiste una presión de trabajo de hasta 1 MPa (10 bares) de catálogo de (Gates, 2017), ideal para el sistema SCR, con un diámetro interior de 6 mm, el cual encajará en las tomas del inyector de AdBlue depósito y bomba.

3.4.3. Sensor de nivel de AdBlue

Este sensor de tipo potenciómetro dispone de dos cables, el cable BLK recibe una tensión de referencia de 5 voltios y el cable YEL se encarga de enviar la señal de voltaje al controlador electrónico arduino, para conocer el nivel del aditivo existente en el depósito.

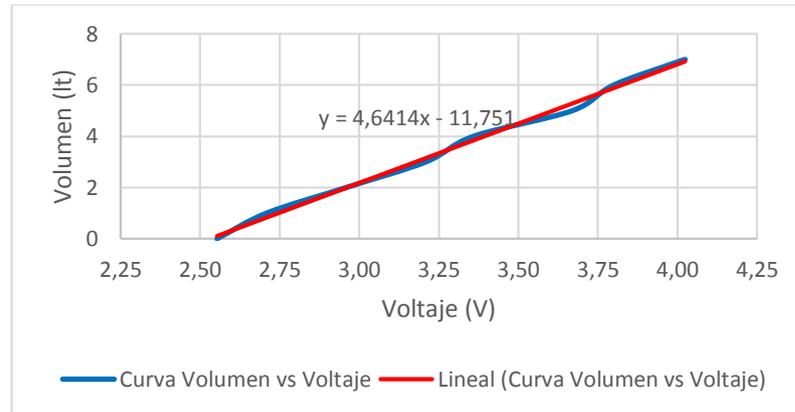
El sensor varía la señal de tensión de acuerdo al volumen del depósito es así que genera una tensión de 2.55 voltios cuando está vacío y una tensión de 4.02 voltios cuando está lleno.

Para que el sistema SCR se active, el contacto deslizante del sensor debe proporcionar una tensión mayor a 2.71 voltios, lo que representa un volumen de AdBlue de $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (1lt).

Tabla 12.**Variación de volumen y voltaje del sensor de nivel de AdBlue.**

Volumen		Señal
m ³	lt	Voltaje (V)
0	0	2.55
1 x10 ⁻³	1	2.71
2 x10 ⁻³	2	2.96
3 x10 ⁻³	3	3.21
4 x10 ⁻³	4	3.36
5 x10 ⁻³	5	3.67
6 x10 ⁻³	6	3.80
7 x10 ⁻³	7	4.02

La relación volumen - voltaje se obtuvo variando el volumen del depósito de AdBlue, lo que ocasiona el desplazamiento del flotador variando los valores de voltaje y resistencia.

**Figura 31. Curva Volumen vs Voltaje.**

La línea de tendencia se observa en la gráfica de la figura 31, mediante una ecuación lineal $y = 4.6414x - 11.751$, la cual va a ser procesada por el controlador Arduino, a partir del cual se establece el nivel del aditivo.

3.4.4. Depósito de AdBlue

Para el diseño del depósito de AdBlue se consideró aspectos como: el material, la presión del fluido y el consumo de mismo.

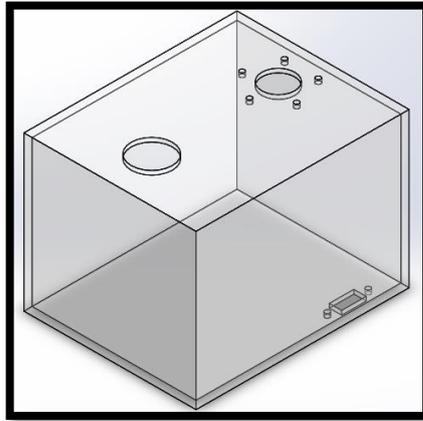


Figura 32. Depósito de AdBlue.

- Volumen y masa del depósito

Tabla 13.

Calculos del deposito de AdBlue.

Datos de entrada		Ecuación
L1: 0.25 m	L2: 0.20 m	H: 0.18 m
$V_{\text{depósito}} = L1 * L2 * H$		
Volumen del depósito = $9 \times 10^{-3} \text{ m}^3$		
$V_{\text{AdBlue}}: 7.57 \times 10^{-3} \text{ m}^3$	Densidad (ρ): 1087 kg/m ³	$M_{\text{AdBlue}} = \rho * V_{\text{AdBlue}}$
$M_{\text{AdBlue}} = 8.22859 \text{ kg}$		
h: 0.1514 m	Gravedad (g): 9.81 m/s ²	Presión = $\rho * g * h$
Presión que ejerce el fluido (P) = 1614.44 Pa = $1.61444 \times 10^{-3} \text{ MPa}$		

El acrílico tiene una tensión de fluencia de 70 MPa y la presión que ejerce el aditivo (agua al 32.5% de urea) es de $1.61 \times 10^{-3} \text{ MPa}$, por ende, el depósito soportará la presión ejercida por el fluido.

3.4.5. Sistema hidráulico

La potencia de la bomba del sistema hidráulico SCR se determinó en función tipo de flujo y pérdidas del sistema de bombeo.

Tabla 14.

Sistema de bombeo.

Datos de entrada		Ecuación
Radio interno de la cañería (r): 3×10^{-3} m		$A = \pi * r^2$
Área interna de la cañería (A) = $2.827433388 \times 10^{-5}$ m²		
Caudal (Q): 0.12 m ³ /h	Área interna de la cañería (A) = $2.827433388 \times 10^{-5}$ m ²	$V = \frac{Q}{A}$
Velocidad del fluido (V) = 4244.131816 m/h = 1.17189 m/seg		
Viscosidad dinámica (η): 14×10^{-3} Pa*s	Diámetro de succión y descarga (D): 6×10^{-3} m	$N_R = \frac{V * D * \rho}{\eta}$
Número de Reynolds (N_R)= 5492.108671 (Flujo turbulento)		
Rugosidad del material (ϵ): 1×10^{-5} m		$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \frac{D}{\epsilon}} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2}$
Factor de fricción (f) = 38.93×10^{-3}		
Coefficiente de resistencia (K): 0.5	Gravedad (g): 9.81 m/s ²	$h_L = K \frac{V^2}{2g}$
Pérdidas menores (h_L) = 34.998×10^{-3} m		
Distancia de la cañería desde el deposito hasta la bomba (L ₁): 1.5 m		$h_{L1} = \frac{f * L_1 * V^2}{D * 2g}$
Pérdidas en la cañería tramo 1 (h_{L1}) = 0.61243 m		
Distancia de la cañería desde la bomba hasta el inyector (L ₂): 1.2 m		$h_{L2} = \frac{f * L_2 * V^2}{D * 2g}$
Pérdidas en la cañería tramo 2 (h_{L2}) = 0.489945 m		
Perdidas en la cañería tramo 1 (h _{L1})=0.64519 m	Perdidas en la cañería tramo 2 (h _{L2}) = 0.516152 m	$h_{LT} = h_L + h_{L1} + h_{L2}$
Pérdidas totales (h_{LT})= 1.13737 m		
Densidad (ρ) = 1087 kg/m ³	Gravedad (g): 9.81 m/s ²	$\gamma = \rho * g$
Peso específico (γ) = 10.66347 KN/m³		

CONTINÚA 

Ecuación general de energía Bernoulli	$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_a - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$
P_1 y $V_1 = 0$	Presión de la bomba (P_2) = 600000 Pa
$Z_1 = 1$ m	$Z_2 = 0.05$ m
Energía añadida por la bomba (h_a) = 58.49 m	
Perdidas (h_a) = 58.49 m	Caudal (Q): 3.33×10^{-5} m ³ /s
Potencia de la bomba (Pot) = 20.79021 Watt = 0.0268204 hp	

En el sistema de bombeo existe una velocidad del fluido 1.17189 m/s, con un Número de Reynolds de 5492.10, lo que quiere decir que el sistema tiene un flujo turbulento, en el sistema existe pérdidas totales de 1.13737 m, mediante estos datos obtenidos se calcula la potencia de la bomba dando como resultado 0.0268204 hp.

3.4.7. Simulación

El sistema hidráulico está conformado por el depósito, filtro, cañerías, bomba e inyector, como se muestra en la figura 33.

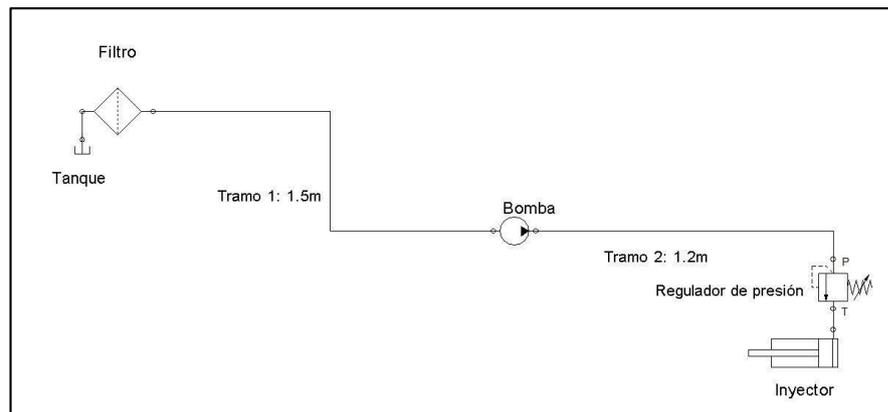


Figura 33. Simulación del sistema hidráulico.

3.4.6. Implementación

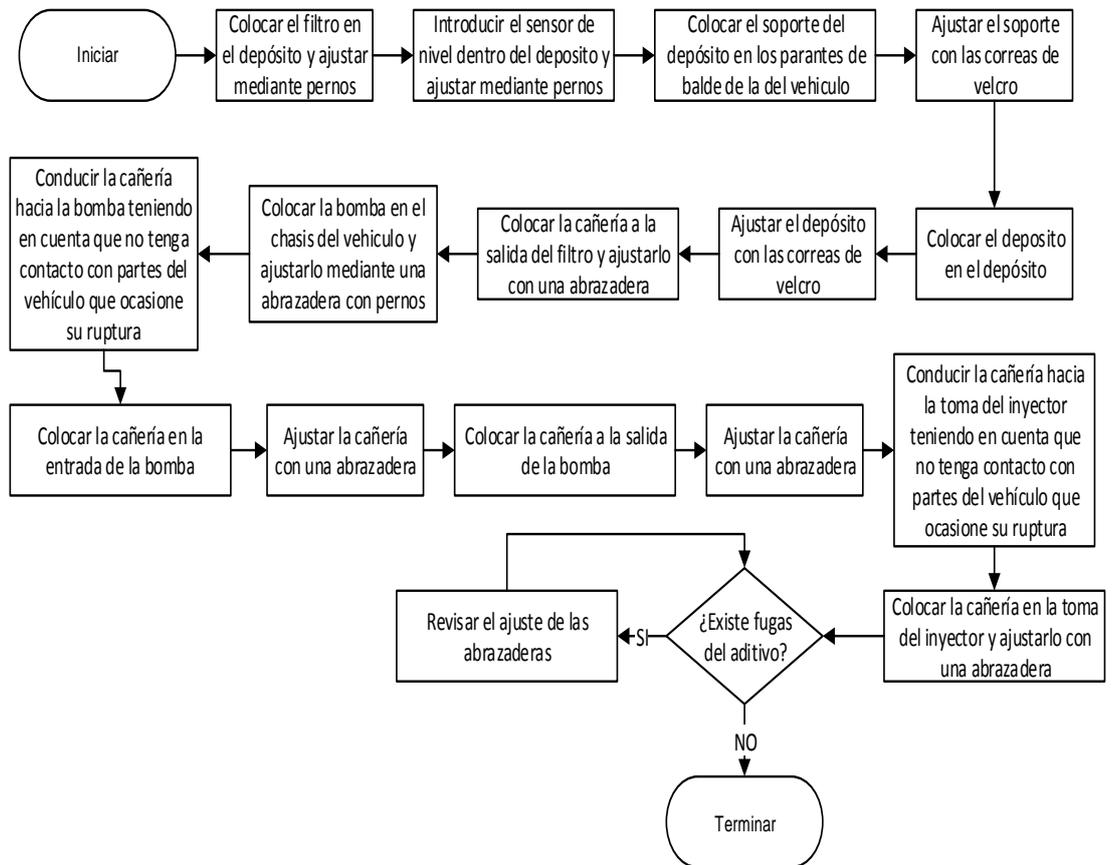


Figura 34. Diagrama de flujo de la construcción e implementación del sistema hidráulico.

3.5. Diseño Eléctrico

3.5.1. Batería

El sistema de alimentación esta proporcionado de la batería (voltios), por lo cual se requiere una potencia (vatios) necesaria para activar el módulo de control de inyección de AdBlue, y los distintos actuadores del sistema SCR, a continuación, se detalla el cálculo de la potencia mínima que debe tener la batería.

Tabla 15.
Consumo de la batería.

Datos de entrada		Ecuación
Consumo de la bomba		
Voltaje: 12 V	Resistencia: 0.7 Ω	$I_{Bomba} = \frac{V}{R_{Bomba}}$
Intensidad que necesita la bomba= 17.14 A		
$Potencia_{Bomba} = I_{Bomba} * V = 205.714 \text{ Watt}$		
Consumo del inyector		
Voltaje: 12 V	Resistencia: 12.6 Ω	$I_{Inyector} = \frac{V}{R_{Inyector}}$
Intensidad que necesita el inyector= 0.952 A		
$Potencia_{Inyector} = I_{Inyector} * V = 11.428 \text{ Watt}$		
$Potencia\ necesaria = Potencia_{Bomba} + Potencia_{Inyector}$		
$Potencia\ necesaria = 217.143 \text{ Watt}$		

3.5.2. Conmutador electromagnético

Mediante el cálculo realizado en la tabla 15 se dio a conocer una intensidad de corriente de la bomba de 17.14 A, para lo cual se seleccionó el conmutador electromagnético número 0332209150 del catálogo de (Bosch, 2015), con un voltaje nominal de 12 voltios y con una corriente de 20 A.

3.5.3. Determinación del sistema de protección

Para una la selección del sistema de protección de los componentes que conforman el sistema SCR se consideró el amperaje que necesitan cada uno de ellos.

Tabla 16.
Cálculo de la intensidad de los componentes.

Componente	Datos de entrada	Ecuación	Intensidad
Conmutador electromagnético	Voltaje: 12 V Resistencia: 85 Ω	$I = \frac{V}{R}$	0.1412 A

CONTINÚA 

Inyector		Resistencia: 12.6 Ω	0.952 A
Transistor de la bomba		Resistencia: 35.2 K Ω	1.4 x10 ⁻⁴ A
Transistor del inyector		Resistencia: 30.9 K Ω	1.6 x10 ⁻⁴ A
2 transistores para visualización de nivel y acelerador	Voltaje: 5 V	Resistencia: 100 K Ω	1 x10 ⁻⁴ A
Pulsadores		Resistencia: 10 K Ω	5 x10 ⁻⁴ A
Led indicador de modo de funcionamiento	Voltaje: 3.4 V	Resistencia: 220 Ω	0.0155 A
Intensidad arduino			0.05 A
Intensidad del display LCD			0.1 A
Intensidad señales del vehículo			0.05 A
Intensidad total de los componentes			1.3096 A

Debido que la bomba tiene una intensidad de corriente de 17.14 A y el sistema de control electrónico tiene una intensidad de 1.3096 A, se escogió un fusible de 20 A clave N° 10-20 para la protección de la bomba y un fusible de 1.5 A clave 04-1.5 de catálogo de (Difus, 2018).

3.5.4. Selección del cable conductor

Para la selección del cable conductor se debe conocer la intensidad de corriente que va a circular por la misma, en este caso son: la intensidad producida por los actuadores del sistema SCR y la intensidad de las señales producidas por los sensores del vehículo.

Tabla 17.

Intensidad Producida por los actuadores y sensores.

Intensidad
Intensidad del inyector: 0.952 A
Intensidad de la bomba: 17.14 A
Intensidad del conmutador electromagnético: 0.1412 A
Intensidad de la señal de los sensores: 0.05 A

Para la selección del cable para los actuadores y alimentación de la batería se escogió el valor más alto de intensidad en este caso el inyector que tiene 17.14 A, y el inyector, los sensores y conmutador electromagnético de 1 A.

Mediante la tabla de grosores AWG se seleccionó el cable número 16 que resiste una intensidad de corriente de 18 A para los actuadores y alimentación, y el cable número 21 para la señal de los sensores que resiste una intensidad de corriente de 1.2 A.

3.5.5. Control de activación de la bomba

Para el cálculo de los tiempos de activación se consideró aspectos como: el caudal de la bomba y el consumo del aditivo (AdBlue) en el inyector a diferentes condiciones de tiempos de inyección, la cual va a ser controlada mediante el controlador arduino como se muestra en el circuito en la figura 35.

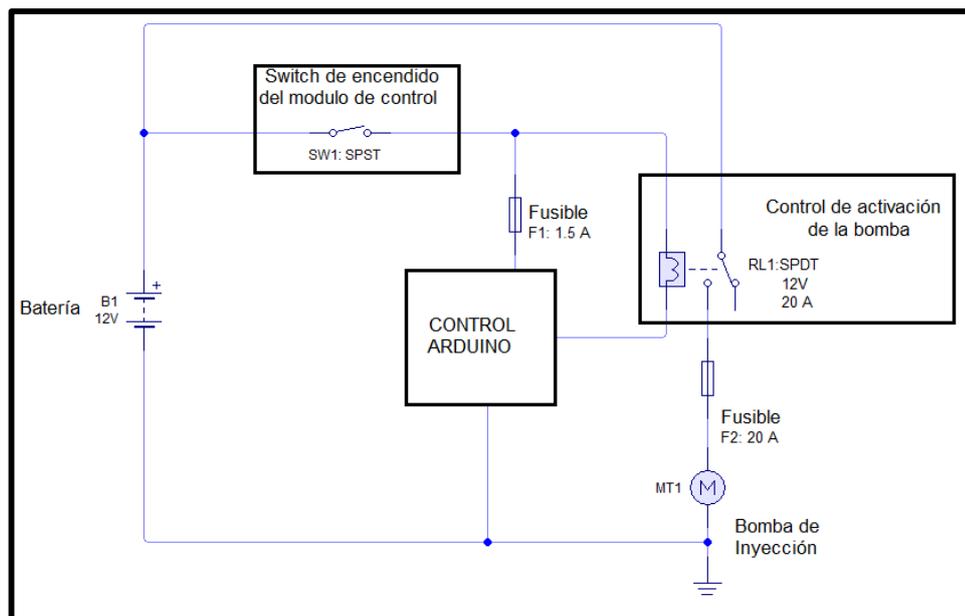


Figura 35. Circuito esquemático del control de activación de la bomba de inyección.

3.6. Diseño Electrónico

3.6.1. Señal del sensor de posición del árbol de levas CMP

La señal de onda cuadrada del sensor CMP de tipo hall, es enviada al módulo de control y oscila entre los valores tensión de 0 a 5 voltios.

El sensor varía la señal de periodo según el giro del árbol de levas, de esta manera a un régimen de giro bajo (720 RPM) el sensor proporciona un periodo de oscilación de 155 ms, y a 3000 RPM un periodo de oscilación de 37 ms.

Para que el sistema SCR funcione en cualquier modo de operación, el módulo de control debe recibir un periodo de 112 ms lo que representa un régimen de giro del motor de 1000 RPM.

La señal del sensor es proporcionada por el pin N° 2 del sensor CMP figura 36, que viene dado por el cable de GRN/YEL de dicho sensor, mediante una aguja soldada al cable conductor introducida al socket del sensor, que conducirá la señal al módulo de control.



Figura 36. Sensor CMP en el motor.

En la figura 37 se puede evidenciar la onda cuadrada del sensor a 3000 RPM, con un voltaje pico de 5 voltios y un ancho de pulso de 57 ms aproximadamente.

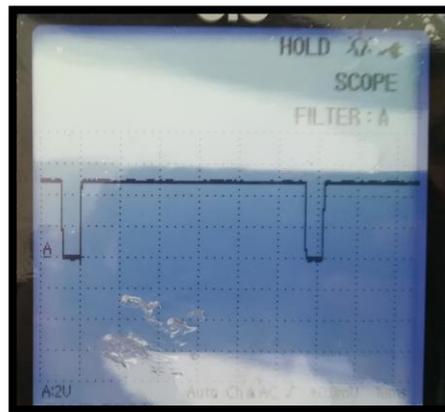


Figura 37. Oscilograma de la señal del sensor CMP.

Tabla 18.

Relación del giro del motor con el período del sensor CMP.

RPM	# medición	720	1000	1500	2000	2500	3000
	1	154	113	73	56	45	37
	2	155	113	73	56	45	37
	3	155	112	73	56	45	37
	4	155	112	73	56	45	37
	5	154	111	73	56	45	37
	6	154	112	73	56	45	37
	7	154	111	73	56	45	37
	8	156	111	73	56	45	37
	9	155	111	73	56	45	37
	10	153	111	73	56	45	37
	11	155	111	73	55	44	37
	12	156	111	73	55	45	37
	13	155	111	73	55	44	37
	14	155	111	73	55	44	37
	15	155	111	73	55	44	37
	16	154	111	73	55	44	37
	17	155	111	73	55	44	37
	18	155	111	73	55	44	37
	19	156	111	73	55	44	37
	20	155	111	73	55	44	37
Promedio (ms)		155	112	73	55	45	37

Mediante estos datos se obtuvo la curva de la relación RPM - Período figura 38, del motor MZR – CD 2.5L.

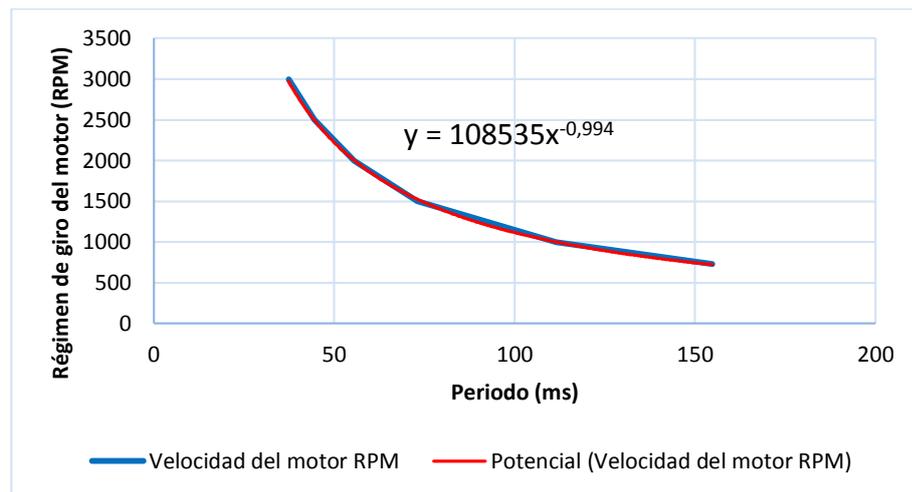


Figura 38. Relación RPM vs Periodo.

Para que esta señal sea procesada por el controlador Arduino, se obtuvo una ecuación potencial que es $y=108535x^{-0,994}$ de la línea de tendencia de la gráfica de la figura 38, mediante la cual se establece régimen de giro del motor.

3.6.2. Señal del sensor de temperatura ECT

La señal que proporciona este sensor de tipo NTC varía entre valores de voltaje de 0 a 5 voltios, la cual es enviada al módulo de control de inyección.

Para que el sistema funcione en el modo automático y semiautomático, el módulo debe recibir una señal de tensión de 1.71 voltios que corresponde a una temperatura de funcionamiento del motor de 80 °C.

La señal del sensor fue tomada del pin N° 1 del sensor ECT figura 39, que viene dado por el cable de color BLULT/BRN de dicho sensor, mediante una aguja soldada al cable conductor introducida al socket del sensor, que conducirá la señal al módulo de control.



Figura 39. Sensor ECT en el motor.

En la figura 40, se puede evidenciar la onda del sensor ECT que muestra una tensión aproximada de 2.5 voltios que representa una temperatura del motor de 62 °C



Figura 40. Oscilograma sensor ECT.

La relación temperatura y voltaje de la tabla 19, se obtuvo midiendo los valores de voltaje a diferente temperatura del motor.

Tabla 19.

Variación de la temperatura - voltaje del sensor ECT.

Temperatura (°C)	Voltaje (V)
41	3,65
44	3,46
47	3,27

CONTINÚA →

50	3,14
53	3,03
56	2,88
59	2,70
62	2,54
65	2,40
68	2,26
71	2,11
74	2,00
77	1,88
80	1,71
81	1,68
82	1,68
83	1,65
84	1,56
85	1,53
87	1,44
93	1,23
95	1,18
98	1,09
99	1,04
100	1,00

En la figura 41 se visualiza la relación temperatura – voltaje del sensor ECT del motor MZR – CD 2.5L, característico de los sensores de tipo NTC.

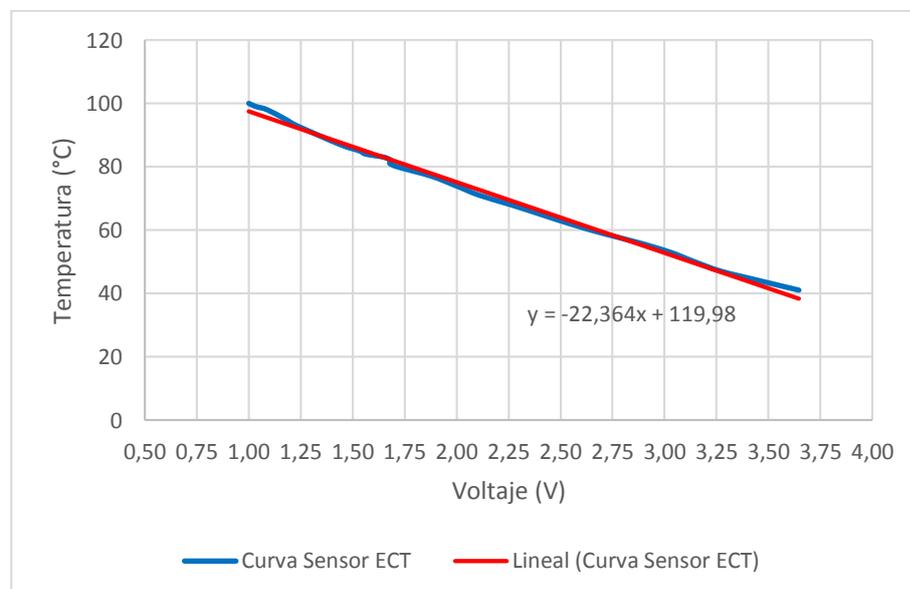


Figura 41. Relación Temperatura vs Voltaje del sensor ECT.

La línea de tendencia de la relación temperatura – voltaje del sensor ECT, se observa en la gráfica de la figura 41, dando como resultado una ecuación lineal $y = - 22.364x + 119.98$, la cual va a ser procesada por el controlador Arduino el cual establece la temperatura del motor.

3.6.3. Señal del sensor de posición del pedal de aceleración APP

La señal emitida por este sensor de tipo potenciómetro varía entre valores de voltaje de 0 a 5 voltios, esta señal es enviada al módulo de control de inyección de AdBlue.

El sensor varía la señal de tensión de acuerdo a la posición del pedal de aceleración (porcentaje %), es así que genera una tensión de 0.68 voltios cuando el pedal no está presionado (0%) y 4.10 voltios cuando el pedal está presionado a fondo (100).

Para que el sistema funcione en el modo automático y semiautomático, el módulo debe recibir una señal de voltaje de 1,36 V que corresponde a una posición del pedal de aceleración del 20 %.

La señal del sensor fue tomada del pin N° 2 del sensor APP figura 42, que viene dado por el cable de color PNK de dicho sensor, mediante una aguja soldada al cable conductor introducida al socket del sensor, que conducirá la señal al módulo de control.

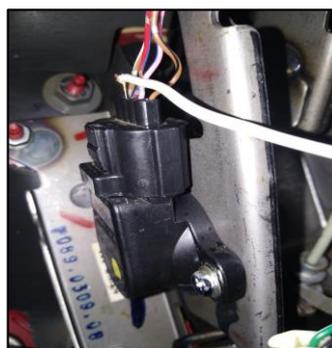


Figura 42. Sensor APP en el pedal de aceleración.

En la figura 43 se puede evidenciar la onda del sensor APP que muestra una tensión aproximada de 0.5 voltios que representa un porcentaje de 0%.

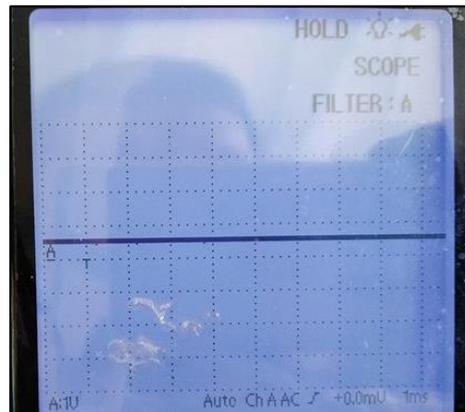


Figura 43. Oscilograma sensor APP.

La relación porcentaje - voltaje de la tabla 20, se obtuvo midiendo los valores de voltaje a diferentes posiciones de porcentaje del pedal de aceleración.

Tabla 20.

Variación porcentaje - Voltaje del sensor APP.

Porcentaje (%)	Voltaje (V)
0	0,68
16	1,26
27	1,64
43	2,15
58	2,71
66	3,01
73	3,35
88	3,73
97	3,96
100	4,10

En la figura 44 se visualiza la curva de la relación porcentaje – voltaje del sensor APP del motor MZR – CD 2.5L.

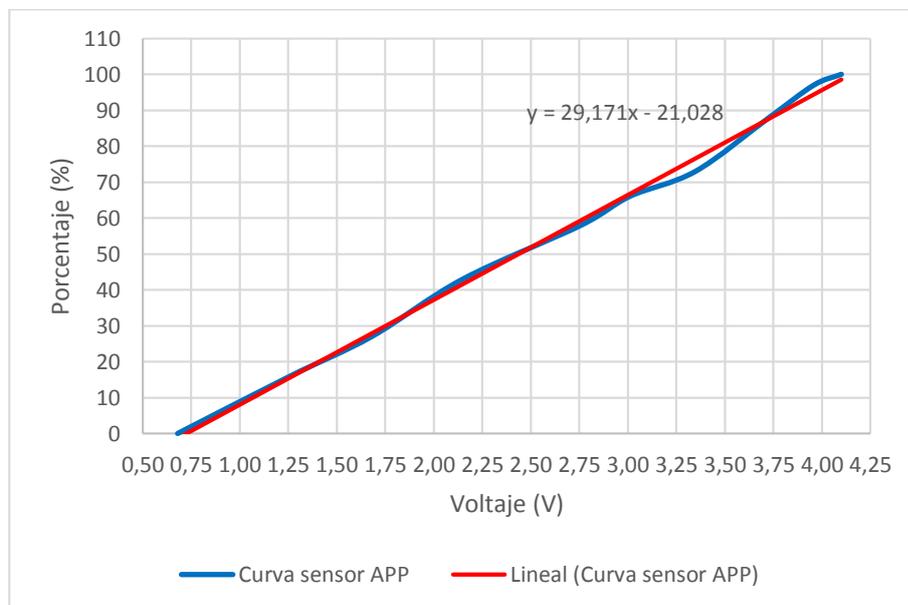


Figura 44. Relación Porcentaje vs Voltaje del sensor APP.

La ecuación de la relación porcentaje - voltaje que va ser procesada por el controlador Arduino se obtuvo mediante una línea de tendencia de la gráfica de la figura 44, obteniendo una ecuación lineal $y = 29.17x - 21.028$, la cual establece la posición del pedal de aceleración.

3.6.4. Selección del controlador Arduino

Para la selección del controlador arduino se consideró aspectos como el número de entradas/salidas, la velocidad de transferencia de datos y el costo

Este controlador es el encargado de recibir las señales emitidas por los sensores, procesarlas, visualizarlas mediante el LCD y calcular los tiempos de inyección, además de controlar la activación de los actuadores (inyector y bomba),

- **Selección de alternativas**

Tabla 21.

Selección del controlador Arduino para el sistema SCR.

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

Debido a que el número de señales de entrada y salida para el control de inyección de AdBlue es bajo, se seleccionó el controlador Arduino nano ya que este posee un número de pines de 22 y su costo es bajo.

3.6.5. Selección de la termocupla

La termocupla para el sistema SCR debe soportar la temperatura de los gases de escape que ascienden hasta 1200 °C, para lo cual se realiza la selección de la termocupla para el sistema de control arduino en la tabla 17.

- **Selección de alternativas.**

Tabla 22.

Selección de la termocupla para el sistema SCR.

Tipo	Rango de medición (°C)	Disponibilidad en el mercado	Costo
B	600 a 1820	Disponible	Alto
C	0 a 2316	Disponible	Medio
E	-250 a 1000	Bajo pedido	Medio
J	-210 a 1200	Disponible	Medio
K	-200 a 1372	Disponible	Bajo
L	-200 a 900	Bajo pedido	Bajo

CONTINÚA 

N	-200 a 1000	Disponible	Medio
R	-20 a 1767	Bajo pedido	Alto
S	-20 a 1767	Bajo pedido	Alto
T	-250 a 400	Disponible	Medio
U	-200 a 600	Disponible	Alto

Para el sistema SCR se seleccionó la termocupla tipo K q tiene un rango de medición de -200 a 1372 °C, que tiene una disponibilidad en el mercado y tiene un costo bajo.

3.6.6. Circuito regulador de tensión

El regulador de tensión LM7805 se encarga de convertir la tensión de 12 voltios proporcionado por la batería, a una salida constante de tensión de 5 voltios.

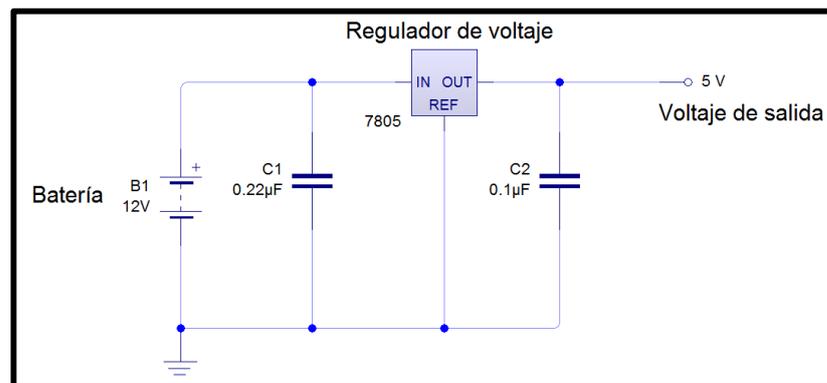


Figura 45. Circuito esquemático de regulacion de tensión.

En el circuito de la figura 45 se puede apreciar la conexión del regulador de tensión LM7805, para lo cual según el fabricante recomienda implementar un condensador de 0.22 µF antes del regulador y un condensador de 0.1 µF después del condensador, para de esta manera reducir el ruido existente en el circuito.

3.6.7. Programación

Para la programación del módulo de control se utilizó un lenguaje C++, la cual va a ser procesada por el controlador Arduino Nano.

Mediante este lenguaje se declara los puertos de entrada que son: voltaje de la batería, señales de los sensores del vehículo (CMP, APP y ECT), señal de la termocupla, la señal del sensor de nivel de AdBlue y pulsadores de navegación; además de los puertos de salida que son: luces testigo del modo de operación de módulo de control, visualización del LCD, control de activación de la bomba, control de activación del inyector y luces testigo del acelerador y nivel del depósito

- **Diagrama de flujo programación modo Manual**

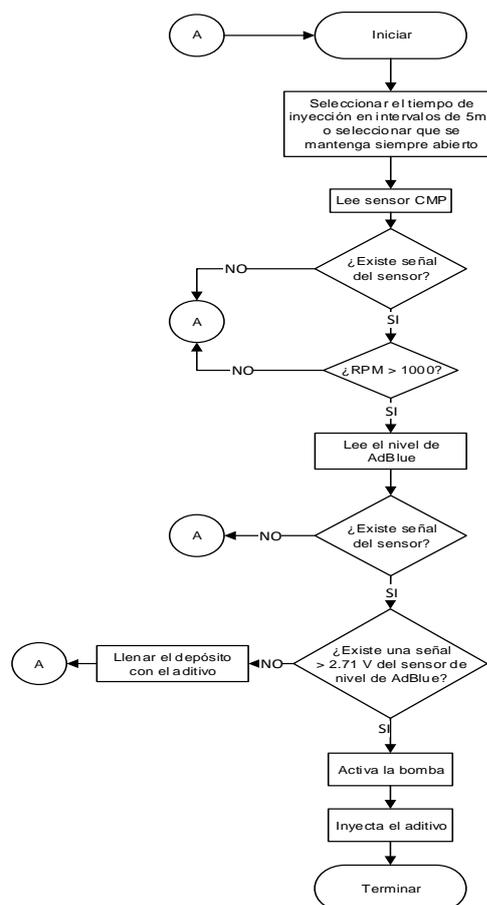


Figura 46. Programación modo Manual

• Diagrama de flujo programación modo Automático

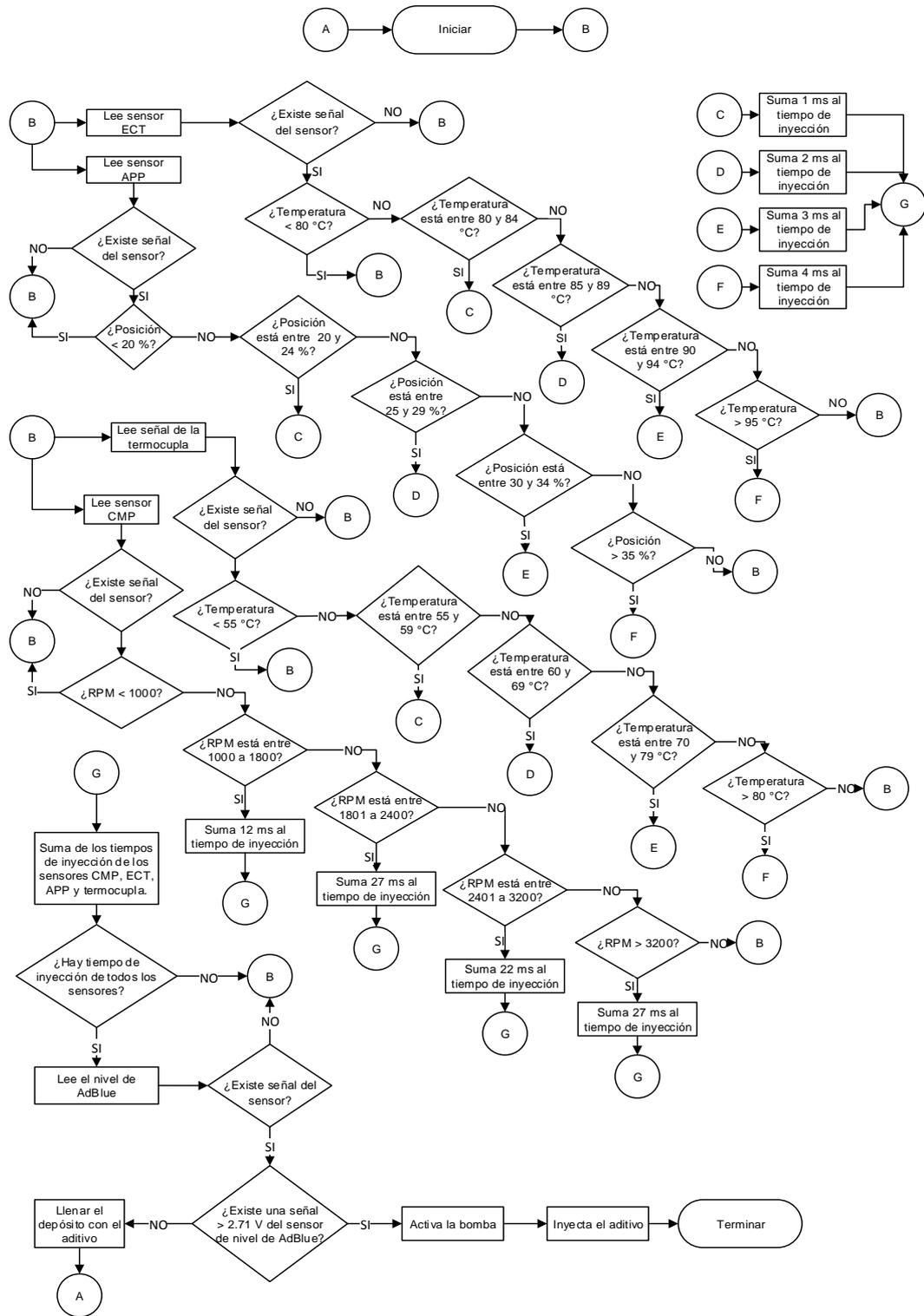


Figura 47. Programacion modo Automático

• Diagrama de flujo programación modo semiautomático

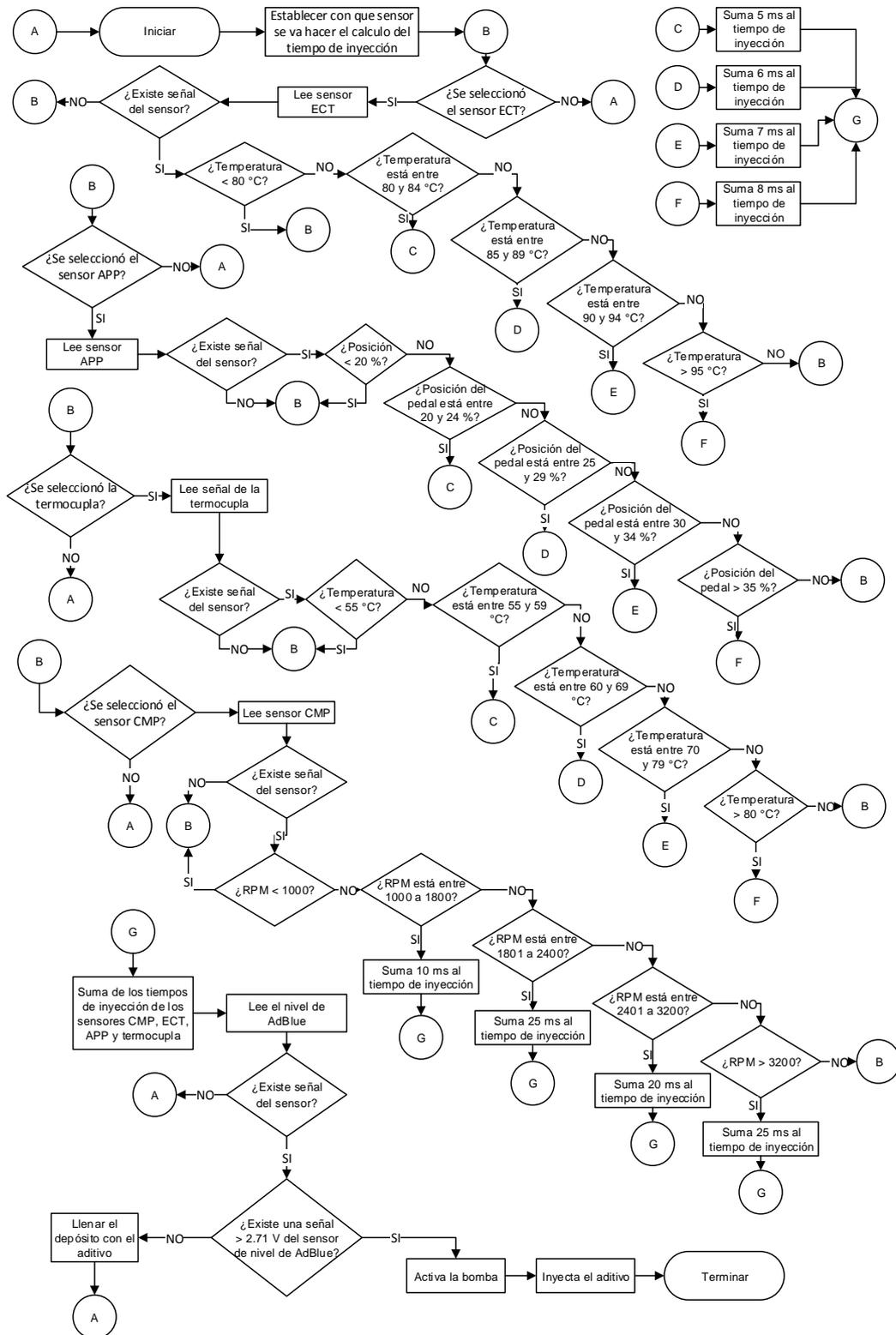


Figura 48. Programacion modo Semiautomático

3.6.7. Implementación

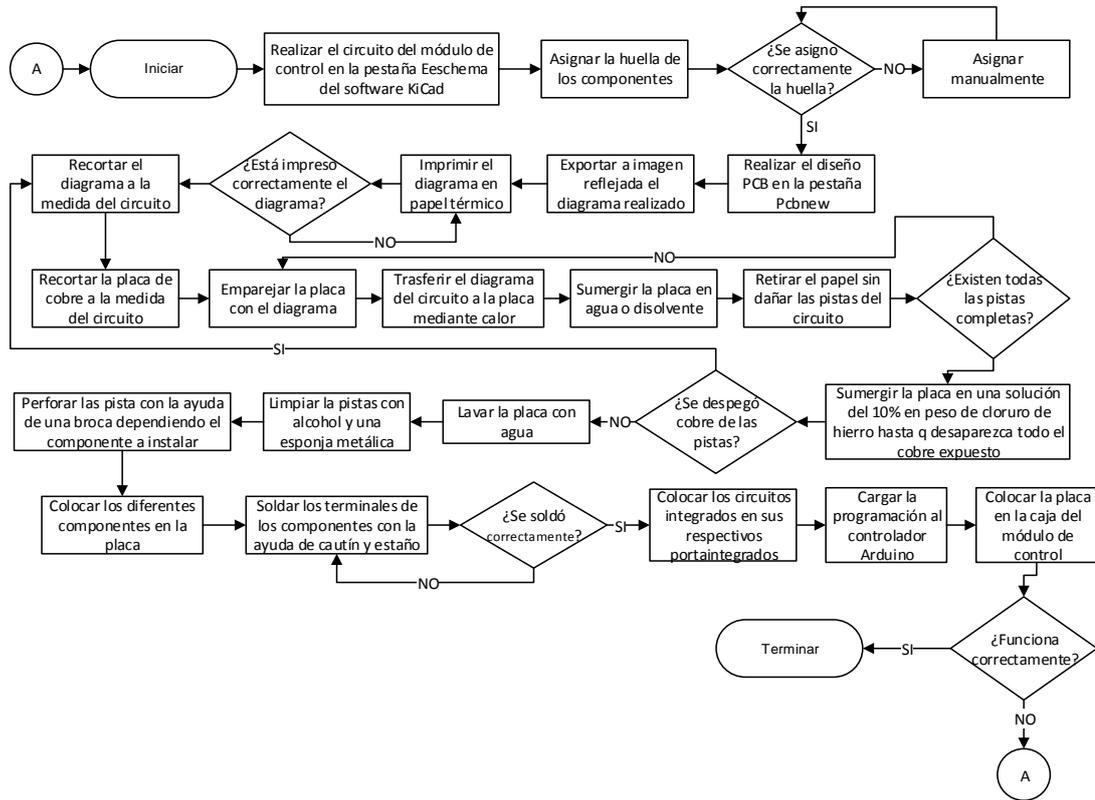


Figura 49. Diagrama de flujo de la construcción del sistema eléctrico y electrónico.

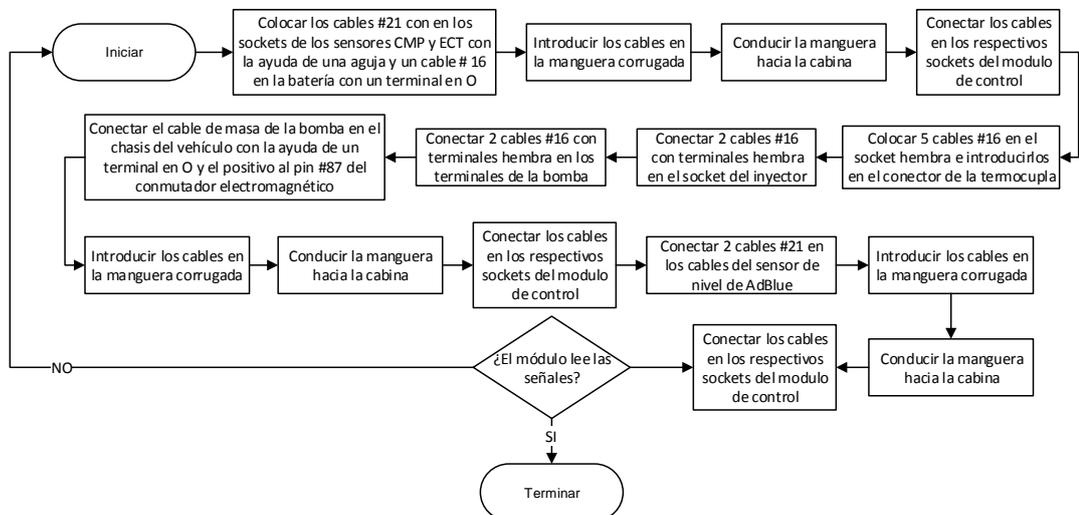


Figura 50. Diagrama de flujo de la implementación del sistema eléctrico y electrónico.

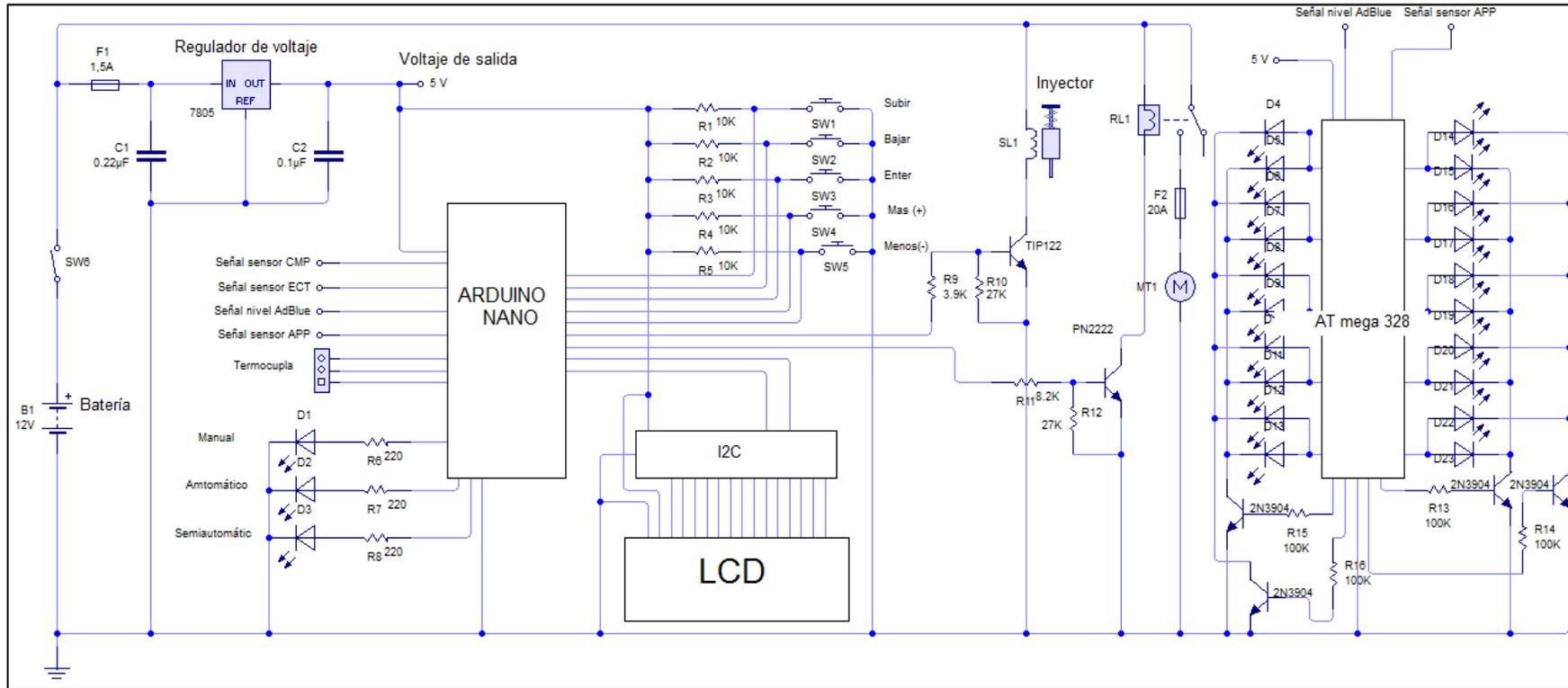


Figura 51. Circuito completo del módulo de control de inyección de AdBlue.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SCR.

El capítulo detalla elementos y equipos tecnológicos de diagnóstico y medición automotriz utilizados para el desarrollo de la investigación con el uso del catalizador estándar y la implementación del sistema de inyección de AdBlue y catalizador SCR en la camioneta Mazda BT-50 motor MZR – CD 2.5L CRDI.

Se efectuaron pruebas de torque, potencia, emisiones, opacidad, consumo de combustible y consumo del aditivo AdBlue en tres modos de operación del módulo de control de inyección de AdBlue manual, semiautomático y automático.

4.1. Puesta a punto del vehículo

La camioneta Mazda BT-50 motor MZR – CD 2.5L CRDI se realizó el mantenimiento figura 52 a los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos de tal manera de obtener resultados idóneos y coherentes.

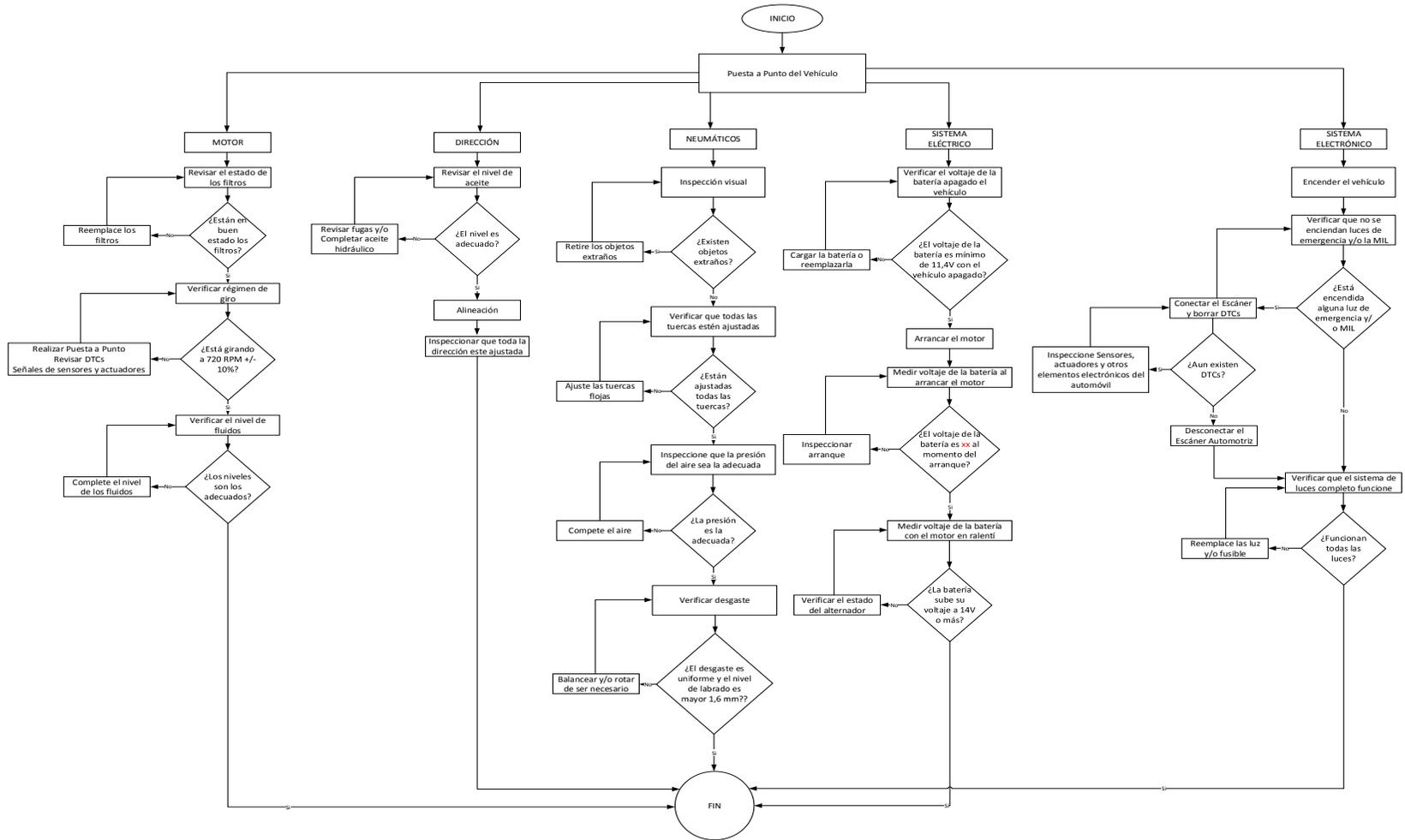


Figura 52. Diagrama de Flujo Puesta a Punto.

4.2. Pruebas de torque y potencia

4.2.1. Protocolo

Las pruebas de torque y potencia figura 53, se basa en el protocolo de acuerdo a la norma SAE J1349 que establece un método que permite obtener mediciones precisas del rendimiento del motor:



Figura 53. Dinamómetro CCICEV.

- Considera un factor de corrección de potencia y torque que depende de las condiciones geográficas de altura y presión atmosférica
- Considerar la seguridad del vehículo en todo el proceso de prueba.
- Potencia y torque a plena carga (valor máximo).
- El combustible debe contener energía, equivalente al combustible especificado por el fabricante.
- Los procedimientos de corrección de potencia y par se basan en condiciones del suministro de aire de entrada del motor, altitud a 2800 msm y presión atmosférica de 739,6 hPa.

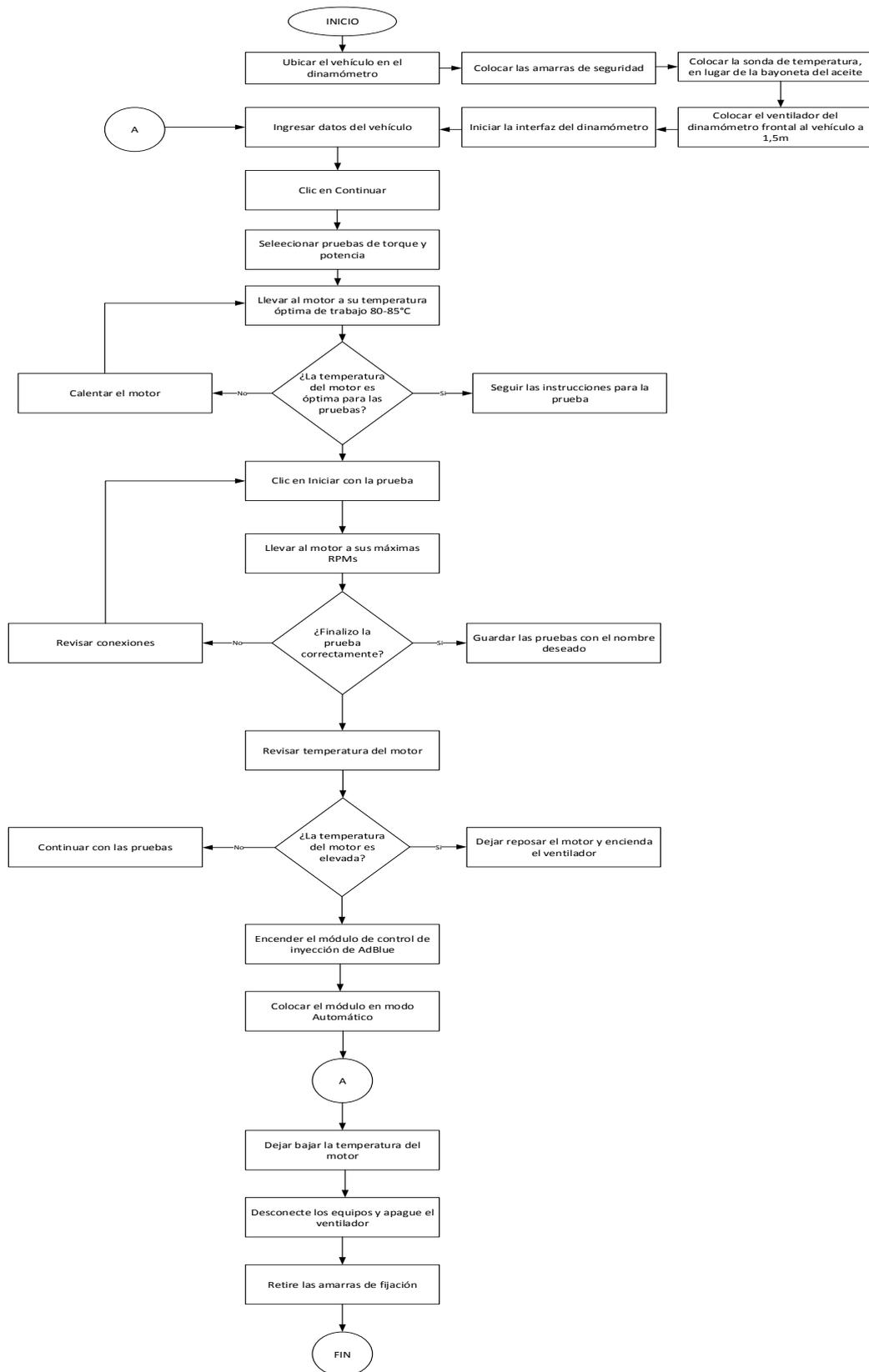


Figura 54. Diagrama de flujo de Torque y Potencia.

4.2.1. Resultados

Se realizó tres pruebas con la implementación del sistema SCR a diferente régimen de giro con 12 mediciones de la cuales se considera los valores máximos alcanzados.

Tabla 23.

Pruebas de Torque y Potencia con el sistema SCR.

1ra Prueba						2da Prueba						3ra Prueba					
n	v	P _{Rueda}	P _{Motor}	P _{Normal}	M _{Normal}	n	v	P _{Rueda}	P _{Motor}	P _{Normal}	M _{Normal}	n	v	P _{Rueda}	P _{Motor}	P _{Normal}	M _{Normal}
[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]	[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]	[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]
1009	21,7	8,8	15,4	16,4	85,2	1010	21,7	9	15,4	16,3	85,2	1010	21,7	9,3	15,6	16,7	86,7
1254	27	13,1	21,2	22,5	94,4	1254	27	13,4	21,3	22,6	94,6	1253	27	13,6	21,3	22,8	95,5
1502	32,3	18,1	28	29,7	103,8	1502	32,3	18,3	28,8	29,5	103,1	1502	32,3	18,6	27,9	29,8	104,3
1757	37,8	27,4	39	41,4	123,8	1758	37,8	27,4	38,9	41,3	123,4	1757	37,8	27,6	38,8	41,3	123,6
2005	43,1	37	50,8	53,9	141,2	2004	43,1	36,8	50,2	53,3	139,6	2003	43,1	36,3	49,6	52,6	138
2258	48,6	50,5	66,5	70,6	164,2	2257	48,6	49,4	65	69	160,5	2260	48,6	49,9	65,3	69,5	161,6
2500	53,8	57,6	76	80,6	169,3	2503	53,8	57,1	75	79,6	167,1	2499	53,8	57	74,5	79,7	167,4
2745	59	55,8	76,5	81,2	155,3	2743	59	55,3	75,5	80,2	153,6	2744	59	55,5	75,3	80,1	153,4
2995	64,4	56,1	79,7	84,6	148,3	2995	64,4	55,7	78,5	83,3	146,2	2995	64,4	56,3	78,8	84	147,3
3246	69,8	53	79,4	84,2	136,3	3246	69,8	53	78,9	83,8	135,6	3245	69,8	52,7	77,8	82,6	133,7
3496	75,2	52,3	81,7	86,6	130,2	3495	75,2	50,8	80	85	127,7	3496	75,2	52,5	80,6	85,7	128,7
Valor mínimo			Valor máximo			Valor mínimo			Valor máximo			Valor mínimo			Valor máximo		

Tabla 24.

Promedio de los valores máximos de las pruebas de Torque y Potencia.

Valores	DIESEL "ESTÁNDAR"		DIESEL "SCR"	
	P(Motor)(HP)	M(Normal)(lbf-ft)	P(Motor)(HP)	M(Normal)(lbf-ft)
Valor Máximo 1	82,1	166	81,7	169,3
Valor Máximo 2	79,1	158,4	80	167,1
Valor Máximo 3	78,9	164,1	80,6	167,4
Promedio	80,03	162,83	80,77	167,93

En la figura 56 de la potencia nominal de 141 HP, con el sistema estándar se midió un valor de 80,03 HP y con el sistema SCR una potencia de 80,77 HP, registrándose una disminución de la potencia nominal de 56,75% y de 57,28% en condiciones estándar y con el sistema implementado respectivamente, se establece un incremento con el sistema SCR de 0,74 HP lo que indica un aumento de 0,91% respecto del vehículo en sus condiciones originales de funcionamiento.

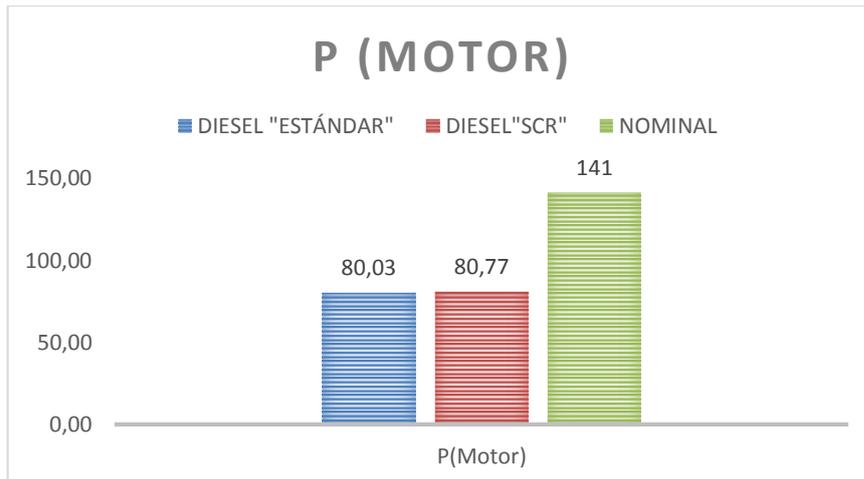


Figura 56. Potencia Estándar vs SCR vs Nominal.

La figura 57 muestra un torque nominal de 240 lbf-ft y una torque de 162,83 y 167,93 lbf-ft del sistema estándar y SCR respectivamente, con una divergencia de 67,84% del torque nominal con el sistema estándar y 69,97% con el sistema SCR, se registra un incremento con el sistema SCR de 5,1 lbf-ft lo que revela un aumento de 3,03% respecto al sistema estándar del vehículo.

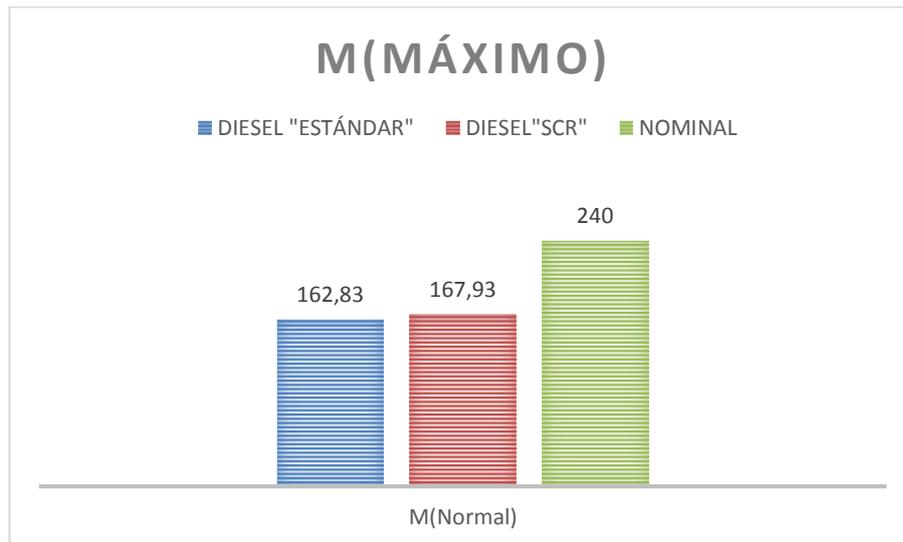


Figura 57. Torque Estándar vs SCR vs Nominal.

4.3. Pruebas de opacidad

4.3.1. Protocolo

La prueba de opacidad figura 58, se fundamentan a partir de los protocolos de normas NTE INEN 2202:2000 y 2207:2000 que se referencia en los ensayos de aceleración gobernada, descritas en la figura 59.



Figura 58. Opacímetro CARTEK.

- Se calibró el equipo antes de cada prueba.
- El vehículo de prueba se sometió a un período de calentamiento y estabilización.
- Se realizó la calibración al 0 %. ajustado de tal manera que la lectura de salida marque cero cuando el flujo de luz pase a través de la zona de medición.
- La Calibración al 100 %. Utilizó un filtro de densidad óptica neutral colocado perpendicularmente al haz de luz que bloqueo completamente la fuente de luz.
- Es necesario verificar que el sistema de escape del vehículo se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento, evitando tener fugas o roturas.
- Se validó el régimen de giro en ralentí y velocidad gobernada con el uso del MGT-300.

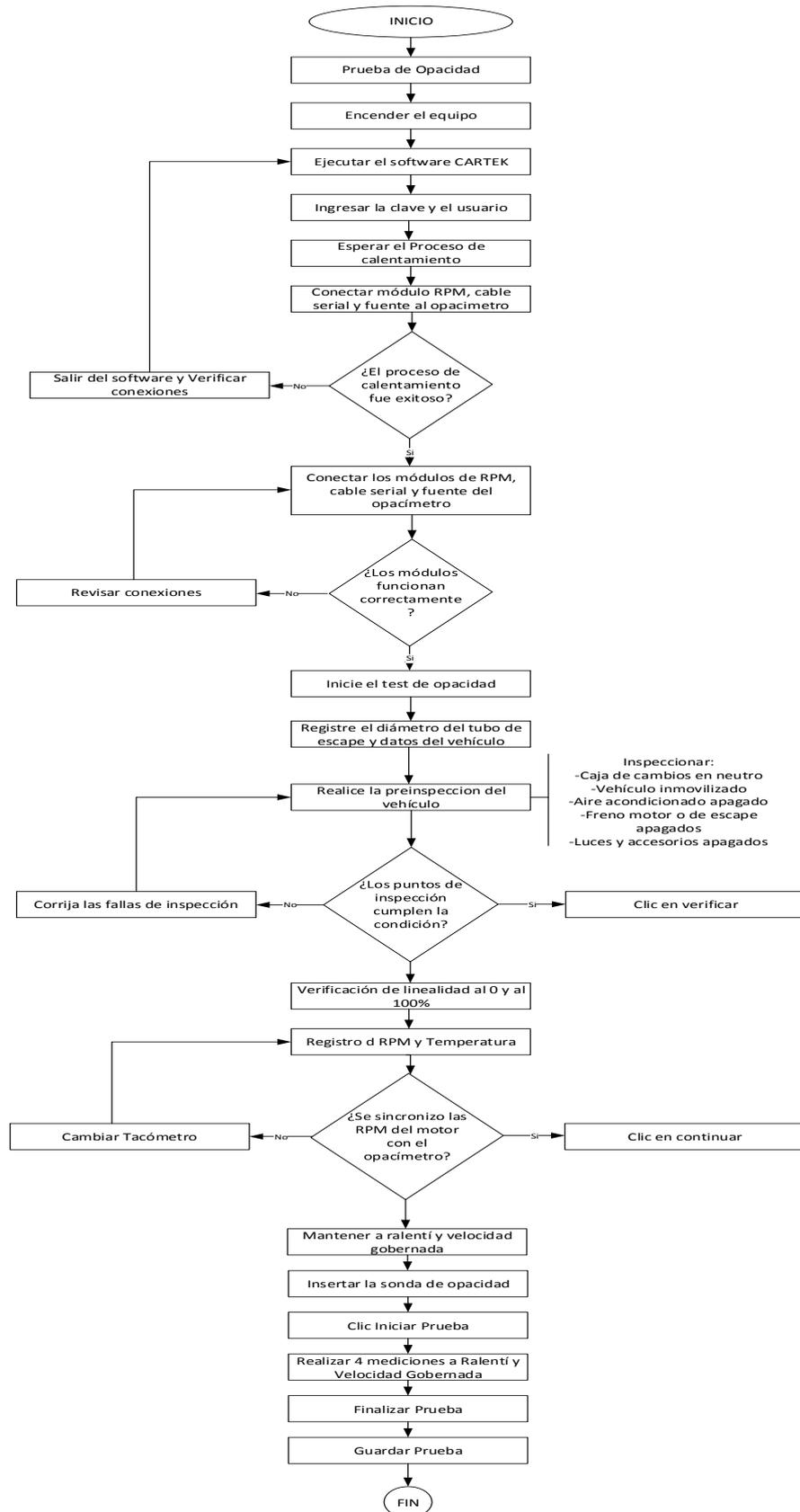


Figura 59. Diagrama de flujo de Opacidad.

4.3.2. Resultados

Se ejecutó en los tres modos de operación del sistema de inyección de AdBlue SCR, intervenidos de manera manual, semiautomático y automático mediante el módulo de control, comparando con los valores de la Norma NTE INEN 2207 y los límites de Opacidad del equipo de medición, tabla 25.

Tabla 25.
Porcentajes de Opacidad Límites y Pruebas .

OPACIDAD (%)		
LÍMITES	LÍMITE DEL EQUIPO	15
	NTE INEN 2207	50
Estándar	Condición	Opacidad
	Escape original	2,96
	Escape SCR	2,56
Modo de operación del módulo de inyección	Tiempo de Inyección	Opacidad
MANUAL	TA*	2,14
	5	2,86
	10	2,22
	15	2,17
	20	2,39
	25	2,14
	30	2,5
	35	2,43
	40	2,46
	45	2,60
AUTOMÁTICO	Calculado	4,13
SEMIAUTOMATICO	Sensores – Combinaciones	Opacidad
	CMP	2,33
	APP	2,14
	ECT	2,79
	TERMOCUPLA	2
	CMP-TERMOCUPLA	1,62
	CMP-APP	2,01
CMP-ECT	2,04	

TA* = Totalmente Abierto

Se realiza en cuatro mediciones una de ensayo propio de la auto calibración del equipo y tres mediciones que determinan el promedio del resultado de opacidad figura 60, parámetro que determina si la prueba fue aprobada, rechazada o anulada.

DATOS DEL CLIENTE		DATOS DEL VEHICULO	
NOMBRE:	FRANCISCO	PLACA:	XEC1018
APELLIDO:	TOAPANTA	MODELO:	2009
IDENTIFICACION:	0503342297	MARCA:	MAZDA
		LINEA:	BT50
		NUMERO DE MOTOR:	
		VIN:	8LFUNY0WC9N000332
		DIAM EXHOSTO:	63.00
PRUEBA ENSAYO:	2.17 %	DISPOSITIVO DE MEDICION	8181
PRUEBA 1:	2.22 %	RPM RALENTI	756 RPM
PRUEBA 2:	2.18 %	RPM GOBERNADA	4531 RPM
PRUEBA 3:	2.25 %	TEMPERATURA DE OPACIDAD	0 °
OPACIDAD:	2.22 %		
FECHA Y HORA DE LA PRUEBA			
	1/9/2018 12:12:44		
		NORMA	
		OPACIDAD LIMITE:	15.00 %
		MOTIVO:	
		RESULTADO: APROBADA	
OPERARIO RESPONSABLE: _____			
		QUIROZ	

Figura 60. Informe de Opacidad.

4.3.3. Análisis

Se realiza un análisis estadístico a partir de graficas de los diferentes modos de operación del sistema inyección de AdBlue para compararlos con la norma NTE INEN 2207:2002 y su valor límite de opacidad y la opacidad límite del equipo.

- **Modo Manual**

La figura 61 muestra una variación de opacidad mínima de 2,14% con el inyector totalmente abierto y una opacidad máxima de 2,86 % con un tiempo de inyección de 5 ms, lo que representa una menor contaminación cuando existe mayor volumen de AdBlue inyectado en el catalizador, pero en todos los casos el vehículo aprobaría la revisión.

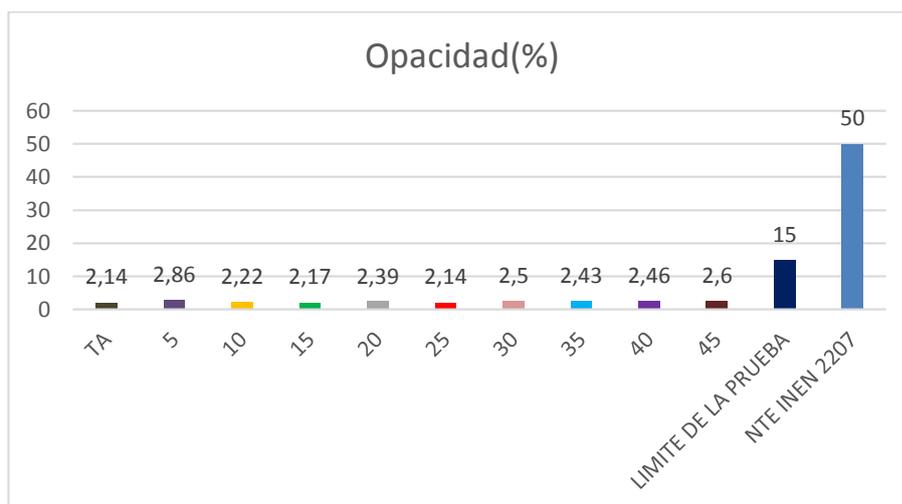


Figura 61. Resultados opacidad modo manual.

- **Modo Semiautomático**

La figura 62 se registró un menor valor de opacidad cuando el sistema controla la inyección de AdBlue en función de la temperatura del catalizador con una opacidad del 2 % reduciendo la contaminación ambiental en función de la reacción química metales nobles del sistema catalítico de SCR. Al utilizar otras posibilidades de control de inyección de AdBlue mediante sensores mantienen un límite de opacidad dentro de un valor no superior a 2,79 %.

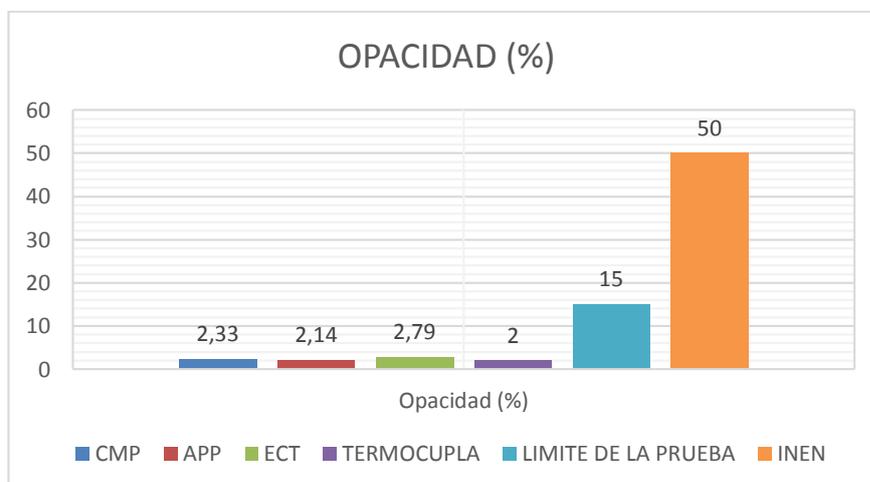


Figura 62. Resultados opacidad (Sensores Individuales).

La figura 63 se observa que el mejor valor de opacidad alcanzado se obtiene cuando el sistema controla la inyección de AdBlue en CMP-Termocupla del 1,62 % reduciendo el impacto ambiental en función de la reacción química metales nobles del sistema catalítico del sistema SCR. Al utilizar otras posibilidades de control de inyección de AdBlue mediante combinaciones de sensores mantienen un límite de opacidad dentro de un valor no superior a 2,04 % que corresponde a la combinación CMP-ECT.

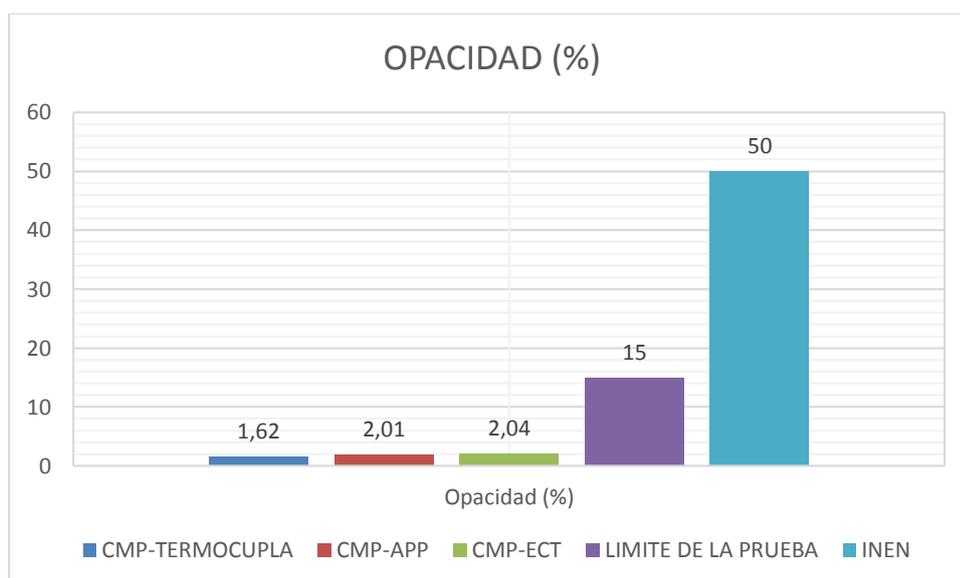


Figura 63. Resultados opacidad (Sensores Combinados).

- **Modo Automático**

La figura 64 muestra los límites de opacidad de la NTE INEN 2207 y del equipo es de 50 % y 15 % respectivamente, de los resultados obtenidos en modo automático reflejan un 4.13 % reduciendo con el estándar 1,57 % de 2,56 % de opacidad, con lo cual aprobaría una revisión de opacidad en cualquiera de las condiciones.

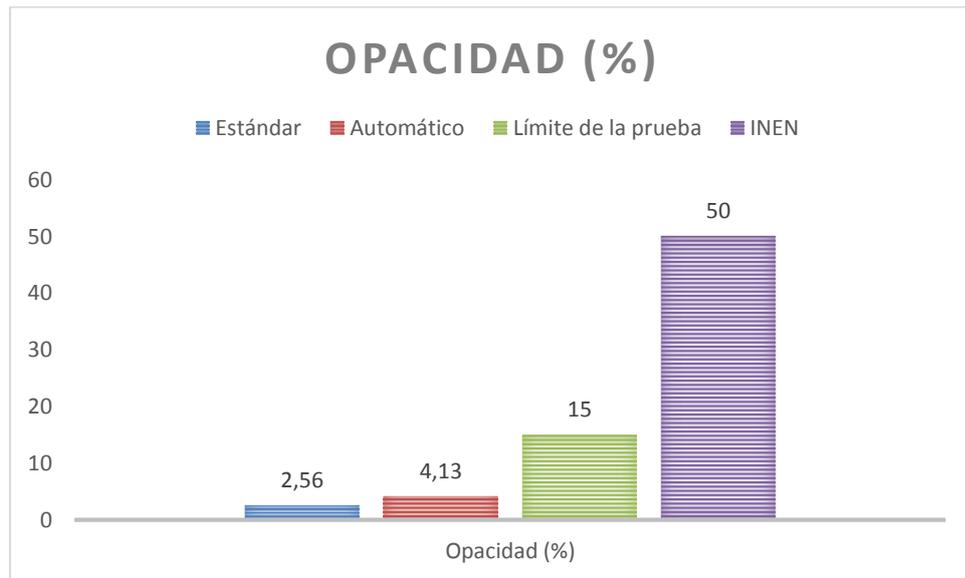


Figura 64. Resultados opacidad modo Automático.

4.4. Pruebas de emisiones

4.4.1. Protocolo

Las pruebas de emisiones figura 65, se fundamentan a partir de los protocolos de normas NTE INEN 2202:2000 y 2207:2000 que se referencia en los ensayos de aceleración libre, de la figura 66.



Figura 65. Analizador de gases AGS-688.

- Se calibró el equipo antes de cada prueba.
- El vehículo fue sometido a una revisión técnica antes del inicio de las pruebas.
- El vehículo de prueba se sometió a un período de calentamiento y estabilización.
- Es necesario verificar que el sistema de escape del vehículo se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento, evitando tener fugas o roturas.
- La prueba es de tipo estacionario establecido por la Unión Europea para los vehículos diésel, Categoría M1.
- Considera a vehículos automotores destinados al transporte de personas, para el ciclo de prueba ECE-49.

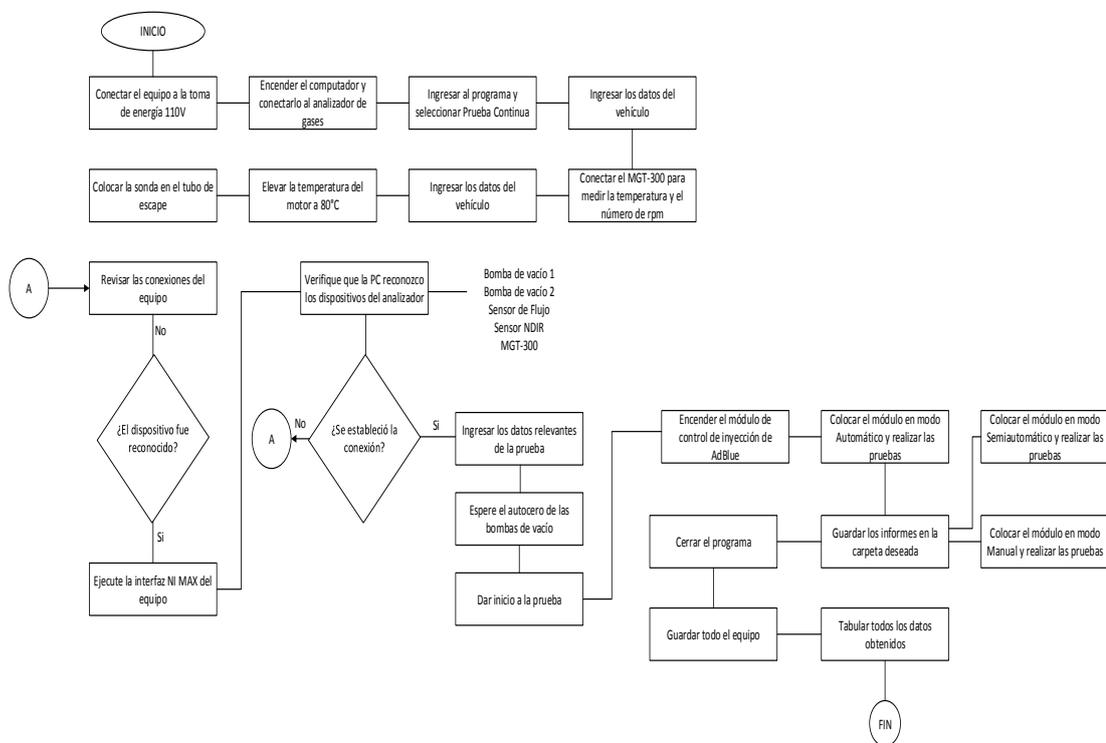


Figura 66. Diagrama de flujo para pruebas de gases.

4.4.2. Resultados

En el modo Semiautomático se realiza en tres parámetros a 1000, 2000 y 3000 RPM ejecutando los tres modos de operación del sistema de inyección de AdBlue SCR, intervenidos de manera manual, semiautomático y automático mediante el módulo de control.

El informe de la prueba de emisiones figura 67 refleja los datos y características del vehículo, finalizando con los valores revelados del resultado de la prueba de emisiones.

 BrainBee® ANÁLISIS GASES ESCAPE <small>AUTOMOTIVE</small>			
ANALIZADOR	AGS-688	CUENTARREVOLUCIONES	
Número de serie	: 160513000054	Número de serie	:
ESPE-L			
LATACUNGA		TELEPHONE	
BELIZARIO QUEVEDO		FAX - EMAIL	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: BT-50
Matricula	: XEC-1018	No. Chasis	: 8LFUNY0WC9M000332
Combustible	: DIESEL	Km recorridos	: 31259
Valores relevados:			
Temp. motor	[°C]	:	88
RPM	[1/min]	:	2060
COcorr	[%Vol]	:	0.63
Lambda	[-]	:	----
CO	[%Vol]	:	0.11
CO ₂	[%Vol]	:	2.5
HC	[ppmVol]	:	4
O ₂	[%Vol]	:	17.3
NO	[ppmVol]	:	59
Fecha y hora prueba	:	10/01/2018 14:05	
Sello			

Figura 67. Informe Emisiones

En la tabla 26 se muestran los valores de la prueba estándar, valores que serán analizados y comparados con los datos de los resultados de los tres diferentes modos de operación del módulo de control de inyección de AdBlue.

Tabla 26.
Resultados de Emisiones Estándar.

Gases	Estándar
CO (% Vol)	0,06
CO2 (% Vol)	2,6
HC (ppm Vol)	35
O2 (% Vol)	18,4
NO (ppm Vol)	250

- **Modo Manual**

Los resultados se representan en tres tablas, los gases residuales de escape a 1000, 2000 y 3000 RPM a cada uno del rango de RPM se va variando el tiempo de apertura del inyector de 5 a 45 ms con intervalo de 5ms.

En la tabla 27 se visualiza los resultados de los gases residuales en modo manual con inyección totalmente abierto y un tiempo de inyección de 5 a 45 ms a 1000, 2000 y 3000 RPM.

Tabla 27.

Resultados de Emisiones Modo Manual.

EMISIONES MODO MANUAL																		
RPM	1000 RPM						2000 RPM						3000 RPM					
T Inyección	CO	CO2	HC	O2	NO	LAMBDA	CO	CO2	HC	O2	NO	LAMBDA	CO	CO2	HC	O2	NO	LAMBDA
TA	0,05	2,5	0	17,6	240	0	0,05	2,8	0	17,6	232	0	0,08	3,3	1	18,1	218	4,755
5	0,07	2,3	0,07	17,8	187	0	0,09	2,5	0,09	17,4	82	0	0,21	3,1	3	18	163	4,79
10	0,03	2,4	0	17,7	235	0	0,09	2,5	0	17,5	92	0	0,17	2,7	6	17,1	65	0
15	0,04	2,2	0	17,8	133	0	0,09	2,4	0	17,5	80	0	0,22	2,9	8	17,1	70	4,83
20	0,09	2,2	0	17,7	149	0	0,08	2,4	0	17,6	82	0	0,19	2,9	12	17	66	4,84
25	0,08	2,3	0	17,9	161	0	0,11	2,5	2	17,5	67	0	0,17	2,8	9	16,9	63	4,98
30	0,07	2,3	0	17,6	149	0	0,11	2,4	0	17,4	63	0	0,38	2,6	12	17	45	4,96
35	0,07	2,2	0	17,6	166	0	0,09	2,4	0	17,5	69	0	0,2	2,9	9	16,9	60	4,81
40	0,04	2,1	0	17,7	131	0	0,09	2,3	0	17,4	72	0	0,17	2,7	2	17	64	0
45	0,07	2,1	0	17,6	178	0	0,09	2,3	0	17,3	69	0	0,17	2,7	2	16,9	60	0
Promedio	0,06	2,26	0,01	17,70	173	0,00	0,09	2,45	0,21	17,47	91	0,00	0,20	2,86	6,40	17,20	87	3,40

- **Modo Semiautomático**

En la tabla 28 se representa los resultados de todos los gases residuales para cada uno de los sensores individuales.

Tabla 28.

Resultados de Sensores Individuales.

SENSORES INDIVIDUALES																
GASES	1000RPM					2000 RPM					3000 RPM					
	APP	CMP	ECT	TERMOCUPLA	PROMEDIO	APP	CMP	ECT	TERMOCUPLA	PROMEDIO	APP	CMP	ECT	TERMOCUPLA	PROMEDIO	
CO	0,04	0,05	0,07	0,06	0,06	0,11	0,11	0,1	0,07	0,10	0,22	0,22	0,18	0,3	0,23	
CO2	2,1	2,1	2,2	2,5	2,23	2,4	2,4	2,3	2,7	2,45	2,8	3	2,8	2,8	2,85	
HC	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1,50	6	8	7	14	8,75	
O2	17,8	17,8	17,8	17,1	17,63	17,4	17,6	17,5	17,2	17,43	16,5	16,7	16,8	16,5	16,63	
NO	126	135	170	105	134	73	66	68	63	67,5	86	81	70	51	72	
LAMBDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,802	4,61	4,945	4,703	4,77	

En la tabla 29 se representa los resultados de todos los gases residuales para cada una de las combinaciones de los sensores.

Tabla 29.

Resultados Combinaciones de Sensores.

SENSORES COMBINADOS												
GASES	1000 RPM				2000 RPM				3000 RPM			
	CMP-APP	CMP-ECT	CMP-TERMOCU.	PROMEDIO	CMP-APP	CMP-ECT	CMP-TERMOCU.	PROMEDIO	CMP-APP	CMP-ECT	CMP-TERMOCU.	PROMEDIO
CO	0,06	0,06	0,05	0,06	0,07	0,1	0,11	0,09	0,22	0,17	0,37	0,25
CO2	2,2	2,2	2,1	2,17	2,3	2,3	2,4	2,33	3	2,7	2,8	2,83
HC	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1	17	9,67
O2	16,7	17,8	17,9	17,47	17,8	17,5	17,5	17,6	16,6	17	17	16,87
NO	193	179	114	162	90	69	63	74	86	73	43	67,33
LAMBDA	0	0	0	0	0	0	0	0	4,59		4,702	4,65

- **Modo Automático**

En el modo Automático se realizó cuatro fases de pruebas a Ralentí, 1000, 2000 y 3000 RPM, tabla 30.

Tabla 30.

Resultados Modo Automático.

Gases	RALENTI	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
CO(%Vol)	0,03	0,1	0,11	0,23
CO2(%Vol)	2,4	2,3	2,5	3
HC(ppmVol)	0	0,1	9	15
O2(%Vol)	17,6	17,7	17,4	16,6
NO(ppmVol)	229	111	53	77

4.4.3. Análisis

Se realiza un análisis estadístico a partir de graficas de los diferentes modos de operación del sistema inyección de AdBlue para compararlos con el sistema estándar con el SCR verificando cual es el modo más óptimo de reducción de emisiones y su valor límite de emisiones de gases del equipo.

- **Modo Manual**

La figura 68 muestra que a 1000, 2000 y 3000 RPM refleja un valor de lambda de 0, mientras que a 3000 RPM se observa un valor máximo de 4,96 con 30ms de apertura del inyector y un mínimo de 4,75 cuando el inyector está totalmente abierto, con una caída del valor de 0 a 10ms, 40ms y 45ms.

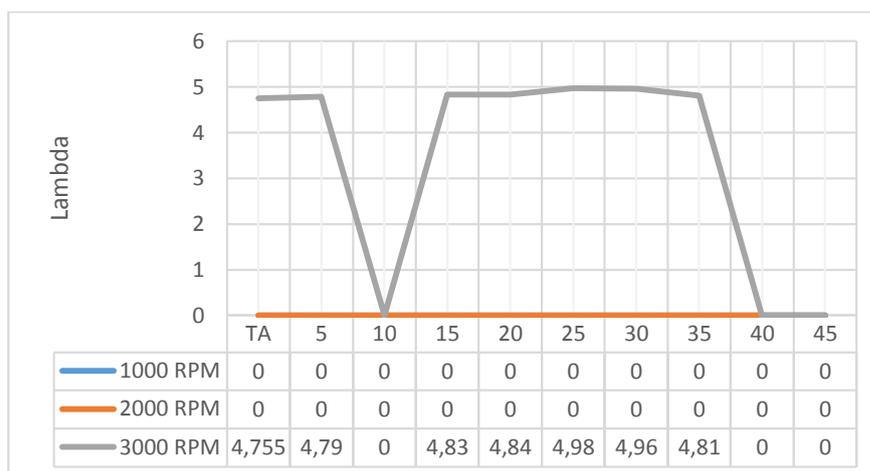


Figura 68. Valores de Lambda modo manual.

La figura 69, refleja el % de CO donde a 1000 RPM existe un promedio de 0,06 %, igual al porcentaje estándar de CO, a 2000 RPM existe un promedio de 0,09 %, dónde existe una diferencia de 0,03 % con la estándar, a 3000 RPM se refleja un promedio de 0,20 %, evidenciando una divergencia de 0,17 % con la estándar, con lo cual se obtiene una reducción de la proporción de CO de 33,33% a 2000 RPM y de 70% a 3000 RPM con respecto a la estándar.

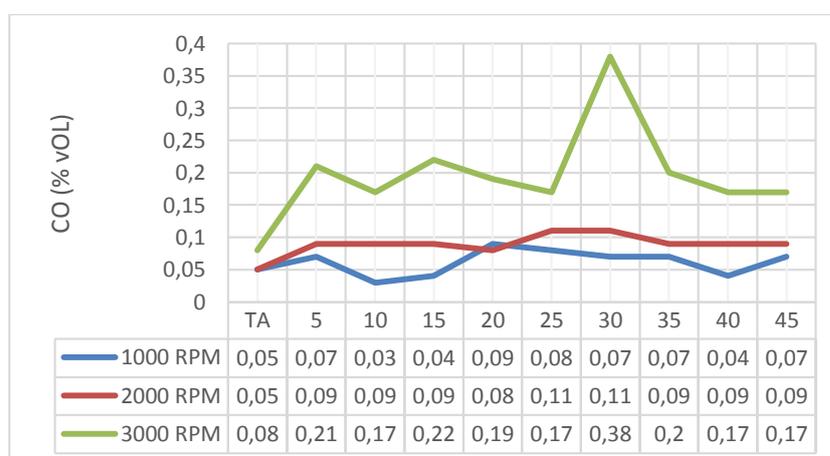


Figura 69. Porcentajes de CO modo manual.

La figura 70, muestra el % de CO₂ donde a 1000 RPM existe un promedio de 2,26 %, con una divergencia de 0,34 % con respecto al CO₂ estándar que es 2,6 %, a 2000 RPM se muestra un promedio de 2,45 %, que

refleja una diferencia de 0,15 % con la estándar, a 3000 RPM muestra un promedio de 2,86 %, evidenciando un aumento de 0,26 % con la estándar, lo cual indica una reducción de 13,07 % de proporción de CO₂ a 1000 RPM y de 5,76 % a 2000 RPM, mientras que a 3000 RPM hay un aumento de 9,09 %, indicando que a 1000 y 2000 RPM el sistema SCR ayuda con la contaminación ambiental.

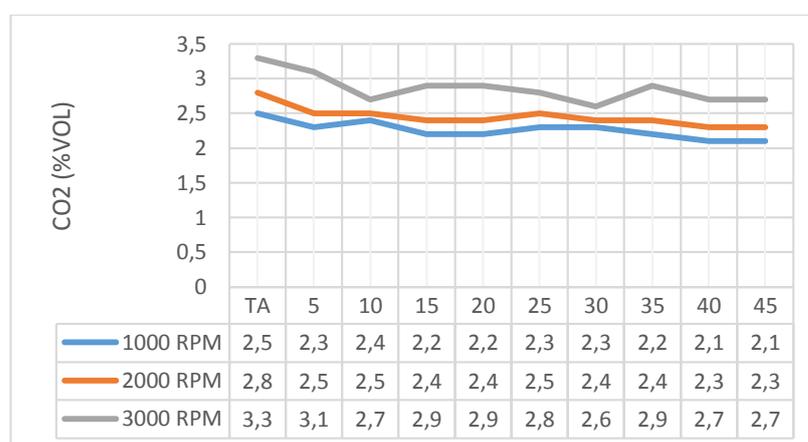


Figura 70. Porcentajes de CO₂ modo manual.

En la figura 71, se observa que en la mayoría de los casos las ppm de HC dan cero, pero reflejan promedios de ppm de HC de 0,007 y 0,209 ppm a 1000 y 2000 RPM respectivamente, con respecto al valor estándar de 35 ppm de HC se observa una gran disminución de 34,993 ppm y 34,791 ppm, mientras que a 3000 RPM existe un promedio de 6,4 ppm, indicando una diferencia de 28,6 ppm, lo que quiere decir que el sistema SCR posee una eficiencia en la reducción de HC de 18,28%.

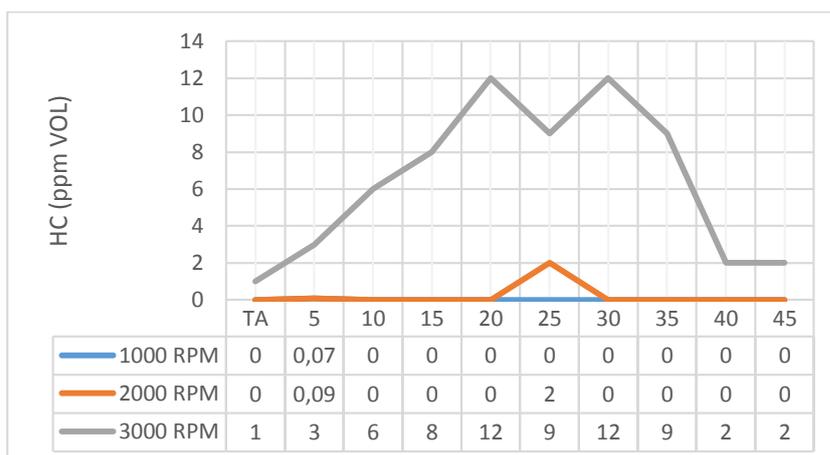


Figura 71. Ppm de HC modo manual.

En la figura 72, se observa que a 1000 RPM existe un promedio de 17,7 % reflejando una reducción de 0,8 % con respecto al sistema que tiene 18,5 % de O₂, por otro lado, a 2000 RPM existe un promedio de 17,47 % y de 17,2 % a 3000 RPM, lo que indica una reducción de 5,56 % y 7,02 % a 2000 y 3000 RPM respectivamente, con lo cual el sistema SCR ayuda a reducir el porcentaje de O₂ a la atmósfera.

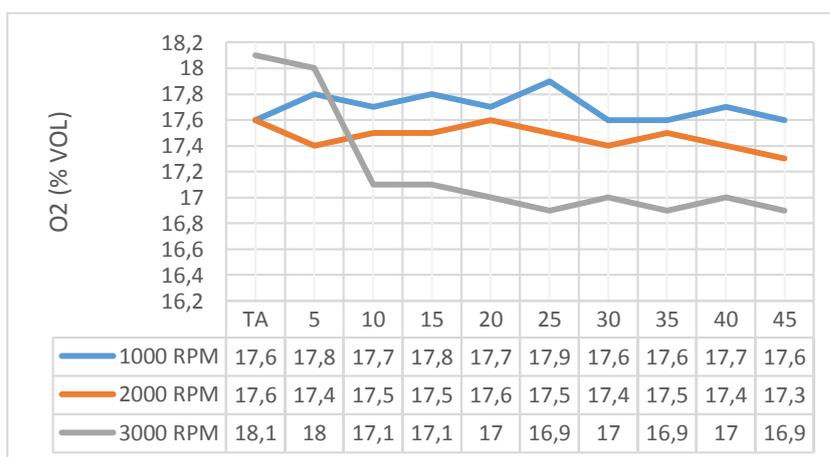


Figura 72. Porcentajes de O2 modo manual.

La figura 73, muestra los valores de ppm de NO con promedios de 173, 91 y 87 a 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, lo que con respecto a las ppm de NO del sistema convencional de 250 ppm, se obtiene una reducción cuantitativa de 77 ppm a 1000 RPM, 159 ppm a 2000 RPM y 163

ppm a 3000 RPM, indicando que el sistema SCR disminuye el porcentaje de emisiones de NO al ambiente en 30,8 %, 63,6 % y 65,2 % en orden de 1000, 2000 y 3000 RPM.

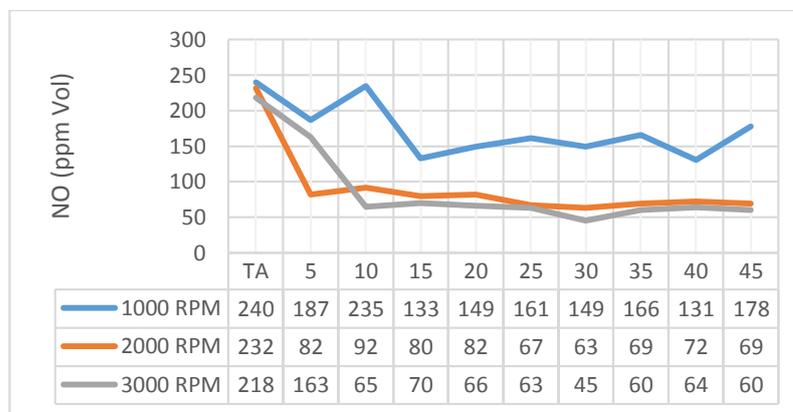


Figura 73. Ppm de NO modo manual.

- **Modo Semiautomático**

La gráfica 74, muestra los porcentajes de CO, el cuál a condiciones estándar es de 0,06 %, obteniendo un promedio de 0,06 % a 1000 RPM, sin diferencia con el sistema estándar, mientras que a 2000 RPM se reflejó un promedio de 0,10 % y a 3000 RPM donde se obtuvo un promedio de 0,23 % lo cual se evidencio una aumento de 0,17 %, indicando que a 2000 y 3000 RPM el sistema SCR no reducen las emisiones de CO resultando un aumento del 40 % y 73,91 %, respectivamente.

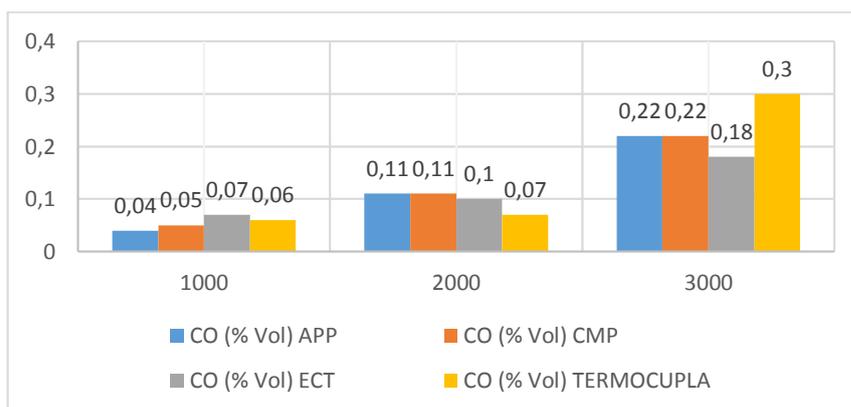


Figura 74. Porcentajes de CO (Sensores Individuales).

La figura 75, indica un promedio del porcentaje de CO₂ a 1000, 2000 y 3000 RPM de 2,6 %, 2,45 % y 2,85 % respectivamente, de tal manera que el porcentaje de CO₂ con el sistema convencional de 2,6 % refleja una variación de CO₂ de 0,15 % a 2000 RPM y un aumento de 0,25 % a 3000 RPM, evidenciando que existe una reducción de emisiones de CO₂ a 2000 RPM de 5,76 % y a 3000 RPM un incremento del 8,77 %.

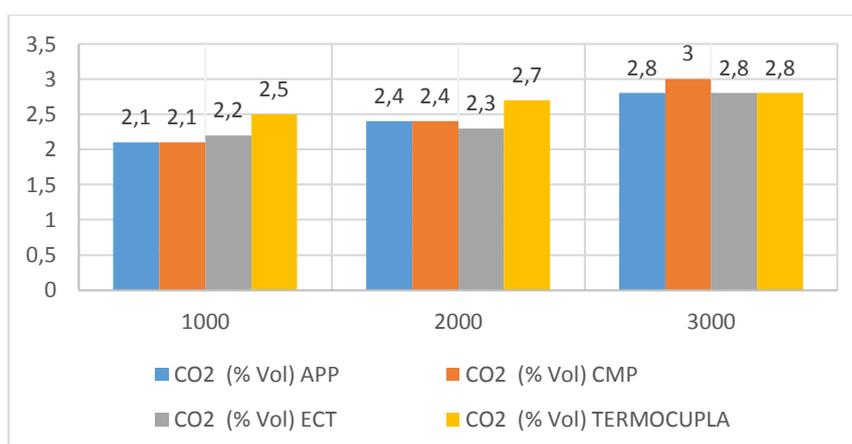


Figura 75. Porcentajes de CO₂ (Sensores Individuales).

La figura 76, muestra las ppm de HC, la cual a 1000 RPM obtenemos valores de 0 ppm, por el contrario a 3000 RPM existe un promedio de 8,75 ppm de HC, valor que indica un 100 % de aumento de ppm de HC ya que en el sistema estándar, se evidencio 0 ppm de HC, reflejando que el sistema SCR no ayuda con la reducción de emisiones de HC.

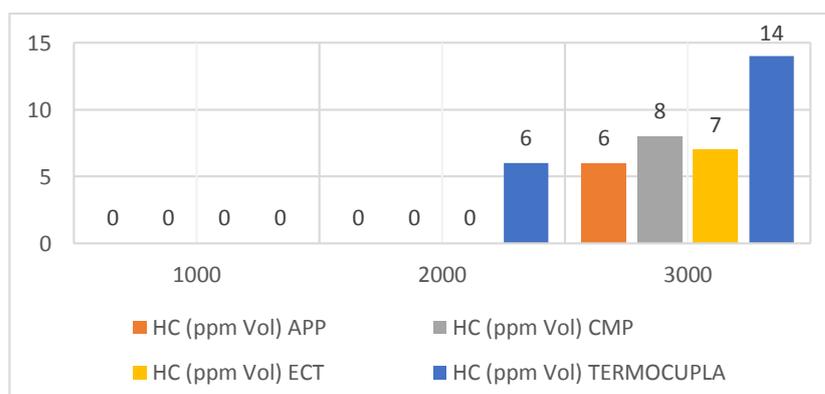


Figura 76. Ppm de HC (Sensores Individuales).

En la figura 77, se obtuvo porcentajes de O₂, los cuales reflejaron un promedio de 17,63 % a 1000 RPM, valor que disminuye 0,77 % con respecto al 18,4 % de O₂ del sistema convencional del vehículo, por otro lado a 2000 RPM se obtiene un promedio de 17,43 % y a 3000 RPM un 16,63 %, siendo el sensor de O₂ el más influyente para obtener una diferencia de 0,97 % y 1,77 % de O₂, respectivamente con relación al sistema SCR, esto muestra una reducción de las emisiones de O₂ con el sistema SCR implementado de 4,18 % a 1000 RPM, 5,27 % a 2000 RPM y 9,61 % a 3000 RPM.

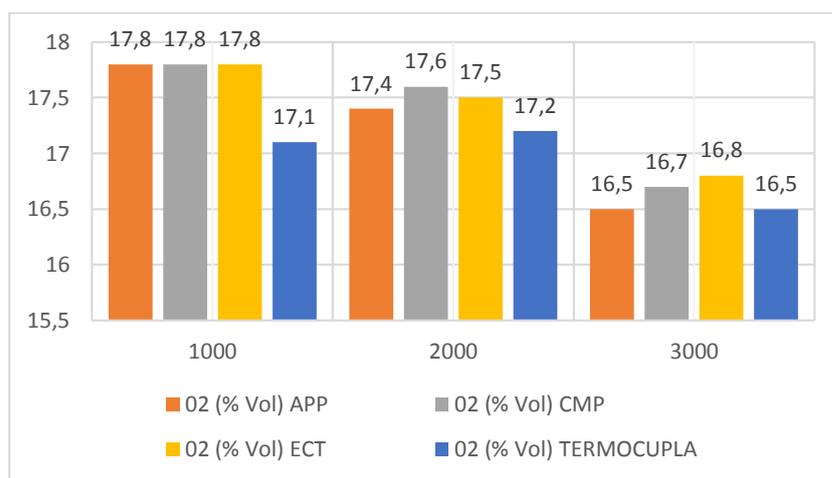


Figura 77. Porcentajes de O₂ (Sensores Individuales).

La gráfica 78, muestra las ppm de NO_x obtenidas con el sistema SCR, comparadas con el valor de 250 ppm de NO_x del sistema estándar, donde se tiene un promedio de 134 ppm a 1000 RPM con una divergencia de 116 ppm, a 2000 RPM llega a un promedio de 67,5 ppm, reduciendo 182,5 ppm de la estándar, mientras que a 3000 RPM se obtiene un promedio de 72 ppm disminuyendo 178 ppm, indicando que la termocupla del catalizador toma los valores más bajos a las diferentes RPMs, lo cual indica que existe una reducción de emisiones de NO_x al ambiente de 46,4 % a 1000 RPM, 73 % a 2000 RPM y a 3000 RPM llega a reducir un 71,2 %.

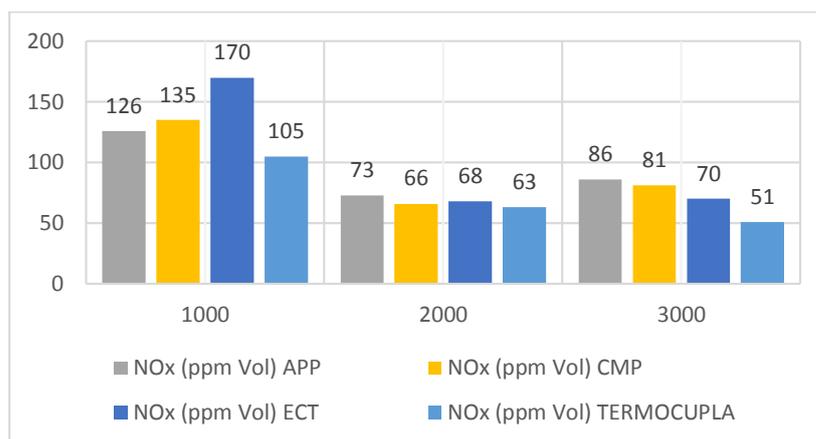


Figura 78. Ppm de NOx (Sensores Individuales)

La figura 79, muestra los porcentajes de CO, que reflejan promedios de 0,06 %, 0,09 % y 0,25 % con el sistema SCR a 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, valores que comparados con el porcentaje de CO estándar de 0,06 %, que a 2000 RPM aumenta 0,03 % y a 3000 RPM crece un 0,19 %, lo cual indica que con las combinaciones de los sensores con el sensor CMP, no ayudan a reducir el porcentaje de CO, sin embargo la combinación CMP – termocupla toma el valor más bajo a 1000 RPM.

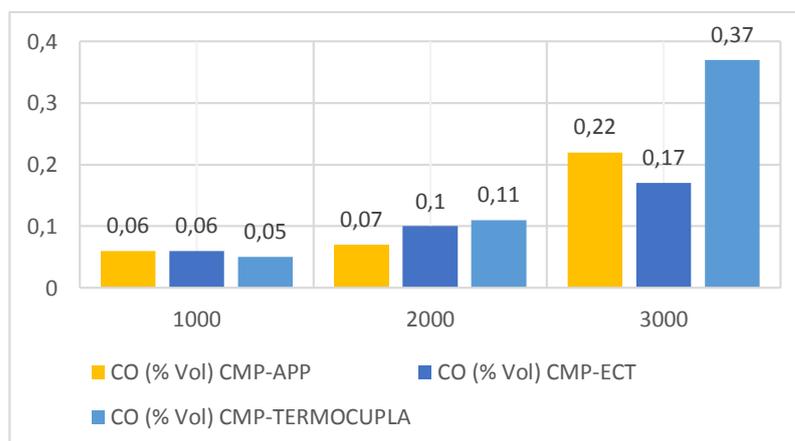


Figura 79. Porcentajes de CO (Sensores Combinados).

En la figura 80, nos refleja valores del porcentaje de CO₂, mostrando un promedio a 1000 RPM de 2,17 %, reduciendo de la estándar 0,43 %, a 2000 RPM, existe un promedio de 2,33 % y 2,83 % a 3000 RPM, disminuyendo 0,27 % a 2000 RPM, mas a 3000 RPM aumenta 0,23 %, lo cual indica que

las combinaciones no ayudan a reducir las emisiones de CO, sin embargo el valor más bajo obtenido en relación al porcentaje de CO del vehículo en sus condiciones estándar fue de 0,05 con la combinación CMP – termocupla.

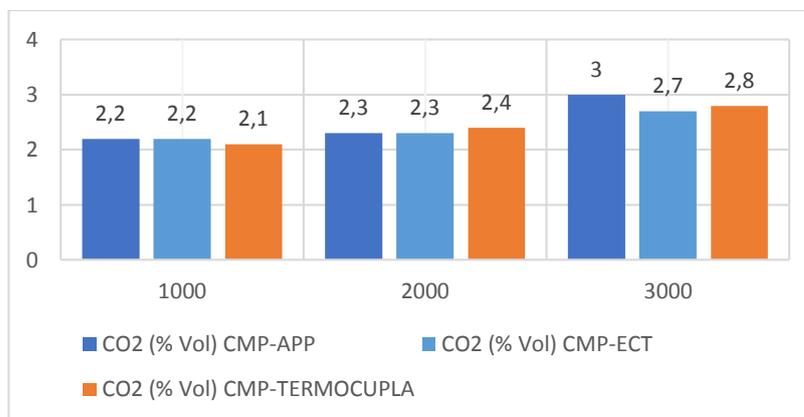


Figura 80. Porcentajes de CO2 (Sensores Combinados).

La figura 81, muestra valores de 0 ppm de HC a 1000 y a 2000 RPM, se mantiene al igual que en la prueba con las condiciones estándar del vehículo, mientras que a 3000 RPM existen valores de 11 ppm, 1 ppm y 17 ppm con las combinaciones de CMP – APP, CMP – ECT y CMP – termocupla, con lo cual se evidencia que, con relación a la prueba estándar y el promedio de 9,66 ppm de HC implementado el sistema SCR existe un 100% de aumento de las emisiones de HC, reflejando el valor más alto con la combinación CMP – termocupla.

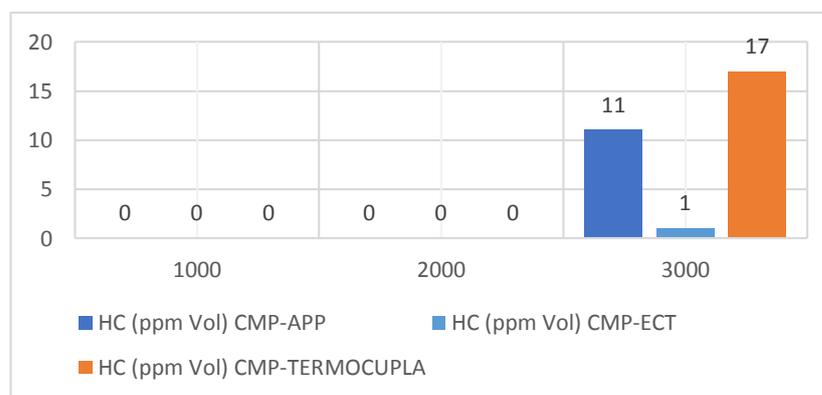


Figura 81. Ppm de HC (Sensores Combinados).

La figura 82, muestra un promedio del porcentaje de O₂ a 1000 RPM de 17,47 %, a 2000 RPM de 17,6 % y a 3000 RPM de 16,87 %, por lo que se evidencia que existe disminución en los tres rangos de RPM, donde se indica que disminuyen 0,93 %, 0,8% y 1,53 % a 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente con relación al porcentaje de O₂ de 18,4 % del sistema convencional, reflejando un valor mínimo con la combinación CMP – APP, evidenciando una reducción de emisiones de O₂ de un 5,05 % a 1000 RPM, 4,34 % a 2000 RPM y 8,31 % a 3000 RPM.

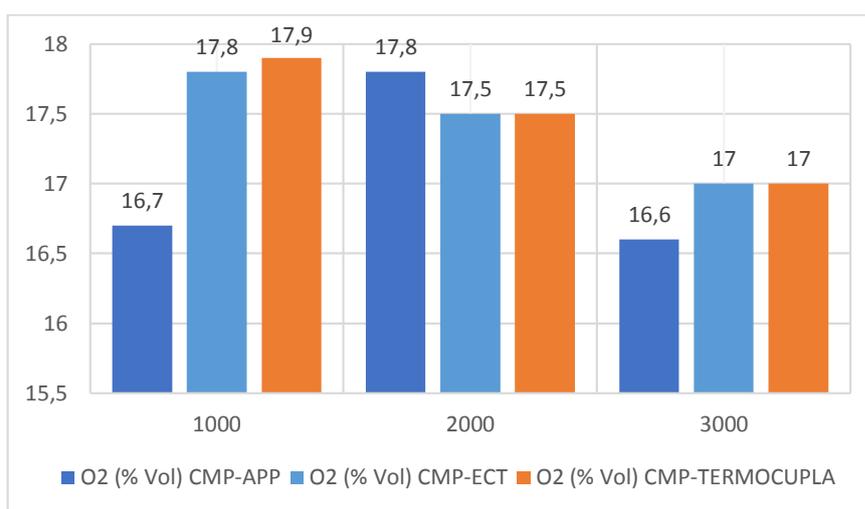


Figura 82. Porcentajes de O₂ (Sensores Combinados).

En la figura 83, se indica las ppm de NO_x, donde se muestra un promedio de 162 ppm a 1000 RPM, 74 ppm a 2000 RPPM y 67,33 ppm a 3000 RPM, lo cual refleja una disminución de 88 ppm, 76 ppm y 182,67 ppm de NO_x con respecto a las 250 ppm de NO_x del sistema estándar, mostrando los valores mas bajops con la combinación CMP – termocupla, lo cual indica que las ppm de NO_x reducen 35,2 %, 70,4 % y 73,06 % a 1000 RPM, 2000 y 3000 RPM respectivamente, evidencia que ayuda a reducir la contaminación ambiental.

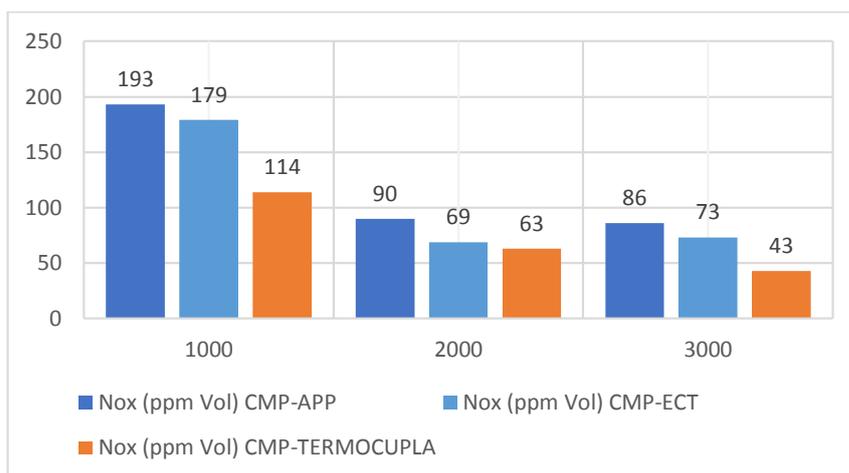


Figura 83. Ppm de NOx (Sensores Combinados).

- **Modo Automático**

En la figura 84 se observa el porcentaje de CO por lo cual sin el sistema SCR muestra un valor de 0,03% como su valor mínimo y a 3000 RPM un valor de 0,23%, registrándose un aumento de CO de 0,20%, es decir que a 3000 RPM se evidencia un incremento de emisiones contaminantes de CO 86,95 % respecto al estándar, lo cual indica que el sistema SCR no es eficiente en este caso.

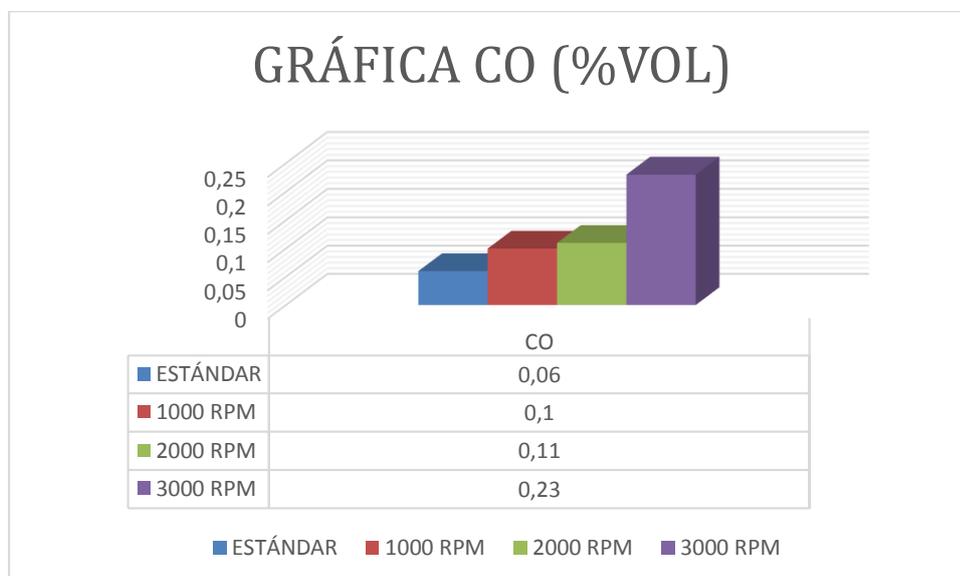


Figura 84. Valores de CO modo Automático.

En la figura 85 se puede observar que el porcentaje de CO₂ se mantiene casi constante, mostrando 2,3% de CO₂ a 1000 RPM con un incremento de 0,7% a 3000 RPM resultando 3% de CO₂.

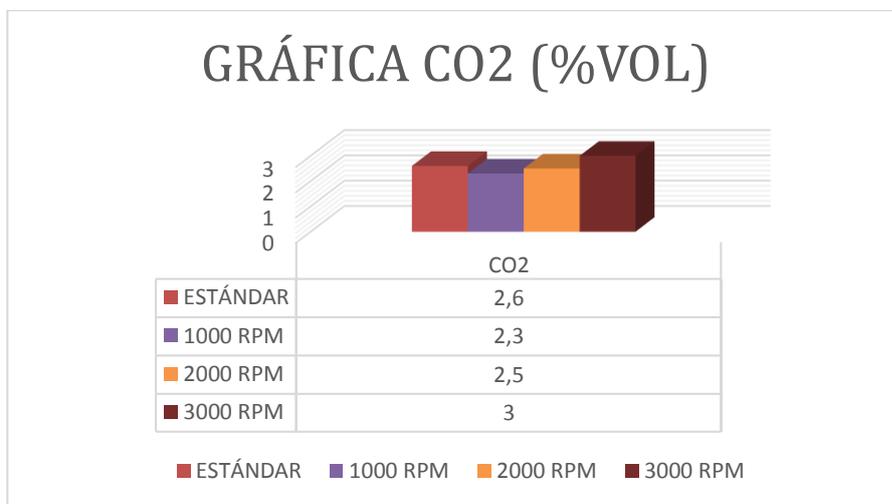


Figura 85. Valores de CO₂ modo Automático.

En la figura 86 se observa un valor de 0 ppm en condiciones estándar, a 1000 RPM se tiene 0,1 ppm de HC reflejando un incremento de 14,9 ppm cuando las revoluciones del motor llegan a ser 3000 RPM, evidenciando que su valor se incrementa un 100%, llegando a 15 ppm, esto indica que el sistema SCR no ayuda a reducir las ppm de HC.

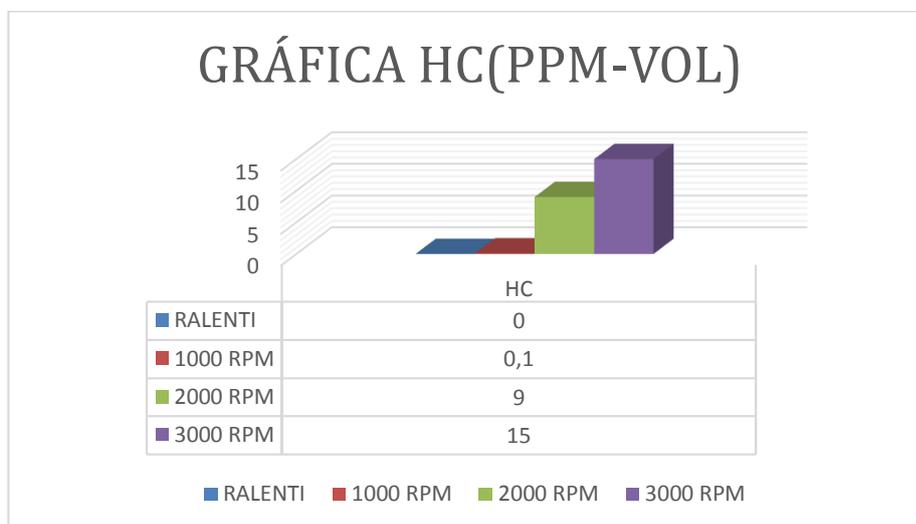


Figura 86. Valores de HC en modo Automático.

En la figura 87, se observa el porcentaje de O₂, llegando a ser el mínimo valor 17,4% cuando el motor está girando a 2000 RPM, y un valor máximo de 17,7% cuando el motor está a 1000 RPM, evidenciando una disminución de emisiones al ambiente de O₂ de 0,03%.

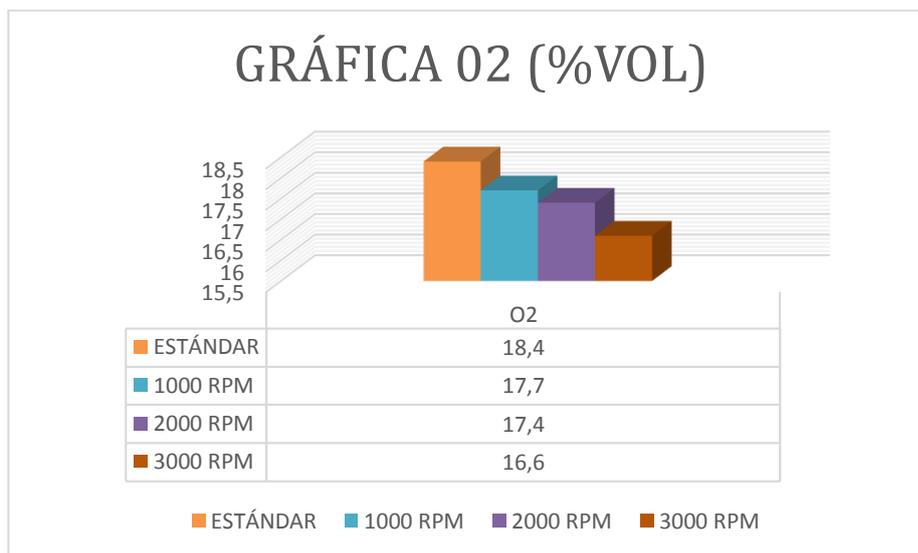


Figura 87. Valores de O₂ modo Automático.

En la figura 88 se puede observar que con el sistema estándar, es cuando más ppm de NO existe llegando a tomar un valor de 229 ppm y llegan a tener una disminución de 176 ppm de NO cuando el motor está girando a 2000 RPM, reflejando una reducción de 76,85%, ayudando un 67,86 % a disminuir los gases de contaminación de NO.

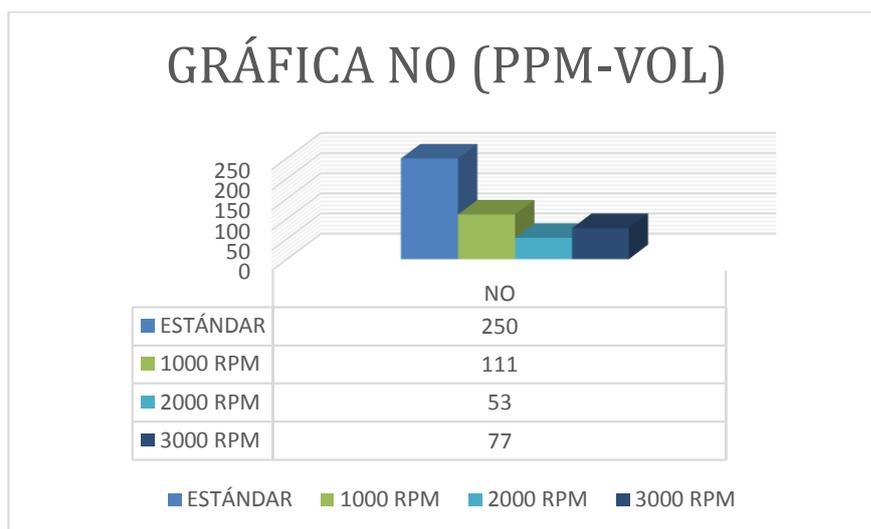


Figura 88. Valores de NO modo Automático.

4.5. Consumo de combustible

4.5.1. Protocolo

De acuerdo al protocolo de comunicación ISO 15765-4 CAN (11 bit ID. 500 Kbaud) con el uso de la interfaz ElmScan 5 mediante el sistema de diagnóstico a bordo OBD II, descrito en la figura 91 con su conector de 16 pines, figura 89. El circuito de prueba consta de dos trayectos de conducción uno en ciudad y otro en carretera con una distancia de 24,9 km y 72 km respectivamente.



Figura 89. Interfaz OBD Link SX.

4.5.2. Circuito para la prueba

Se realizó en la ruta que se muestra en la figura 90 dónde la hora de partida fue a las 7:00 am con una distancia de 96,9 km recorridos, la primera fase de la prueba se efectuó sin el sistema SCR desactivado, y la segunda fase con el sistema SCR activado.



Figura 90. Ruta ESPE Belisario Quevedo y CCICEV Quito.

- El circuito empieza en la ciudad de Latacunga en la parroquia de Belisario Quevedo.
- Al principio del circuito habrá un tramo para conducción en la ciudad que tendrá una distancia de 9,7 km.
- La ruta posee un tramo para conducción en carretera el cual tendrá la distancia más grande de 63,8 km.

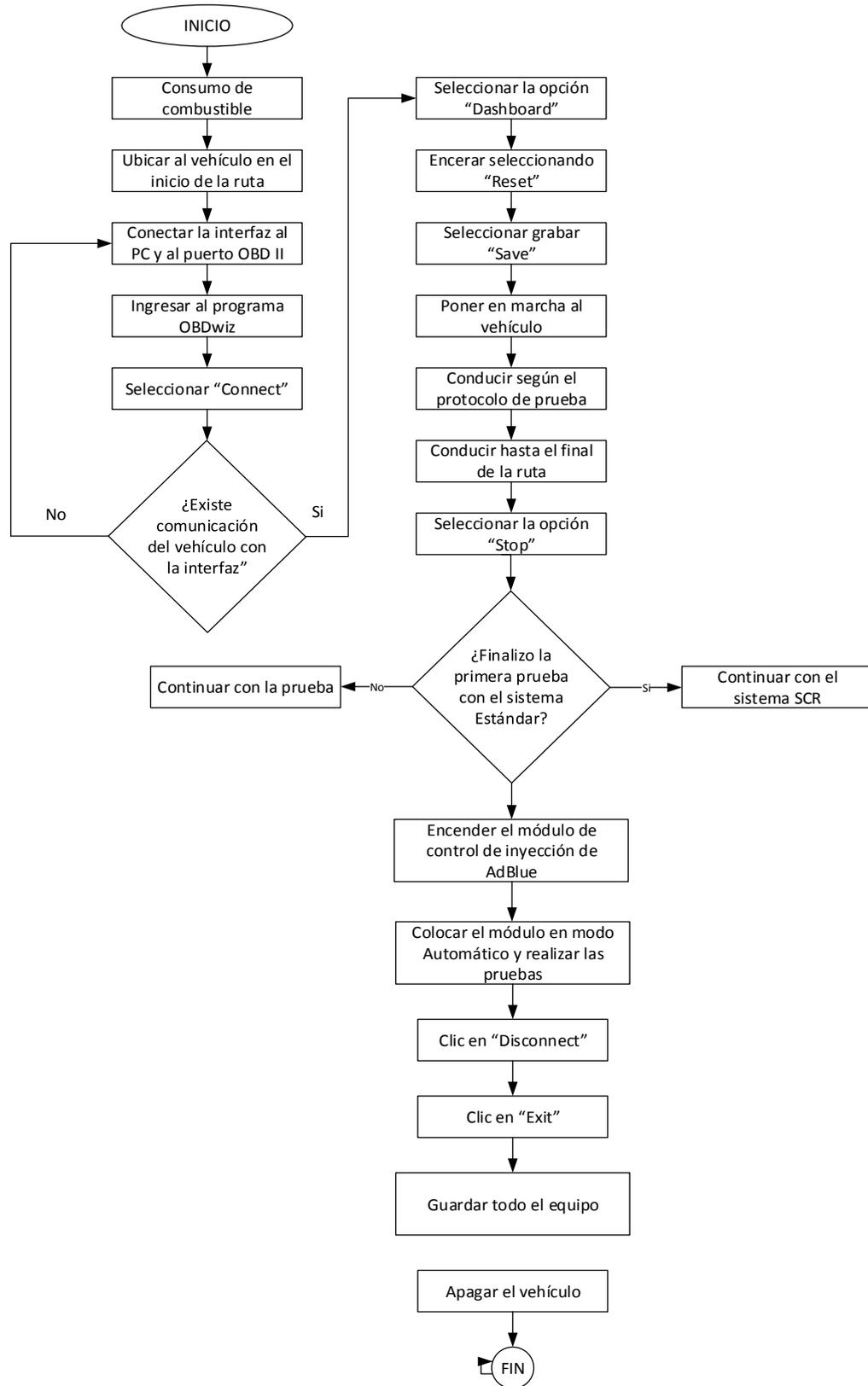


Figura 91. Diagrama de flujo para pruebas de consumo de combustible

4.5.3. Resultados

La tabla 31 representa los datos de consumo de combustible registrados por la interfaz OBDwiz, se efectuaron tres pruebas en ruta Latacunga – Quito con el sistema Estándar y con el sistema SCR implementado en modo de funcionamiento automático se analiza en función del valor promedio de los resultados obtenidos.

Tabla 31.

Consumo de Combustible.

N°	ESTANDAR				SCR			
	Total Lt/100km	Inst Lt/100km	Litros x hora	Litros Total	Total Lt/100km	Inst Lt/100km	Litros x hora	Litros Total
Prueba 1	22,8	19,33	3,23	19,37	22,1	19	3,11	19,1
Prueba 2	23,2	20,2	3,12	19,35	21,5	19,3	3,2	19,22
Prueba 3	23,3	19,05	3,4	19,26	20,8	18,6	3,03	18,32
Promedio	23,10	19,53	3,25	19,33	21,47	18,97	3,11	18,88

4.5.4. Análisis

La prueba de rendimiento incluyendo paradas figura 92 en condiciones estándar es de 23,1 lt/100km y con el sistema de inyección de AdBlue implementado es de 21,47 lt/100km, el vehículo de prueba requiere una menor cantidad de combustible por cada 100 km de recorrido con el Sistema SCR reflejando una mayor autonomía de 7,06 % respecto del automotor en condiciones estándar.

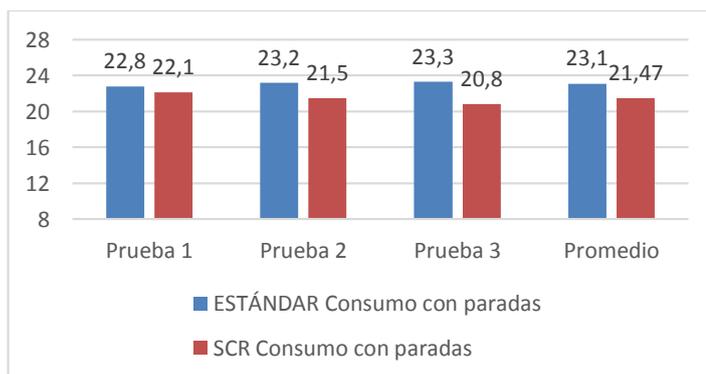


Figura 92. Consumo con paradas en litros cada 100km.

La figura 93, muestra el rendimiento sin paradas es de 19,53 lt/100km con el vehículo en condiciones estándar y con el sistema SCR es de 18,97 lt/100km, lo que resulta en ahorro de combustible de 0,56 lt/km que constituye un 2,86 % de autonomía por cada 100 km recorridos sin tomar en cuenta la cantidad de combustible consumida cuando el vehículo está detenido.

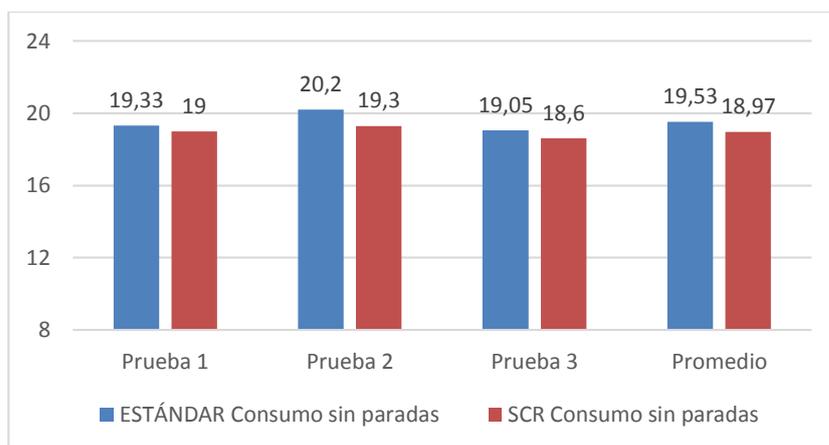


Figura 93. Consumos sin paradas en litros cada 100km.

El consumo de combustible por hora figura 94, con el sistema estándar del vehículo es de 3,28 lt/h y con el sistema SCR fue de 3,16 lt/h, indicando un mayor consumo de combustible en una hora del 4.65% lo que significa un incremento de 0,12 lt/h.

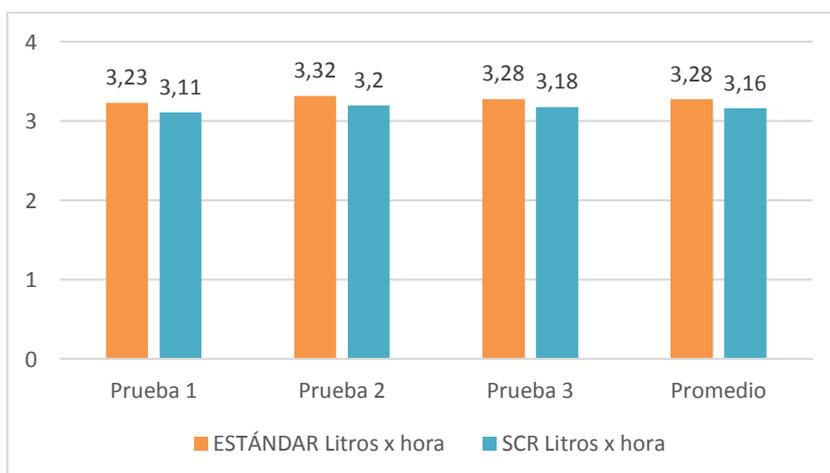


Figura 94. Consumo en litros por hora.

En la figura 95, se muestra el consumo total de combustible alcanzando en condiciones estándar y con el sistema SCR 19,38 lt, y 19,32 lt respectivamente, obteniendo un de 0,06 lt sin el sistema, lo que refleja un menor consumo total con el sistema de inyección de AdBlue del 0,99 %.

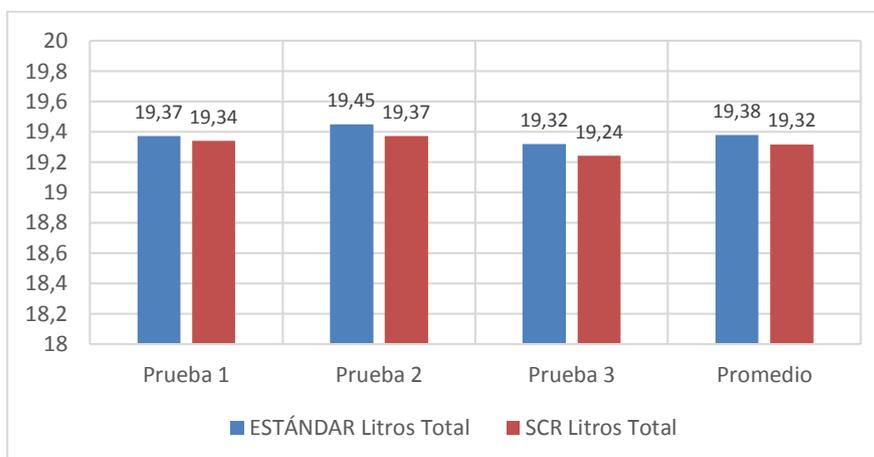


Figura 95. Consumo total de combustible.

4.6. Pruebas consumo del inyector de AdBlue

El consumo volumétrico de AdBlue, se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en la figura 97, bajo diferentes parámetros y condiciones de operación y funcionamiento del inyector como tiempo de inyección, tiempo de apertura a diferentes regímenes de giro.

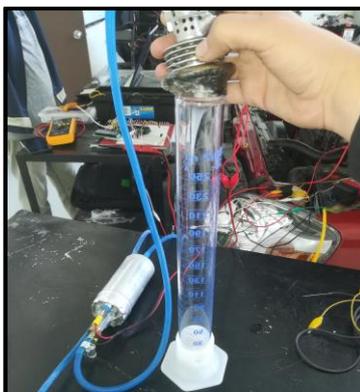


Figura 96. Pruebas de Consumo.

Las muestras de consumo del inyector se tomaron en una probeta graduada con el inyector de AdBlue desmontado del catalizador, figura 96, con el módulo de control electrónico en modo manual variando los tiempos de inyección de totalmente abierto a rangos periódicos de 5 ms hasta 45 ms.

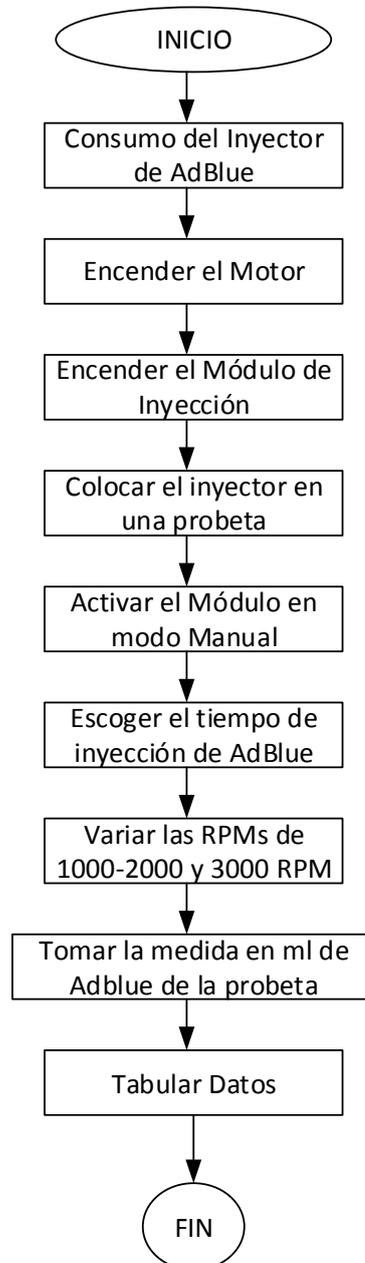


Figura 97. Diagrama de flujo para pruebas de consumo de AdBlue.

4.5.1. Resultados

La tabla 32 muestra los resultados del consumo del aditivo a base de urea en relación al número de pulsos del inyector a 1000 RPM hasta los 3000 rpm en intervalos de 2 minutos hasta 6 minutos.

Tabla 32.

Consumo del inyector de AdBlue a 1000 - 2000 y 3000 RPM en 2 – 4 y 6min.

RPMs	1000 RPM						2000 RPM						3000 RPM					
	2min		4min		6min		2min		4min		6min		2min		4min		6min	
T. inyec. (ms)	N° Pulso.	Con. (ml)	N° Pulso	Con. (ml)														
TA		44		76		108		44		76		108		44		76		108
45	1441	18	1461	40	2175	55	1187	36	2376	72	3558	92	1441	38	2885	71	4331	98
40	1538	16	1501	32	2265	46	1247	31	2496	67	3747	86	1538	35	3068	68	4612	91
35	1632	18	1547	26	2367	41	1317	28	2632	57	3950	72	1632	36	3278	66	4930	86
30	1728	15	1598	28	2471	39	1380	24	2757	50	4144	62	1728	29	3470	61	5223	80
25	1824	14	1655	26	2463	37	1445	20	2885	43	4340	53	1824	28	3667	59	5523	74
20	1919	11	1719	24	2570	35	1510	16	3013	35	4536	44	1919	25	3863	55	5822	68
15	2015	8	1775	15	2663	24	1575	12	3141	28	4732	33	2015	23	4060	52	6122	62
10	2110	6	1843	11	2767	13	1640	8	3269	20	4928	21	2110	20	4256	45	6421	56
5	2206	4	1921	6	2911	8	1705	4	3397	13	5124	12	2206	15	4453	36	6721	32

4.6.1. Análisis

En la figura 98 se observa un consumo volumétrico del inyector de 44 ml, 76 ml y 108 ml cuando el inyector está totalmente abierto, con tiempos de inyección de 5 ms se producen volúmenes de 4 ml, 6 ml y 8 ml incrementándose progresivamente el número de pulsos; y las cantidades inyectadas de 18 ml, 40 ml y 55 ml con 45 ms como tiempo de inyección; para todos los casos en un tiempo de prueba de 2 min, 4min y 6 min respectivamente; de lo que se evidencia que a mayor tiempo de inyección mayor volumen de aditivo suministrado y proporcional al régimen de giro y el número de pulsos es inversamente proporcional al consumo volumétrico de AdBlue.

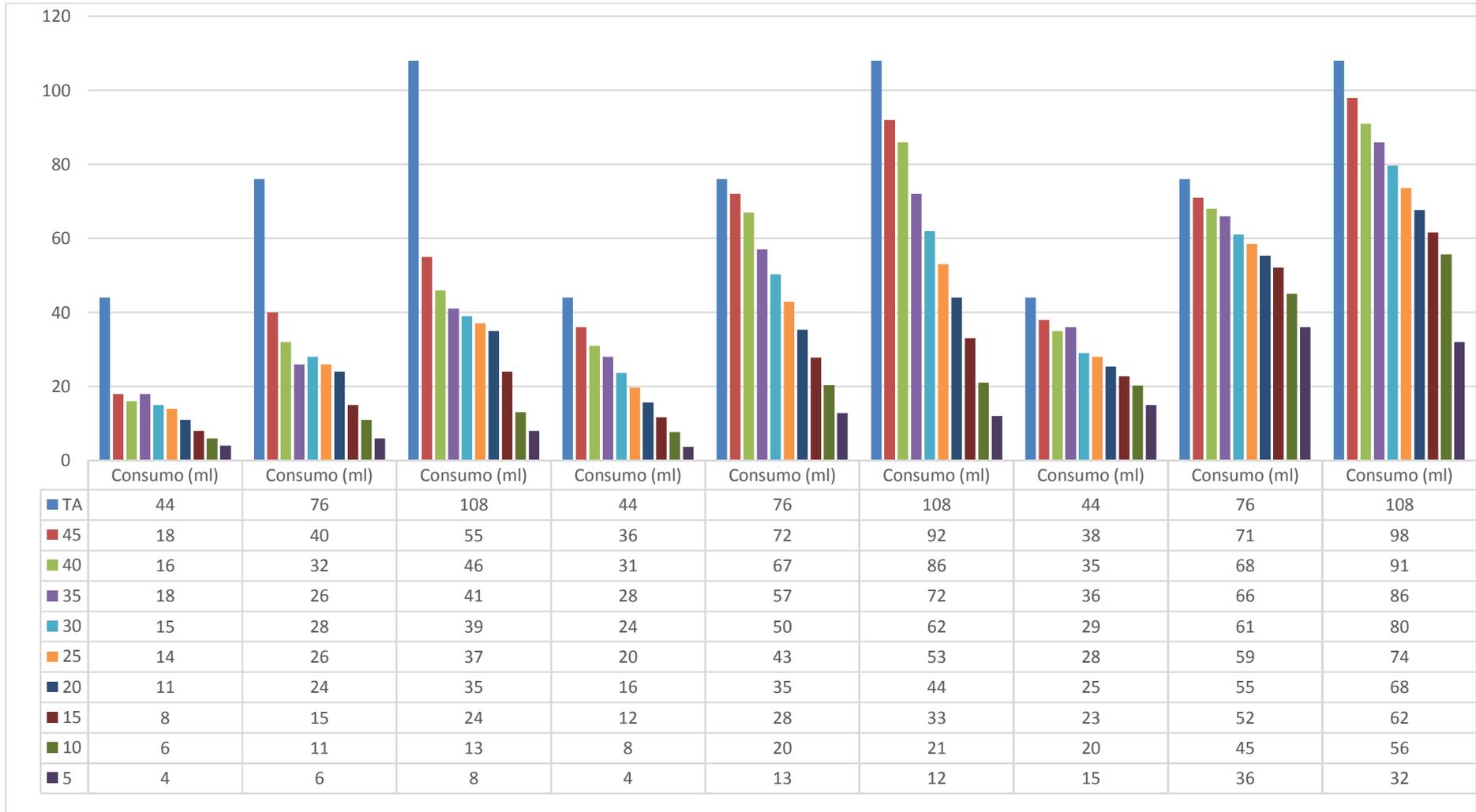


Figura 98. Consumo del inyector de AdBlue a diferentes regímenes.

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO.

5.1. Recursos

Al fin de llevar a cabo la ejecución del proyecto de manera eficiente y organizada, se presenta el análisis y optimización de los recursos que son: humanos, institucional, materiales y tecnológicos.

5.1.1. Recursos humanos

Los recursos humanos involucrados en el desarrollo de la investigación titulado “INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO Y EMISIONES DEL MOTOR DIESEL MZR –CD 2.5L CRDI AL IMPLEMENTAR EL CONJUNTO SCR CON INYECCIÓN DE ADBLUE EN EL SISTEMA DE ESCAPE” es el siguiente:

Tabla 33.

Recursos humanos.

Ord.	Descripción	Función
1.	Flores Manosalvas Marco Javier	Investigador
2.	Toapanta Aguilar Cristian Francisco	Investigador
3.	Ing. Leónidas Quiroz	- Colaborador Científico - Colaborador técnico y analista de emisiones
4.	Ing. Germán Erazo	Colaborador Científico
5.	Ing. Daniel Tinizaray	Colaborador Científico

5.1.2. Recursos institucionales

Los recursos institucionales donde se desarrolló el proyecto de titulación son los siguientes:

Tabla 34.**Recursos institucionales.**

Institución	Dirección	Teléfono
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga Laboratorio de Autotrónica Laboratorio de Mecánica de Patio	Ecuador, Cotopaxi – Latacunga Calle Quijano y Ordoñez y hermanas Páez	593(3) 2810- 206 / 2813-130 / 2810-326
Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares CICCEV	Ecuador, Pichincha – Quito Av. Toledo s/n y Madrid	593(2) 2976300 ext 5751

5.1.3. Recursos materiales

Para el desarrollo de la investigación es necesario elementos y componentes que se presentan a continuación:

Tabla 35.**Recursos materiales.**

Orden	Cantidad	Unidades	Detalle
1	15	Galón	Diésel
2	1	Unidad	Mantenimiento vehicular
3	1	Caneca	AdBlue
4	1	Unidad	Catalizador SCR
5	2	Metros	Tubo de acero 2 ½ pulgadas
6	1	Unidad	Plancha de acero
7	1	Unidad	Bomba
8	1	Unidad	Inyector
9	1	Unidad	Módulo
10	1	Unidad	Deposito
11	6	Metros	Cañerías
12	1	Unidad	Silicón automotriz
13	1	Unidad	Sensor de nivel
14	1	Resma	Hojas
15	2	Unidades	Perno con tuerca
16	2	Unidades	CD
17	6	Metros	Cable # 16
18	6	Metros	Cable # 21
19	1	Unidad	Misceláneos

5.1.4. Recursos tecnológicos

Para cumplir con los objetivos de esta investigación es necesario contar con equipos que faciliten la visualización de los datos obtenidos, los cuales se mencionan a continuación:

Tabla 36.
Recursos tecnológicos.

Orden	Cantidad	Unidades	Detalle
1	2	Unidades	Computador personal
2	1	Unidad	Multímetro automotriz
3	1	Unidad	Cámara fotográfica
4	1	Unidad	Dinamómetro
5	1	Unidad	Scanner automotriz
6	1	Unidad	Osciloscopio automotriz
7	1	Unidad	Interfaz OBDwiz
8	1	Unidad	Analizador de gases Brain Bee
9	1	Unidad	Analizador de gases Cartek
10	1	Unidad	Suelda MIG
11	1	Unidad	Dobladora de tubos

5.2. Presupuesto de la investigación.

Para el desarrollo del proyecto se estableció el recurso económico necesario, de la suma de los costos de los recursos materiales y tecnológicos.

5.2.1. Presupuesto de los recursos materiales.

Tabla 37.
Presupuesto de los recursos materiales.

Ord.	Cant.	Unidades	Detalle	Costos unitario	Costo total
1	15	Galón	Diésel	\$ 1,02	\$ 15,30
2	1	Unidad	Mantenimiento vehicular	\$ 50,00	\$ 50,00
3	1	Caneca	AdBlue	\$ 30,00	\$ 30,00
4	1	Unidad	Catalizador SCR	\$ 260,00	\$ 260,00

CONTINÚA 

5	2	Metros	Tubo de acero 2 ½ pulgadas	\$ 5,00	\$ 10,00
6	2	Unidad	Plancha de acero	\$ 10,00	\$ 25,00
7	1	Unidad	Bomba	\$ 40,00	\$ 40,00
8	1	Unidad	Inyector	\$ 335,00	\$ 335,00
9	1	Unidad	Módulo	\$ 170,00	\$ 170,00
10	1	Unidad	Deposito	\$ 60,00	\$ 60,00
11	6	Metros	Cañerías	\$ 1,20	\$ 7,20
12	1	Unidad	Silicón automotriz	\$ 4,50	\$ 4,50
13	1	Unidad	Sensor de nivel	\$ 13,00	\$ 13,00
14	1	Resma	Hojas	\$ 3,50	\$ 3,50
15	2	Unidad	Perno con tuerca	\$ 1,50	\$ 3,00
16	2	Unidad	CD	\$ 1,50	\$ 3,00
17	6	Metros	Cable # 16	\$ 0,50	\$ 3,00
18	6	Metros	Cable # 21	\$ 0,25	\$ 1,50
19	1	Unidad	Misceláneos	\$ 10,00	\$ 10,00
				Total:	\$ 1.043,70

5.2.2. Presupuesto de los recursos tecnológicos.

Tabla 38.

Presupuesto de los recursos tecnológicos.

Ord.	Cant.	Unidades	Detalle	Costos unitario	Costo total
1	2	Unidades	Computador personal		\$ 0,00
2	1	Unidad	Multímetro automotriz		\$ 0,00
3	1	Unidad	Cámara fotográfica		\$ 0,00
4	1	Unidad	Dinamómetro (pruebas torque y potencia)	\$ 115,00	\$ 115,00
5	1	Unidad	Scanner automotriz		\$ 0,00
6	1	Unidad	Osciloscopio automotriz		\$ 0,00
7	1	Unidad	Interfaz OBDwiz		\$ 0,00
8	3	Unidad	Analizador de gases Brain Bee (filtros y calibración)	\$ 13,00	\$ 90,00
9	1	Unidad	Analizador de gases Cartek (calibración)	\$ 45	\$ 90,00
10	1	Unidad	Suelda MIG	\$ 10,00	\$ 10,00
11	4	Dobleces	Dobladora de tubos	\$ 3,00	\$ 12,00
				Total:	\$ 317,00

5.2.3. Presupuesto total

Tabla 39.

Presupuesto total del proyecto.

Recursos	Costo total
Recursos materiales	\$ 1.043,70
Recursos tecnológicos	\$ 317,00
Imprevistos	\$ 120
Total	\$ 1.480,70

Mediante el análisis de los recursos materiales y tecnológicos para el desarrollo de la investigación titulado “INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO Y EMISIONES DEL MOTOR DIESEL MZR-CD 2.5L CRDI AL IMPLEMENTAR EL CONJUNTO SCR CON INYECCIÓN DE ADBLUE EN EL SISTEMA DE ESCAPE”, se tiene como resultado una inversión de 1.502,00 dólares americanos.

5.3. Cronograma de actividades.

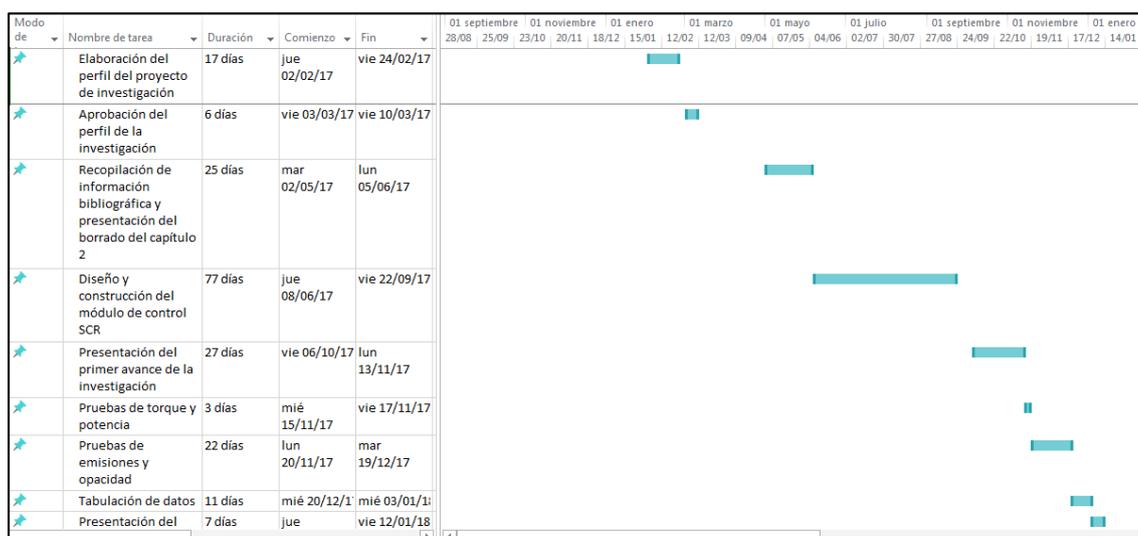


Figura 99. Cronograma de actividades.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se recopiló la información científica necesaria que fundamente el desarrollo de la investigación propuesta.
- Se realizó el levantamiento de requerimientos de la implementación del sistema SCR con inyección de AdBlue en el sistema de escape, fundamentando su principio de funcionamiento desde la visión mecánica, eléctrica y electrónica.
- Se implementó el sistema SCR con inyección de AdBlue en el sistema de escape en el motor MZR – CD 2,5 L CRDI, considerando parámetros mecánicos: catalizador, inyector, materiales del tubo de escape; hidráulicos: ubicación del depósito, tipo de bomba, tipo de cañerías, filtro; eléctricos: tipo de cables, fuente y electrónicos: programación, elementos electrónicos.
- Se diseñó e implementó el módulo de control de inyección de AdBlue, con tres diferentes modos de operación: Manual, Semiautomático, Automático.
- Se realizó las pruebas de torque y potencia en el CCICEV, ciudad de Quito, con el dinamómetro de rodillos MAHA 3000, con el sistema estándar y el sistema SCR implementado, con el modo automático.
- Se obtuvieron resultados de pruebas de opacidad en el laboratorio de Autotrónica, ESPE-L, con el opacímetro CARTEK, con el cual se

realizó pruebas con el sistema estándar del vehículo y con el sistema SCR en todos sus modos de operación.

- Se pudo comprobar la eficacia del sistema SCR mediante las pruebas de gases realizadas en el laboratorio de Autotrónica, ESPE-L, utilizando el analizador de gases Brian Bee.
- Se realizó de consumo de combustible con el motor estándar, para determinar el volumen necesario del depósito de AdBlue en función del consumo del combustible.
- Se efectuó pruebas del consumo volumétrico del inyector a diferentes tiempos de inyección, para realizar una relación con el consumo de combustible y determinar el nivel del depósito de AdBlue.
- La potencia del vehículo Mazda BT – 50 MZR – CD 2,5 L CRDI en condiciones estándar es 80,03 HP y con el sistema SCR es 80,77 HP; se establece un incremento con el sistema SCR de 0,74 HP que representa 0,91% de incremento respecto de las condiciones originales de manufactura.
- Se determinó que el torque de 162,83 lb-ft en condiciones estándar y 167,93 lb-ft del sistema SCR implementado, se registra un incremento con el sistema SCR de 5,1 lbf-ft, revelando que el torque del motor MZR – CD 2,5 L CRDI es más eficiente un 3,03% respecto al torque del sistema estándar del vehículo.
- En el modo manual se registró una opacidad mínima de 2,14% con el inyector totalmente abierto y una opacidad máxima de 2,86 % con un tiempo de inyección de 5 ms, lo que representa una menor contaminación cuando existe mayor volumen de AdBlue inyectado en

el catalizador, pero en todos los casos el vehículo aprobaría la revisión.

- En el modo semiautomático se registra un menor valor de opacidad cuando el sistema controla la inyección de AdBlue en función de los sensores individuales, de la temperatura del catalizador con una opacidad del 2 % reduciendo la contaminación ambiental en función de la reacción química metales nobles del sistema catalítico del SCR, al utilizar otras posibilidades de control de inyección de AdBlue mediante sensores mantienen un límite de opacidad dentro de un valor no superior a 2,79 % valores los cuáles un superan la norma NTE INEN 2 207:2000.
- El menor valor de opacidad alcanzado en el modo semiautomático se obtiene que cuando el sistema controla la inyección de AdBlue con sensores combinados, en CMP- Termocupla del 1,62 % reduciendo el impacto ambiental al controlar la inyección de AdBlue, los valores permisibles de la norma NTE INEN 2 207:2000, al utilizar otras combinaciones del modo semiautomático no superan al 2,04 % que corresponde a la combinación CMP-ECT.
- El porcentaje de CO en el modo manual se obtiene, a 1000 RPM existe un promedio de 0,06 %, igual al porcentaje estándar de CO, a 2000 RPM existe un promedio de 0,09 %, dónde existe una diferencia de 0,03 % con la estándar, a 3000 RPM se refleja un promedio de 0,20 %, evidenciando una divergencia de 0,17 % con la estándar, con lo cual se obtiene una reducción de la proporción de CO de 33,33% a 2000 RPM y de 70% a 3000 RPM con respecto a la estándar.
- El porcentaje de CO₂ en el modo manual indica que, a 1000 RPM existe un promedio de 2,26 %, a 2000 RPM se muestra un promedio de 2,45 %, a 3000 RPM muestra un promedio de 2,86 %, lo cual indica una reducción de 13,07 % de proporción de CO₂ a 1000 RPM y

de 5,76 % a 2000 RPM, mientras que a 3000 RPM hay un aumento de 9,09 %, indicando que a 1000 y 2000 RPM el sistema SCR ayuda con la contaminación ambiental.

- En el modo manual, se observa que en la mayoría de los casos las ppm de HC dan cero, pero reflejan promedios de ppm de HC de 0,007 y 0,209 ppm a 1000 y 2000 RPM respectivamente, mientras que a 3000 RPM existe un promedio de 6,4 ppm, lo que quiere decir que el sistema SCR posee una eficiencia en la reducción de HC de 18,28%.
- En el modo manual se obtuvo que a 1000 RPM existe un promedio de 17,7 %, por otro lado a 2000 RPM existe un promedio de 17,47 % y de 17,2 % a 3000 RPM, lo que indica una reducción de 5,56 % y 7,02 % a 2000 y 3000 RPM respectivamente, con lo cual el sistema SCR ayuda a reducir el porcentaje de O₂ a la atmósfera.
- En el modo manual se obtuvo, que los valores de ppm de NO con promedios de 173, 91 y 87 a 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, lo que con respecto a las ppm de NO del sistema convencional de 250 ppm, indicando que el sistema SCR disminuye el porcentaje de emisiones de NO al ambiente en 30,8 %, 63,6 % y 65,2 % en orden de 1000, 2000 y 3000 RPM.
- En el modo semiautomático, indican porcentajes de CO, el cuál a condiciones estándar es de 0,06 %, mientras que a 2000 RPM se reflejó un promedio de 0,10 % y a 3000 RPM donde se obtuvo un promedio de 0,23 %, indicando que a 2000 y 3000 RPM el sistema SCR no reducen las emisiones de CO resultando un aumento del 40 % y 73,91 %, respectivamente.
- El modo semiautomático, indica un promedio del porcentaje de CO₂ a 1000, 2000 y 3000 RPM de 2,6 %, 2,45 % y 2,85 % respectivamente,

evidenciando que existe una reducción de emisiones de CO₂ a 2000 RPM de 5,76 % y a 3000 RPM un incremento del 8,77 %.

- El modo semiautomático, muestra las ppm de HC, la cual a 1000 RPM obtenemos valores de 0 ppm, por el contrario a 3000 RPM existe un promedio de 8,75 ppm de HC, valor que indica un 100 % de aumento de ppm de HC ya que en el sistema estándar, se evidencio 0 ppm de HC, reflejando que el sistema SCR no ayuda con la reducción de emisiones de HC.
- El modo semiautomático, obtuvo porcentajes de O₂, los cuales reflejaron un promedio de 17,63 % a 1000 RPM, valor que disminuye 0,77 % con respecto al 18,4 % de O₂ del sistema convencional del vehículo, por otro lado a 2000 RPM se obtiene un promedio de 17,43 % y a 3000 RPM un 16,63 %, siendo el sensor de O₂ el más influyente para obtener una diferencia de 0,97 % y 1,77 % de O₂, respectivamente con relación al sistema SCR, esto muestra una reducción de las emisiones de O₂ con el sistema SCR implementado de 4,18 % a 1000 RPM, 5,27 % a 2000 RPM y 9,61 % a 3000 RPM.
- En el modo semiautomático se muestran las ppm de NO_x obtenidas con el sistema SCR, comparadas con el valor de 250 ppm de NO_x del sistema estándar, esto reflejo que la termocupla del catalizador toma los valores más bajos a las diferentes RPMs, lo cual indica que existe una reducción de emisiones de NO_x al ambiente de 46,4 % a 1000 RPM, 73 % a 2000 RPM y a 3000 RPM llega a reducir un 71,2 %.
- En el modo automático el porcentaje de CO sin el sistema SCR muestra un valor de 0,03% como su valor mínimo y a 3000 RPM un valor de 0,23%, registrándose un aumento de CO de 0,20%, es decir que a 3000 RPM se evidencia un incremento de emisiones

contaminantes de CO 86,95 % respecto al estándar, lo cual indica que el sistema SCR no es eficiente en este caso.

- El modo automático indicó que el porcentaje de CO₂ se mantiene casi constante, mostrando 2,3% de CO₂ a 1000 RPM con un incremento de 0,7% a 3000 RPM resultando 3% de CO₂, demostrando que el sistema SCR no es eficiente para la reducción de CO₂ a la atmósfera.
- En el modo automático se observó un valor de 0 ppm en condiciones estándar, a 1000 RPM se tiene 0,1 ppm de HC reflejando un incremento de 14,9 ppm cuando las revoluciones del motor llegan a ser 3000 RPM, evidenciando que su valor se ha incrementado un 100%, llegando a 15 ppm, esto indica que el sistema SCR no ayuda a reducir las ppm de HC.
- En el modo automático se observó el porcentaje de O₂, llegando a ser el mínimo valor 17,4% cuando el motor está girando a 2000 RPM, y un valor máximo de 17,7% cuando el motor está a 1000 RPM, evidenciando una disminución de emisiones al ambiente de O₂ de 0,03%.
- En el modo automático se obtiene que a condiciones estándar es cuando más ppm de NO existe llegando a tomar un valor de 229 ppm y llegan a tener una disminución de 176 ppm de NO cuando el motor está girando a 2000 RPM, reflejando una reducción de 76,85%, ayudando un 67,86 % a disminuir los gases de contaminación de NO.
- Las pruebas de consumo indican que existe una autonomía de 7,056 % del vehículo en el rendimiento por cada 100km con paradas, además resulta un ahorro de combustible de un 2,86 % por cada 100 km recorridos sin tomar en cuenta la cantidad de combustible

quemada cuando el vehículo está detenido, por otra parte se mostró una autonomía de 3,65 % por litro consumido en una hora, con lo que se evidenció una autonomía de 0,99 % con el sistema SCR implementado.

- En número de pulsos del inyector son inversamente proporcionales, al tiempo de apertura del inyector.

6.2. Recomendaciones

- Determinar mediante el diagrama eléctrico del motor MZR-CD 2.5 L CRDI, los pines de señal de los diferentes sensores (APP, CMP y ECT) que van a ser recibidos por el módulo de control.
- Determinar de forma correcta las ecuaciones de los sensores del vehículo que van a ser procesadas por el controlador arduino, para de esta manera obtener un valor real de cada sensor.
- Ajustar la inyección a diferentes tiempos (en milisegundos), para determinar la influencia que existe en los niveles de opacidad y análisis de gases.
- Para investigaciones posteriores se recomienda implementar sensores de NOx antes y después del catalizador, creando nuevos mapas de control de inyección de AdBlue y mejorar la reducción de NOx.
- En investigaciones posteriores se recomienda la implementación de más sensores del vehículo para el cálculo del tiempo de inyección como son: sensor Presión Absoluta del Colector (MAP), Velocidad del Vehículo (VSS), etc. De esta manera conocer la influencia que tiene cada sensor.

- Para investigaciones futuras del sistema SCR se recomienda implementar un regulador de presión y retorno en el sistema hidráulico, con el fin de proteger la bomba.

BIBLIOGRAFÍA

- Águeda Casado, E., Gracia, J. G., Navarro, J. M., Gómez Morales, T., & Gracia Jiménez, J. L. (2014). *Mecánica del vehículo*. Madrid: Paraninfo.
- BOSCH. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. Alemania: Reverte.
- Calvo, J., & Miravete, A. (1997). *Mecánica del automóvil actual*. Zaragoza: Reverte.
- Casares, J. (2006). *Inventario, análisis y proyección de las emisiones atmosféricas industriales de Galicia*. Santiago de Compostela: Universidad Santiago de Compostela.
- Castro Vicente, M. D. (1987). *El motor diésel en el automóvil*. Barcelona: CEAC.
- Difus. (2018). *Catálogo de productos: Fusibles*. México, D.F.
- González, D. (2016). *Mantenimiento mecánico preventivo del vehículo*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- González Calleja, D. (2015). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto*. Madrid: Paraninfo.
- González, D. (2015). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos*. Madrid: COPYRIGHT.
- Granger, P., & Pârvulescu, V. (2007). *Past and Present in DeNOx Catalysis: From Molecular Modelling to Chemical Engineering*. Netherlands: Elsevier.
- Lluch, J. (2012). *Tecnología y margen de refinado del petróleo*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- López Rodríguez, V. (2013). *Teoría de circuitos y electrónica*. Madrid: Editorial UNED.
- MagnaFlow. (2011). *Converter Catalog*. California.

- Martí Parera, A. (1996). *Inyección electrónica en motores diesel*. Barcelona: Marcombo.
- Mazda, M. E. (2006). *Training Manual Mazda BT-50 NMT-009*.
- Mena, L. (2011). *Compilador de ejercicios de motores de combustión intera Diesel-Gasolina*. Quito: Nueva Aurora.
- Nudelman, N. (2004). *Química sustentable*. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral.
- OECD. (2013). *El sistema tributario, la innovación y el medio ambiente*. Mexico: OECD Publishing.
- Ordoñez, S., Díaz, E., & Orviz, P. (2007). *Desafíos tecnológicos de la nueva normativa sobre medio ambiente industrial*. Asturias: Universidad de Oviedo.
- Pardiñas, J. (2012). *Inyección diésel IV (Sistemas auxiliares del motor)*. Madrid: Editex.
- Pardiñas, J. (2012). *Sistemas auxiliares del motor*. Madrid: Editex.
- Perez Bello, M. A. (2017). *Sistemas auxiliares del motor 2.ª edición*. Madrid: Paraninfo.
- Rovira, M. (2015). *Motores de Combustión Interna*. Madrid.
- Wiesche S . (26 de Junio de 2016). *Science Direct*. Obtenido de www.sciencedirect.com
- Zereini, F., & Alt, F. (2010). *Palladium Emissions in the Environment: Analytical Methods, Environmental Assessment and Health Effects*. Herdecke: Springer Berlin Heidelberg.

NETGRAFIA

- Agencia de Noticias de Ecuador. (25 de Septiembre de 2015). Recuperado el 02 de febrero del 2017. *Radio Equinoccio*. Obtenido de

<http://radioequinoccio.com/inicio/item/5809-ecuador-pqrque-automotor-supera-los-22-millones-de-unidades.html>

Arduino. (2017). Recuperado el 02 de febrero del 2018. Obtenido de Arduino Nano: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>

Arduino. (2017). Recuperado el 02 de febrero del 2018. Obtenido de Arduino.cl: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>

Atienza C. (2015). Recuperado el 12 de agosto del 2017. *Murciaeduca*. Obtenido de https://www.murciaeduca.es/iesalfonsoescamez/sitio/upload/Curvas_caracteristicas_de_los_motores.pdf

AutoZone. (2017). Recuperado el 11 de agosto del 2017. *Accelerator Pedal Position Sensor*. Obtenido de AutoZone: https://www.autozone.com/repairguides/Aura-Outlook-2007/Components-Systems/Accelerator-Pedal-Position-Sensor/_/P-0996b43f80cb0f91

Basf O. (2007). Recuperado el 02 de febrero del 2017. *Basf Global*. Obtenido de http://www.monomers.basf.com/cm/internet/en_GB/portal/_/content/Produkte/AdBlue/about

Bosch, R. (2015). Recuperado el 14 de agosto del 2017. Obtenido de Bosch Mobility Solutions: http://products.bosch-mobility-solutions.com/en/de/_technik/component/PT_PC_DS_Exhaust-Gas-Treatment_PT_PC_Diesel_1537.html

Bosch, R. (2015). Recuperado el 14 de agosto del 2017. Obtenido de Bosch Mobility Solutions: http://products.bosch-mobility-solutions.com/media/ubk_europe/db_application/downloads/pdf/antrieb/en_3/DS_ProductDataSheet_EGT_NOXSensor_EN_lowres_150921.pdf

Bosch, R. (2015). Recuperado el 14 de agosto del 2017. Obtenido de Bosch Autopartes: http://www.boschautopartes.mx/Cat%C3%A1logos/Documents/Cat%C3%A1logoElectr%C3%B3nico_Confort2014-2015.pdf

CAPELEC. (2016). Recuperado el 14 de marzo del 2017. Obtenido de <http://www.capelec.fr/es/catalogue/Detail/12/50/101/84/CAP3200-O1-Opacimetro.html>

- Cefic. (20 de Septiembre de 2011). Recuperado el 12 de febrero del 2017 *Petrochemistry*. Obtenido de http://www.petrochemistry.eu/ftp/pressroom/QAGD_ES_%203%200.pdf
- Comercio, E. (17 de Octubre de 2016). Recuperado el 22 de febrero del 2017 *Líderes*. Obtenido de <http://www.revistalideres.ec/lideres/vehiculos-seguridad-medioambiente-regulaciones.html>
- Cross L. (2015). Recuperado el 02 de febrero del 2017 *FINDADBLUE*. Obtenido de <http://es.findadblue.com/adblue/scr/>
- Ebizaro B. (11 de Octubre de 2016). Recuperado el 05 de abril del 2017 *Calidad Clúster*. Obtenido de Ebizaro: <http://www.calidad.ebizaro.com/ecuador-aumenta-exigencias-de-control-ambiental-en-exportacion-de-vehiculos/>
- Erdgas und Kohle. (2003). Recuperado el 15 de abril del 2017 *DGMK*. Obtenido de http://www.dgmk.de/downstream/publikationen/im_netz/report_616-1_e.pdf
- Fernández P. (30 de Junio de 2012). Recuperado el 01 de abril del 2017 *Better*. Obtenido de <http://www.better.cl/assets/files/publicaciones/Newsbetter-SCR-y-caso.pdf>
- Fidalgo, R. (25 de Abril, de 2017). Recuperado el 05 de agosto del 2017 Obtenido de Autocasión: <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/que-es-el-adblue-como-funciona-y-para-que-sirve>
- Fleetguard C. (2009). Recuperado el 28 de agosto del 2017 *Cummins Filtration*. Obtenido de <https://www.cumminsfiltration.com/sites/default/files/MB10033-ES.pdf>
- Gates. (2017). Recuperado el 05 de abril del 2017 *Catálogo de productos*. España. Obtenido de Gates Powering Progress: https://ww2.gates.com/Spain/brochure.cfm?brochure=8249&location_id=12107

- Gonzalez E. (18 de Mayo de 2015). Recuperado el 22 de abril del 2017. *Camiones Europa*. Obtenido de <http://www.europa-camiones.com/news-camiones/a43406/comparativa-camiones-pesados-euro-5-euro-6>
- Greenchem A. (2010). Recuperado el 05 de abril del 2017. *Greenchem Agrofert*. Obtenido de <http://test.greenchem-adblue.com/?907/normas-de-calidad-para-adblue-y-urea-iso-din>
- Hescher. (2018). Recuperado el 13 de abril del 2017 *Bombas Eléctricas de Combustible*. Argentina. Obtenido de Hescher: <http://www.hescher.com.ar/catalogos/bombas-combustible-2018.pdf>
- MAHA. (2017). Recuperado el 16 de abril del 2017 Obtenido de <https://es.scribd.com/document/274356419/Bro-Maha-Alle-Lps-Es>
- Ministerio del ambiente. (2010). Recuperado el 22 de mayo del 2017. *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>
- NGK, S. (2017). Recuperado el 02 de mayo del 2017. Obtenido de NGK Spark Plug Europe: <https://www.ngk.de/es/productos-y-tecnologias/sensores-de-temperatura/>
- NGK, S. (2017). Recuperado el 12 de mayo del 2017. Obtenido de Spark Plug Europe: <https://www.ngk.de/es/productos-y-tecnologias/sondas-lambda/tecnologias-de-sondas-lambda/sondas-especiales/sondas-nox/>
- Novacero. (2017). Recuperado el 03 de mayo del 2017. *Catálogo de productos*. Ecuador. Obtenido de Novacero: <http://www.novacero.com/catalogo-productos/cptuberia-estructural/tubo.html#tubos-redondos>
- OBD2 Soluciones. (2015). Recuperado el 22 de junio del 2017. *OBD2 Soluciones*. Obtenido de <http://www.obd2soluciones.com/producto/brain-bee-ags-688/>
- Overlie M. (19 de Julio de 2004). Recuperado el 22 de mayo del 2017. *Hugin*. Obtenido de Yara: <http://hugin.info/134793/R/954192/136053.pdf>

- Prieto I. (2012). Recuperado el 15 de mayo del 2017. Obtenido de http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/1015/mod_resource/content/1/1C_C12757_0910/04_GT17_Reducccion_de_NOX_en_humos.pdf
- ResearchGate. (2016). Recuperado el 18 de mayo del 2017. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-32-Dinamometro-de-chasis-LPS-3000_fig2_308994095
- Reyes L. (18 de Marzo de 2015). Recuperado el 27 de mayo del 2017. *Autonoción*. Obtenido de <https://www.autonocion.com/adblue-urea-aditivo-anticontaminacion/>
- Rivadeneira G, Toasa A. (2017). Recuperado el 15 de mayo del 2017. *Repositorio ESPE*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13203/1/T-ESPEL-MAI-0583.pdf>
- Ruiz Saráchaga, A. (Octubre de 2012). Recuperado el 18 de julio del 2017. *Cálculo y diseño de un sistema de reducción NOx para un motor de 4T*. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/1510?locale-attribute=es>
- S.A.U., F. A. (2017). Recuperado el 15 de mayo del 2017. Obtenido de FAE: <http://www.fae.es/es/productos/sensor-presion-gases-escape>
- sabelotodo.org. (2002). Recuperado el 15 de julio del 2017. Obtenido de [sabelotodo.org](http://www.sabelotodo.org): <http://www.sabelotodo.org/automovil/relojgasolina.html>
- ScanTool. (2017). Recuperado el 15 de julio del 2017. Obtenido de <https://www.scantool.net/elmscan5-compact/>
- UTO - DTIC. (2013). Recuperado el 23 de mayo del 2017. Obtenido de http://docentes.uto.edu.bo/xtapiag/wp-content/uploads/CAPITULO_2_ELT3842PARTE2nuevo.pdf
- Verband D. (2013). Recuperado el 01 de mayo del 2017. *Automobilindustrie e. V*. Obtenido de <http://www.vda.de>
- Villacís Y, Burgos D. (2016). Recuperado el 11 de marzo del 2017. *Repositorio ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/11777>

Wiesche S . (26 de Junio de 2016). Recuperado el 05 de marzo del 2017. *Science Direct*. Obtenido de www.sciencedirect.com

NORMAS

Diario Oficial de la Unión Europea. (2007). *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) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos.*

Diario Oficial de las Comunidades Europeas. (1991). *Legislaciones de los Estados miembros sobre medidas contra la contaminación atmosférica provocada por los gases de escape de los vehículos de motor.*

Diario Oficial de las Comunidades Europeas. (1996). *Legislaciones de los Estados miembros en materia de medidas contra la contaminación atmosférica causada por las emisiones de los vehículos de motor.*

Diario Oficial de las Comunidades Europeas. (1998). *Medidas que deben adoptarse contra la contaminación atmosférica causada por las emisiones de los vehículos de motor.*

INEN. (2000). *Gestión Ambiental. aire. Vehículos automotores. Determinación de la opacidad de eisiones de escape de motores de diesel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre.*

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

ANEXOS



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores:
**MARCO JAVIER FLORES MANOSALVAS y CRISTIAN FRANCISCO
TOAPANTA AGUILAR**

En la ciudad de Latacunga, a los **02 días del mes de marzo del 2018.**

Ing. Leonidas Quiroz
DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Víctor Danilo Zambrano
DIRECTOR DE CARRERA



Dr. Freddy Jaramillo
SECRETARIO ACADÉMICO