



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: “INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL MOTOR
J14F003885 AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE INYECCIÓN
DE COMBUSTIBLE MODIFICADO ELECTRÓNICAMENTE A
TRAVÉS DE SOFTWARE DEDICADO”**

**AUTORES: LUIS DAVID CHONTASI PILCO
LENIN PAUL VINLASACA VIERA**

DIRECTOR: ING GERMÁN ERAZO

LATACUNGA

2018



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL MOTORJ14F003885AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE MODIFICADO ELECTRÓNICAMENTE A TRAVÉS DE SOFTWARE DEDICADO**”, realizado por los señores **LUIS DAVID CHONTASI PILCO** y **LENIN PAUL VINLASACA VIERA**, 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 las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **LUIS DAVID CHONTASI PILCO** y **LENIN PAUL VINLASACA VIERA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga 23 de febrero del 2018

Una firma manuscrita en tinta azul sobre un fondo blanco.

Ing. Washington Germán Erazo Laverde
DIRECTOR



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **LUIS DAVID CHONTASI PILCO**, con cedula de ciudadanía C.C.: 1719294694 y **LENIN PAUL VINLASACA VIERA**, con cédula de ciudadanía C.C.: 1720196243 declaramos que este trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL MOTOR J14F003885AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE MODIFICADO ELECTRÓNICAMENTE A TRAVÉS DE SOFTWARE DEDICADO”**, 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 declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga 23 de febrero del 2018

LUIS DAVID CHONTASI PILCO
C.C.: 1719294694

LENIN PAUL VINLASACA VIERA
C.C.: 1720196243



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
MECÁNICA**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **LUIS DAVID CHONTASI PILCO** y **LENIN PAUL VINLASACA VIERA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación "**INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL MOTOR J14F003885AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE MODIFICADO ELECTRÓNICAMENTE A TRAVÉS DE SOFTWARE DEDICADO**", cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga 23 de febrero del 2018

Una firma manuscrita en tinta azul sobre un fondo blanco, con una línea punteada debajo.

LUIS DAVID CHONTASI PILCO
C.C.: 1719294694

Una firma manuscrita en tinta azul sobre un fondo blanco, con una línea punteada debajo.

LENIN PAUL VINLASACA VIERA
C.C.: 1720196243

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios por darme todo lo que necesite para afrontar toda adversidad, gracias Padre porque tu palabra dice “Cristo me da la fuerza para enfrentarme a toda clase de situaciones” y así ha sido y seguirá siendo durante el camino que me queda por recorrer.

A mis padres por su apoyo incondicional, por inculcarme que rendirse jamás será una opción y que cuando se quiere se puede aunque muchas veces sea difícil, pues sin un sacrificio jamás podrá a ver un triunfo.

A mis personitas especiales Daniela, Nahomi, Sofi, Paola mis hermanitas por su apoyo, y cariño incondicional.

A mi abuelita y tíos y que con sus oraciones fueron un apoyo fundamental en este proceso.

“Jamás abandones un sueño por más lejano que este parezca porque nunca sabes cuan cerca puede estar”.

Luis David Chontasi Pilco

Agradecimiento

El presente proyecto está dedicado a mi padre Luis Alberto Chontasi Suquillo, que siempre me apoyo y jamás dejo de creer en mí, dándome palabras de aliento y siempre apoyándome en cada etapa de mi vida gracias padre.

A mi madre Maura Eunice Pilco Landa, que ha sido mi motor en este ciclo de mi vida quien con su cariño y palabras sabias supo impulsarme a nunca rendirme y siempre agradecer a Dios por cada situación por la que pase.

A mi prima hermana Daniela que ha sido un apoyo con sus consejos y palabras de aliento, a mi hermana Paola que siempre estuvo junto con el resto de mi familia siempre estuvieron pendientes de mí.

No puedo dejar de mencionar a mis amigos que han sido como unos hermanos más, me ayudaron de una u otra manera para alcanzar este objetivo tan anhelado.

Agradezco a mi Director de proyecto por su apoyo incondicional en todo momento, y por todos los conocimientos impartidos.

“El fracaso derrota a los perdedores y motiva a los ganadores”.

Luis David Chontasi Pilco

Dedicatoria

Quiero decir que no hay palabras para expresar el inmenso agradecimiento hacia aquella persona que desde siempre ha estado conmigo, que ha sido una guía, un gran apoyo, un amigo y sobre todo por su inmenso amor me ha sabido llevar al camino correcto. Es gracias a él que ahora he llegado a cumplir lo que una vez fue un sueño, esta dedicatoria es para Dios.

Mi madre, por estar conmigo en todos aquellos momentos cuando la vida se volvió oscura y sin rumbo. Que con su apoyo incondicional, cariño y sobre todo amor me supieron hacer luchar día a día por alcanzar este sueño perdido que hoy se convierte en realidad.

Mi padre, que no ha falta un solo momento en que me enseñe que en la vida siempre hay soluciones hasta para el problema más imposible. Son sus consejos, experiencias y junto a su incondicional apoyo que ahora puedo seguir avanzando más en la vida.

Mis hermanos, que sería de mi vida sin ellos, pues de seguro sería aburrida, triste y solitaria. Todo agradecimiento es insuficiente para expresar todo el apoyo que me han dado, todos aquellos buenos momentos que se han pasado a lo largo de la vida en toda situación por más difícil que haya sido son el mejor apoyo que yo haya podido tener. Junto a ellos no existe la palabra tristeza.

*“Cuando un sueño se te muera o entre en coma una ilusión,
no lo entierres ni lo llores, resucítalo.”*

Lenin Paúl Vinlasaca Viera

Agradecimiento

A veces volteo al cielo, sonrío y digo, “Yo sé que fuiste Tú”. Por todo el tiempo que has estado conmigo y por los muchos días que vendrán te lo agradezco infinitamente Dios.

A mi madre, que no ha existido momento en que me deje solo y sin rumbo. Que gracias a su apoyo, amor y cariño han hecho posible alcanzar este sueño perdido.

A mi padre, que por todos sus grandes consejos y experiencias me han sabido llevar al camino correcto. Y que ahora, por estar conmigo en todo momento es posible vivir aquel sueño que una vez me quitaron.

A mis hermanos, que gracias a ellos todos mis días han sido llenos de alegría y felicidad, por todos esos momentos que pasamos juntos se me hizo posible vivir aquellos días de amargura y dolor. Es por mis hermanos que ahora puedo pensar en nuevos sueños que alcanzar.

A mi familia en general, que por todos aquellos momentos que han sucedido, que estamos viviendo y de seguro viviremos muchos más y mejores. Por todo eso y más, Gracias.

A nuestro Director de proyecto, que gracias a su guía y conocimiento han hecho posible el desarrollo de la investigación. Que gracias a sus consejos ha sido una grata experiencia de aprendizaje.

“Esta es tu oportunidad, tú amor, tú romance.”

“Aférrate a tu sueño y nunca te rindas en tú vida - Aférrate a tú sueño”

Lenin Paúl Vinlasaca Viera

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xx
RESÚMEN	xxii
ABSTRACT	xxxiii

CAPÍTULO I

1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE MODIFICADO A TRAVÉS DE SOFTWARE DEDICADO	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Descripción resumida de la investigación.....	3
1.4 Justificación e importancia	4
1.5 Objetivos.....	6
1.5.1 Objetivo general.....	6
1.5.2 Objetivos específicos	6
1.6 Metas	7
1.7 Hipótesis	7
1.8 Variables de investigación.....	7
1.9 Metodología de desarrollo del proyecto.....	8

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	14
2.1 Sistema de carburador.....	14

2.1.2	Tipos de carburador.....	15
2.1.3	Principio de funcionamiento	15
2.1.4	Mezcla ideal	16
2.2	Sistema de inyección electrónica.	16
2.2.1	Inyección de gasolina.....	16
2.2.2	Principios de funcionamiento.	18
2.2.3	Elementos del sistema de inyección electrónica	20
2.3	Sensores.....	20
2.3.1	Sensor CKP	20
2.3.2	Sensor IAT	22
2.3.3	Sensor ECT	24
2.3.4	Sensor TPS.....	26
2.3.5	Sensor MAP.....	28
2.4	Actuadores.....	30
2.4.1	Inyectores	30
2.4.2	Bomba de combustible.....	32
2.4.3	Regulador de combustible.....	33
2.4.4	Riel de inyectores	33
2.5	Ventajas de la inyección electrónica	34
2.6	Unidad de control electrónico.....	35
2.6.1	Estructura del hardware	36
2.7	Reprogramación de la ECU.	37
2.7.1	Flasheo de memorias.....	38
2.7.2	Método de flasheo por vía OBD	38
2.7.3	Método de flasheo por vía puerto BDM	38
2.7.4	Flasher J2534	39
2.7.5	Reprogramación de una ECU estándar.....	39
2.7.6	Reprogramación de una ECU programable	40
2.8	Tipos de ECU programables	41
2.8.1	HALTECH platinum sport 2000.	41
2.8.2	Motec m84	41
2.8.3	Microsquirt	42
2.9	Software de programación	43
2.9.1	Galletto 1260.....	43

2.9.2	Ecm 2001	44
2.9.3	Tunerstudio MS.....	45
2.10	Parámetros característicos del motor de combustión interna	47
2.10.1	Torque	47
2.10.2	Potencia.....	47
2.10.3	Consumo de combustible.....	47
2.10.4	Emisiones contaminantes	48
2.10.5	Ciclo Otto.....	48
2.10.6	Rendimiento mecánico.....	49
2.10.7	Rendimiento térmico.....	51
2.10.8	Rendimiento indicado.....	51
2.10.9	Rendimiento efectivo.....	52
2.10.10	Presión media efectiva.....	52
2.10.11	Consumo específico de combustible.....	52

CAPÍTULO III

3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA MPFI.....	54
3.1	Equipo tecnológico para la investigación.....	54
3.2	Puesta a punto del vehículo.....	58
3.3	Pruebas dinámicas de potencia y torque, consumo de combustible, análisis de gases con el vehículo a carburador.	60
3.3.1	Prueba de potencia y torque.....	60
3.3.2	Prueba de consumo de combustible.....	67
3.3.3	Prueba de emisiones de gases contaminantes.....	69
3.4	Implementación del sistema de inyección multipunto.....	72
3.5	Características de los sensores.....	75
3.6	Pruebas dinámicas de potencia y torque, consumo de combustible, análisis de gases con el vehículo a inyección.	77
3.6.1	Resultados de las pruebas de potencia y torque.....	77
3.6.2	Resultados de la prueba de consumo de combustible con el motor a inyección.....	80
3.6.3	Resultados de la prueba de emisiones de gases.....	81

CAPÍTULO IV

4.	REPROGRAMACIÓN DE LA UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICA.....	84
4.1	Procedimiento de instalación del software	84
4.2	Primer mapeo de la computadora.	85
4.2.1	Resultados de las pruebas de potencia y torque.....	86
4.2.2	Resultados de las pruebas de consumo de combustible	88
4.2.3	Resultados de las pruebas de emisiones de gases.....	88
4.3	Segundo mapeo de la computadora.	90
4.3.1	Resultados de las pruebas de potencia y torque.....	91
4.3.2	Resultados de las pruebas de consumo de combustible	92
4.3.3	Resultados de las pruebas de emisiones de gases.....	93
4.4	Tercer mapeo de la computadora.	94
4.4.1	Resultados de las pruebas de potencia y torque	95
4.4.2	Resultados de las pruebas de consumo de combustible	97
4.4.3	Resultados de las pruebas de emisiones de gases.....	98
4.5	Cálculos.....	100
4.5.1	Cálculo de los parámetros del motor de combustión interna en el Ciclo Otto.	100

CAPÍTULO V

5.	ANÁLISIS DE PRUEBAS DINÁMICAS DE DESEMPEÑO, CONSUMO Y EMISIONES.....	107
5.1	Análisis comparativo de potencia y torque.	107
5.1.1	Mapeo 1	107
5.1.2	Mapeo 2.....	108
5.1.3	Mapeo 3.....	108
5.2	Análisis comparativo del consumo de combustible.	113
5.3	Análisis comparativo de las emisiones de gases.....	116

CAPÍTULO VI

6.	MARCO ADMINISTRATIVO.....	123
6.1	Recursos.....	123

6.1.1	Recursos humanos	123
6.1.2	Recursos materiales	123
6.1.3	Recursos tecnológicos	124
6.1.4	Recursos financieros.....	124
6.2	Título de la propuesta	126
6.3	Estructura de la investigación	126
6.4	Desarrollo de la propuesta	126
CONCLUSIONES.....		127
RECOMENDACIONES		129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		130
ANEXOS.....		135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama causa y efecto	3
Figura 2. Métodos generales del proyecto	9
Figura 3. Métodos específicos del proyecto.....	9
Figura 4. Carburador del vehículo amigo	14
Figura 5. Sistema de inyección MPFI	18
Figura 6. Elementos del sistema de inyección de combustible	19
Figura 7. Sensores de posición del cigüeñal.....	21
Figura 8. Señal del Sensor CKP	21
Figura 9. Sensor IAT	22
Figura 10. Temperatura del termistor en función a la resistencia.....	23
Figura 11. Curva característica del sensor IAT	23
Figura 12. Sensor ECT	25
Figura 13. Ejemplos de especificaciones del sensor ECT.....	25
Figura 14. Señal del sensor ECT	26
Figura 15. Cuerpo del sensor de posición	26
Figura 16. Forma de onda del sensor de TPS	27
Figura 17. Sensor MAP	28
Figura 18. Valores promedio con los que trabaja el Sensor MAP	29
Figura 19. Curva característica sensor MAP.....	30
Figura 20. Inyector de combustible electrónico	31
Figura 21. Forma de onda del voltaje del inyector	31
Figura 22. Bomba de combustible	32
Figura 23. Diseño del hardware de la ECU.....	36
Figura 24. Estructura del hardware de la unidad de control electrónico (ECU) para un motor a gasolina.....	37
Figura 25. Haltech platinum sport 2000	41
Figura 26. Motec m84.....	42
Figura 27. Microsquirt.....	42
Figura 28. Interfaz galletto 1260	43
Figura 29. Pantalla de la interface galletto 1260	44
Figura 30. Interfaz de selección del archivo original de la ECU	45

Figura 31. Interfaz del software Tunerstudio MS	46
Figura 32. Reprogramación de la ECU a través del software	46
Figura 33. Microsquirt V3.....	54
Figura 34. Equipo Dyno-mite dynamometer.....	56
Figura 35. Analizador de gases MGT 5	57
Figura 36. Curva de la potencia a carburador.....	63
Figura 37. Datos de potencia de motor.....	64
Figura 38. Curva torque de motor	65
Figura 39. Datos torque de motor	66
Figura 40. Línea de tendencia del consumo a carburador	68
Figura 41. Prueba de gases contaminantes en ralentí.....	71
Figura 42. Prueba de gases contaminantes en altas revoluciones	71
Figura 43. Potencia de motor con sistema MPFI	77
Figura 44. Curvas antes y después de implementación de sistema.....	78
Figura 45. Curva de torque con sistema MPFI.....	79
Figura 46. Parámetros de prueba.	80
Figura 47. Línea de tendencia del consumo de combustible inyección....	81
Figura 48. Gases contaminantes con el sistema de inyección	83
Figura 49. Parámetros de HC ppm y Lambda inyección.....	83
Figura 50. Resultados de potencia y torque con el primer mapeo	87
Figura 51. Curvas de potencia y torque con el primer mapeo	87
Figura 52. Línea de tendencia del consumo con el primer mapeo.	88
Figura 53. Gases contaminantes con el primer mapeo.....	89
Figura 54. Parámetros de HC ppm y Lambda con el primero mapeo.	89
Figura 55. Datos de torque y potencia con el segundo mapeo.	91
Figura 56. Curvas de torque y potencia con el segundo mapeo.	92
Figura 57. Línea de tendencia del consumo con el segundo mapeo	93
Figura 58. Gases contaminantes con el segundo mapeo.	94
Figura 59. Parámetros de HC ppm y Lambda con el segundo mapeo.	94
Figura 60. Resultados del torque y potencia con el tercer mapeo.....	96
Figura 61. Curva de Potencia y torque con el tercer mapeo.	97
Figura 62. Línea de tendencia del consumo con el tercer mapeo.	98
Figura 63. Gases contaminantes con el tercer mapeo.....	99
Figura 64. Parámetros de HC ppm y Lambda con el tercer mapeo.	99

Figura 65. Porcentaje de ganancia neta potencia.....	109
Figura 66. Porcentaje de ganancia neta Torque.....	110
Figura 67. Resumen estadístico de potencias máximas.....	112
Figura 68. Comparación de torque con sistema MPFI.....	112
Figura 69. Variación de las curvas de consumo de combustible a carburador e inyección.....	114
Figura 70. Comparación porcentual de la disminución en el consumo de combustible a carburador, inyección y reprogramación a diferentes velocidades.	115
Figura 71. Consumo de combustible según la norma DIN 70 030-2.	116
Figura 72. Comparación de CO% Carburador vs Inyección.....	117
Figura 73. Comparación O ₂ % Carburador vs Inyección.	118
Figura 74. Comparación CO ₂ % Carburador VS Inyección.....	119
Figura 75. Comparación CO corr% Carburador VS Inyección.....	120
Figura 76. Comparación HC ppm Carburador VS Inyección.....	121
Figura 77. Comparación Lambda Carburador VS Inyección.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Variable dependiente	7
Tabla 2.	Variable Independiente	8
Tabla 3.	Metodología, instrumentación y laboratorios para el proyecto.	11
Tabla 4.	Fórmulas para calcular los parámetros característicos en el Ciclo Otto.....	49
Tabla 5.	Fórmulas para obtener el rendimiento mecánico.	50
Tabla 6.	Fórmulas para calcular el rendimiento térmico.	51
Tabla 7.	Fórmulas para calcular el rendimiento indicado.	51
Tabla 8.	Cálculo del rendimiento efectivo.	52
Tabla 9.	Fórmulas para calcular la presión media efectiva.	52
Tabla 10.	Fórmulas para el consumo específico de combustible.	53
Tabla 11.	Características técnicas de la computadora MicroSquirt V3....	55
Tabla 12.	Características técnicas del DYNO-mite Dynamometer.	56
Tabla 13.	Especificaciones técnicas del analizador de gases MGT 5.	57
Tabla 14.	Características técnicas motor chevette.....	58
Tabla 15.	Características técnicas de multímetro	58
Tabla 16.	Procedimiento puesta a punto motor carburador	59
Tabla 17.	Procedimiento de la prueba de potencia y torque.	61
Tabla 18.	Procedimiento de la prueba de consumo de combustible.	67
Tabla 19.	Resultados de la prueba de combustible a carburador.	68
Tabla 20.	Procedimiento de la prueba de gases.....	69
Tabla 21.	Límites máximos de emisiones permitidos.....	70
Tabla 22.	Emisiones de gases contaminantes a carburador.....	72
Tabla 23.	Implementación de sus componentes.....	72
Tabla 24.	Característica de sensores	76
Tabla 25.	Resultados de la prueba de combustible a inyección.....	80
Tabla 26.	Prueba de gases contaminantes en ralentí y altas	81
Tabla 27.	Emisiones de gases contaminantes a inyección.	82
Tabla 28.	Procedimiento de instalación de software.	84
Tabla 29.	Primera reprogramación	85
Tabla 30.	Resultados de la prueba de combustible con primer mapeo. ..	88
Tabla 31.	Emisiones de gases contaminantes con primer mapeo.	89

Tabla 32. Segunda reprogramación.....	90
Tabla 33. Resultados de la prueba combustible con segundo mapeo.	92
Tabla 34. Emisiones de gases contaminantes con el segundo mapeo en ralentí y altas revoluciones.....	93
Tabla 35. Tercera programación.....	95
Tabla 36. Resultados de la prueba de combustible a distintas velocidades con el tercer mapeo.....	97
Tabla 37. Emisiones de gases contaminantes con el tercer mapeo en ralentí y altas revoluciones.....	98
Tabla 38. Características del motor.	100
Tabla 39. Fórmulas y datos para el cálculo de los parámetros del motor en el Ciclo Otto.	100
Tabla 40. Resultados de los parámetros del Ciclo Otto.	101
Tabla 41. Potencia efectiva del motor obtenida de las pruebas realizadas en el dinamómetro.	101
Tabla 42. Fórmulas para obtener el rendimiento mecánico.	102
Tabla 43. Resultados del cálculo para el rendimiento mecánico.....	102
Tabla 44. Datos y fórmulas para calcular el rendimiento térmico.	103
Tabla 45. Resultados del cálculo para el rendimiento térmico.	103
Tabla 46. Fórmulas para calcular el rendimiento indicado.	103
Tabla 47. Resultados del cálculo para el rendimiento indicado.....	103
Tabla 48. Cálculo del rendimiento efectivo.	104
Tabla 49. Fórmulas para calcular la presión media efectiva.	104
Tabla 50. Resultado del cálculo de la presión media efectiva.	104
Tabla 51. Fórmulas para el consumo específico de combustible.	105
Tabla 52. Consumo de combustible a carburador e inyección.....	105
Tabla 53. Tiempo en que transcurrió la prueba de combustible.....	105
Tabla 54. Masa de combustible.	106
Tabla 55. Consumo de combustible.....	106
Tabla 56. Resultados del consumo específico de combustible.	106
Tabla 57. Porcentaje de ganancia potencia mapeo 1	107
Tabla 58. Porcentaje de ganancia torque mapeo 1	107
Tabla 59. Porcentaje de ganancia mapeo 2.....	108
Tabla 60. Porcentaje de ganancia torque mapeo 2.....	108

Tabla 61. Porcentaje de ganancia en potencia con el tercer mapeo.	108
Tabla 62. Porcentaje de ganancia torque mapeo 3.....	109
Tabla 63. Comparación de graficas potencia - torque.....	110
Tabla 64. Comparativa del consumo de combustible a carburador e inyección.....	113
Tabla 65. Disminución del consumo de combustible de carburador a inyección.....	114
Tabla 66. Consumo de combustible según la norma DIN 70 030-2	115
Tabla 67. Recursos humanos del proyecto.....	123
Tabla 68. Recursos materiales del proyecto	123
Tabla 69. Recursos tecnológicos del proyecto.....	124
Tabla 70. Gastos en la puesta a punto del vehículo.	124
Tabla 71. Costo de la implementación del sistema de inyección electrónica multipunto.	125
Tabla 72. Costo de las pruebas realizadas.	125

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Presión de admisión (Pa).....	49
Ecuación 2. Temperatura de admisión (°K).....	49
Ecuación 3. Coeficiente de gases residuales	49
Ecuación 4. Presión de compresión (Pa)	49
Ecuación 5. Temperatura al final de compresión (°K).....	49
Ecuación 6. Presión máximo del ciclo (Pa)	49
Ecuación 7. Presión al final de expansión (Pa)	49
Ecuación 8. Temperatura en escape (°K).....	49
Ecuación 9. Grado de elevación de la presión	50
Ecuación 10. Presión media indicada no redondeada (MPa).....	50
Ecuación 11. Presión media indicada (MPa)	50
Ecuación 12. Volumen del cilindro (m ³).....	50
Ecuación 13. Potencia indicada (Kw).....	50
Ecuación 14. Rendimiento mecánico (%)	50
Ecuación 15. Rendimiento térmico (%).....	51
Ecuación 16. Trabajo indicado (Nm).....	51
Ecuación 17. Cantidad de calor suministrado (KJ/Kg)	51
Ecuación 18. Rendimiento indicado (%)	51
Ecuación 19. Rendimiento Efectivo (%).....	52
Ecuación 20. Velocidad media del émbolo (m/s)	52
Ecuación 21. Presión media de las pérdidas mecánicas (MPa).....	52
Ecuación 22. Presión media efectiva (MPa)	52
Ecuación 23. Masa de combustible (Kg).....	53
Ecuación 24. Consumo de combustible (Kg/h)	53
Ecuación 25. Consumo específico de combustible (Kg/Kwh)	53

RESUMEN

La presente investigación está enfocada en mejorar el desempeño del motor J14F003885 al implementar un sistema de inyección multipunto modificado electrónicamente a través de software dedicado. Para lo cual el motor a carburador previamente fue realizado la puesta a punto de todos sus componentes, de esta manera mediante pruebas se pudo obtener sus valores iniciales de desempeño con el sistema a carburador. Habiendo obtenido todos los parámetros necesarios se procedió con la selección de los elementos para la implementación del sistema MPFI, de entre los cuales la más importante fue la unidad de control electrónica, ya que por medio de su interface haría posible la reprogramación de sus parámetros principales acorde a los requerimientos establecidos, mayor desempeño de la potencia y torque, disminución de los gases contaminantes en un 20%, reducción del consumo de combustible en un 10 %, y mejorar el rendimiento mecánico, térmico e indicado del motor en un 15 %. Una vez instalado el sistema de inyección multipunto se obtuvo tres modelos de reprogramaciones a las cuales fueron necesarias realizar pruebas dinámicas de desempeño en torque y potencia, pruebas de consumo de combustible, y pruebas de emisiones de gases contaminantes, las cuales se realizaron bajo las normas ISO, INEN, y DIN. Finalmente y luego realizar un análisis comparativo de desempeño entre el motor a carburador e inyección se determinó que al implementar un sistema de inyección MPFI modificado por medio de software dedicado el motor J14F003885 es mucho más eficiente en torque, potencia, consumo y gases contaminantes.

PALABRAS CLAVE:

- **INYECCIÓN MPFI**
- **COMPUTADORA REPROGRAMABLE**
- **DESEMPEÑO - MOTOR**
- **SOFTWARE DEDICADO - MAPEO**

ABSTRACT

This research is focused on improving the performance of the J14F003885 engine by implementing an electronically modified multipoint injection system through dedicated software. For which the carburetor engine was previously made the tuning of all its components, this way by means of tests it was possible to obtain its initial performance values with the carburetor system. Having obtained all the necessary parameters, we proceeded with the selection of the elements for the implementation of the MPFI system, among which the most important was the electronic control unit, since through its interface it would make possible the reprogramming of its main parameters according to the established requirements, such as: greater performance of the power and torque, reduction of polluting gases by 20%, reduction of fuel consumption by 10%, and improving the mechanical, thermal and indicated performance of the engine in a 15 %. Once the multipoint injection system was installed, three reprogramming models were obtained, which were necessary to perform dynamic tests on torque and power performance, fuel consumption tests, and emission tests for contaminating gases, which were carried out under the regulations ISO, INEN, and DIN. With the values obtained from the tests, the data were tabulated and through calculations the new motor characteristics were determined. Finally and then perform a comparative performance analysis between the carburetor and injection engine it was determined that by implementing an MPFI injection system modified by means of dedicated software the J14F003885 engine is much more efficient in torque, power, consumption and polluting gases.

KEYWORDS:

- **MPFI INJECTION**
- **REPROGRAMMABLE COMPUTER**
- **PERFORMANCE - ENGINE**
- **DEDICATED SOFTWARE - MAPPING**

CAPÍTULO I

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE MODIFICADO A TRAVÉS DE SOFTWARE DEDICADO.

1. Desarrollo metodológico.

1.1 Antecedentes

Debido a la existencia de vehículos a carburador en el país, que son de eficiencia limitada, se busca alternativas de mejoramiento de motor, por lo cual se ha visto la necesidad de impulsar la aplicación de la tecnología vehicular actual, basados en estudios, investigaciones y métodos de aplicación factibles con las tecnologías de antaño.

(Gil, 2002) En el terreno práctico se destaca las ventajas de la inyección electrónica, con mayor potencia de motor, menor consumo de combustible ya que tiene mejor reparto de la mezcla a cada uno de los cilindros la adecuada dosificación según los estados de carga y temperatura, rapidez de respuesta ya que la ECU ejecuta ordenes de valores de tiempo en milisegundos, gases de escape menos contaminantes la más ajustada precisión en las dosificación de la mezcla tiene que producir lógicamente los efectos de una combustión más perfecta y por lo mismo un mejor quemado y un menor vertido de gases contaminantes a la atmósfera.

Los índices de contaminación debida a la emanación de CO₂ por combustibles gaseosos, hace que hoy en día la tecnología automotriz se vaya innovando para evitar dañar el planeta, en un estudio realizado por Laboratorio Nacional de Oak Ridge [ORNL,2018], plantea que en el Ecuador habido un incremento en el año 1994 de emisiones contaminantes en un 3.546 %, sin embargo el índice más alto se presenta en el año 2013 con un 4.821%, en el siguiente año estos índices empezaron a bajar a un 4.575% los que permite ver que años de apogeo del motor a carburador hasta la fecha aún hay motores que siguen emanando gases nocivos al medioambiente.

La importación de vehículos nuevos al Ecuador ha sido una importante fuente económica, sin embargo la existencia aun de vehículos a carburador afectan con el medio ambiente por el mal estado que muchos se encuentran emanando gases nocivos e invadiendo los ecosistemas naturales.

Los avances tecnológicos en la industria automotriz brindan múltiples opciones para reducir la contaminación uno de los aspectos más considerables, los sistemas eléctricos brindan un mejor rendimiento en el vehículo, ya que a través de mapeos mediante software o implementación de dispositivos de control eléctrico se permite monitorear y optimizar el desempeño del motor

1.2 Planteamiento del problema.

En los últimos años se ha visto que la mala dosificación de combustible y distribución en los cilindros del motor a carburador, producen problemas de encendido en frío, por lo que la potencia y par se ven reducidos así como también las emisiones contaminantes son más elevadas.

En los vehículos a carburador son más imprecisos al arranque en frío, debido a su dependencia del carburador en sin embargo en el sistema de inyección electrónica el encendido depende de la computadora que registra las proporciones exactas para el encendido.

El bajo rendimiento en un motor a carburador en comparación a uno a inyección es inevitable ya que el primitivo sistema a carburador no hace una dosificación estable en función de incrementos de calor o monitoreo de otros sistemas como lo hace un vehículo a inyección electrónica a través de sus sensores y su computadora.

Mediante la investigación del desempeño del motor J14F003885 al implementar un sistema de inyección de combustible modificado electrónicamente a través de software dedicado se espera obtener los siguientes aspectos control adecuado de la relación aire combustible, desarrollos tecnológicos en los que la inyección de combustible, aumento de

la potencia específica y par motor, reducción del consumo de combustible y menores emisiones contaminantes.

Si se interviene la gestión electrónica del motor en la que su unidad de control electrónico se ven modificadas y ajustadas en sus parámetros de funcionamiento se obtiene tiempos de arranque más breves y una aceleración más rápida.

Por lo que el problema que se investigó fue: Investigación del desempeño del motor J14F003885 al implementar un sistema de inyección de combustible modificado electrónicamente a través de software dedicado.

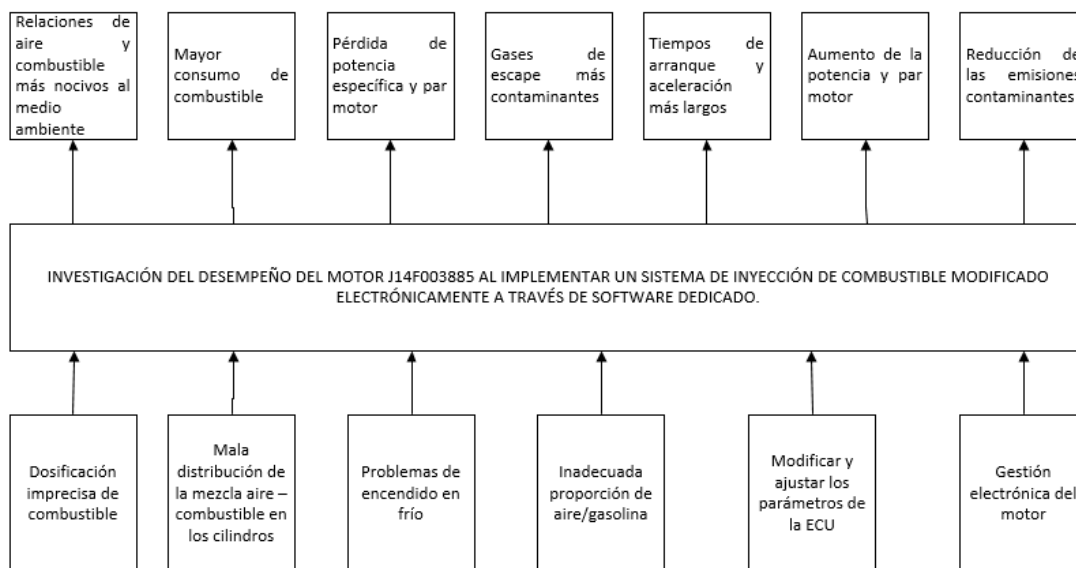


Figura 1. Diagrama causa y efecto

1.3 Descripción resumida de la investigación.

En la investigación del desempeño del motor J14F003885 al implementar un sistema de inyección de combustible modificado electrónicamente a través de software dedicado.

Se realizó la puesta a punto del motor a carburador, para obtener datos específicos de torque, rendimiento, consumo de combustible en su estado original.

Se realizó la selección de elementos para la implementación del sistema MPFI, en función de las características del motor y de la computadora Mimicrosquirt 3 utilizada para la investigación.

Se modificó la ECU a través de un mapeo con software dedicado, para obtener mejoras en el desempeño del motor de combustión interna.

Se determinó los parámetros característicos del motor en función de la reprogramación de la ECU.

Las pruebas se realizaron antes y después de la implementación y mapeo con software dedicado, al motor de serie J14F003885, para obtener datos concisos de desempeño, consumo de combustible y reducción de gases para ver el beneficio e importancia del proyecto.

Se realizó cálculos matemáticos del motor para determinar su rendimiento, y comprobación científica del sistema implementado para observar la factibilidad del proyecto.

1.4 Justificación e importancia

Es un sistema alternativo que contribuye a generar empleo ya que varias personas se interesan en el sistema de inyección electrónica, en las últimas décadas el incremento de vehículos con sistemas de control electrónico ha ido abarcando la mayor parte de los vehículos alrededor del mundo, dejando atrás a los antiguos sistemas de carburador. Este sistema con el paso del tiempo ha ido disminuyendo del parque automotriz dando cabida a las nuevas tecnologías en sistemas de inyección de combustible controlados electrónicamente.

Los sistemas de control electrónico solucionan el problema de dosificación imprecisa de la mezcla de combustible, controlando la inadecuada mezcla de aire combustible en los cilindros.

Mediante la ECU se logra solucionar el problema de encendido en frío en comparación a uno a carburador debido al control de inyección que proporciona.

Dados los avances tecnológicos en los motores de los vehículos, el carburador ha empezado a dejar de utilizarse debido a las necesidades de los nuevos vehículos, en cuanto se refiere al ahorro de combustible, contaminación, potencia, etc.

El objetivo principal de la inyección electrónica de combustible es suministrar al motor un mejor rendimiento con mayor ahorro en sus áreas de operación.

Un sistema de inyección de combustible ofrece una mejor dosificación de combustible y por ende un mejor rendimiento, y a consecuencia de esto una reducción de combustible y reducción de emisiones contaminantes.

La investigación proporciona datos estadísticos en la reducción de agentes contaminantes hacia el medio ambiente cuando un vehículo ha pasado de carburador a inyección, puesto que el Ecuador ha tomado muy en cuenta la contaminación ambiental, por lo que el gobierno ha implementado. Según el [SRI, 2011] “El impuesto Ambiental a la Contaminación Vehicular en el Ecuador” regido por la Ley de Fomento Ambiental Y Optimización de los Ingresos del Estado, este impuesto grava a la contaminación del ambiente producida por el uso de vehículos motorizados del transporte terrestre.

Además el proyecto permitió establecer una comparativa acerca del desempeño del vehículo antes y después de ejecutar la implementación del sistema MPFI, el cual fue sometido a la reprogramación de la ECU. Bajo este parámetro, se tomó como referencia la gran demanda de usuarios interesados en disminuir el consumo de combustible y al mismo tiempo aumentar la potencia de sus vehículos.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Investigar el desempeño del motor J14F003885 al implementar un sistema de inyección MPFI de combustible modificado electrónicamente a través de software dedicado.

1.5.2 Objetivos específicos

- Recopilar información técnica referente a los sistemas de inyección más utilizados en la transformación de carburador a inyección, tomando como referencia un motor J14F003885.
- Puesta a punto del motor J14F003885 a carburador para obtener datos específicos de torque, potencia, consumo de combustible y gases contaminantes.
- Realizar la selección de elementos para implementar el sistema de inyección MPFI.
- Implementar el sistema de inyección de combustible MPFI en el motor J14F003885
- Modificar la ECU a través de software dedicado para obtener mejores desempeños.
- Determinar los parámetros de las características del motor en función de la reprogramación.
- Realizar las pruebas antes y después de la implementación con mapeo de software dedicado.
- Matematizar y comparar los resultados obtenidos de acuerdo a las pruebas y ajustes desarrollados.

1.6 Metas

- Obtener un mayor desempeño en las curvas de potencia y torque determinadas en las pruebas realizadas en el dinamómetro.
- Reducir gases contaminantes con la implementación y reprogramación del sistema en un 20%
- Reducir el consumo de combustible en un 10%
- Obtener de 2 a 3 modelos de programación para aplicarlos en el vehículo.
- Mejorar el rendimiento mecánico, térmico e indicado del motor a través de la reprogramación de la ECU en un 15%

1.7 Hipótesis

¿Al implementar un sistema de inyección de combustible modificado electrónicamente se obtendrá un mejor desempeño térmico y mecánico del Motor J14F003885?

1.8 Variables de investigación

Tabla 1.

Variable dependiente: Parámetros de eficiencia mecánica

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Son las características de potencia y consumo de combustible que provee la inyección electrónica para producir una mejor eficiencia en el motor.	Potencial para producir trabajo y energía	Rendimiento térmico	%	Cálculos Medición	Protocolo y guía de pruebas
		Rendimiento mecánico	%	Cálculos	Protocolo y guía de pruebas
		Rendimiento indicado	%	Cálculo	Protocolo y guía de pruebas
	Parámetros característicos del motor de combustión	Potencia	KW	Medición	Protocolo y guía de pruebas
		Torque	Nm	Medición	Protocolo y guía de pruebas
		Velocidad	RPM	Medición	Protocolo y guía de pruebas
		Presión media efectiva	Kgf/cm ²	Medición	Prueba de Laboratorio Cálculo
		Consumo específico de combustible	Kg/Kwh	Medición	Prueba de Laboratorio

Tabla 2.

Variable Independiente: Implementación sistema de inyección electrónica en motor a carburador

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
La inyección de combustible es un sistema de alimentación de motores de combustión interna, que reemplaza al carburador en los motores de explosión, con el fin de reducir las emisiones contaminantes.	Polución	Monóxido de Carbono	%	Medición	Protocolo y guía de pruebas
		Oxígeno	%	Medición	Protocolo y guía de pruebas
		Dióxido de Carbón	%	Medición	Protocolo y guía de pruebas
		Hidrocarburos	ppmHC	Medición	Protocolo y guía de pruebas
	Datos información del programa	Consumo específico de combustible	$Kg/Kh - h$	Medición Cálculo	Protocolo y guía de pruebas
		Régimen de giro	rpm	Medición	Protocolo y guía de pruebas
		Temperatura motor	°C	Medición	Protocolo y guía de pruebas
		Posición Acelerador	°, V	Medición	Protocolo y guía de pruebas

1.9 Metodología de desarrollo del proyecto.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizan los métodos generales que son deductivo, inductivo, analítico, comparativo, experimental, síntesis, y métodos específicos que son de matematización y medición como se observan en las figuras 2 y 3.

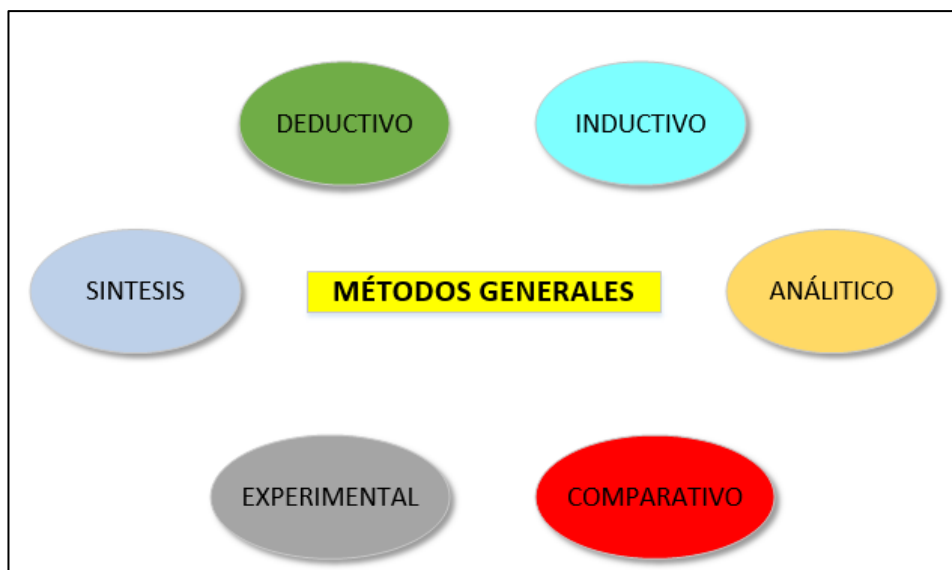


Figura 2. Métodos generales del proyecto

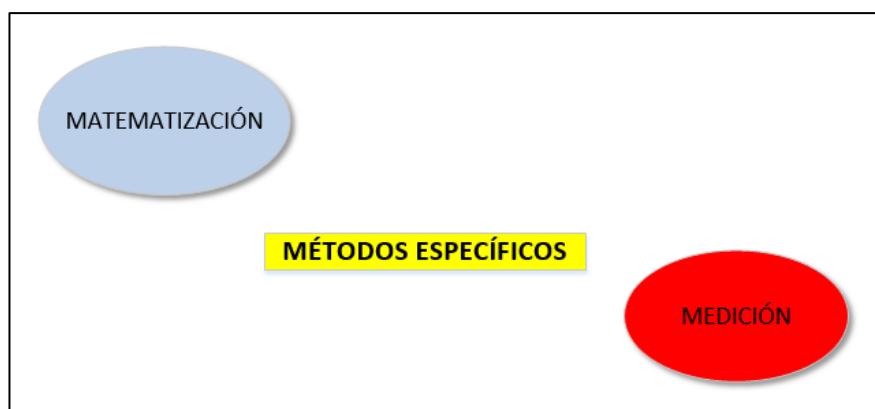


Figura 3. Métodos específicos del proyecto

1.9.1 Método inductivo

Para esta investigación se empleó un motor J14f003885 al que se le implementó un sistema de inyección de combustible MPFI modificado electrónicamente a través de software dedicado para determinar la eficiencia y desempeño del vehículo; estos resultados servirán como referencia de funcionamiento y desempeño a motores de iguales características.

1.9.2 Método deductivo

La investigación se enfocó en determinar el desempeño del motor J14f003885 al implementar un sistema de inyección de combustible MPFI modificado electrónicamente a través de software por lo que los resultados obtenidos nos ayudaron a determinar si este tipo de sistemas son los más adecuados para obtener una mejor eficiencia y desempeño.

1.9.3 Método de medición

Se empleó para contrastar los valores obtenidos; respecto a las emisiones contaminantes las cuales se encuentran dentro de los valores permisibles contemplados en la Norma NTE INEN 2204:2002; según el procedimiento definido para esta prueba en la Norma NTE INEN 2203:2000; las pruebas de torque y potencia serán llevadas a cabo mediante el uso del dinamómetro según las normas ISO 1585; las unidades con las que se trabajarán serán tomadas en cuenta de acuerdo a las escalas de los equipos a utilizar.

1.9.4 Método de síntesis.

Se utilizó este método para resumir y cuantificar el desempeño del motor J14F003885 durante el proceso de implementación del sistema de inyección de combustible MPFI modificado electrónicamente a través de software, mismos datos que nos sirvieron para justificar la aplicabilidad de este tipo de sistemas de control electrónico en motores de iguales características.

1.9.5 Método comparativo

Para nuestra investigación este método permitió establecer datos técnicos respecto al desempeño del motor J14F003885 utilizando el sistema de carburador, con el sistema de inyección de combustible electrónico MPFI, y luego de realizar la reprogramación de la ECU mediante software dedicado.

1.9.6 Método analítico

En esta investigación se utilizó este método en el análisis de cada uno de los resultados obtenidos en las pruebas que se realizaron al motor

J14F003885 durante la implementación del sistema de inyección de combustible electrónico MPFI, obteniendo datos y valores de acuerdo a la eficiencia y desempeño del motor J14F003885 en cuanto se refiere a consumo, potencia y contaminación.

1.9.7 Método de matematización

Una vez representados los resultados de la investigación mediante datos específicos, se utilizó este método para justificar la reducción del consumo de combustible, la disminución de las emisiones contaminantes y el aumento del torque y potencia.

1.9.8 Método experimental.

Este método permitió mediante la reprogramación de la ECU ir obteniendo parámetros adecuados para el motor, y hacer una comparación de un antes y después de la aplicación del proyecto para tabular los datos analizados.

En la tabla 3 se puede visualizar un resumen de la metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevó a cabo la investigación.

Tabla 3.

Metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevó a cabo el proyecto

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Inductivo	Para esta investigación se empleó un motor J14f003885 al que se le implementó un sistema de inyección de combustible MPFI modificado electrónicamente a través de software dedicado para determinar la eficiencia y desempeño del vehículo; estos resultados sirvieron como referencia de funcionamiento y desempeño a motores de iguales características.	<ul style="list-style-type: none"> Motor J14f003885 Dinamómetro de rodillos 	Laboratorio de Mecánica de Patio ESPE-L
	La investigación se enfocó a determinar el desempeño del motor J14f003885 al	<ul style="list-style-type: none"> Motor J14f003885 	

CONTINÚA



Deductivo	implementar un sistema de inyección de combustible MPFI modificado electrónicamente a través de software por lo que los resultados obtenidos nos ayudaron a determinar si este tipo de sistemas son los más adecuados para obtener una mejor eficiencia y desempeño.	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro • Analizador de gases BrainBee AGS-688 	Laboratorio de Autotrónica ESPE-L Laboratorio de Mecánica de Patio ESPE-L
De Medición	Se empleó para contrastar los valores obtenidos; respecto a las emisiones contaminantes las cuales se encuentran dentro de los valores permisibles contemplados en la Norma NTE INEN 2204:2002; según el procedimiento definido para esta prueba en la Norma NTE INEN 2203:2000; las pruebas de torque y potencia fueron llevadas a cabo mediante el uso del dinamómetro según las normas ISO 1585; las unidades con las que se trabajaron son tomadas en cuenta de acuerdo a las escalas de los equipos a utilizados.	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro • Motor J14f003885 • Analizador de gases 	Laboratorio de Autotrónica ESPE-L Laboratorio de Mecánica de Patio ESPE-L
De Síntesis	Se utilizó este método para cuantificar el desempeño del motor J14F003885 durante el proceso de implementación del sistema de inyección de combustible MPFI modificado electrónicamente a través de software, mismos datos que nos sirvieron para justificar la aplicabilidad de este tipo de sistemas de control electrónico en motores de iguales características.	<ul style="list-style-type: none"> • Computador • Software Office 2013 • Microsoft Word • Microsoft Excel 	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE_L Laboratorio de Autotrónica ESPE-L
Comparativo	Para nuestra investigación este método permitió establecer datos técnicos respecto a la eficiencia y desempeño del motor J14F003885 utilizando el sistema de carburador, con el sistema de inyección de combustible electrónico MPFI, y luego, la reprogramación de la ECU mediante software dedicado.	<ul style="list-style-type: none"> • Computador • Software Office 2013 • Microsoft Word • Microsoft Excel 	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE_L Laboratorio de Autotrónica ESPE-L
Analítico	En esta investigación se utilizó este método en el análisis de cada uno de los resultados obtenidos en las pruebas que se realizaron al motor J14F003885 durante la implementación del sistema de	<ul style="list-style-type: none"> • Computador • Software Office 2013 • Microsoft Word • Microsoft Excel 	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE_L



	inyección de combustible electrónico MPFI, obteniendo datos y valores de acuerdo a la eficiencia y desempeño del motor J14F003885 en cuanto se refiere a consumo, potencia y contaminación.		Laboratorio de Autotrónica ESPE-L
Mate matización	Una vez representados los resultados de la investigación mediante números, se utilizó este método para justificar la reducción del consumo de combustible, la disminución de las emisiones contaminantes y el aumento del torque y potencia.	<ul style="list-style-type: none"> • Computador • Software Office 2013 • Microsoft Word • Microsoft Excel 	<p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE_L</p> <p>Laboratorio de Autotrónica ESPE-L</p>
Experimental	Este método permitió mediante la reprogramación de la ECU ir obteniendo parámetros adecuados para el motor, y hacer una comparación de un antes y después de la aplicación del proyecto para tabular los datos analizados.	<ul style="list-style-type: none"> • Computador • Software Office 2013 • Microsoft Word • Microsoft Excel 	<p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE_L</p> <p>Laboratorio de Autotrónica ESPE-L</p>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de carburador.

Según el artículo publicado en la revista científica de la universidad [Sri Venkateswara College of Engineering, 2014], el proceso de formación de una mezcla de combustible - aire mezclando la cantidad adecuada de combustible con el aire antes de la admisión al cilindro del motor se llama carburación y el dispositivo que hace este trabajo se llama un carburador. (p. 1).

De acuerdo a la publicación realizada por la universidad [West Carroll, 2017], las funciones del sistema de carburación son mezclar el combustible con la proporción adecuada de aire, vaporizar el combustible y entregar la cantidad correcta de la mezcla aire - combustible a la cámara de combustión del cilindro. Un carburador puede definirse como un dispositivo para mezclar automáticamente combustible en la proporción apropiada con aire para producir una mezcla de gas combustible. (p. 89).



Figura 4. Carburador del vehículo amigo

2.1.2 Tipos de carburador.

(Guevara, 2016). Según la forma y disposición de sus elementos constructivos, se pueden clasificar en los siguientes grupos:

Carburadores de difusor fijo

Carburadores de difusor variable

Carburadores dobles

Carburadores de doble cuerpo (escalonados)

2.1.3 Principio de funcionamiento

Según el artículo publicado en la revista científica de la universidad [Sri Venkateswara College of Engineering, 2014]. El aire y la gasolina se extraen a través del carburador y en los cilindros del motor por la succión creada por el movimiento hacia abajo del pistón. Esta succión se debe a un aumento en el volumen del cilindro y a una consiguiente disminución de la presión del gas en esta cámara. Es la diferencia de presión entre la atmósfera y el cilindro que hace que el aire fluya hacia la cámara. En el carburador, el aire que pasa a la cámara de combustión se descarga de un tubo. Este tubo tiene un orificio fino llamado chorro de carburador que se expone a la trayectoria del aire. La velocidad a la que se descarga el combustible en el aire depende de la diferencia de presión entre la cámara de flotación y la garganta del Venturi y en el área de la salida del tubo. Con el fin de que el combustible extraído de la boquilla pueda ser completamente atomizado, el efecto de succión debe ser fuerte y la salida de la boquilla comparativamente pequeña. Para producir una succión fuerte, se hace que la tubería en el carburador que lleva aire al motor tenga una restricción. En esta restricción llamada garganta debido al aumento en la velocidad de flujo, se crea un efecto de succión. La restricción se realiza en forma de Venturi para minimizar las pérdidas de estrangulamiento. El extremo del chorro de combustible se encuentra en el Venturi o garganta del carburador.

La apertura del chorro de descarga de combustible se hace normalmente cuando la succión es máxima. Normalmente, esto está justo debajo de la sección más estrecha del tubo Venturi. La pulverización de gasolina desde la boquilla y el aire que entra a través del tubo Venturi se mezclan en esta región y se forma una mezcla combustible que pasa a través del colector de admisión dentro de los cilindros. La mayor parte del combustible se atomiza y simultáneamente se vaporiza una pequeña parte. Aumento de la velocidad del aire en la garganta del Venturi ayuda a la tasa de evaporación del combustible. La dificultad de obtener una mezcla de una relación vapor-aire de combustible suficientemente alta para un arranque eficaz del motor y para cilindros indiferentes de relación combustible-aire uniforme (en el caso de un motor de varios cilindros) no puede satisfacerse completamente por la mayor velocidad del aire sola en la garganta del Venturi. (pp. 1-2).

2.1.4 Mezcla ideal

(NGK Spark Plug Europe, 2017). La proporción ideal de aire y combustible para un motor de gasolina está presente si 14,7 kg de aire vienen con 1 kg de combustible. Se la conoce como "mezcla estequiométrica". En esta composición la cantidad de aire suministrado para la combustión corresponde exactamente al requisito de aire teórico.

Esta mezcla ideal también se identifica con la letra griega lambda (λ) cuyo valor es 1. Solo cuando esta relación está presente se garantiza una combustión completa y el convertidor catalítico puede convertir los gases de escape casi por completo en gases ambientalmente compatibles.

En su artículo publicado la universidad [West Carroll, 2017] menciona: "La mezcla de aire - combustible es de 16: 1 por peso. Una mezcla rica podría aproximarse a 17: 2 y para una mezcla pobre de 11.5: 1." (p.1).

2.2 Sistema de inyección electrónica.

2.2.1 Inyección de gasolina.

(Simpson, 2014). El motor obtiene su potencia quemando una mezcla de aire y combustible en la cámara de combustión. Básicamente, hay dos

maneras en que el combustible (gasolina) ingresa al cilindro: inyección en el colector de admisión e inyección directamente en la cámara de combustión. Los sistemas electrónicos de inyección de combustible usan inyectores para rociar el combustible. Hay dos sistemas diferentes: inyección multipunto e inyección del cuerpo del acelerador. En ambos sistemas, los inyectores están controlados electrónicamente.

Se puede considerar que un sistema EFI (Inyección electrónica de combustible) tiene tres subsistemas, cada uno de los cuales tiene una serie de componentes.

Estos subsistemas son:

- Sistema de suministro de combustible
- Sistema de admisión de aire
- Sistema de control electrónico.

El sistema de control electrónico consta de una unidad de control electrónico (ECU), varios sensores diferentes y su cableado de interconexión. La ECU es el "cerebro" del sistema; es un microprocesador o mini computadora. Puede recibir información (entradas) y enviar señales (salidas) a otros componentes. Su función principal en el sistema de combustible es decirle a los inyectores cuándo deben rociar y cuánto tiempo deben permanecer abiertos. El período de tiempo que los inyectores están abiertos determina la cantidad de combustible que se rocía en el motor. La ECU recibe señales de varios sensores, las procesa y ajusta la cantidad de combustible que se envía desde los inyectores. Esto permite que la relación aire-combustible se ajuste para adaptarse a muchas condiciones de operación diferentes. (pp. 189-192).

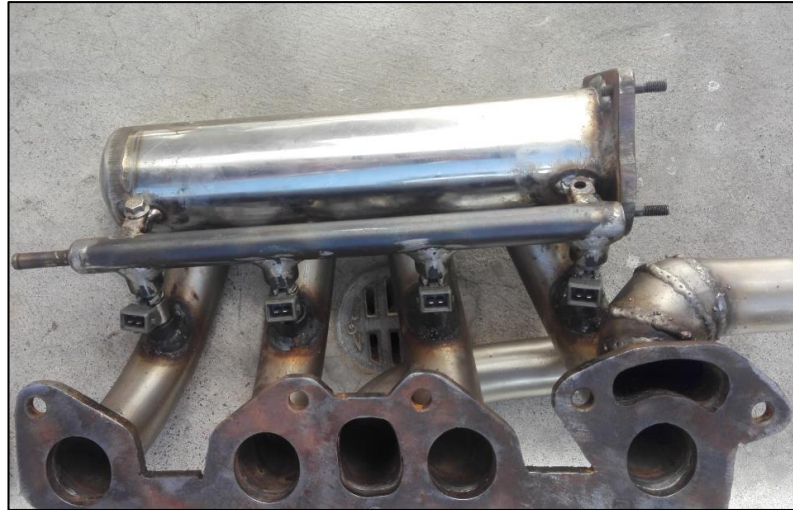


Figura 5. Sistema de inyección MPFI

2.2.2 Principios de funcionamiento.

[Yamaha Technical Academy, 2016]. El combustible será presurizado por la bomba de combustible, una vez presurizado este es inyectado en el colector de admisión en función al aire de admisión. Las señales proporcionadas por los sensores son captadas por la unidad de control electrónico, la cual determinará el volumen de aire de admisión. Tomando como referencia el volumen de aire de admisión y las señales proporcionadas por los sensores, la unidad electrónica calcula y determina la cantidad de volumen de combustible necesario. La ECU determina el tiempo de apertura del inyector para que la cantidad de mezcla aire combustible sea suministrada correctamente en el múltiple de admisión.

El combustible inyectado es proporcional a la presión del combustible y a la duración de la abertura de los inyectores. (p. 15).

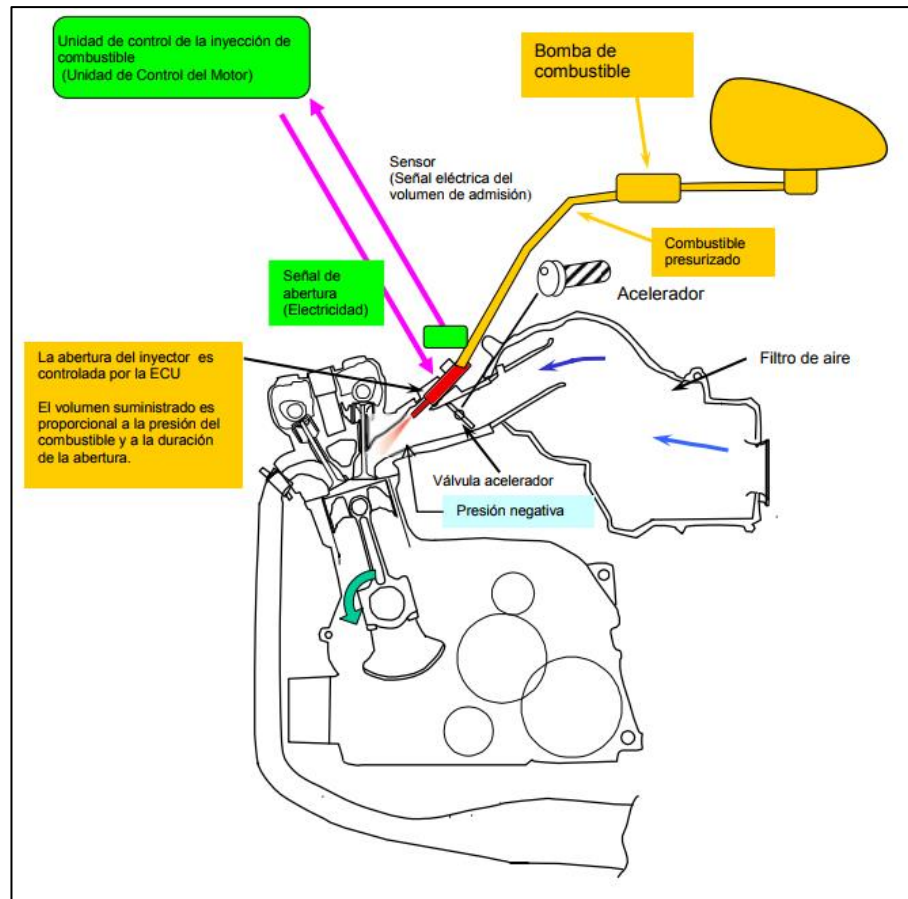


Figura 6. Elementos del sistema de inyección de combustible

Fuente: [Yamaha Technical Academy, 2016]

De acuerdo a su paper los autores (Kunjam, Sen & Sahu, 2015) mencionan que: en el sistema de inyección de combustible, el aire inducido puede medirse con precisión y el combustible se inyecta en el colector. El sistema de inyección de combustible tiene un dispositivo de formación de carga que suministra una mezcla rica de combustible y aire al inyector conectado adyacente a uno y a través de un orificio o válvula al cilindro del motor y está adyacente al otro extremo al cárter del motor. El dispositivo de formación de carga tiene una entrada de aire de inyector y un paso de mezcla de combustible a los cuales bajo condiciones de funcionamiento de acelerador abierto de motor al menos una mayoría del combustible es suministrado por un circuito de combustible de alta velocidad y preferiblemente una porción menor del combustible también es suministrada por un circuito inactivo. (p. 2).

2.2.3 Elementos del sistema de inyección electrónica

Según los autores (Gupta, Kandari, Rajput, Asif & Singh, 2013), el sistema tiene cuatro componentes principales, estos son:

La función del sistema de la entrada de aire es permitir que el aire alcance al motor de vehículo. El oxígeno en el aire es uno de los componentes necesarios para el proceso de combustión del motor. Un buen sistema de admisión de aire permite un aire limpio y continuo en el motor, logrando así más potencia y mejor kilometraje. Un sistema moderno de admisión de aire para automóviles tiene tres partes principales: filtro de aire, sensor de flujo de masa y cuerpo del acelerador.

El combustible en el depósito de combustible es bombeado por la bomba de combustible, filtrado por el filtro de combustible y alimentado a presión a cada inyector a través de la tubería de suministro. Dado que la presión de combustible aplicada al inyector se mantiene siempre una cierta cantidad superior a la presión en el colector de admisión por el regulador de presión de combustible, el combustible es inyectado en el orificio de admisión de la culata cuando el inyector se abre de acuerdo con la forma de señal de inyección ECM. El combustible liberado por el regulador de presión de combustible retorna a través del retorno de combustible al depósito de combustible.

Consta de varios sensores que detectan el estado del motor y las condiciones de conducción, ECM es un dispositivo que controla varios dispositivos de acuerdo con las señales de los sensores y varios dispositivos controlados.

Los hidrocarburos, el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno se crean durante el proceso de combustión y se emiten a la atmósfera desde el tubo de escape. (pp. 643-644).

2.3 Sensores

2.3.1 Sensor CKP

(McCord, 2011). El CKP es utilizado por el ECM para determinar la posición del cigüeñal, junto con la posición exacta de los pistones en el motor, así como la posición de disparo durante el ciclo de Otto, mirando la posición de la rueda

reluctor fijada al cigüeñal. Si el sensor CKP está defectuoso, el ECM no sabe dónde está el motor en relación con el Ciclo Otto y no puede determinar el tiempo de encendido y suministro de combustible. (p. 105).



Figura 7. Sensores de posición del cigüeñal

(Yong, 2013). El sensor CKP se encuentra en el lado opuesto de la puela del cigüeñal y activa los dientes de la rueda de recogida. La salida del sensor es una señal sinusoidal. El módulo de control del motor (ECM) utiliza esta señal del sensor para generar pulsos de encendido y de inyección programados que envía a las bobinas de encendido ya los inyectores de combustible. (p. 1).

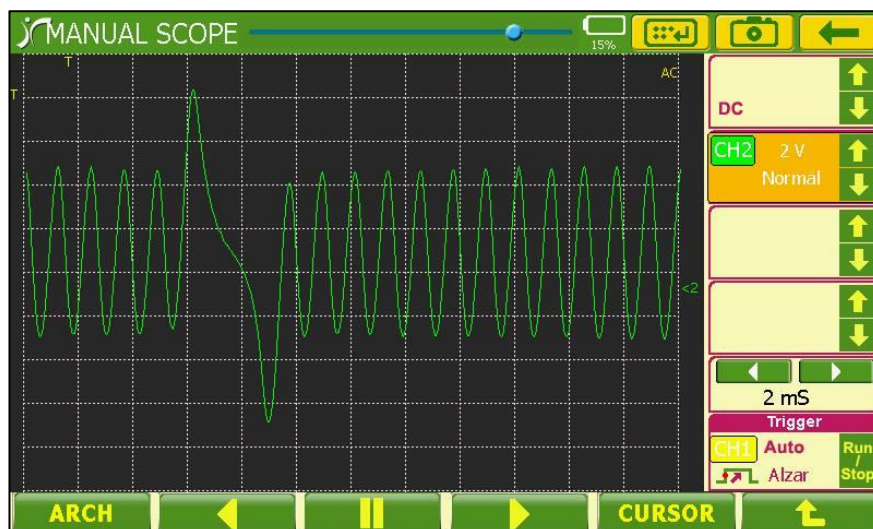


Figura 8. Señal del Sensor CKP

(Enright, 2015) Menciona “La señal de voltaje puede ser tan baja como 2-3 voltios en ralentí y 50 voltios a mayores velocidades” (p. 12).

2.3.2 Sensor IAT



Figura 9. Sensor IAT

(Orozco, Hernández & Parra, 2014). El sensor de temperatura del aire, también llamado sensor MAT (Manifold Air Temperature) o IAT (Intake Air Temperature), es un termistor que ingresa en la admisión. Se encuentra ubicado en el conjunto del filtro de aire. La unidad de control electrónico recibe la señal del sensor para así compensar las lecturas del flujo de aire; esto se realiza en función de la temperatura de aire que ingresa al múltiple de admisión.

A medida que la temperatura de aire se incrementa, la resistencia del sensor IAT decrece; es ahí cuando la ECU adecúa la mezcla de aire y gasolina, para garantizar el correcto funcionamiento del motor. (p. 39).

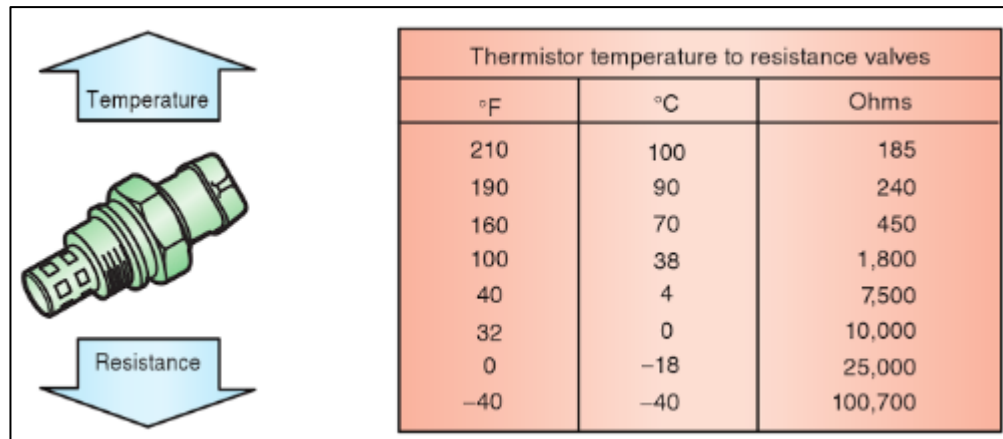


Figura 10. Temperatura del termistor en función a la resistencia

Fuente: (Pickerill, 2013)

[Yamaha Technical Academy, 2016]. El sensor de temperatura del aire de admisión modifica la inestabilidad de la mezcla aire – combustible que se producen debido a las variaciones en la densidad del aire de admisión. Estas variaciones son el producto de las diferentes temperaturas del aire ocasionadas por los cambios de temperatura atmosférica y temperatura del motor. (p. 62).

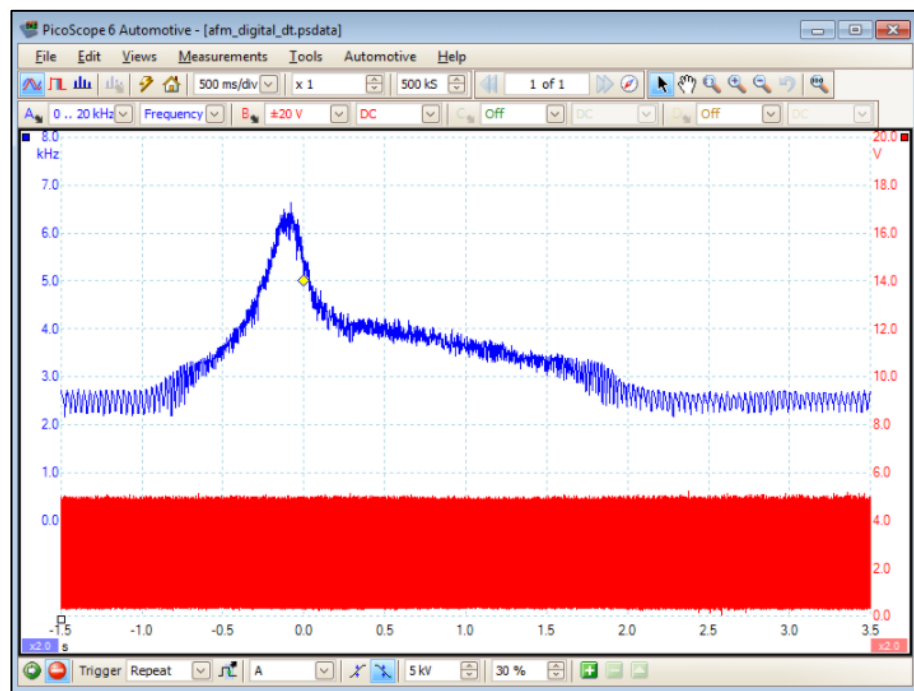


Figura 11. Curva característica del sensor IAT

(Orozco, Hernández & Parra, 2014). Cuando este sensor tiene fallas, suele ocasionar los siguientes síntomas:

- Altas emisiones contaminantes de monóxido de carbono.
- Elevado consumo de combustible.
- Inconvenientes de arranque del motor en frío.
- Breves períodos de aceleraciones altas.
- Presencia del Check Engine.
- Pérdida de potencia.

2.3.3 Sensor ECT

Los autores (Orozco, Hernández & Parra, 2014) definen al sensor ECT como un termistor que se encarga de medir la temperatura del refrigerante del motor. La señal que transmite a la unidad de control electrónico (ECU) permite a la misma determinar los intervalos de funcionamiento y descanso del motoventilador del radiador; como otras de sus funciones está el poder de controlar el suministro de combustible, la sincronización del tiempo y control de la válvula EGR.

Por lo general el sensor ECT se ubica en la guía del circuito refrigerante. Algunos de las fallas que puede producir cuando no trabaja en buenas condiciones son las siguientes:

- Problemas de encendido del motor en frío y caliente.
- El motoventilador permanece encendido en todo momento.
- Elevado consumo de combustible.
- Altos niveles de gases contaminantes, como el CO.
- Ebullición del refrigerante. (pp. 39-40).



Figura 12. Sensor ECT

(Pickerill, 2013) Afirma que, un sensor ECT típico contiene un termistor que proporciona una alta resistencia en frío y una resistencia mucho menor a temperaturas más altas. El sensor ECT tiene dos cables conectados entre el sensor y el ordenador. Uno de estos cables es un cable de señal, y el otro cable proporciona una tierra. El ordenador detecta la caída de voltaje a través del sensor ECT. Este voltaje cambia en relación con la temperatura del refrigerante y la resistencia del sensor. (p. 164).

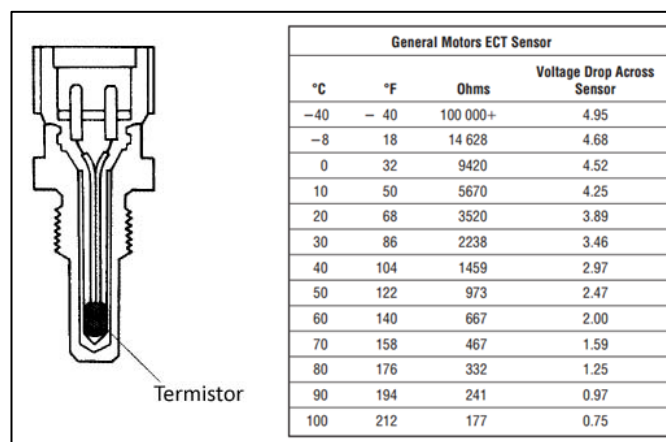


Figura 13. Ejemplos de especificaciones del sensor ECT.

Fuente: (Halderman, 2016)

[Yamaha Technical Academy, 2016] menciona: “Las señales del sensor de temperatura del refrigerante se usan primeramente para compensar el volumen del combustible durante el calentamiento.” (p. 62).

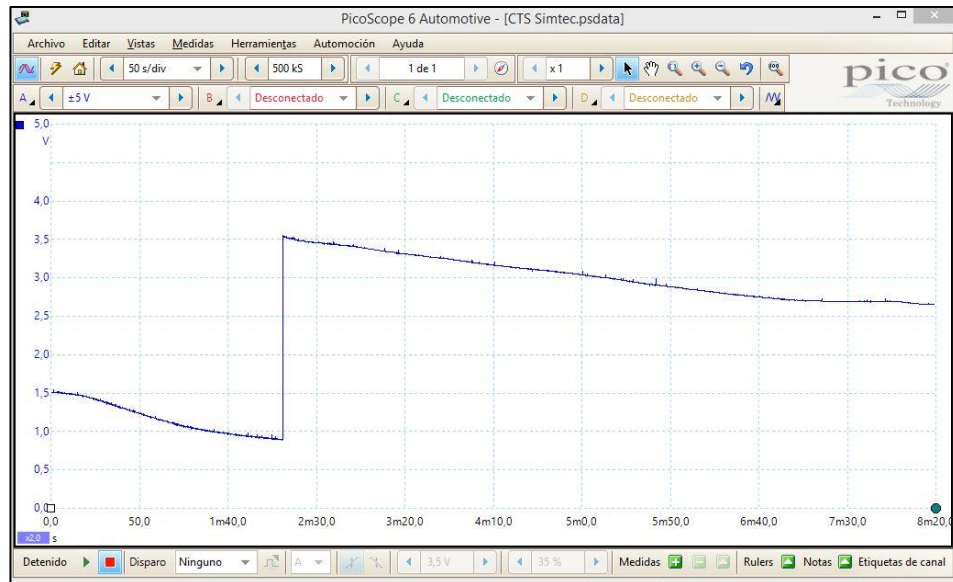


Figura 14. Señal del sensor ECT

2.3.4 Sensor TPS

Un sensor de posición del acelerador (TPS) es un sensor que se utiliza para controlar la posición del acelerador de un vehículo. El sensor está situado generalmente en el eje de la mariposa de modo que pueda supervisar directamente la posición del acelerador.



Figura 15. Cuerpo del sensor de posición

De acuerdo a [EcóEFI, 2017], este sensor de posición del acelerador (TPS) está mecánicamente unido a la placa de estrangulación y el elemento de detección tiene un brazo que gira con la placa de estrangulación. El brazo tiene un punto de contacto en el potenciómetro que actúa como un divisor de tensión. El potenciómetro tiene una alimentación de + 5V y retorno de masa. El pin de la mitad es el punto de voltaje de salida. El voltaje es proporcional al ángulo de rotación de la placa del acelerador. (p. 1).

(Martin, 2005). Las lecturas siguientes se deben encontrar en cada uno de los tres puertos del TPS:

- Cable de referencia de cinco voltios.- El ECM envía 5 voltios al TPS como voltaje de referencia
- Cable de tierra.- El tierra del TPS viene directamente del ECM. Este cable debe leerse cerca de 0 voltios. Si es superior a 0,02 voltios, la ECM puede tener un mal cable de tierra.
- Cable de señal.- El TPS envía una señal de voltaje variable a la ECM a través del cable de señal. Con el acelerador cerrado, la tensión debe ser de alrededor de 0,5 voltios. A medida que se abre el acelerador, el voltaje debe aumentar gradualmente hasta que alcance alrededor de 4,5 voltios con el acelerador abierto. Dentro del Zen relación con el ángulo del acelerador (apertura). (p. 125).

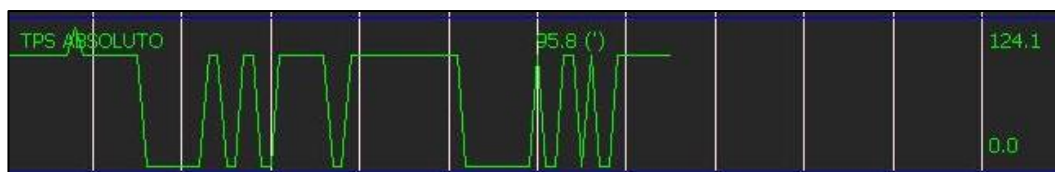


Figura 16. Forma de onda del sensor de TPS

En el artículo publicado por (Bates, 1998) afirma que, a medida que cambia la posición del acelerador, el cambio correspondiente en la resistencia interna del TPS altera la señal de voltaje que regresa al ordenador a través del cable de señal. El tercer cable proporciona una conexión a tierra. Así que lo que ve la computadora es una señal de voltaje variable que cambia en proporción directa a la posición del acelerador. (p. 1).

2.3.5 Sensor MAP

El autor (Enright, 2015) asegura que el Sensor de Presión Absoluta del Colector o MAP se encuentra en el colector de admisión. Este sensor se utiliza para medir la presión del colector, que informa a la ECU de la carga del motor, esta información es necesaria para calcular la cantidad de combustible a inyectar. (p. 11).

(González, 2015). Puede ser de tipo piezoeléctrico o de tipo piezorresistivo, siendo más utilizados estos últimos. Cuando se trata de un sensor tipo piezorresistivo las variaciones de presión en el múltiple de admisión se transforman en variaciones de tensión, esto es a través de un divisor de tensión el cual se encuentra formado por un conjunto de resistencias. En su interior se encuentra un diafragma sensible a la presión en el colector, sobre el que se disponen unas resistencias de material piezorresistivo. Cuando se deforma el diafragma por efecto de la presión en el colector, se produce un valor de tensión proporcional a dicha presión.

El sensor recibe una tensión de 5 V proporcionada por la ECU, en donde, a medida que la presión se incrementa la tensión de salida también lo hará. La sonda de temperatura del aire aspirado puede montarse de forma independiente o formando un conjunto con el sensor MAP. (p. 244).



Figura 17. Sensor MAP

(Halderman, 2016). El sensor MAP típico consiste en una capa de cerámica o de silicio sellada en un lado con un vacío perfecto, y expuesta al vacío del colector de admisión en el otro lado. A medida que cambia el vacío del motor, la diferencia de presión en cambia la tensión de salida (o frecuencia) del sensor MAP.

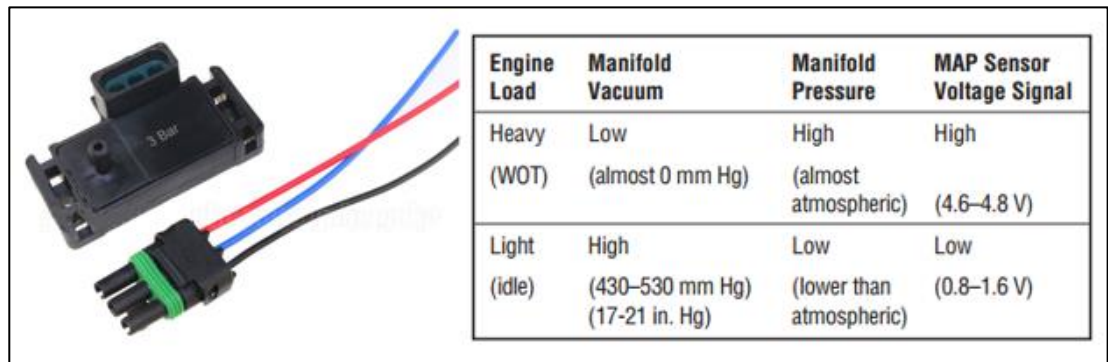


Figura 18. Valores promedio con los que trabaja el Sensor MAP

Fuente: (Halderman, 2016)

El PCM utiliza información del sensor MAP para controlar el avance de encendido, la sincronización y la entrega de combustible. Un sensor MAP típico utiliza tres cables:

- Un cable de alimentación de referencia de 5 voltios desde el ordenador.
- Un cable de tierra.
- Un cable de voltaje (o frecuencia) que va de nuevo al ordenador. (p. 597).

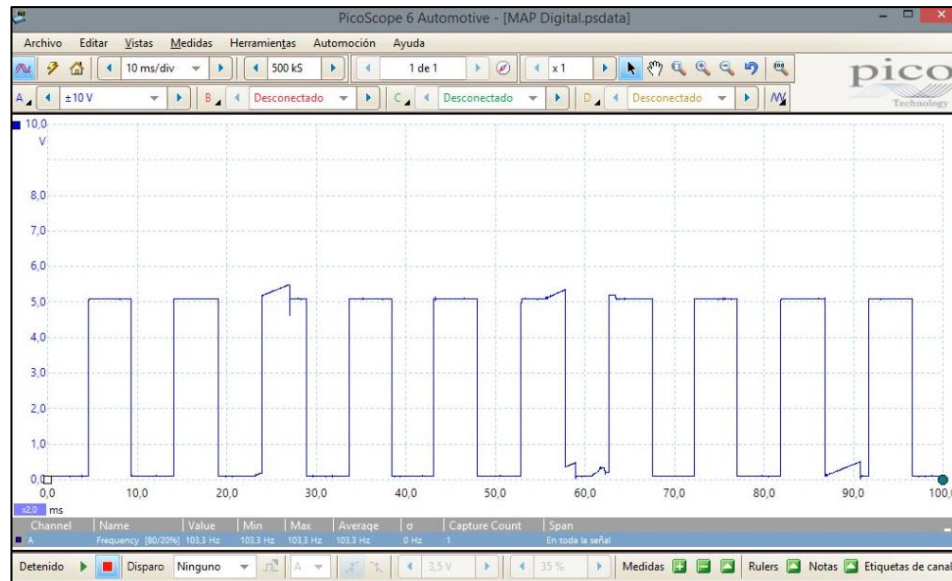


Figura 19. Curva característica sensor MAP

(Concepcion, 2010) Menciona “Los valores del MAP típicos son alrededor de 40 Kpa marca baja o 1.25 voltios (10.0 a 12.0 en Hg)” (p. 47).

2.4 Actuadores

2.4.1 Inyectores

[Yamaha Technical Academy, 2016]. Se encarga de inyectar el combustible altamente presurizado en función de la señal generada por la unidad de control electrónico, se encuentra ubicado en el múltiple de admisión. El inyector convierte una señal eléctrica para inyectar volumen y atomizar el combustible para que se mezcle con el aire y se logre una combustión eficiente. (p. 32).

(Enright, 2015) Asegura que el inyector es un dispositivo electromecánico, que es alimentado por un suministro de 12 voltios de la ECM. El inyector consiste en una válvula accionada por solenoide que se mantiene en la posición cerrada por un resorte hasta que el circuito de tierra es completado por el ECM. Cuando el campo electromagnético levanta la aguja de su asiento, el combustible se entrega al motor. La elevación total de la aguja es de aproximadamente 0,15 mm y tiene un tiempo de reacción de alrededor de 1 milisegundo.



Figura 20. Inyector de combustible electrónico

El inyector se suministra con combustible por medio de un riel de inyectores. La anchura del impulso del inyector depende de las señales de entrada vistas por el ECM desde sus diversos sensores del motor, y varía para compensar los períodos de arranque y calentamiento del motor, el pulso ancho inicial se hace más estrecho a medida que el motor se calienta a la temperatura de funcionamiento. La anchura de pulso también se expande bajo aceleración y se contrae bajo condiciones de carga ligera. El inyector tiene alimentación de voltaje constante mientras el motor está funcionando y el trayecto de tierra es conmutado a través del ECM.

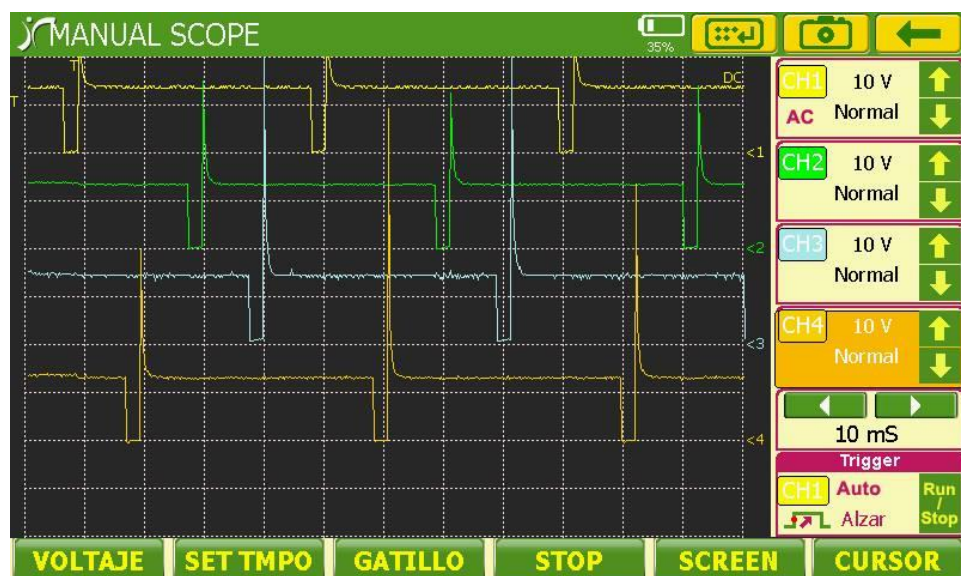


Figura 21. Forma de onda del voltaje del inyector

Cada inyector recibe solo 1 pulso de inyección por ciclo, programado para coincidir con la apertura de la válvula de entrada. Como una guía muy

aproximada, las anchuras de impulso del inyector para un motor a una temperatura de funcionamiento normal a velocidad de ralentí son alrededor de 2,5 ms. (pp. 9-10).

2.4.2 Bomba de combustible

[Yamaha Technical Academy, 2016]. La unidad de control electrónico envía una señal de activación al relé de la bomba de combustible, otra señal electrónica es suministrada a la bomba en donde un motor DC activa la bomba de combustible para que suministre la cantidad adecuada de combustible a alta presión en los inyectores. Se localiza en el depósito de combustible. (p. 39).

El autor (Enright, 2015) menciona que la bomba puede producir una presión de 8 Bar con una velocidad de suministro de aproximadamente 4 a 5 litros por minuto. Dentro de la bomba hay una válvula de alivio de presión que levanta su asiento a 8 Bar para detener la presión si un bloqueo en el filtro o líneas de combustible o en otro lugar hace que se obstruya. En el otro extremo de la bomba (salida), hay una válvula de no retorno que, cuando se elimina la tensión a la bomba, cierra el retorno al tanque y mantiene la presión dentro del sistema. La presión de funcionamiento normal dentro de este sistema es de aproximadamente 2 Bar, en la que el consumo de corriente en la bomba es de 3 a 5 amperios.

La bomba se suministra con una alimentación de batería de 12V y es controlada por un relé de la bomba de combustible que se conmuta por la ECU. (p. 6).



Figura 22. Bomba de combustible

2.4.3 Regulador de combustible

En su artículo publicado los autores (Gupta, Kandari, Rajput, Asif & Singh, 2013) afirman que el regulador de presión de combustible es una válvula de alivio de presión que consta de un resorte, diafragma y una válvula. Mantiene la presión de combustible aplicada al inyector 2.9 Kg/cm^2 más alta que el colector de admisión en todo momento.

La presión aplicada a la cámara superior del colector de admisión del regulador de presión de combustible y que a la cámara inferior es la presión del combustible. Cuando la presión del combustible sube más de $2,9 \text{ Kg/cm}^2$ más alta que la presión del colector de admisión, el combustible empuja la válvula en el regulador abierto y el exceso de combustible regresa al depósito de combustible a través de la línea de retorno. (p. 643).

En su investigación (Enright, 2015) expone que una bomba de combustible eléctrica suministra el combustible y genera la presión de inyección, que para la inyección del múltiple es típicamente de aproximadamente 3 a 4 Bar. La función del regulador de combustible es mantener la presión del riel de combustible. Cuando la velocidad del motor es baja, se inyecta menos combustible en cada cilindro, por lo que aumenta la presión en el carril. Cuando la velocidad del motor es alta, hay más combustible inyectado en cada cilindro, de manera que la presión en el carril disminuye. El ECM necesita que la presión del carril permanezca constante para poder calcular cuánto tiempo debe abrir los inyectores. (p. 7).

2.4.4 Riel de inyectores

El "rail" o "riel de inyectores" es un acumulador de presión, ubicado luego de la bomba de alta presión, en la cual se acumula una cierta cantidad de combustible a alta presión para suministrar a los inyectores. Sus componentes principales son:

- El riel o cuerpo.
- Acoples de entrada y salida.
- Válvula reguladora de presión.

2.5 Ventajas de la inyección electrónica

En su investigación (Gupta et al., 2013) exponen algunas de las ventajas que tiene la inyección electrónica en los vehículos con este tipo de sistema de inyección.

Consumo de combustible mejorado

Los vehículos con inyección de combustible de dos puntos o carburadores no obtienen casi el ahorro de combustible de aquellos con inyección de combustible multipunto. La razón subyacente es que los sistemas de suministro de combustible de estos vehículos más antiguos son menos precisos. Un sistema de inyección de combustible multipunto, que utiliza un inyector de combustible para cada cilindro del motor, entrega la cantidad justa de combustible a cada cilindro. Por lo tanto, el combustible no se pierde en el proceso. Con el tiempo, el combustible ahorrado con un sistema de inyección multipunto ahorra al dueño del vehículo montos elevados de dinero.

Emisiones

Los resultados de las pruebas de emisiones son un factor importante. Un vehículo de este siglo emite una pequeña fracción de lo que un vehículo emitió incluso hace unas décadas. El sistema de inyección de combustible multipunto demuestra ser mejor para el medio ambiente como la emisión de productos químicos peligrosos; hechos cuando se está quemando combustible, se minimizan.

La entrega más precisa de combustible al motor significa que se liberan menos subproductos nocivos cuando el combustible entra en combustión dentro del motor. Los implementos dentro del motor destinados a limpiar el escape han sido afinados en un sistema multipunto para trabajar de manera más eficiente. Por lo tanto, el motor, y el aire, son más limpios como resultado de sistemas multipunto.

Mejor rendimiento

El rendimiento de un motor sufre con el uso de un carburador, pero la inyección de combustible multipunto permite un rendimiento mucho mejor del

motor. Esto se debe a algunos factores. Los inyectores multipunto atomizan el aire que se toma a través de un tubo pequeño en lugar de permitir la entrada de aire adicional. Los inyectores multipunto son controlados por la computadora, por lo que diferentes componentes del sistema realizan cada función de un carburador. Estos sistemas proporcionan una mejor distribución del combustible en cilindro a cilindro de un motor debido a que se conserva la energía. (p. 5).

2.6 Unidad de control electrónico.

(Parks, 2011). El módulo de control electrónico (ECM), la unidad de control electrónico (ECU) y el módulo de control central (CCM) son términos genéricos para lo que habitualmente denominamos computadora del vehículo. Tal vez deba ser referido como un trabajo informático por computadora, ya que hay varios ECM, ECU y CCM en cualquier vehículo de motor contemporáneo. Independientemente de cómo se lo denomine, esta colección de computadoras controla algunos o todos los sistemas eléctricos dentro del vehículo. Si bien hay muchas más, algunas de las unidades de control electrónico más comunes son la unidad de control de airbag (ACU); módulo de control de la carrocería (BCM) que controla las cerraduras eléctricas, las ventanas y las luces de cortesía; diagnóstico a bordo (OBD); Módulo de control de potencia (PCM); y unidad de control de transmisión (TCU).

Cada uno de esos módulos de control electrónico recibe datos de los sensores ubicados en todo el sistema que se está monitoreando. Algunos de los más comunes son sensor de oxígeno, sensor de refrigerante, sensor de flujo de masa, sensor de entrada de aire, sensor de posición del acelerador y sensor de detonación. (p. 70).

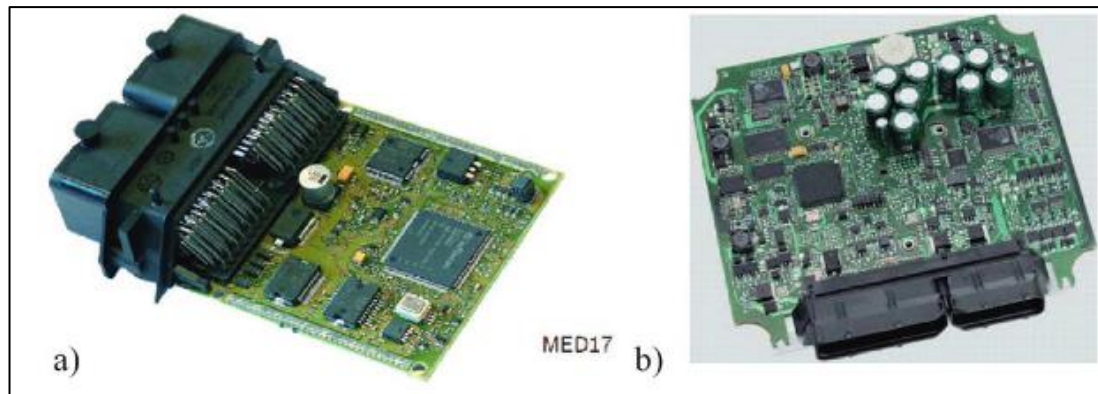


Figura 23. Diseño del hardware de la ECU. a) Motronic MED17, School (2007), b) ECU para motores comerciales livianos GmbH (2011)

Fuente: (Isermann, 2014)

2.6.1 Estructura del hardware

(Isermann, 2014). Microprocesador. Contiene la unidad central de procesamiento (CPU) y tiene una unidad de control propia para la ejecución de instrucciones de la memoria del programa, y una unidad lógica (ALU) para manejar operaciones aritméticas y lógicas.

Memorias. Los microprocesadores operan con memorias no volátiles y volátiles. Las memorias de acceso aleatorio (RAM) son memorias volátiles de escritura / lectura y parte del microprocesador como memoria principal. La RAM dinámica (DRAM) tiene un menor consumo de energía, pero debe reescribirse después de leer y referir ciertos intervalos de tiempo para compensar la autodescarga. Las memorias de solo lectura (ROM) no son volátiles. Almacenan todos los programas y los datos que no cambiarán se conservarán incluso en ausencia de voltaje. Si es programado por el usuario, se aplican memorias de solo lectura (PROM) programables.

Algunos tipos de memorias de solo lectura pueden borrarse y reprogramarse. Las memorias borrables de solo lectura (EPROM) se borran con radiación UV y se programan nuevamente. Las memorias de solo lectura borrables eléctricamente (EEPROM) pueden borrarse y reprogramarse eléctricamente en la ECU con un dispositivo separado.

Interfaz de entrada. Los módulos de entrada proporcionan un enlace entre sensores o conmutadores externos y el microprocesador. Reciben la señal de entrada analógica, binaria o digital y la transmiten al microprocesador.

Interfaz de salida. La interfaz de salida sirve como un enlace a los actuadores y los relés. (p. 275-277).

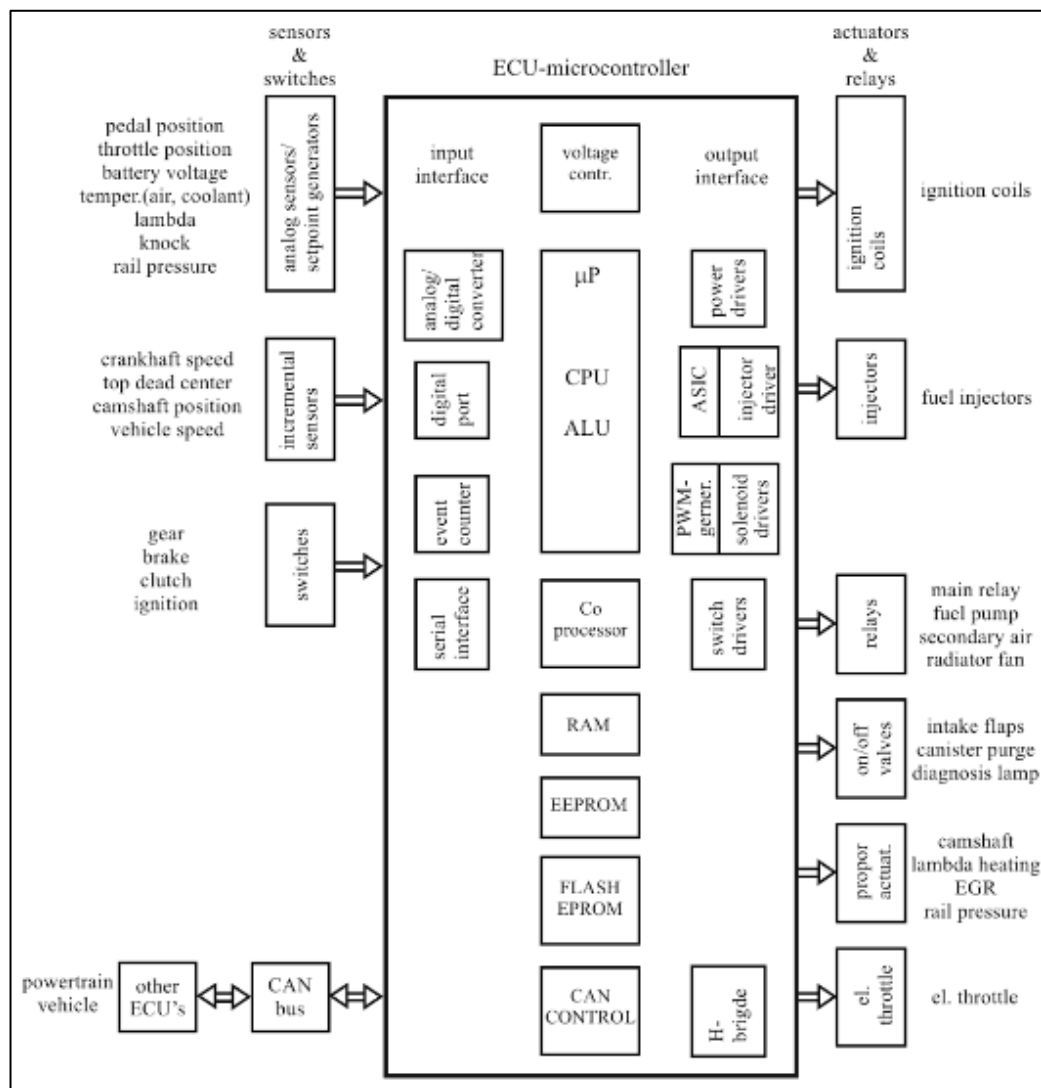


Figura 24. Estructura del hardware de la unidad de control electrónico (ECU) para un motor a gasolina

Fuente: (Isermann, 2014)

2.7 Reprogramación de la ECU.

Dependiendo del tipo de necesidades que se requiere al reprogramar una ECU, hay tres métodos para su modificación.

- Flasheo de memorias
- Reprogramación de una ECU estándar
- Reprogramación de una ECU programable

2.7.1 Flasheo de memorias

Según (Fernández, 2010), expone que: En los últimos años la tecnología automotriz ha ido evolucionando al punto en que los autos de última generación poseen diferentes tipos de módulos, entre los más destacados están: Módulo de Control Electrónico (ECM), módulos de control de transmisión (TCM), Anti-lock Braking System (ABS), entre otros; los cuales controlan cada uno de los sistemas de control electrónico del vehículo.

Estos módulos son programados por el fabricante, quien utiliza software especializado para asignarle las funciones a desempeñar. Un ejemplo es el caso de la ECM, la cual internamente contiene cientos o inclusive miles de parámetros para controlar el salto de la chispa, cantidad de combustible, ralentí, gases contaminantes, operabilidad del vehículo, rendimiento.

El método que se utiliza para la reprogramación de estos módulos es llamado flasheo de memorias. Los sitios donde se puede realizar este tipo de programación generalmente son en los concesionarios de vehículos, quienes al tener acceso en línea con el fabricante, pueden hacer uso de herramientas especializadas para la reprogramación de los módulos.

2.7.2 Método de flasheo por vía OBD

Al emplear herramientas de reprogramación y flasheo de módulos electrónicos por OBD, es importante que la alimentación de 12 V a la batería del vehículo se mantenga estable, en algunos casos se utiliza una fuente externa de alimentación que provea 12 V a la batería, y al igual la conexión entre módulo y vehículo se deberá ser a través de un cable OBD. De esta manera se tendrá acceso a los parámetros de tuning o afinación del motor, flasheo de memoria, y a la programación de nuevas variables de funcionamiento de la ECU.

2.7.3 Método de flasheo por vía puerto BDM

El acceso al terminal BDM se lo obtiene al retirar la ECU del vehículo, y desmontar su carcasa. Al recibir una alimentación de 12 V constantes hace que el método de flasheo por vía puerto BDM sea de los más seguros, ya que

al no haber peligro de corte de alimentación hace posible que el flasheo se lo pueda realizar una y otra vez ininterrumpidamente. Este método se lo utiliza también en condiciones cuando el flasheo por OBD ha sido realizado incorrectamente.

2.7.4 Flasher J2534

De acuerdo a (Fernández, 2010), expone que: En los últimos años las unidades de control electrónico por lo general usan la interfaz J2534, en cualquiera de sus versiones en las que constan el chasis y los controladores del sistema, como principal medio para realizar su reprogramación. Esta interfaz hace uso de los archivos de calibración originales proporcionados por el fabricante, los cuales se los puede encontrar en las páginas web que el fabricante especifique para su utilización. Para poder utilizar el J2534 se requiere de la interfaz Pass Thru, compatible con los autos que utilizan el J2534, y el acceso al software respectivo, el cual es adquirida del fabricante y se lo puede ejecutar en la PC o directamente en la Web.

2.7.5 Reprogramación de una ECU estándar

(ReproMotor, 2016). En la reprogramación estándar no se cambia ningún hardware en el vehículo, únicamente se modifican los parámetros de funcionamiento de la ECU, su programa o mapa de operación del motor. La reprogramación se la realiza en el mapa original del vehículo y no a través de mapas ya preestablecidos o estándar.

El diagnóstico del estado de los sistemas del vehículo es el primer paso a realizar, para lo cual se puede acceder a los mapas de operación del motor por medio del puerto OBD (diagnóstico a bordo) o en los vehículos de última generación se debe retirar la ECU y desmontar la carcasa.

Utilizando software y herramientas especializadas se da lectura al mapa original de la computadora, el cual debe ser extraído e instalado en nuestro equipo para modificarlo según las necesidades del usuario. Una vez realizado la reprogramación en el mapa original este debe ser guardado y cargado nuevamente en el vehículo.

2.7.6 Reprogramación de una ECU programable

Las ECUs programables son utilizadas cuando se requiere hacer modificaciones al comportamiento del motor, las que en algunos casos son muy limitados conseguir con las computadoras originales con las que vienen. Estas unidades no tienen un comportamiento predefinido, pueden ser programadas/mapeadas al conectarlos a una computadora mediante un cable USB, mientras el motor está en marcha. La ECU programable puede controlar la cantidad de combustible que se inyectará en cada cilindro. Esto varía según las RPM del motor y la posición del pedal del acelerador (o la presión de aire del colector).

El controlador del motor puede modificar esto al usar una hoja de cálculo en la computadora portátil, donde cada celda representa una intersección entre un valor de RPM específico y una posición del pedal del acelerador. En esta celda, se ingresa un número correspondiente a la cantidad de combustible a inyectar. Esta hoja de cálculo a menudo se conoce como tabla de combustible o mapa de combustible.

Otros parámetros que a menudo se pueden mapear son:

- Tiempo de ignición: Define en qué punto del ciclo del motor debe disparar la chispa la bujía en cada cilindro.
- Límite de revoluciones: Define las RPM máximas que puede alcanzar el motor. Después de llegar a dichas revoluciones se produce el corte de combustible y/o ignición.
- Temperatura del agua: Permite agregar combustible adicional cuando el motor está frío, por ejemplo un arranque en frío en invierno o si el motor tiene altas temperaturas, con esto se permite el enfriamiento adicional del cilindro.
- Alimentación de combustible temporal: Informa a la ECU que debe agregar una cantidad específica de combustible cuando se aplica acelerador. Esto se conoce como "enriquecimiento de aceleración".
- Modificador de baja presión de combustible: La ECU aumenta el tiempo de disparo del inyector para compensar el aumento o la pérdida de presión de combustible.

- Sensor de oxígeno (sensor lambda): La ECU monitorea la sonda lambda y modifica el abastecimiento de combustible para lograr la relación de air/combustible deseada. Esta es a menudo la relación estequiométrica (ideal) de combustible en el aire, que en los vehículos propulsados por gasolina es 14.7: 1.

2.8 Tipos de ECU programables

2.8.1 HALTECH platinum sport 2000.

En su manual de funcionamiento [Haltech, 2017], expone que: Es un potente sistema de gestión de motor programable "en tiempo real" diseñado para aquellos que buscan un rendimiento óptimo. El sistema Sport 2000 tiene mapas de combustible ajustables, cada uno con 32 barras de carga y rangos de 32 RPM. El Sport 2000 funciona hasta 16000 rpm manteniendo una excelente precisión y resolución. (p. 1).



Figura 25. Haltech platinum sport 2000

Fuente: [Haltech, 2017]

2.8.2 Motec m84

El manual [MOTEC, 2017] menciona “Es una ECU versátil y de carrera que es adecuada para una amplia gama de aplicaciones de alto rendimiento, incluidos los motores con hasta 8 cilindros. También se adapta a los motores rotativos con rotores gemelos, triples o cuádruples.”



Figura 26. Motec m84

Fuente: [MOTEC, 2017]

2.8.3 Microsquirt

[MegaSquirt, 2017] Expone que: Es un controlador de inyección de combustible electrónico de uso general (EFI) de propósito general diseñado para ser utilizado con una amplia gama de motores de combustión interna de encendido por chispa. El controlador toma la entrada de varios sensores para administrar los inyectores de combustible, incluyendo un sensor de posición de aceleración (TPS), sensor de oxígeno de gas de escape (sensor EGO u O₂), sensor MAP, señal de tacómetro (o sensor de posición de manivela), aire de admisión sensor de temperatura (IAT) y sensor de temperatura del refrigerante (ECT).



Figura 27. Microsquirt

2.9 Software de programación

2.9.1 Galletto 1260

(Diagnostic, 2016). Es una interfaz de programación que permite leer y escribir en la memoria de la computadora del vehículo, centralitas como: EDC15 y EDC16, Delco, MEX. X, BOSCH, SIEMENS, etc. El vehículo debe poseer una toma OBD2. La interfaz Galletto 1260 permite realizar varios manejos en un vehículo, tales como: Reinyección, rendimiento del vehículo, potencia, par, consumo, la supresión del FAP y de la EGR, la desactivación del inmovilizador.



Figura 28. Interfaz galletto 1260

Fuente: (Diagnostic, 2016)

Para la lectura de la ECU se debe elegir marca, modelo y la centralita que lleva el vehículo. Se identifica la ECU, en donde son importantes los códigos SW y HW que vienen en una pegatina en la ECU. A continuación se leerá la centralita, y con eso se tendrá una parte del código original lo que permitirá la modificación de la ECU.

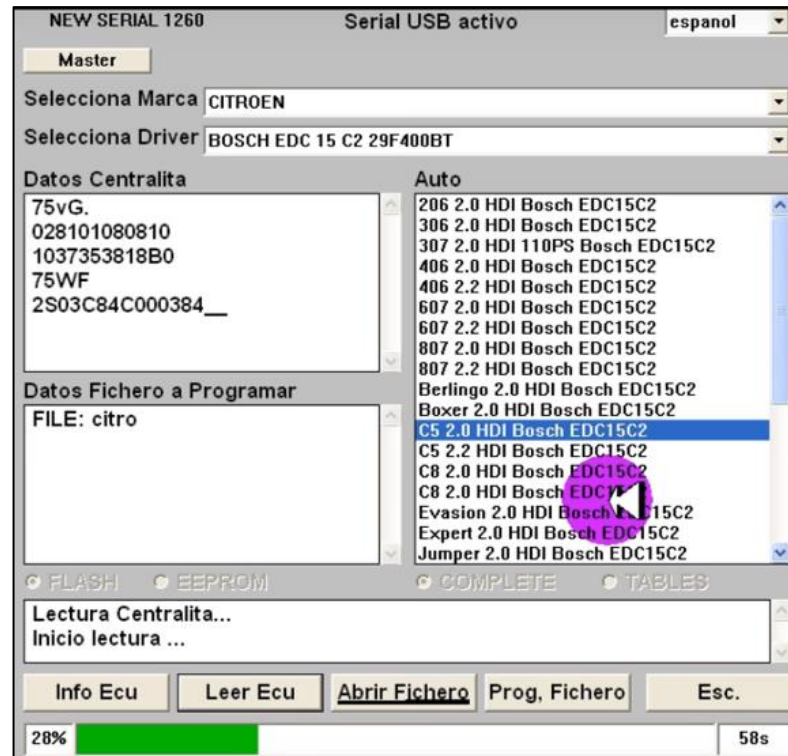


Figura 29. Pantalla de la interface galletto 1260

Fuente: (Diagnostic, 2016)

2.9.2 Ecm 2001

[Alientech, 2017]. Es un software que sirve para leer y para modificar las características originales de la unidad de control electrónico del vehículo, en cuanto se refiere a los mapas de inyección, presión, turbo, EGR, par motor, etc.

En la interfaz del programa hay tres ficheros para la lectura y modificación de la ECU, el primero se refiere al driver a utilizar, seguido del archivo original de la ECU y el tercer fichero se utiliza para editar y comparar el archivo original y el modificado.



Figura 30. Interfaz de selección del archivo original de la ECU

Fuente: [Alientech, 2017]

2.9.3 Tunerstudio MS

[EFI Analytics, 2018]. TunerStudio MS es el software oficial utilizado por MegaSquirt para realizar la instalación y modificación de la unidad de control electrónico MegaSquirt en todas sus versiones. Dentro de sus características se encuentran las opciones de programación y reprogramación de los parámetros de potencia del motor, consumo, encendido, pulsos de inyección, límite de revoluciones, etc.



Figura 31. Interfaz del software Tunerstudio MS

Fuente: [EFI Analytics, 2018]

La reprogramación de los parámetros del motor en la unidad de control electrónico se lo puede realizar a través de tablas, para lo cual se debe seleccionar uno de los valores en los que se encuentre trabajando el motor y cambiar su valor dependiendo de los requerimientos del usuario.

veTable1Tbl

	100.0	88.8	92.5	95.7	98.2	99.7	103.1	107.2	111.9	117.7	125.4	129.5	128.6	126.4	123.1	120.8	115.8
	96.0	84.8	90.8	94.5	96.3	96.6	101.0	104.6	108.0	114.4	121.2	124.9	124.3	118.6	113.9	111.2	104.6
f	92.0	78.4	87.8	91.3	91.5	91.0	92.1	96.4	103.6	111.5	116.2	118.4	118.1	115.0	111.0	108.2	99.4
u	88.0	72.8	83.7	86.7	85.7	86.0	84.3	88.9	98.9	108.1	111.8	113.1	112.9	112.2	109.4	107.2	97.8
e	80.0	64.8	75.1	76.0	74.0	78.4	75.5	79.0	88.8	99.8	104.8	106.5	105.7	105.0	104.8	104.8	96.8
l	76.0	59.2	64.2	66.6	68.1	71.3	72.5	76.3	83.2	94.2	98.2	99.3	98.3	95.2	94.0	93.6	84.0
o	73.0	52.6	59.5	63.6	66.0	68.4	70.9	74.2	79.3	90.0	94.0	94.5	92.5	89.8	87.6	86.4	80.0
a	69.0	43.8	54.9	61.7	65.2	66.5	69.1	71.4	74.6	84.6	88.7	88.6	85.3	84.6	82.1	80.0	78.8
d	65.0	39.8	48.4	57.9	65.0	65.7	67.8	68.8	70.4	79.2	82.6	82.5	80.0	82.2	81.7	80.8	78.8
%	62.0	39.8	43.3	52.1	61.3	63.8	66.4	66.9	67.5	77.2	80.4	79.5	75.8	78.0	77.5	76.6	75.2
	58.0	38.6	38.9	45.9	55.3	60.7	64.1	64.2	63.9	73.3	76.7	75.2	70.2	72.4	72.1	71.4	70.0
	54.0	36.0	37.3	42.1	49.2	57.3	61.7	61.8	60.7	68.7	72.6	71.1	65.2	66.9	66.9	66.4	64.6
	51.0	33.6	36.7	41.0	46.8	54.9	60.5	60.8	58.9	66.9	70.8	69.1	62.6	63.1	62.7	62.2	61.0
	44.0	33.4	36.5	40.0	44.4	49.0	53.5	54.2	53.5	62.0	64.2	61.1	54.0	54.0	53.5	53.0	52.0
	40.0	33.8	36.0	39.6	43.4	45.6	49.1	50.0	50.4	59.2	60.2	56.1	48.8	48.8	48.3	47.8	46.8
	25.0	30.8	31.5	36.5	41.8	41.8	41.1	39.6	37.9	38.7	37.0	33.5	28.7	28.0	27.8	27.8	26.8
		800	1020	1240	1480	1773	2133	2500	2853	3146	3800	4533	5233	5600	6020	6300	7000

Figura 32. Reprogramación de la ECU a través del software

Fuente: [EFI Analytics, 2018]

2.10 Parámetros característicos del motor de combustión interna

En su investigación (Madrrián, 2015), definen al torque y la potencia como:

2.10.1 Torque

El torque de un motor se refiere a la fuerza que actúa sobre la cabeza de cada pistón multiplicada por el brazo existente respecto al centro de giro del cigüeñal, este brazo varía de acuerdo al ángulo theta, pero se relaciona directamente con la longitud de la manivela. Una manivela de mayor diámetro es comúnmente usada en motores de alto torque y bajas revoluciones. El torque indicado de un motor puede ser calculado conociendo la presión media efectiva al interior de cada cilindro, sin embargo en la práctica es más común medir el torque al freno con la ayuda de un dinamómetro.

2.10.2 Potencia

La potencia entregada por el motor se define como el producto del torque y la velocidad de giro. En un sentido teórico podría decirse que la potencia de un motor se mantiene constante cuando se modifican parámetros geométricos como la longitud de la biela (al existir una compensación entre la variación del torque y la velocidad de giro del motor), sin embargo, en la práctica variar la longitud de la biela influencia de forma directa la velocidad media del pistón, lo cual altera procesos como el llenado y vaciado del cilindro, la combustión, fricción, transferencia de calor, entre otros. (p. 45).

En el artículo publicado por (Posada & González, 2013), exponen que:

2.10.3 Consumo de combustible

Representa uno de los factores fundamentales cuando se refiere al costo de operación de un vehículo, ya que un vehículo al recorrer por una carretera conlleva un gran valor significativo de gasto y consumo, que es el costo de

combustible. Para algunos vehículos este gasto y consumo representa hasta un 50 % de los costos de transporte por unidad vehicular. (p. 3).

El paper publicado por los autores (Herrera, Rodríguez & Rojas, 2012), mencionan que:

2.10.4 Emisiones contaminantes

Las emisiones provenientes de automóviles se originan a través de varios procesos diferentes; la más representativa se refiere a las emisiones en el escape, producidas por la combustión de la mezcla de combustible. Los principales gases contaminantes en estas emisiones incluyen: monóxido de carbono (CO), gases orgánicos totales (GOT), óxidos de azufre (SOx) óxidos de nitrógenos (NOx), gases tóxicos del aire (butadieno, benceno, formaldehído, etc). (p. 2).

2.10.5 Ciclo Otto.

En el estudio realizado por (Rizzi, 2017) menciona, los principios de funcionamiento de este motor de combustión interna son presentados por Beau Rochas en 1862. Nikolaus Otto, en 1876, perfeccionó estos principios y creó un exitoso motor de cuatro tiempos con ignición por chispa. En este ciclo el pistón ejecuta cuatro cursos completos (dos ciclos mecánicos) dentro del cilindro, y el eje de manivelas realiza dos revoluciones para cada ciclo termodinámico. Estos motores se llaman motores de combustión interna de cuatro tiempos. (p. 22) las formulas se definen en la tabla 4.

Tabla 4.**Fórmulas para calcular los parámetros característicos en el Ciclo Otto.**

Fórmula	
Ecuación 1. Presión de admisión (Pa)	$P_a = P_o - (\beta^2 + \xi) \frac{wad^2}{2} (\rho_0) 10^{-6}$
$P_o =$ Presión inicial $\beta^2 + \xi =$ Coeficiente de resistencia al aire $wad =$ Velocidad del aire en la válvula de admisión (m/s) $\rho_0 =$ Densidad del aire (Kg/m ³)	
Ecuación 2. Temperatura de admisión (°K)	$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}$
$T_o =$ Temperatura ambiente (°K) $T_a =$ Temperatura de admisión (°K) $\Delta T =$ Diferencia de temperatura de la carga (°K) $\gamma_r =$ Coeficiente de gases residuales $T_r =$ Temperatura de gases residuales (°K)	
Ecuación 3. Coeficiente de gases residuales	$\gamma_r = \frac{T_o + \Delta T}{T_r} \times \frac{P_r}{EP_a P_r}$
$P_r =$ Presión de gases residuales (Pa) $\varepsilon =$ Relación de compresión	
Ecuación 4. Presión de compresión (Pa)	$P_C = P_a \varepsilon^{n1}$
$n1 =$ Exponente politrópico medio de compresión	
Ecuación 5. Temperatura al final de compresión (°K)	$T_C = T_a \varepsilon^{n1-1}$
Ecuación 6. Presión máximo del ciclo (Pa)	$P_Z = \mu_r \frac{T_Z}{T_C} P_C$
$\mu_r =$ Coeficiente real de variación molecular $T_Z =$ Temperatura de combustión (°K)	
Ecuación 7. Presión al final de expansión (Pa)	$P_b = \frac{P_Z}{\varepsilon^{n2}}$
$n2 =$ Exponente politrópico de expansión	
Ecuación 8. Temperatura en escape (°K)	$T_b = \frac{T_Z}{\varepsilon^{n2-1}}$

Fuente: (Jóvaj, 1982)

2.10.6 Rendimiento mecánico.

En la investigación realizada (Madrinián, 2015) expone que: La eficiencia mecánica o rendimiento mecánico del motor se define como la relación entre

la potencia al freno (potencia efectiva del motor) y la potencia indicada. El rendimiento promedio en motores de última tecnología, entre velocidades de 1800 y 2400 rpm, es de alrededor de 90% cuando la mariposa está completamente abierta o a mayor carga. Pero a medida que la velocidad se incrementa la eficiencia disminuye, ya que la fricción en función de la velocidad relativa en relación a la superficie en contacto disminuye alrededor de 75%. (p. 47), las formulas se definen en la tabla 5.

Tabla 5.

Fórmulas para obtener el rendimiento mecánico.

Fórmula	
Ecuación 9. Grado de elevación de la presión	$\lambda = \frac{P_z}{P_c}$
Ecuación 10. Presión media indicada no redondeada (MPa)	$p_{imr} = P_o \frac{\varepsilon^{n1}}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n2 - 1} \left(1 - \frac{T_b}{T_z} \right) - \frac{1}{n1 - 1} \left(1 - \frac{T_a}{T_c} \right) \right]$
Ecuación 11. Presión media indicada (MPa)	$p_i = p_{imr} \times \phi$
$\phi = \text{Factor de redondeamiento}$	
$\phi = 0,97$	
Ecuación 12. Volumen del cilindro (m3)	$V_h = \frac{\pi D^2 S}{4}$
$D = \text{Diámetro del cilindro (m)}$	
$S = \text{Carrera (m)}$	
Ecuación 13. Potencia indicada (Kw)	$N_i = \frac{p_i \times V_h \times n \times i}{30 \times \tau}$
$n = \text{revoluciones del motor}$	
$i = \text{Número de cilindros}$	
$\tau = \text{Tiempos del motor}$	
Ecuación 14. Rendimiento mecánico (%)	$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$
$N_e = \text{Potencia efectiva del motor (Kw)}$	

Fuente: (Jóvaj, 1982)

2.10.7 Rendimiento térmico.

La eficiencia térmica o rendimiento térmico es la calidad con la que el calor se transforma en trabajo mecánico por medio de un motor térmico, las fórmulas para su cálculo se muestran en la tabla 6.

Tabla 6.

Fórmulas para calcular el rendimiento térmico.

Ecuación 15. Rendimiento térmico (%)	$n_t = 1 - \frac{1}{E^{k-1}}$
	$n_t = 1 - \frac{C_v(T_b - T_a)}{C_v(T_z - T_c)}$
<i>K = Coeficiente adiabático</i>	
<i>K = 1,4</i>	
<i>C_v = Calor específico a volúmen constante</i>	
<i>C_v = 0,718 KJ/Kg°K</i>	

Fuente: (Jóvaj, 1982)

2.10.8 Rendimiento indicado

La eficiencia indicada o rendimiento indicado se lo obtiene a través de la relación entre el trabajo indicado y la cantidad de calor suministrado. Se define como la propiedad de la energía acumulada en el combustible que se convierte en energía mecánica la cual actúa sobre la cabeza del pistón en la tabla 7 se hace referencia a las fórmulas para el cálculo.

Tabla 7.

Fórmulas para calcular el rendimiento indicado.

Ecuación 16. Trabajo indicado (Nm)	$Li = P_{imr} \times Vh$
Ecuación 17. Cantidad de calor suministrado (KJ/Kg)	$q_1 = 0,718 (T_z - T_c)$
Ecuación 18. Rendimiento indicado (%)	$n_i = \frac{Li}{q_1}$

Fuente: (Jóvaj, 1982)

2.10.9 Rendimiento efectivo

Demuestra la condición real cuando la energía descargada por el combustible se transforma en energía mecánica. Se define como el producto del rendimiento mecánico e indicado, su fórmula se demuestra en la tabla 8.

Tabla 8.

Cálculo del rendimiento efectivo.

Ecuación 19. Rendimiento Efectivo (%)	$ne = nm \times ni$
	$nm = \text{Rendimiento mecánico (\%)}$
	$ni = \text{rendimiento indicado (\%)}$

Fuente: (Jóvaj, 1982)

2.10.10 Presión media efectiva.

(Madríñán, 2015) Menciona “La presión media efectiva indicada se refiere a la presión real que ejercen los gases producto de la combustión durante la carrera de expansión sobre el pistón.” (p. 47), en la tabla 9 se observan su fórmula.

Tabla 9.

Fórmulas para calcular la presión media efectiva.

Ecuación 20. Velocidad media del émbolo (m/s)	$Vn = \frac{n \times S}{30}$
Ecuación 21. Presión media de las pérdidas mecánicas (MPa)	$Pm = 0,04 + 0,0135 Vn$
Ecuación 22. Presión media efectiva (MPa)	$Pe = Pi - Pm$

Fuente: (Jóvaj, 1982)

2.10.11 Consumo específico de combustible.

(Madríñán, 2015) El consumo de un motor es medido como un flujo volumétrico o másico del carburante (mf), pero este flujo volumétrico apenas si representa algo sobre la eficiencia del motor. Por lo que un dato más específico y valorado es el consumo específico de combustible, el cual se

define como la relación entre el flujo másico de combustible y la potencia efectiva del motor. (p. 48) en la tabla 10 se especifica sus fórmulas.

Tabla 10.

Fórmulas para el cálculo del consumo específico de combustible.

Ecuación 23. Masa de combustible (Kg)	$m = \rho \times \text{consumo}$
$\rho = \text{Densidad del combustible}$	
$\rho = 0,721 \text{ Kg/l}$	
Ecuación 24. Consumo de combustible (Kg/h)	$B = \frac{m}{t}$
Ecuación 25. Consumo específico de combustible (Kg/Kwh)	$Gpe = \frac{B \times 3600}{Ne}$

Fuente: (Jóvaj, 1982)

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA MPFI

3.1 Equipo tecnológico para la investigación.

MicroSquirt

[Diyautotune, 2018]. La unidad de control electrónico viene completamente ensamblada, la cual posee varias aplicaciones para la programación de vehículos convencionales y de competición. Su utilización va desde motores de un solo cilindro hasta motores con 8 cilindros, con uso de dos combustibles y cuatro salidas de chispa. Posee más de 40 modos de encendido diferentes, compatible con aplicaciones convencionales como GM LS1, Ford Zetec, Bosch Motronic y Chrysler Gen III Hemis para modos inusuales como Renix Jeep y Suzuki Swift GTI en la figura 33 y tabla 11 se puede observar una ECU MicroSquirt V3.



Figura 33. Microsquirt V3

Tabla 11.

Características técnicas de la computadora MicroSquirt V3.

Características Generales	<ul style="list-style-type: none"> • Conexión mediante RS232. • Conector incluido. Cableado opcional • Carga en Speed Density (sensor MAP), Alpha-n (posición de acelerador), MAF (Caudalímetro) o mezclas entre ellas • 2 salidas de inyección. • 1 salidas de encendido para bobinas normales. • Sensor MAP incluido de 2,6 bares (0 a 1,6 bares) • Control de presión de Turbo, mapa de 8 x 8 • Mapa 16x16 de combustible, se puede ampliar a 16x32 o 32x16 • Mapa 12 x 12 de encendido, se puede ampliar a 12 x 24 o 24 x 12 • Mapas con variaciones de 1 punto en el combustible y variaciones de 0,1º para el encendido • Combinación entre 2 mapas 16 x 16 de combustible y 2 mapas 12 x 12 de encendido en diferentes tipos de carga, alpha-n, densidad de velocidad, MAF, etc. • 4 mapas de combustible 16 x 16 para corregir las variaciones de combustible entre los cilindros • Control en lazo cerrado de mezcla aire / combustible • Control en lazo cerrado de control de presión de Turbo • Control en lazo cerrado de ralentí • Programa de ajuste de descarga gratuita • Programa de adquisición de datos de descarga gratuita • Modo de prueba para comprobar el funcionamiento de todas las salidas con el motor parado, bomba de gasolina, inyectores, bobinas, válvulas y solenoides, etc...
Características del software	<ul style="list-style-type: none"> • Admite densidad de velocidad, alfa-N (basado en TPS) o combustible basado en MAF y tablas de chispas. • Resolución de ancho de pulso del inyector de 0.66 microsegundos. • Permite mezclar múltiples tipos de carga, incluido el modo especializado para cuerpos de mariposa independientes. • Soporta una amplia variedad de sensores de posición OEM de leva y cigüeñal. • Velocidad de ralentí cerrada o abierta y control de refuerzo. Control nitroso de encendido / apagado • 16 x 16 tablas de combustible y chispa • Corrección barométrica en tiempo real (se requiere sensor externo). • Control de cambio de desplazamiento secuencial y control de cambio de aire.
Control de transmisión MicroSquirt	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de control: GM 4L60E GM 4L80E GM 4T40E GM 5L40E (dev) A341E 41TE (dev) Ford 4R70W Ford E40D (dev) Subaru W4A33

Fuente: [Diyautotune, 2018]

Dinamómetro

El banco de pruebas empleado es DYNO-mite Dynamometer, el cual permite realizar pruebas de verificación del estado del motor en todo tipo de vehículos, en las que se puede optimizar el rendimiento, fuerza, velocidad, torque y potencia; así como también permite identificar fallas y problemas que en algunos casos son difíciles de detectar como se observa en la figura 34. En la tabla 12 se pueden ver sus principales características.



Figura 34. Equipo Dyno-mite dynamometer

Tabla 12.

Características técnicas del DYNO-mite Dynamometer.

Dimensiones y peso aproximados	
Soporte y amortiguador de motor móvil	31 "An. X 77" L x 52 "Alt. (Menos consola)
Peso	315 lbs (típico - menos consola)
Estación de acoplamiento	43 "An. X 92" An. X 80 "Alt.
Peso	850 lbs
Consola "Pro"	31 "An. X 31" P x 43 "Alt.
Peso	128 lbs (con computadora)
Computadora de Adquisición de Datos DYNO-mite	
Sistema de placa expansible de montaje en superficie	120 voltios, 60 Hz, 240 voltios, 50 Hz o 12 voltios de CC
Computadora	Profesional - 28, 56 o 112 canales Portátil – 28 canales
Software	DYNO-MAX
Memoria de configuración	No volátil
Capacidad de Hp, Torque y RPM	
Hp	De 15 a 800 (estándar - rotor individual)
Opciones de Hp	De 1 a más de 10,000
Opciones de par	De 2 a más de 5,000 lb-ft
RPM	De 1,000 a más de 10,000 (estándar) – absorción opcional a más de 20,000

Fuente: (DYNO-mite Dynamometer, 2017)

Analizador de gases

Se utilizó un equipo de marca MGT 5, que se refiere a un analizador de emisiones de 4/5 gases para motores de gasolina, con el que se analiza emisiones de HC, CO, CO₂, O₂ con cálculo del valor Lambda. En la tabla 13 se detallan sus especificaciones técnicas.



Figura 35. Analizador de gases MGT 5

Tabla 13.

Especificaciones técnicas del analizador de gases MGT 5.

Gases mesurables	HC, CO, CO ₂ , O ₂ , NO (Option)
Principio de medición infrarrojo	espectrometría de HC, CO, CO ₂
Principio de medición electroquímica	detección O ₂ , NO
La presión de trabajo	0.75 bar - 1.1 bar
Tensión de a bordo	12 V / 42 V
Alimentación de corriente	1/N/PE 85 V/285 V 50 Hz
Dimensiones totales (La x An x Al)	240 mm x 560 mm x 300 mm
Peso	10 kg
CO - Rango de medición/Exactitud de medición (máx)	0 - 15 % Vol. / 0,01
CO ₂ - Rango de medición/Exactitud de medición (máx)	0 - 20 % Vol. / 0,01
HC - Rango de medición/Exactitud de medición (máx)	0 - 9999 ppm / 0,1 (Hexan) 0 - 20000 ppm / (Propan)
O ₂ - Rango de medición/Exactitud de medición (máx)	0 - 25 % Vol. / 0,01
Lambda (calculada)	0,5 - 9,99 / 0,01
NO (Opcional) - Rango de medición/Exactitud de medición (máx)	0 - 5000 ppm / 1

Fuente: (Maschinenbau Haldenwang, 2017)

Motor J14F003885

Para la investigación se utilizó un vehículo Chevrolet Amigo, en la tabla 14 se detallan las características técnicas de su motor.

Tabla 14.

Características técnicas motor chevette.

Características básicas	Motor delantero, longitudinal, cuatro cilindros en línea, cuatro tiempos, refrigerado por agua, dos válvulas por cilindro, comando de válvulas simples a la cabeza accionada por correa dentada.
Diámetro y curso de los cilindros	82 x 66,2mm
Orden de ignición	1 – 3 – 4 – 2
Taza de compresión	7,8 : 1
Cilindrada	1398 cm^3
Potencia máxima	65 cv SAE* a 5800 rpm
Torque máximo	10,3 mkgf SAE a 3000 rpm
Alimentación	Carburador simple de flujo descendente.

Fuente: Manual de vehículo Chevette

Multímetro.

Para la toma de datos se utilizó un multímetro digital que se detalla en la tabla 15.

Tabla 15.

Características técnicas de multímetro

Funciones	Rango
Tenciones CC	200mV – 1,000V
Tensión CA	200V – 750V
Corriente CC	200mA – 10 ^a
Resistencia	200Ω - 2MΩ
Temperatura (°C)	-40°C a 1,370°C
Temperatura (°F)	-40°F a 1,999°F

Fuente: (TRUPER, 2018)




3.2 Puesta a punto del vehículo.

Para las pruebas de torque, potencia, consumo de combustible, gases fue necesario hacer un ABC al motor para que pueda dar los mejores parámetros de funcionamiento en estado original, para posterior mente poder hacer el

análisis del rendimiento a carburador y con el sistema de inyección electrónica MPFI como se observa en la tabla 16.

Tabla 16.

Procedimiento puesta a punto motor carburador

Elemento	Descripción	Foto
Cambio empaques de cabezote.	Fue necesario cambiar el empaque de culata ya que por las exigencias a las cuales estuvo sometido el motor no podía soportar debido al mal estado	
Cambio de aceite.	Se realizó un cambio preventivo de aceite para evitar complicaciones.	
Cambio de bujías y cables de bujías.	Se hizo el cambio por bujías NGK, calibradas a 0,8mm como lo indica el fabricante para este tipo de motor, y también cables de las mismas.	

CONTINÚA



Cambios de filtro de gasolina.

Se realizó el cambio de filtros de combustible de plástico, para vehículos a carburador.



Cambio de radiador.

Se cambió el radiador por uno nuevo.



Cambio de servofreno.

Se reemplazó el servofreno para garantizar seguridad a los ocupantes del vehículo.



3.3 Pruebas dinámicas de potencia y torque, consumo de combustible, análisis de gases con el vehículo a carburador.

3.3.1 Prueba de potencia y torque.

Para las pruebas en el dinamómetro se siguió un procedimiento el cual se detalla en la tabla 17.

Tabla 17.

Procedimiento de la prueba de potencia y torque.

Actividad	Descripción	Foto
Ingreso del vehículo	El vehículo fue colocado en la plataforma de pruebas.	
Ubicación del vehículo	Las ruedas traseras se posicionaron sobre los rodillos para la prueba.	
Medidas de seguridad	Con las correas sujetas en los puntos de anclaje se aseguró que el vehículo no se mueva.	
Ingreso del motor	En la computadora se ingresaron los principales datos del vehículo.	

CONTINUÍA



Calibración del vehículo	La calibración se la realizó en bajas y altas rpm.	
Conexión entre en vehículo y el banco de pruebas	El equipo de medición se conectó a la batería del vehículo, el tubo de escape, y se conectó un reloj sensor de velocidad.	
Realización de la prueba	Para la prueba el vehículo fue variando sus rpm, se realizaron tres pasadas.	

Se procedió a realizar los análisis de potencia del vehículo en condiciones estándar en el Dinamómetro, las cuales dieron los siguientes datos como se puede ver en la figura 36.

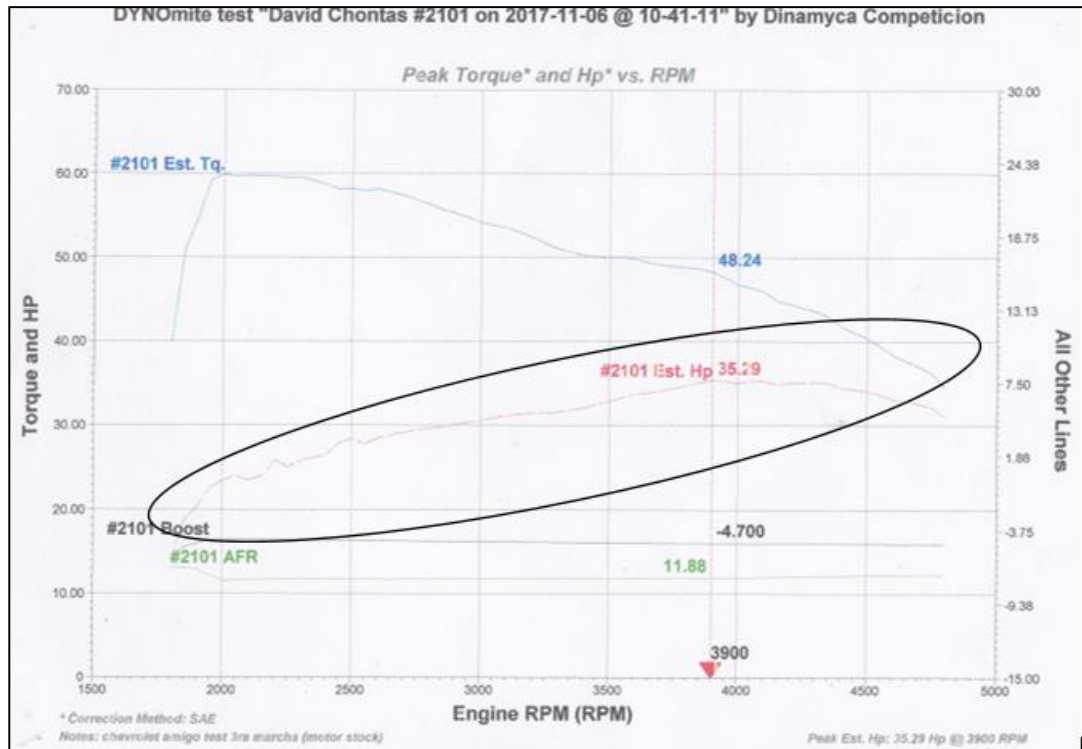


Figura 36. Curva de la potencia a carburador.

La curva muestra la potencia máxima del motor en un rango de 3900 a 4000 RPM, en este caso se pudo observar que tenía una potencia de máxima de 35,29HP en estado original.

En la figura 37 se muestra el valor de la potencia actual del motor generada por el dinamómetro en un rango de 3900 a 4000 RPM.

Dinamyca Competicion
 Pasaje Godoy E152 E Isaac Albeniz
 Quito-Ecuador
 Phone : 59322411805

DYNomite Test Run: David Chontas #2101 on 2017-11-06 @ 10-41-11
 Date: 11/6/2017
 Correction Method: SAE
 Notes: chevrolet amigo test 3ra marcha (motor stock)

RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est. Tq (ft-lb)
1800	14.10	-6.034	13.11	39.84
1900	20.33	-4.737	12.90	54.68
2000	23.51	-4.418	11.53	59.90
2100	23.53	-4.420	11.62	59.77
2200	25.75	-4.461	11.70	59.68
2300	25.69	-4.461	11.71	59.55
2400	26.41	-4.481	11.71	58.67
2500	28.38	-4.512	11.68	58.16
2600	28.39	-4.512	11.68	58.17
2700	29.08	-4.527	11.68	57.40
2800	29.59	-4.544	11.70	56.31
2900	30.08	-4.560	11.73	55.29
3000	30.48	-4.576	11.74	54.17
3100	31.12	-4.591	11.75	53.52
3200	31.41	-4.606	11.76	52.05
3300	31.55	-4.623	11.74	50.99
3400	32.01	-4.642	11.75	50.21
3500	32.81	-4.657	11.77	49.98
3600	33.67	-4.669	11.80	49.86
3700	34.07	-4.681	11.82	49.10
3800	34.78	-4.691	11.84	48.79
3900	35.29	-4.700	11.88	48.24
4000	35.04	-4.712	11.91	46.71
4100	35.27	-4.722	11.94	45.87
4200	35.03	-4.727	12.01	44.48
4300	35.14	-4.732	12.07	43.58
4400	34.43	-4.739	12.12	41.75
4500	34.05	-4.744	12.15	40.38
4600	33.07	-4.754	12.18	38.38
4700	32.55	-4.763	12.17	36.97
4800	30.99	-4.766	12.18	34.49

Figura 37. Datos de potencia de motor.

Para el análisis de Torque se estableció el dinamómetro a 5000 RPM como revoluciones máximas de corte, para obtener el torque máximo del motor de esta forma se obtuvo un torque máximo de 48,24 lf-lb a las 3900 RMP como se observa en la figura 38.

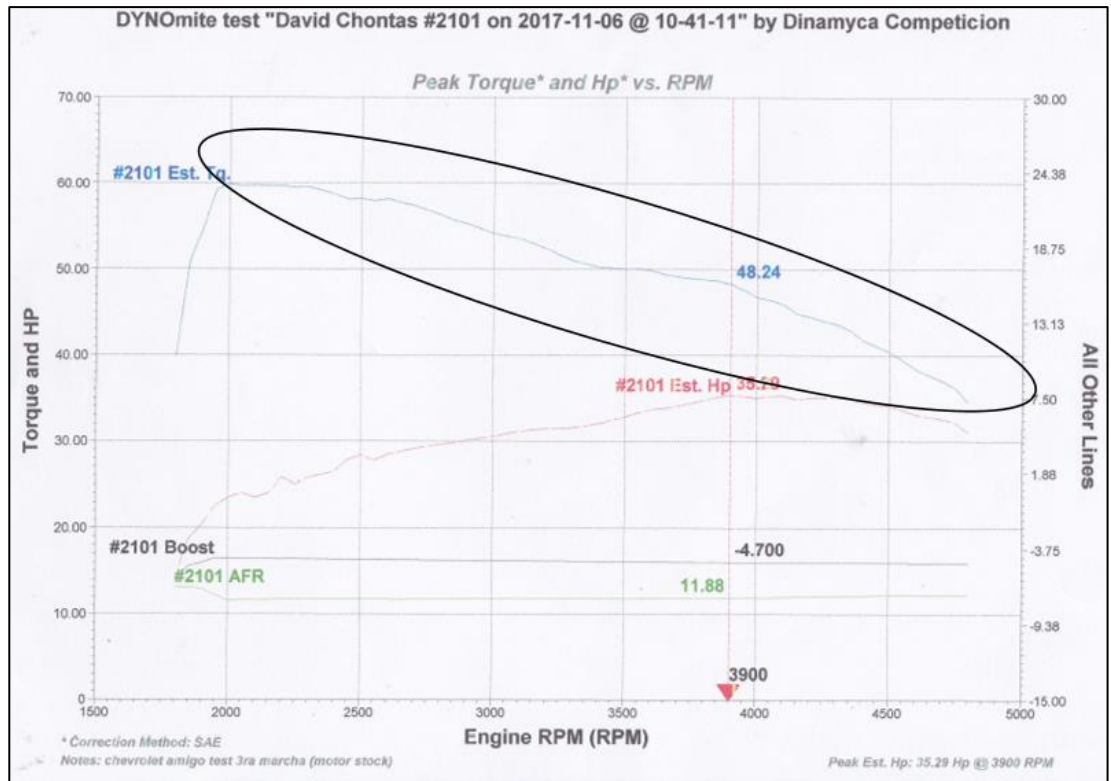


Figura 38. Curva torque de motor

Los datos especificados en la figura 39 fueron basados en la calibración del dinamómetro, y la obtención de los datos en un rango de 3900 a 4000 RPM.

Dinamyca Competicion
 Pasaje Godoy E152 E Isaac Albeniz
 Quito-ECuador
 Phone : 59322411805

DYNomite Test Run: David Chontas #2101 on 2017-11-06 @ 10-41-11
 Date: 11/6/2017
 Correction Method: SAE
 Notes: chevrolet amigo test 3ra marcha (motor stock)

RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est. Tq. (ft-lb)
1800	14.10	-6.034	13.11	39.84
1900	20.33	-4.737	12.90	54.68
2000	23.51	-4.418	11.53	59.90
2100	23.53	-4.420	11.62	59.77
2200	25.75	-4.461	11.70	59.68
2300	25.69	-4.461	11.71	59.55
2400	26.41	-4.481	11.71	58.67
2500	28.38	-4.512	11.68	58.16
2600	28.39	-4.512	11.68	58.17
2700	29.08	-4.527	11.68	57.40
2800	29.59	-4.544	11.70	56.31
2900	30.08	-4.560	11.73	55.29
3000	30.48	-4.576	11.74	54.17
3100	31.12	-4.591	11.75	53.52
3200	31.41	-4.606	11.76	52.36
3300	31.55	-4.623	11.74	50.99
3400	32.01	-4.642	11.75	50.21
3500	32.81	-4.657	11.77	49.98
3600	33.67	-4.669	11.80	49.86
3700	34.07	-4.681	11.82	49.10
3800	34.78	-4.691	11.84	48.79
3900	35.29	-4.700	11.88	48.24
4000	35.04	-4.712	11.91	45.71
4100	35.27	-4.722	11.94	45.87
4200	35.03	-4.727	12.01	44.48
4300	35.14	-4.732	12.07	43.58
4400	34.43	-4.739	12.12	41.75
4500	34.05	-4.744	12.15	40.38
4600	33.07	-4.754	12.18	38.38
4700	32.55	-4.763	12.17	36.97
4800	30.99	-4.766	12.18	34.49

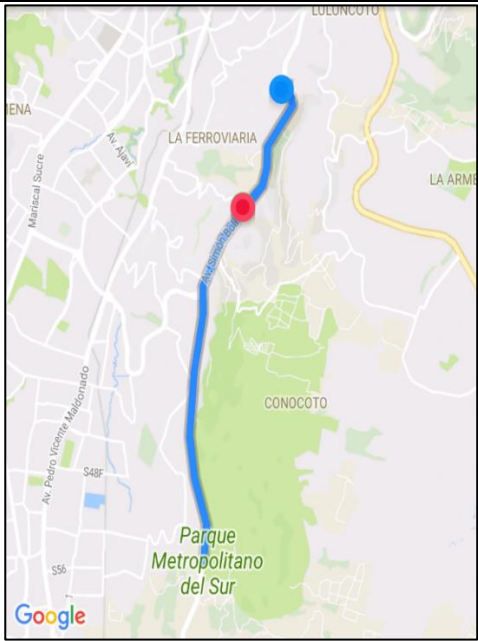

Figura 39. Datos torque de motor

3.3.2 Prueba de consumo de combustible.

Se recogió datos específicos de consumo de combustible con el motor a carburador bajo un procedimiento que se detalla en la tabla 18.

Tabla 18.

Procedimiento de la prueba de consumo de combustible.

Actividad	Descripción	Foto
Establecer el recorrido	Según la norma DIN 70 030-2 el recorrido establecido para determinar el consumo de combustible es de 10 KM. El recorrido total fue de 20 Km en dos pruebas. El punto de inicio y fin fue la gasolinera Primax, ubicada en el sector de la Argelia al sur de Quito en la Avenida Simón Bolívar.	
Puesta de combustible	El vehículo fue abastecido con 5 galones de gasolina extra en cada recorrido realizado, a 40 km/h, 60 km/h, y 80 km/h.	
Medición	El combustible sobrante al finalizar cada recorrido se lo puso en un recipiente de 3 litros de capacidad.	
Cálculos	Se aplicaron fórmulas de cambio de unidades, resta para la obtención del consumo y distancia recorrida por cada galón consumido.	$1 \text{ litro} = 0,264172 \text{ galones}$ $\text{Consumo} = 5 \text{ galones} - \text{Com. sobrante}$ $\text{Distancia (Km/gal)} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Consumo}}$ $C = \frac{1,1 \times V \times 100}{S}$

Se hizo un análisis de los resultados obtenidos para poder obtener una tabulación y distinguir los rangos de consumo que tuvo a las condiciones que fue sometido el motor como se observa en la tabla 19.

Tabla 19.

Resultados de la prueba de combustible a distintas velocidades con el vehículo a carburador.

Velocidad (Km/h)	Recorrido (Km)	Consumo (Galones)	Consumo (litros)	Distancia recorrida por cada galón consumido	Consumo de combustible según norma DIN 70 030-2 (l/100 Km)
40	20	0.41	1.55	46.58 Km/Gal	8.53
60	20	0.54	2.04	35.37 Km/Gal	11.22
80	20	0.81	3.06	23.58 Km/Gal	16.83

En la figura 40 se observa la curva de consumo que se obtuvo bajo los parámetros prescritos anteriormente.

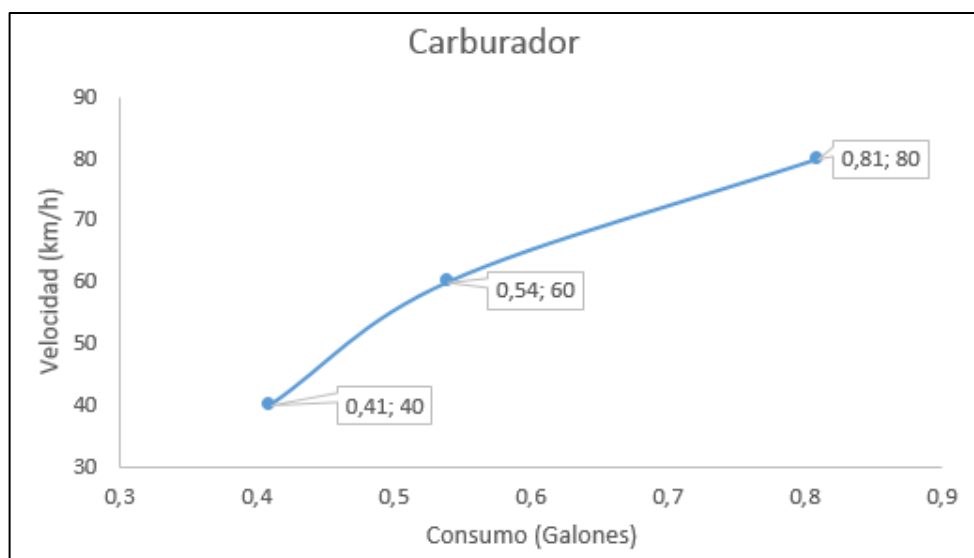


Figura 40. Línea de tendencia del consumo de combustible a carburador

3.3.3 Prueba de emisiones de gases contaminantes.

Las pruebas se realizaron para obtener datos específicos contaminantes, con el motor a carburador bajo un procedimiento que se describe en la tabla 20.

Tabla 20.

Procedimiento de la prueba de gases.

Actividad	Descripción	Foto
Ingreso del vehículo	El vehículo fue ubicado en el área establecida para la prueba de gases.	
Conexión de la sonda lambda.	Fue colocada en la salida del tubo de escape.	
Conexión de la sonda lambda al equipo.	Por medio de su cable se la acopló al banco de pruebas.	

CONTINÚA



Prueba a ralentí y en altas revoluciones.

Cuando se pone en funcionamiento el m.c.i el analizador de gases empieza a mostrar los resultados en bajas y altas rpm.



La prueba de análisis de gases se realizó en el taller Tecni Auto ubicado en la avenida Napo y Alpuhuasi, Quito, la cual siguiendo los procedimientos de ensayo descritos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización en su norma NTE INEN 2 203:2000, y regidos por los límites máximos de emisiones contaminantes, descritos en la norma NTE INEN 2 204:2002, mismos que se muestran en la tabla 21.

Tabla 21.

Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina.

Año modelo		% CO		Ppm HC		% O2	% CO2
		0 – 1500 cc	1500 – 3000 cc	0 – 1500 cc	1500 – 3000 cc	0 – 3000 cc	0 – 3000 cc
2000 posteriores	y	1,0	1,0	200	200	1	7
1990 a 1999		3,5	4,5	650	750	1	7
1989 anteriores	y	5,5	6,5	1000	1200	3	7

Fuente: NTE INEN 2 204:2002

Se procedió a realizar el análisis correspondiente de acuerdo al año y cilindraje del vehículo. Los resultados obtenidos, mostrados en las figuras 41 y 42, nos demuestran que el motor modelo J14E003885 del año 1982 excede los límites máximos establecidos en la norma NTE INEN 2 204:2002, puesto que el nivel de CO, de 6.78 %, está por encima del nivel máximo establecido, que por norma es de 5.5 %. En el análisis de hidrocarburos (HC) se observa que de igual manera las partículas por millón (ppm) superan en gran cantidad a las establecidas como máximas en la norma, habiendo una diferencia de

5480 ppm. De igual forma ocurre con el nivel de oxígeno, que se encuentra en 9.76 % excediendo el límite establecido de 3 %.

Estos resultados son obtenidos con el vehículo en ralentí, pero de igual manera al realizar la prueba a altas revoluciones, 2500 rpm, observamos como el vehículo continúa superando los límites máximos de emisiones permitidos.



Figura 41. Prueba de gases contaminantes en ralentí



Figura 42. Prueba de gases contaminantes en altas revoluciones, 2500 rpm

Los resultados de la prueba de gases contaminantes cuando el motor J14E003885 del año 1982 se encuentra a carburador se pueden observar en la tabla 22.

Tabla 22.

Emisiones de gases contaminantes a carburador en ralentí y altas revoluciones.


	CO %	HC ppm	O2 %	Lambda λ	CO2 %	CO_corr %
Ralentí	3,78	6480	9,76	0,964	3,7	9,70
Altas revoluciones, 2500 rpm	9,07	3400	3,85	0,806	8,4	9,07

3.4 Implementación del sistema de inyección multipunto.

Para implementar cada elemento fue necesario seguir un procedimiento que permitió ver espacios y factibilidad económica en todo el proyecto como se describe en la tabla 23.

Tabla 23.

Implementación de sus componentes.

Elemento	Ubicación	Foto
MicroSquirt	La computadora se la instaló en la parte inferior izquierda del habitáculo, debajo del volante.	

CONTINÚA



Bobinas

La bobina de encendido se instaló en la parte superior del habitáculo del motor a lado de la batería



Sensor TPS

El sensor de posición viene acoplado en el eje de la mariposa del cuerpo de aceleración



Sensor MAP

Se lo ubicó detrás del colector de admisión, sujeto en la carrocería del vehículo.







Sensor ECT

Acoplado en la entrada de la guía del circuito refrigerante del motor.





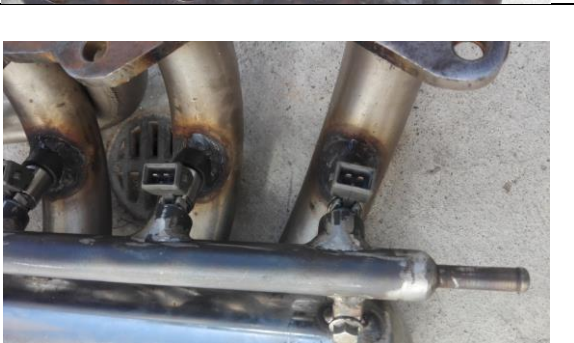

CONTINÚA



Sensor IAT	Fue situado cerca del múltiple de admisión, próximo al filtro de aire.	
Sensor CKP	Se la instaló cerca de la rueda fónica, con dirección a la posición de los dientes de la misma.	
Rueda Fónica	Se la colocó en la salida externa del cigüeñal.	
Cuerpo de Aceleración	Fue acoplado en la toma de ingreso de aire del múltiple de admisión.	

CONTINÚA




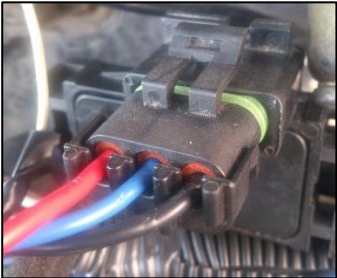


Múltiple de Admisión	Con la ayuda de unos pernos se lo unió a la culata del motor, en la entrada de los cilindros.	
Riel de inyectores	Fue situado por encima de los tubos del múltiple de admisión, perpendicular a los agujeros de los inyectores.	
Inyectores	Colocados en la riel de inyectores. En los tubos del múltiple de admisión se realizó una perforación en donde ingresa la tobera del inyector.	
Bomba de combustible	Fue adaptado en el interior del tanque de combustible.	

3.5 Características de los sensores.

Se tomaron valores de voltajes de cada sensor y cada una de sus características como se muestra en la tabla 24.

Tabla 24.

Característica de sensores

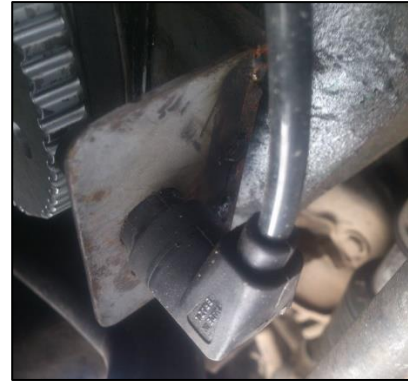
Sensor	Cables y colores	Valores	Imagen
TPS	3 cables Negro/negro/negro	Vref: 5V Vseñal: 3,64V – 1.57V	
MAP	3 cables Rojo/Azul/Negro	Vref: 5V Vseñal: 0.10V – 3.51V	
ECT	2 cables Negro/negro	Vref: 5V Vseñal: 1.7V – 1.5V	
IAT	2 cables Negro/negro	Vref: 5V Vseñal: 2.34V – 2.42V	

CONTINÚA



CKP 2 cables
 Amarillo
 Verde

Vseñal: 1.23
 Vref:0.02



3.6 Pruebas dinámicas de potencia y torque, consumo de combustible, análisis de gases con el vehículo a inyección.

3.6.1 Resultados de las pruebas de potencia y torque.

La prueba se realizó en un rango de rpm, de 2000 a 4900, en la cual el valor máximo de potencia alcanzado fue de 49.67 Hp a 4200 rpm. El valor de la curva de potencia a inyección y su valor máximo alcanzado se lo observa en la figura 43.

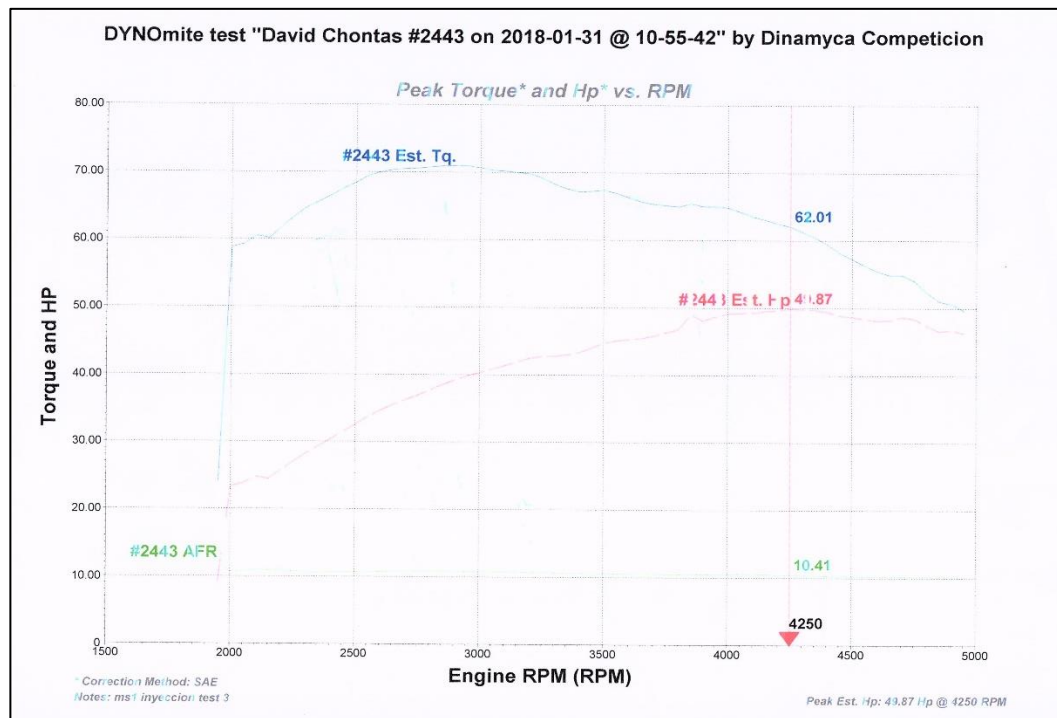


Figura 43. Potencia de motor con sistema MPFI

Al observar la variación de las curvas de torque y potencia, figura 44, entre el sistema de carburador e inyección se comprueba que la adaptación de un sistema de inyección multipunto proporciona un incremento en el torque y potencia del vehículo.

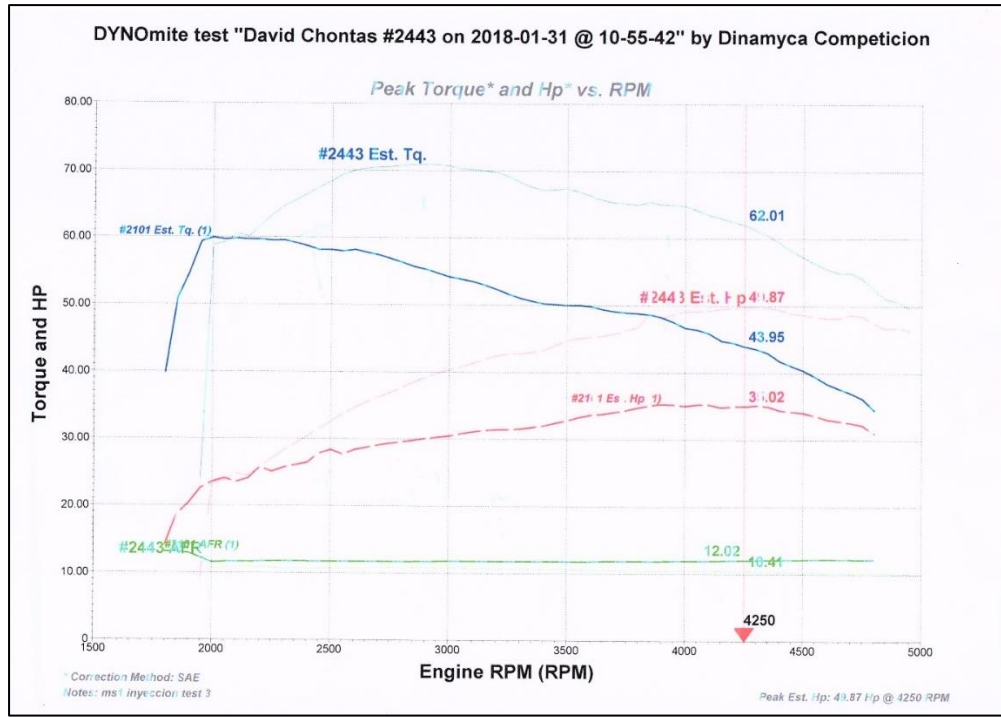


Figura 44. Curvas antes y después de implementación de sistema MPFI.

Los resultados del torque alcanzado se dan en un rango de 2000 a 4900 rpm, siendo 62.47 ft-lb el valor de mayor aprovechamiento a 4200 rpm. La curva de variación del torque a distintas revoluciones se la observa en la figura 45.

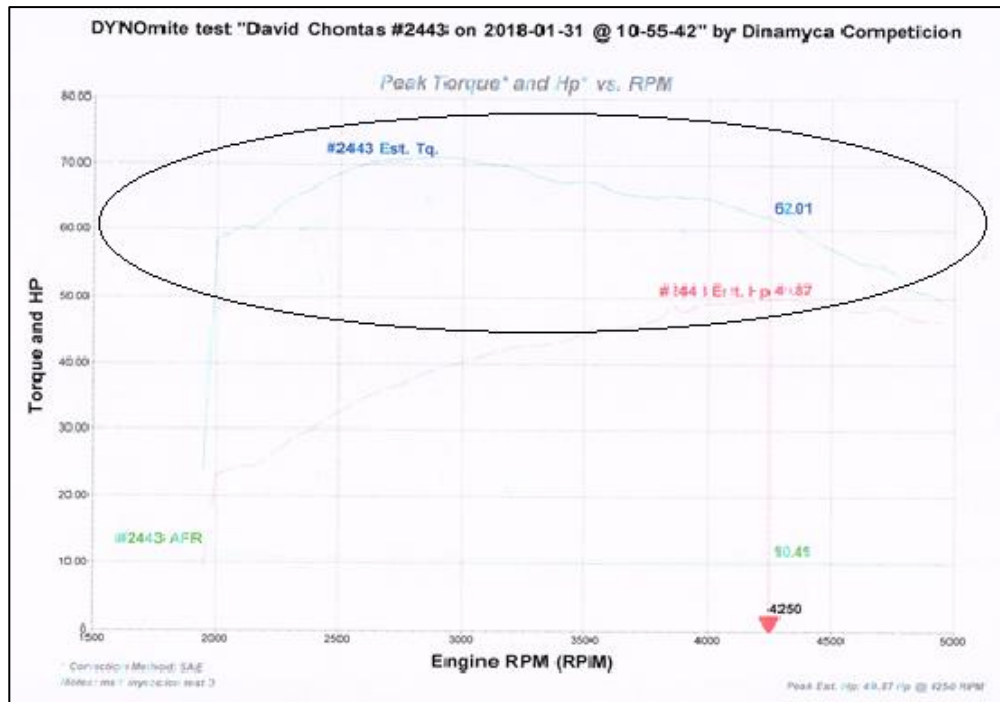


Figura 45. Curva de torque con sistema MPFI

En la figura 46 se detallan todos los resultados obtenidos, potencia y torque, de la prueba realizada en el dinamómetro, en ella se observan los mayores valores obtenidos y de mayor aprovechamiento.

Dinamyca Competicion			
Pasaje Godoy E152 E Isaac Albeniz			
Quito-ECuador			
Phone : 59322411805			
DYNomite Test Run: <i>David Chontas #2443 on 2018-01-31 @ 10-55-42</i>			
Date: <i>1/31/2018</i>			
Correction Method: <i>SAE</i>			
Notes: <i>ms1 inyeccion test 3</i>			
RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	AFR (A/F)	Est. Tq. (ft-lb)
2000	23.29	10.69	58.77
2100	24.74	10.93	60.50
2200	25.75	10.85	61.78
2300	28.24	10.63	64.68
2400	30.34	10.63	66.53
2500	32.52	10.67	68.39
2600	34.66	10.73	70.01
2700	36.25	10.80	70.50
2800	37.70	10.84	70.73
2900	39.17	10.81	70.97
3000	40.31	10.79	70.62
3100	41.34	10.76	70.12
3200	42.43	10.70	69.75
3300	42.76	10.67	68.22
3400	43.31	10.62	67.13
3500	44.75	10.57	67.38
3600	45.26	10.54	66.28
3700	45.80	10.50	65.31
3800	46.79	10.47	64.96
3900	48.04	10.47	65.00
4000	49.12	10.51	64.81
4100	49.29	10.50	63.49
4200	49.67	10.43	62.47
4300	49.81	10.38	61.24
4400	49.40	10.31	59.39
4500	48.65	10.24	57.24
4600	48.14	10.20	55.44
4700	48.68	10.17	54.89
4800	47.36	10.17	52.32
4900	46.75	10.12	50.62

Figura 46. Parámetros de prueba.

3.6.2 Resultados de la prueba de consumo de combustible con el motor a inyección.

Los resultados de la prueba a las velocidades de 40 km/h, 60 km/h, y 80 km/h. se lo detallan en la tabla 25.

Tabla 25.

Resultados de la prueba de combustible a distintas velocidades con el vehículo a inyección.

Velocidad (Km/h)	Recorrido (Km)	Consumo (Galones)	Consumo (litros)	Distancia recorrida por cada galón consumido	Consumo de combustible según norma DIN 70 030-2 (l/100 Km)
40	20	0.19	0.74	102.95 Km/Gal	4.04
60	20	0.38	1.44	52.74 Km/Gal	7.89
80	20	0.56	2.14	35.45 Km/Gal	11.74

La curva del consumo de combustible en función de la velocidad con el vehículo a inyección se observa en la figura 47.

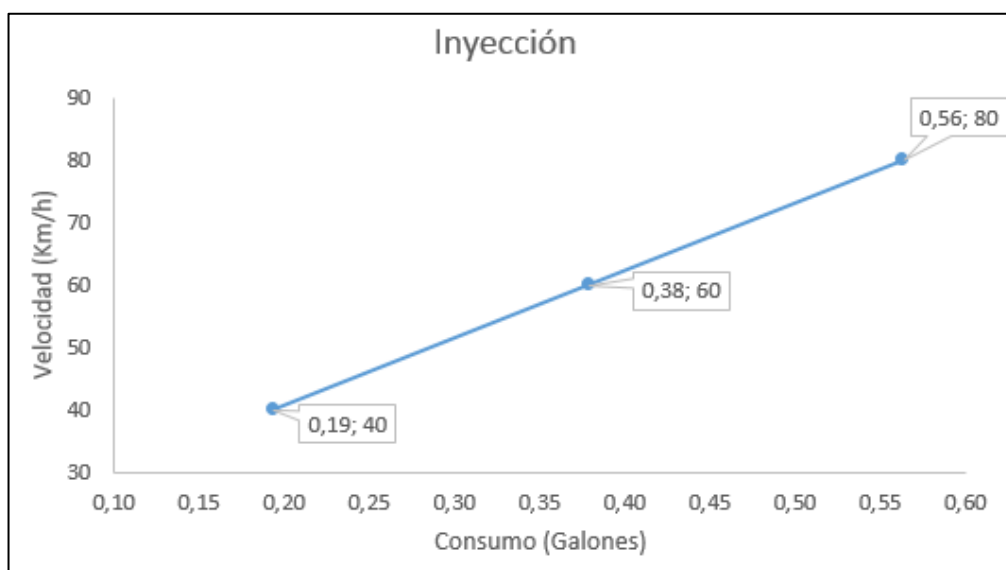


Figura 47. Línea de tendencia del consumo de combustible con el vehículo a inyección.

3.6.3 Resultados de la prueba de emisiones de gases.

Se hizo la medición de gases ya con el sistema de inyección electrónica MPFI para observar la reducción de los mismos, los resultados de la prueba se muestran en la tabla 26.

Tabla 26.

Prueba de gases contaminantes en ralentí y altas revoluciones

Revoluciones	Foto
Ralentí, 1000 rpm	

CONTINÚA



Altas revoluciones
Rango: 4000 a 5000 rpm



Una vez realizada la prueba de gases, a las rpm indicadas se obtuvo los siguientes valores que se puede observar en la tabla 27.

Tabla 27.

Emisiones de gases contaminantes a inyección en ralentí y altas revoluciones.

	CO %	HC ppm	O2 %	Lambda λ	CO2 %	CO_corr %
Ralentí	6,27	288	1,38	0,874	10,06	6,27
Altas revoluciones, 5000 rpm	9,34	281	0,30	0,759	9,2	9,34

En las figuras 48 y 49 respectivamente se observa gráficamente los parámetros de CO y CO₂, HC ppm y Lambda en que se obtuvo tras la implementación del sistema MPFI.

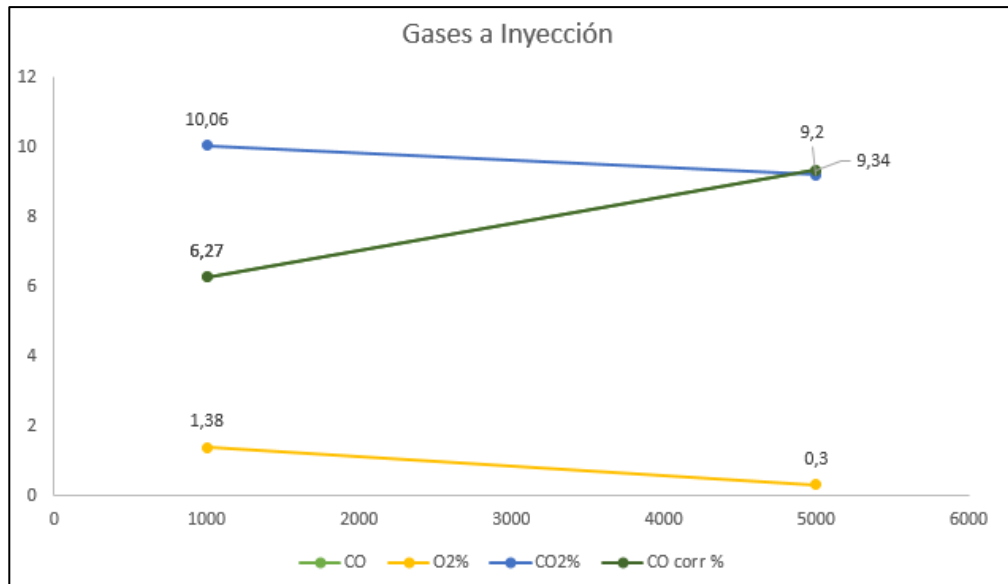


Figura 48. Gases contaminantes con el sistema de inyección

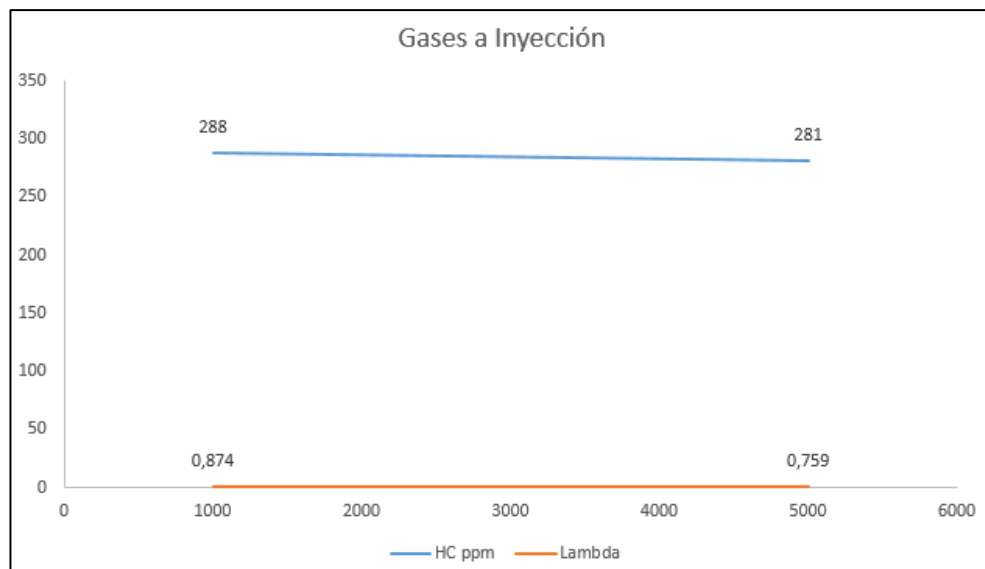


Figura 49. Parámetros de HC ppm y Lambda inyección.

CAPÍTULO IV

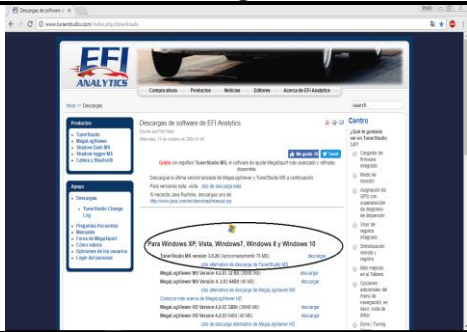
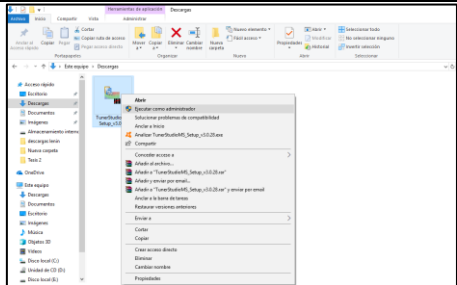

4. REPROGRAMACIÓN DE LA UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICA

4.1 Procedimiento de instalación del software

Para la instalación del software que se utilizó, se ejecutó el siguiente procedimiento como se observa a continuación en la tabla 28.

Tabla 28.

Procedimiento de instalación de software.

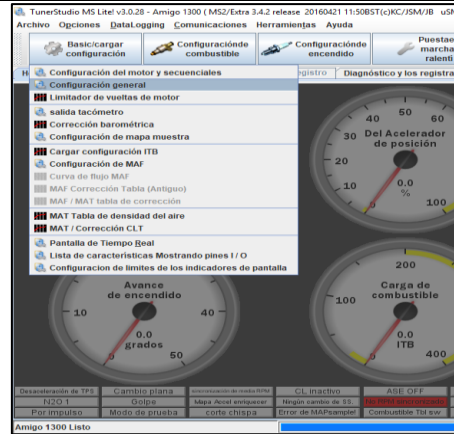
Procedimiento	Descripción	Imagen
Descargar software (TunerStudio MS)	Al ser un software de libre descarga se procedió a descargar de la página Efi analytics	
Instalación del software	Se procedió a instalar el software ejecutando el instalador descargado.	
Conexión de laptop con ECU.	Se tiene que conectar una laptop con la computadora megasquirt, por medio de un cable DB9 a USB, verificar que la ECU este energizada.	
Abrir nuevo proyecto en TunerStudio MS	Una vez instalado el software se procedió abrir el programa y hacer el reconocimiento por medio de la conexión de la ECU generando un nuevo proyecto en la opción que nos presenta el programa.	

CONTINÚA



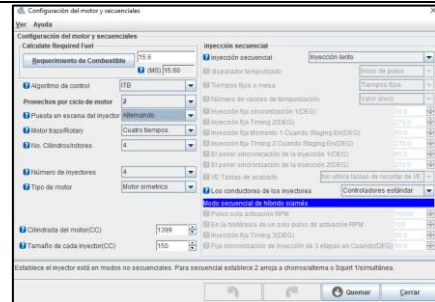
Configuración de datos de motor.

Se configuro los datos del motor, en función de los elementos instalados, en la opción (Basic/cargar configuración/Configuración general)



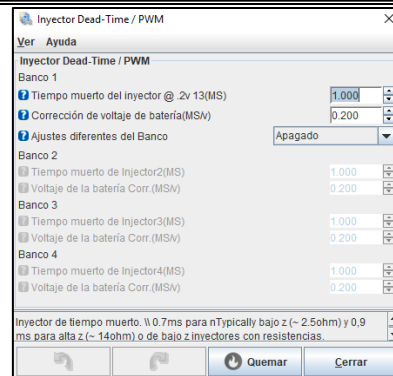
Cargar datos

Se seteo los datos del motor que en este caso es un motor de 4 cilindros de 1400cc, con un sistema de inyección alternado y con un sensor MAP de 450Kpa.



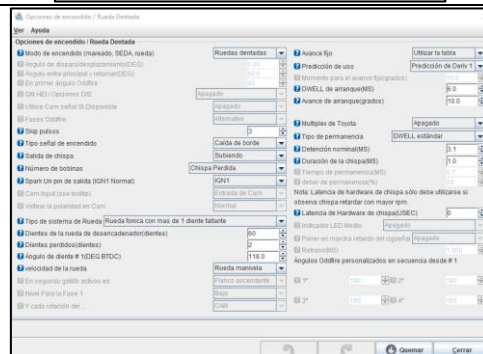
Parámetros de inyección

Se seteo los parámetros de inyección en función de los inyectores utilizados



Configuración de rueda fónica

Se configuro la rueda fónica utilizada en este caso de un Chevrolet aveo de 60 dientes menos 2 con un ángulo de diente de 118°



4.2 Primer mapeo de la computadora.

El primer mapeo se realizó en carretera seteando los mapas de combustible, Afr, y encendido como se detalla en la tabla 29.

Tabla 29.

Primera reprogramación

Mapa	Descripción	imagen
Combustible	Se detalla la carga de combustible en un 53%, óptimo para el motor	
AFR	Bajo la reprogramación realizada en carretera se consiguió un mapa de 35% de AFR, que brinda un buen desempeño para el motor	
Encendido	Se buscó generar un mapa con un alto índice de potencia que brinde un buen desempeño para el motor.	

4.2.1 Resultados de las pruebas de potencia y torque

Luego de realizar el primer mapeo, y tras someter el vehículo a las pruebas de potencia y torque; los resultados obtenidos, en un rango de 1800 a 5800 rpm, muestran que el mayor valor de aprovechamiento de la potencia y torque se da a las 3800 rpm donde la potencia obtenida es de 53.13 Hp y con un torque de 73,42 ft-lb.

En la figura 50 se detallan todos los valores obtenidos en la prueba de potencia y torque en función de las rpm.

RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est. Tq. (ft-lb)
1800	8.443	-4.097	11.37	24.06
1900	23.12	-4.096	11.74	61.37
2000	23.16	-4.096	11.95	60.82
2100	25.34	-4.095	12.47	63.38
2200	26.91	-4.095	12.35	64.25
2300	28.28	-4.095	11.98	64.57
2400	30.03	-4.096	12.12	65.71
2500	32.09	-4.098	12.52	67.42
2600	33.91	-4.099	12.83	68.48
2700	35.75	-4.102	12.97	69.54
2800	37.80	-4.104	12.98	70.90
2900	39.42	-4.104	12.95	71.40
3000	40.93	-4.104	12.89	71.65
3100	42.74	-4.104	12.80	72.41
3200	44.68	-4.104	12.72	73.33
3300	46.59	-4.104	12.60	74.15
3400	48.16	-4.104	12.52	74.39
3500	49.38	-4.104	12.49	74.11
3600	50.87	-4.104	12.48	74.23
3700	52.27	-4.104	12.45	74.18
3800	53.13	-4.104	12.35	73.42
3900	54.09	-4.104	12.25	72.84
4000	55.00	-4.104	12.20	72.21
4100	55.71	-4.104	12.21	71.36
4200	56.45	-4.104	12.19	70.58
4300	56.81	-4.104	12.10	69.41
4400	56.75	-4.105	12.02	67.79
4500	57.20	-4.104	11.94	66.86
4600	57.53	-4.104	11.92	65.81
4700	57.89	-4.104	11.98	64.84
4800	58.10	-4.104	12.02	63.76
4900	57.88	-4.105	12.14	62.26
5000	58.18	-4.104	12.31	61.36
5100	58.39	-4.104	12.45	60.40
5200	58.05	-4.104	12.49	58.93
5300	58.01	-4.104	12.45	57.80
5400	57.47	-4.104	12.37	56.23
5500	56.94	-4.104	12.36	54.73
5600	56.29	-4.104	12.37	53.17
5700	55.45	-4.105	12.42	51.49
5800	53.85	-4.104	12.60	49.18

Figura 50. Resultados de potencia y torque con el primer mapeo

La curva de tendencia de la potencia y torque se observa en la figura 51.

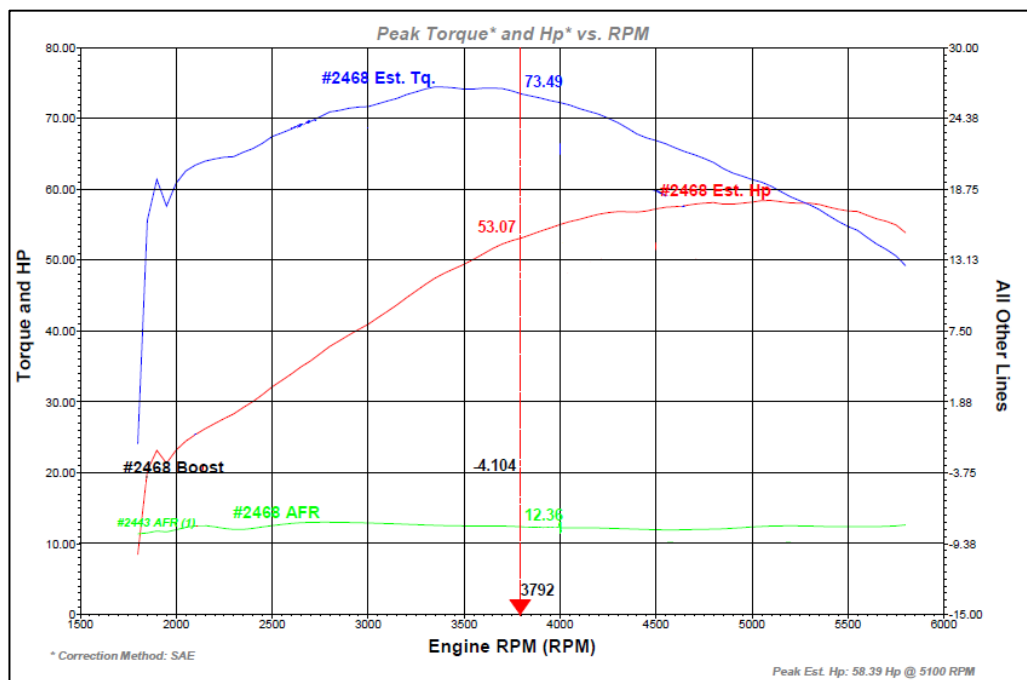


Figura 51. Curvas de potencia y torque con el primer mapeo

4.2.2 Resultados de las pruebas de consumo de combustible

Los resultados de la prueba a las velocidades de 40 km/h, 60 km/h, y 80 km/h con el primer mapeo de la computadora se lo detallan en la tabla 30.

Tabla 30.

Resultados de la prueba de combustible a distintas velocidades con el primer mapeo.

Velocidad (Km/h)	Recorrido (Km)	Consumo (Galones)	Consumo (litros)	Distancia recorrida por cada galón consumido	Consumo de combustible según norma DIN 70 030-2 (l/100 Km)
40	20	0.08	0.29	265.26 Km/Gal	1.57
60	20	0.26	0.99	76.83 Km/Gal	5.42
80	20	0.45	1.69	44.92 Km/Gal	9.27

La curva del consumo de combustible en función de la velocidad con el primer mapeo se observa en la figura 52.

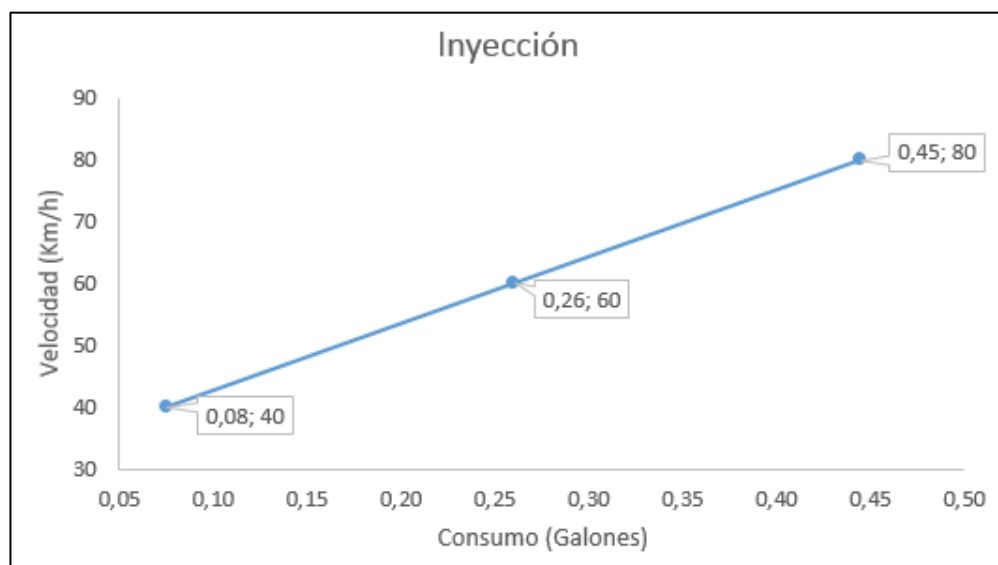


Figura 52. Línea de tendencia del consumo de combustible con el primer mapeo.

4.2.3 Resultados de las pruebas de emisiones de gases contaminantes.

Se hizo la medición de gases con el primer mapeo de la computadora, los resultados de la prueba se muestran en la tabla 31.

Tabla 31.

Emisiones de gases contaminantes con el primer mapeo en ralentí y altas revoluciones.

	CO %	HC ppm	O2 %	Lambda λ	CO2 %	CO_corr %
Ralentí	6,98	284	1,42	0,88	10,7	6,09
Altas revoluciones, 5000 rpm	5,61	356	1,25	0,883	11	5,61

En las figuras 53 y 54 se observan gráficamente los parámetros de CO y CO₂, HC ppm y Lambda en que se obtuvo tras la implementación del sistema MPFI.

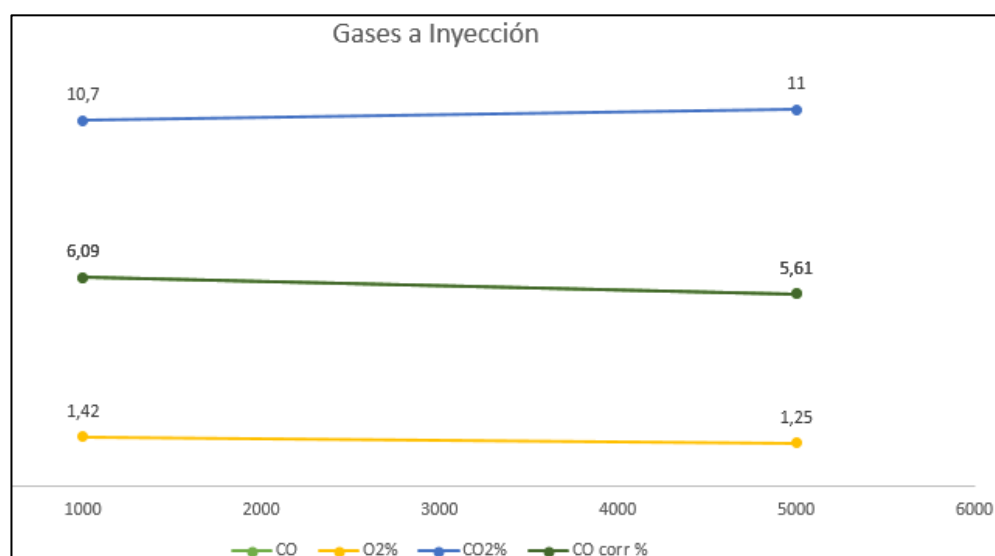


Figura 53. Gases contaminantes con el primer mapeo.

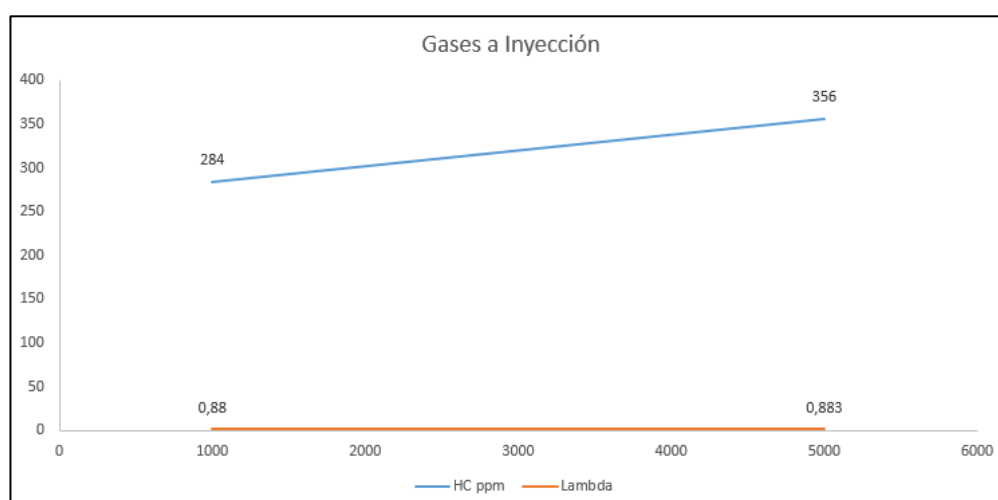


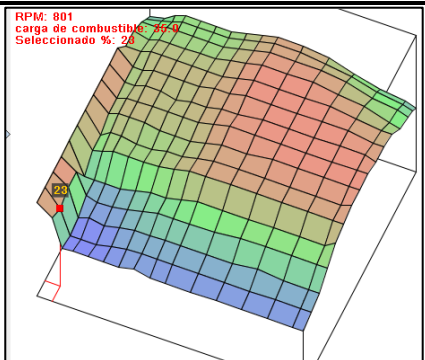
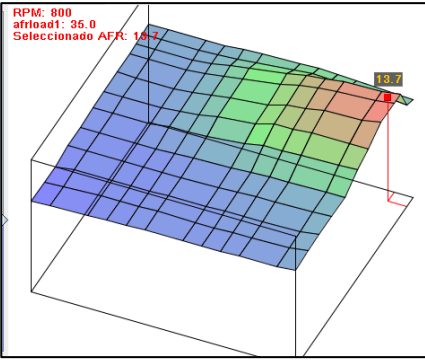
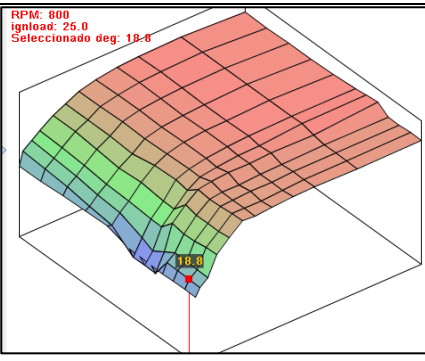
Figura 54. Parámetros de HC ppm y Lambda con el primero mapeo.

4.3 Segundo mapeo de la computadora.

Se buscó conseguir una mejor eficiencia del motor, mejorando los mapas que se detallan en la tabla 32, aumentando en 25° el avance al encendido, se consiguió una notable mejora sin embargo con esta programación se tuvo un incremento en el consumo de combustible en comparación a las otras programaciones realizadas.

Tabla 32

Segunda reprogramación

Mapa	Descripción	imagen
Combustible	Se detalla la carga de combustible elevada en función de la potencia requerida.	
AFR	Se destaca un flujo de aire de 15.9 óptimo para el motor.	
Encendido	El mapa destaca un índice aceptable para el desempeño del motor.	

4.3.1 Resultados de las pruebas de potencia y torque

Se obtuvieron resultados del segundo mapeo en un rango de 1800 a 5200 RPM en el dinamómetro deajo ver que a las 3800 RPM se obtuvo una potencia de 46.06 HP y un torque de 63.81 ft – lb, como se observa en la figura 55.

RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est. Tq. (ft-lb)
1800				
1900				
2000				
2100	10.32	-4.128	12.03	25.30
2200	24.39	-4.127	10.82	57.20
2300	25.54	-4.127	10.86	58.51
2400	27.96	-4.127	10.70	61.27
2500	30.06	-4.128	10.61	63.14
2600	32.11	-4.127	10.66	64.85
2700	34.25	-4.127	10.69	66.62
2800	35.95	-4.127	10.77	67.42
2900	37.35	-4.127	10.83	67.63
3000	38.84	-4.127	10.83	68.00
3100	40.21	-4.127	10.81	68.12
3200	41.16	-4.126	10.79	67.55
3300	42.25	-4.126	10.74	67.23
3400	43.27	-4.127	10.69	66.84
3500	43.52	-4.127	10.66	65.35
3600	44.17	-4.127	10.62	64.55
3700	45.57	-4.127	10.57	64.80
3800	46.06	-4.127	10.54	63.81
3900	46.60	-4.127	10.50	62.92
4000	47.57	-4.127	10.47	62.65
4100	48.73	-4.127	10.46	62.63
4200	49.92	-4.128	10.50	62.64
4300	50.23	-4.128	10.51	61.61
4400	50.62	-4.128	10.45	60.69
4500	50.98	-4.128	10.40	59.80
4600	50.81	-4.128	10.35	58.33
4700	50.05	-4.128	10.28	56.29
4800	49.58	-4.128	10.22	54.63
4900	49.35	-4.128	10.19	53.30
5000	49.94	-4.128	10.18	52.87
5100	48.17	-4.128	10.16	50.05
5200	47.97	-4.127	10.11	48.90

Figura 55. Datos de torque y potencia con el segundo mapeo.

Los resultados obtenidos en el dinamómetro con el segundo mapeo como se observa en la figura 56 no fueron muy relevantes en comparación con el primero, puesto que se obtuvo el mayor rendimiento del motor con el primer mapeo

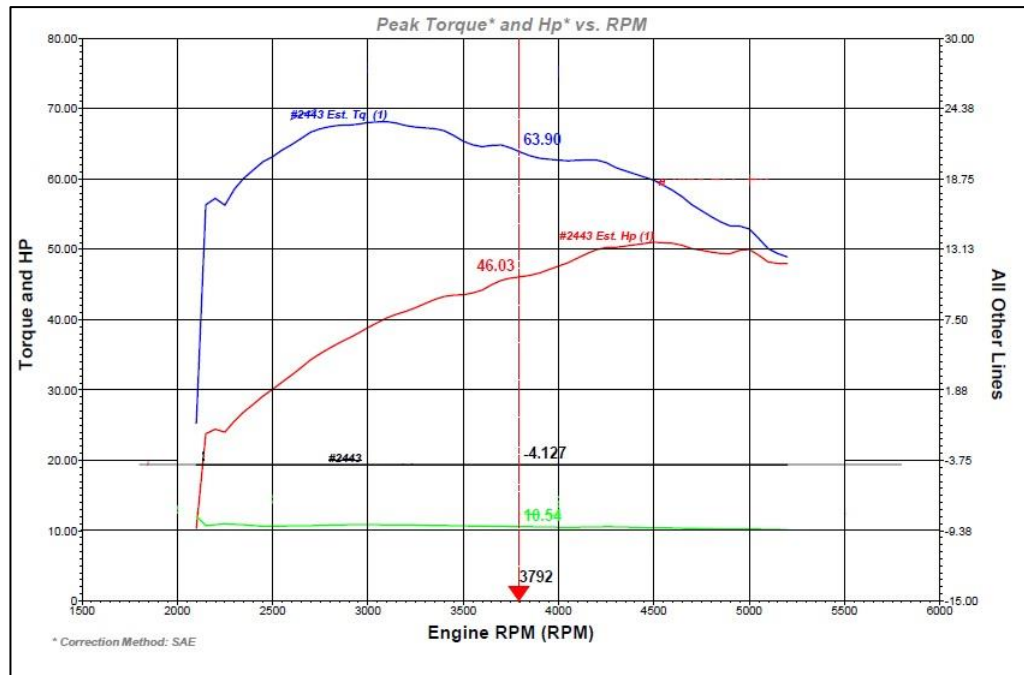


Figura 56. Curvas de torque y potencia con el segundo mapeo.

4.3.2 Resultados de las pruebas de consumo de combustible

Los resultados de la prueba a las velocidades de 40 km/h, 60 km/h, y 80 km/h con el segundo mapeo de la computadora se lo detallan en la tabla 33.

Tabla 33.

Resultados de la prueba de combustible a distintas velocidades con el segundo mapeo.

Velocidad (Km/h)	Recorrido (Km)	Consumo (Galones)	Consumo (litros)	Distancia recorrida por cada galón consumido	Consumo de combustible según norma DIN 70 030-2 (l/100 Km)
40	20	0.13	0.49	155.97 Km/Gal	2.67
60	20	0.31	1.19	63.87 Km/Gal	6.52
80	20	0.50	1.89	40.15 Km/Gal	10.37

La curva del consumo de combustible en función de la velocidad con el segundo mapeo se observa en la figura 57.

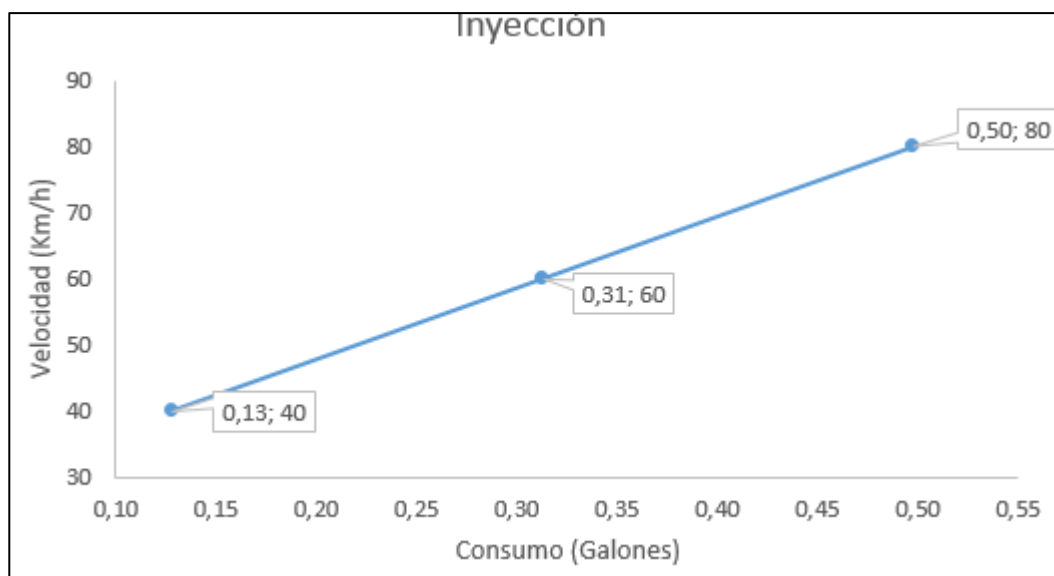


Figura 57. Línea de tendencia del consumo de combustible con el segundo mapeo

4.3.3 Resultados de las pruebas de emisiones de gases contaminantes.

Se hizo la medición de gases con el segundo mapeo de la computadora, los resultados de la prueba se muestran en la tabla 34.

Tabla 34.

Emisiones de gases contaminantes con el segundo mapeo en ralentí y altas revoluciones.

	CO %	HC ppm	O2 %	Lambda λ	CO2 %	CO_corr %
Ralentí	6,48	275	1,74	0,882	10,4	6,48
Altas revoluciones, 5000 rpm	8,77	402	1,29	0,805	9,4	8,77

En las figuras 58 y 59 se observan gráficamente los parámetros de CO y CO₂, HC ppm y Lambda en que se obtuvo tras la implementación del sistema MPFI.

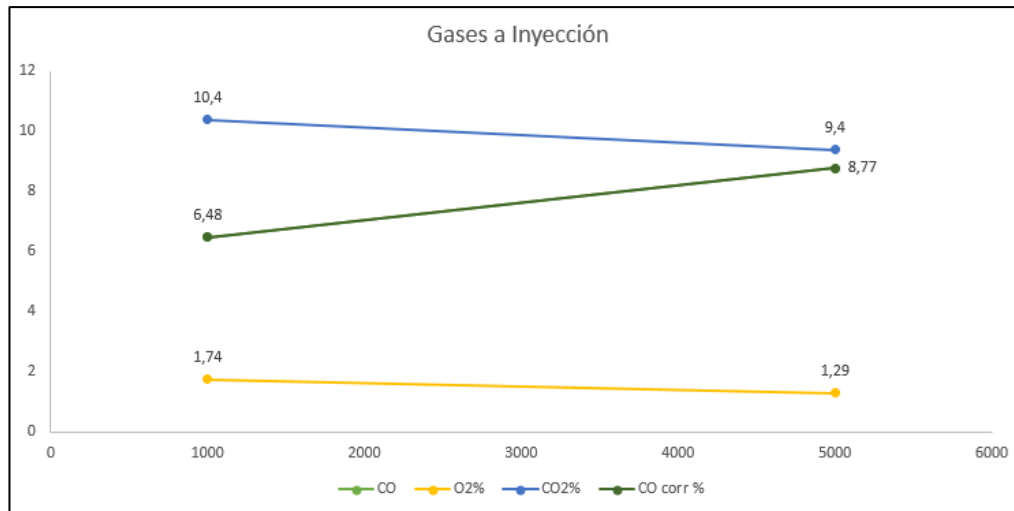


Figura 58. Gases contaminantes con el segundo mapeo.

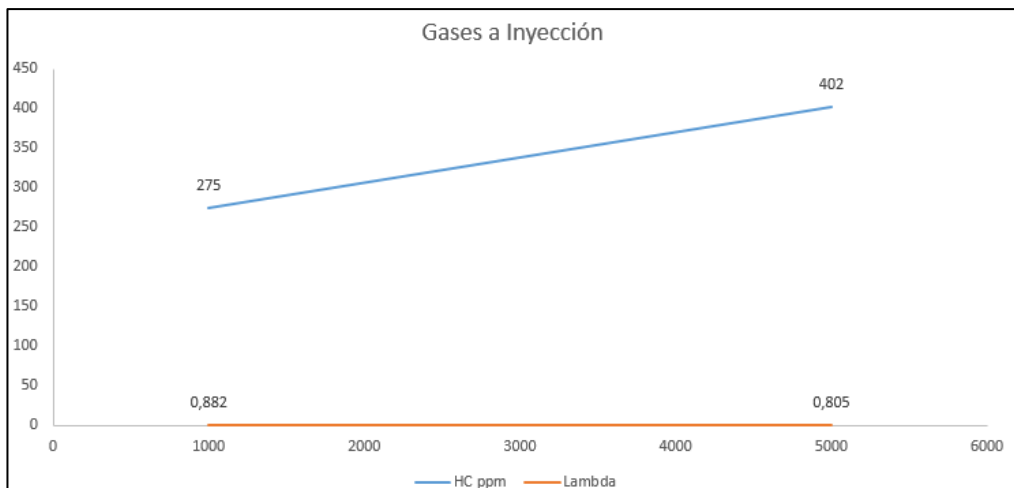


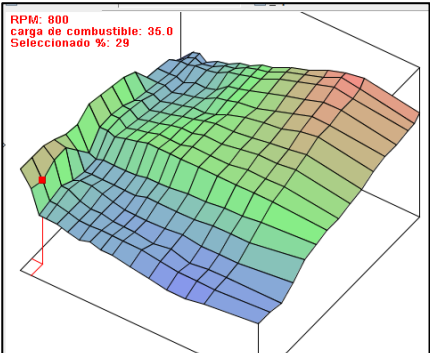
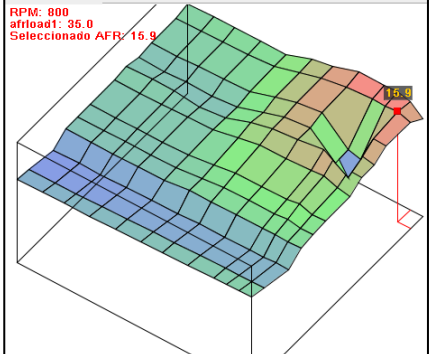
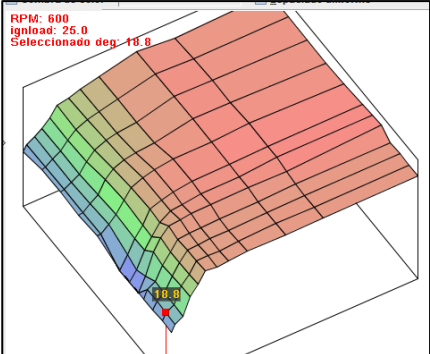
Figura 59. Parámetros de HC ppm y Lambda con el segundo mapeo.

4.4 Tercer mapeo de la computadora.

Se buscó realizar un mejor mapeo regulando el mapa de consumo de combustible (VE), para verificar los parámetros de comparación que este nos puede ofrecer, obteniendo los siguientes mapas en 3D como se observa en la tabla 35.

Tabla 35.

Tercera programación

Mapa	Descripción	imagen
Combustible	Se detalla la carga de combustible de forma equitativa en todo el rango de funcionamiento del motor.	
AFR	Se destaca un flujo de aire de 14.9 óptimo para el desempeño del motor.	
Encendido	Se destaca un mapa eficiente pero con un menor desempeño, a comparación de los otros mapeos.	

4.4.1 Resultados de las pruebas de potencia y torque

Se obtuvieron resultados del tercer mapeo en un rango de 1800 a 5000 RPM en el dinamómetro deo ver que a las 3300 RPM se obtuvo un mejor aprovechamiento en la potencia de 43,75 HP y un torque de 70,75 ft – lb, como se observa en la figura 60.

DYNomite Test Run: [David Chontas #2468 on 2018-02-08 @ 12-10-52](#)
 Date: [2/8/2018](#)
 Correction Method: [SAE](#)

RPM	Est Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est Tq. /ft-lb)
1800	18,29	-4,141	11,22	29,28
1900	22,74	-4,141	11,26	33,41
2000	23,75	-4,141	11,3	42,12
2100	25,24	-4,141	11,34	48,27
2200	27,34	-4,141	11,38	50,4
2300	30,52	-4,141	11,42	54,38
2400	31,66	-4,141	11,46	58,36
2500	33,25	-4,141	11,34	60,25
2600	35,7	-4,141	11,22	61,89
2700	37,17	-4,141	11,1	62,65
2800	38,31	-4,155	11,14	64,9
2900	39,34	-4,155	11,18	65,12
3000	40,43	-4,155	11,22	68,26
3100	41,76	-4,155	11,26	68,54
3200	42,31	-4,155	11,3	68,47
3300	43,75	-4,155	11,34	70,75
3400	44,26	-4,155	11,38	68,22
3500	44,8	-4,155	11,42	66,13
3600	45,79	-4,155	11,46	66,38
3700	47,04	-4,155	11,5	66,32
3800	48,12	-4,155	11,54	65,98
3900	48,29	-4,155	11,58	65,84
4000	48,67	-4,155	11,62	65,72
4100	48,81	-4,155	11,66	64,98
4200	48,4	-4,155	11,7	63,12
4300	46,65	-4,155	11,74	62,26
4400	45,14	-4,141	11,6	61,08
4500	44,68	-4,141	11,46	59,17
4600	43,36	-4,141	11,32	57,84
4700	42,75	-4,141	11,18	54,34
4800	41,6	-4,141	11,04	52,44
4900	40,8	-4,141	11,03	50,62
5000	39,54	-4,141	11,02	48,97

Figura 60. Resultados del torque y potencia con el tercer mapeo.

La curva de tendencia de la potencia y torque se observan en la figura 61

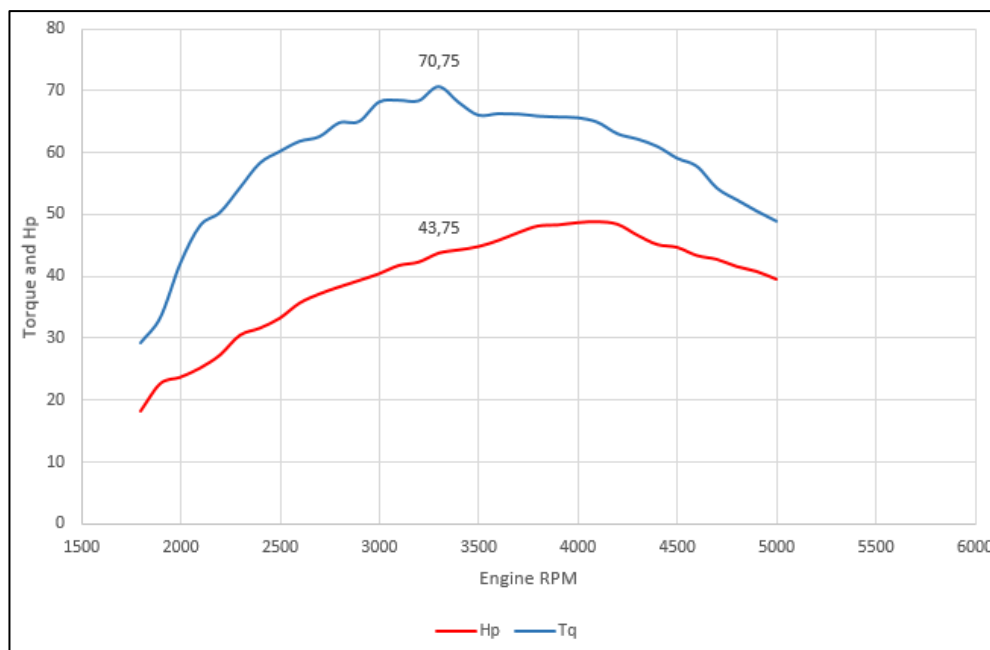


Figura 61. Curva de Potencia y torque con el tercer mapeo.

4.4.2 Resultados de las pruebas de consumo de combustible

Los resultados de la prueba a las velocidades de 40 km/h, 60 km/h, y 80 km/h con el tercer mapeo de la computadora se lo detallan en la tabla 36.

Tabla 36.

Resultados de la prueba de combustible a distintas velocidades con el tercer mapeo.

Velocidad (Km/h)	Recorrido (Km)	Consumo (Galones)	Consumo (litros)	Distancia recorrida por cada galón consumido	Consumo de combustible según norma DIN 70 030-2 (l/100 Km)
40	20	0.15	0.59	129.32 Km/Gal	3.22
60	20	0.34	1.29	58.90 Km/Gal	7.07
80	20	0.52	1.99	38.13 Km/Gal	10.92

La curva del consumo de combustible en función de la velocidad con el tercer mapeo se observa en la figura 62.

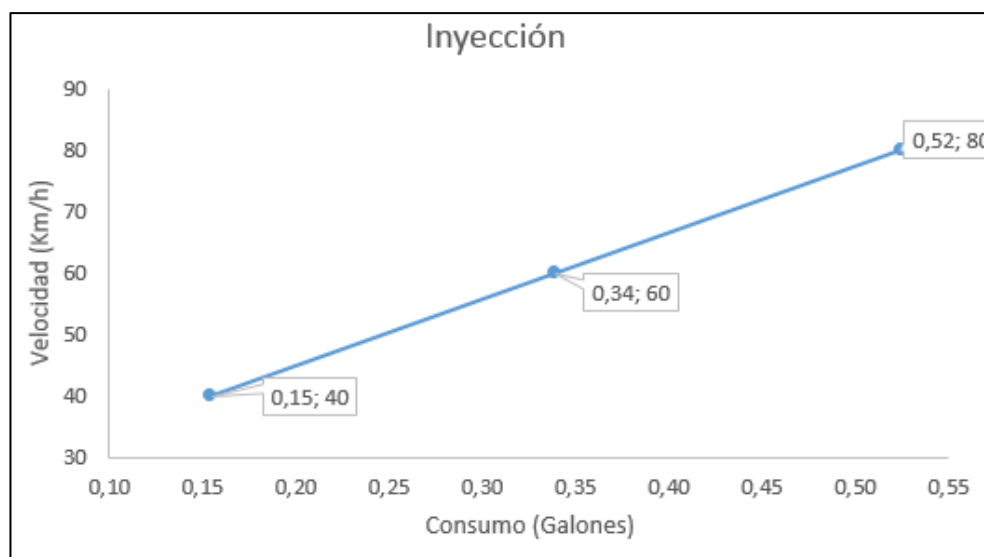


Figura 62. Línea de tendencia del consumo de combustible con el tercer mapeo.

4.4.3 Resultados de las pruebas de emisiones de gases contaminantes.

Se hizo la medición de gases con el tercer mapeo de la computadora, los resultados de la prueba se muestran en la tabla 37.

Tabla 37.

Emisiones de gases contaminantes con el tercer mapeo en ralentí y altas revoluciones.

	CO %	HC ppm	O2 %	Lambda λ	CO2 %	CO_corr %
Ralentí	6,54	282	1,62	0,876	10,4	6,54
Altas revoluciones, 5000 rpm	8,6	373	0,64	0,788	9,7	8,6

En las figuras 63 y 64 se observan gráficamente los parámetros de CO y CO₂, HC ppm y Lambda en que se obtuvo tras la implementación del sistema MPFI.

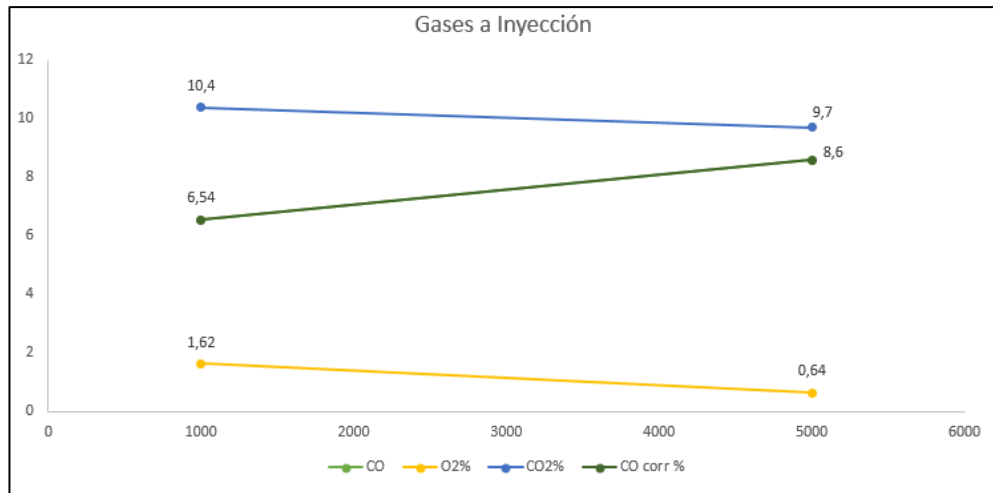


Figura 63. Gases contaminantes con el tercer mapeo.

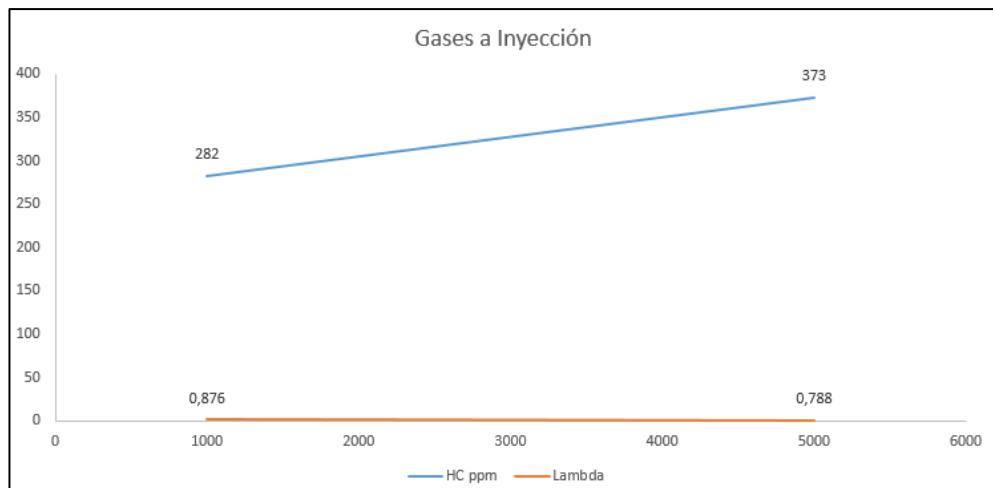


Figura 64. Parámetros de HC ppm y Lambda con el tercer mapeo.

4.5 Cálculos.

Para la realización de los cálculos es necesario establecer las características del motor, se las detallan en la tabla 38.

Tabla 38.

Características del motor.

Datos del motor		
Cilindrada	1398	cc
Carrera	66,2	mm
Diámetro	82	mm
Relación de compresión	7,8	:1
Numero de cilindros	4	En Línea
Número de tiempos	4	

4.5.1 Cálculo de los parámetros del motor de combustión interna en el Ciclo Otto.

Tabla 39.

Fórmulas y datos para el cálculo de los parámetros del motor en el Ciclo Otto.

Fórmula	Datos
Presión de admisión	$P_a = P_o - (\beta^2 + \xi) \frac{wad^2}{2} (\rho_0) 10^{-6}$ $P_o = 0,1019 \text{ Mpa}$ $\beta^2 + \xi = 2,5 \dots 4$ $wad = 50 \dots 100 \text{ m/s}$ $\rho_0 = 0,9115 \text{ Kg/m}^3$
Temperatura en admisión	$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}$ $T_o = 286,15 \text{ }^\circ\text{k}$ $\Delta T = 15$
Coeficiente de gases residuales	$\gamma_r = \frac{T_o + \Delta T}{T_r} \times \frac{P_r}{EP_a P_r}$ $E = 7,8$ $T_r = 900 \dots 1000 \text{ }^\circ\text{K}$ $P_r = 1,1 \dots 125 \text{ Mpa}$
Presión de compresión	$P_c = P_a \varepsilon^{n1}$ $n1 = 1,3 \dots 1,37$
Temperatura en compresión	$T_c = T_a \varepsilon^{n1-1}$
Presión en explosión	$\mu_r = 1,075$ $T_z = 2300 \dots 2400 \text{ }^\circ\text{K}$

	$P_Z = \mu_r \frac{T_Z}{T_C} P_C$	
Presión en escape	$P_b = \frac{P_Z}{\varepsilon^{n2}}$	$n1 = 1,23 \dots 1,3$
Temperatura en escape	$T_b = \frac{T_Z}{\varepsilon^{n2-1}}$	

En la tabla 40 se ven los valores obtenidos por las ecuaciones para el cálculo de los parámetros del motor.

Tabla 40.

Resultados de los parámetros del Ciclo Otto.

Presiones			Temperaturas		
Po	0,1019	Mpa			
Pa	0,09522087	Mpa	Ta	340,52	°K
Pc	1,415409172	Mpa	Tc	648,94	°K
Pz	5,477215824	Mpa	Tz	2336	°K
Pb	0,415721714	Mpa	Tb	1382,96	°K

El rendimiento mecánico se lo obtiene al dividir la potencia efectiva del motor, tabla 41, para la potencia indicada, por lo que para llegar al resultado se requiere hacer algunos cálculos previos, las fórmulas y datos se detallan en la tabla 42.

Tabla 41.

Potencia efectiva del motor obtenida de las pruebas realizadas en el dinamómetro.

Potencia efectiva del motor (Ne)				
	Carburador	Inyección	Inyección Mp1	Inyección Mp2
Hp	35,29	49,67	53,13	46,06
Kw	26,32	37,04	39,62	34,35

Tabla 42.

Fórmulas para obtener el rendimiento mecánico.

	Fórmula	Datos
Grado de elevación de la presión	$\lambda = \frac{P_z}{P_c}$	
Presión media indicada no redondeada	$p_{imr} = P_o \frac{\epsilon^{n1}}{\epsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n2 - 1} \left(1 - \frac{T_b}{T_z} \right) - \frac{1}{n1 - 1} \left(1 - \frac{T_a}{T_c} \right) \right]$	$\lambda = 3,87$ $E = 7,8$
Presión media indicada	$p_i = p_{imr} \times \phi$	$p_{imr} = 1,04 \text{ Mpa}$ $\phi = 0,97$
Volumen del cilindro	$V_h = \frac{\pi D^2 S}{4}$	$D = 82 \text{ mm}$ $S = 66,2 \text{ mm}$
Potencia indicada	$N_i = \frac{p_i \times V_h \times n \times i}{30 \times \tau}$	$V_h = 0,0003495 \text{ m}^3$ $n = 4000 \text{ rpm}$ $i = 4$ $\tau = 4$
Rendimiento mecánico	$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$	$N_i = 94,12 \text{ Kw}$

Tabla 43.

Resultados del cálculo para el rendimiento mecánico.

Rendimiento mecánico (n_m)		
	%	
Carburador	0,280	28,0
Inyección	0,394	39,4
Inyección Mp1	0,421	42,1
Inyección Mp2	0,365	36,5
Inyección Mp3	0,347	34,7

El rendimiento térmico se lo puede obtener para carburador e inyección, para obtener estos resultados necesitamos los datos y fórmulas presentados en la tabla 44.

Tabla 44.**Datos y fórmulas utilizados para calcular el rendimiento térmico.**

Rendimiento térmico (Carburador)	$n_t = 1 - \frac{1}{E^{k-1}}$	$E = 7,8$ $k = 1,4$
Rendimiento térmico (Inyección)	$n_t = 1 - \frac{C_v(T_b - T_a)}{C_v(T_z - T_c)}$	$C_v = 0,718 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$ $T_a = 340,52 \text{ }^\circ\text{K}$ $T_c = 648,94 \text{ }^\circ\text{K}$ $T_z = 2336 \text{ }^\circ\text{K}$ $T_b = 1382,96 \text{ }^\circ\text{K}$

Tabla 45.**Resultados del cálculo para el rendimiento térmico.**

Rendimiento térmico (n_t)		
%		
Carburador	0,56	56,03
Inyección	0,6179	61,79

Para el cálculo del rendimiento indicado se lo obtiene al dividir el trabajo indicado para la cantidad de calor suministrado, en la tabla 46 se detallan las fórmulas necesarias para este cálculo.

Tabla 46.**Fórmulas para calcular el rendimiento indicado.**

Trabajo indicado	$Li = Pimr \times Vh$	$Pimr = 1,04 \text{ Mpa}$ $Vh = 349,59 \text{ cm}^3$
Cantidad de calor suministrado	$q1 = 0,718 (T_z - T_c)$	$T_c = 648,94 \text{ }^\circ\text{K}$ $T_z = 2336 \text{ }^\circ\text{K}$
Rendimiento indicado	$n_i = \frac{Li}{q1}$	$Li = 363,85 \text{ Nm}$ $q1 = 1211,31 \text{ KJ/Kg}$

Tabla 47.**Resultados del cálculo para el rendimiento indicado.**

Rendimiento indicado		
ni	0,3004	30,04 %

El rendimiento efectivo es el producto del rendimiento mecánico y el rendimiento indicado. La tabla 48 muestra la fórmula requerida y sus resultados a carburador e inyección.

Tabla 48.

Cálculo del rendimiento efectivo.

Rendimiento Efectivo			
Fórmula			%
$ne = nm \times ni$	Carburador	0,084	8,40
	Inyección	0,118	11,82
	Inyección Mp1	0,126	12,64
	Inyección Mp2	0,110	10,96

La presión media efectiva es el resultado de la resta de la presión media indicada y la presión media de las pérdidas mecánicas. Las fórmulas para llegar a su resultado se muestran en la tabla 49.

Tabla 49.

Fórmulas para calcular la presión media efectiva.

Velocidad media del émbolo	$Vn = \frac{n \times S}{30}$	$n = 4000 \text{ rpm}$ $S = 0,0662 \text{ m}$
Presión media de las pérdidas mecánicas	$Pm = 0,04 + 0,0135 Vn$	$Vn = 8,83 \text{ m/s}$
Presión media efectiva	$Pe = Pi - Pm$	$Pm = 0,15916 \text{ Mpa}$ $Pi = 1,01 \text{ Mpa}$

Tabla 50.

Resultado del cálculo de la presión media efectiva.

Presión media efectiva		
Pe	0,85	Mpa

Para el cálculo del consumo específico de combustible se requiere conocer el consumo de combustible y la potencia efectiva del motor, por lo que se requiere hacer cálculos previos para obtener su resultado. En la tabla 51 se detallan las fórmulas requeridas.

Tabla 51.**Fórmulas para el cálculo del consumo específico de combustible.**

Masa de combustible	$m = \rho \times \text{consumo}$	$\rho = 0,721 \text{ Kg/l}$
Consumo de combustible	$B = \frac{m}{t}$	
Consumo específico de combustible	$Gpe = \frac{B \times 3600}{Ne}$	

El consumo de combustible y el tiempo transcurrido para el motor a carburador e inyección se muestran en las tablas 52 y 53.

Tabla 52.**Consumo de combustible a carburador e inyección.**

	Consumo (Litros)		
	40	60	80
Carburador	1,55	2,04	3,06
Inyección	2,90	6,58	10,26
Inyección Mp1	1,93	3,43	4,93
Inyección Mp2	3,23	6,33	9,43

Tabla 53.**Tiempo en que transcurrió la prueba de consumo de combustible.**

	Tiempo (horas)		
	40	60	80
Carburador	0,583	0,4167	0,25
Inyección	2,800	1,4000	1,2
Inyección Mp1	2,600	1,2000	1
Inyección Mp2	2,667	1,3167	1,1

Los resultados de la masa y consumo de combustible se observan en las tablas 54 y 55.

Tabla 54.**Masa de combustible.**

Masa del combustible (m)				
Carburador	1,12	1,47	2,21	Kg
Inyección	2,09	4,74	7,40	Kg
Inyección Mp1	1,39	2,47	3,55	Kg
Inyección Mp2	2,33	4,56	6,80	Kg

Tabla 55.**Consumo de combustible.**

Consumo de combustible (B)				
Carburador	1,92	3,53	8,83	Kg/h
Inyección	0,75	3,39	6,16	Kg/h
Inyección Mp1	0,54	2,06	3,55	Kg/h
Inyección Mp2	0,87	3,47	6,18	Kg/h

Los resultados de los cálculos para el consumo específico de combustible se detallan en la tabla 56.

Tabla 56.**Resultados del cálculo del consumo específico de combustible.**

	40	60	80	
Carburador	262,08	343,10	801,89	Kg/Kwh
Inyección	102,16	329,36	560,14	Kg/Kwh
Inyección Mp1	73,22	200,31	322,98	Kg/Kwh
Inyección Mp2	119,47	336,90	561,63	Kg/Kwh

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE PRUEBAS DINÁMICAS DE DESEMPEÑO, CONSUMO Y EMISIONES

5.1 Análisis comparativo de potencia y torque.

Se realizó un análisis de potencia y torque con los datos obtenidos con el motor a carburador, y la implementación del sistema de inyección generando tres modelos de programación, para obtener un desarrollo óptimo del motor.

5.1.1 Mapeo 1

Luego de haber realizado las pruebas dinámicas de potencia y torque al motor J14F003885 y luego de realizar la primera programación se observa que el porcentaje de ganancia en potencia al implementar el sistema de inyección MPFI es de 33,57 % como se observa en la tabla 57.

Tabla 57.

Porcentaje de ganancia potencia mapeo 1

	RPM del vehículo	Potencia máxima (HP)
Carburador.	3900	35.29
Primer mapeo	3800	53.13
Ganancia neta		17.84
Porcentaje de ganancia.		33.57%

Se observó que el porcentaje de ganancia en torque con el mapeo 1 es óptimo, se obtuvo un 34,29 % como se observa en la tabla 58.

Tabla 58.

Porcentaje de ganancia torque mapeo 1

	RPM del motor	Torque (ft - lb)
Carburador	3900	48.24
Primer mapeo	3800	73.42
Ganancia neta		25.18
Porcentaje de ganancia.		34.29%

5.1.2 Mapeo 2

Con el segundo mapeo la potencia con un mejor aprovechamiento fue de 46,06 Hp lo que representa 23,38 % de ganancia neta, equivalente a 10,77 Hp, la comparación con el sistema a carburador se observa en la tabla 59.

Tabla 59.

Porcentaje de ganancia mapeo 2

	RPM del vehículo	Potencia máxima (HP)
Carburador.	3900	35.29
Segundo mapeo	3800	46.06
Ganancia neta		10.77
Porcentaje de ganancia.		23.38%

El torque que en el que mejor se desempeña el motor, junto con la potencia, se da las 3800 rpm, donde alcanza 63,81 ft-lb, con una diferencia de 15,57 ft-lb que representa una ganancia neta de 24,40 %. Los valores de comparación se detallan en la tabla 60.

Tabla 60.

Porcentaje de ganancia torque mapeo 2

	RPM del motor	Torque (ft - lb)
Carburador	3900	48.24
Segundo mapeo	3800	63.81
Ganancia neta		15.57
Porcentaje de ganancia.		24.40%

5.1.3 Mapeo 3

Se pudo observar que con el tercer mapeo propuesto se logró obtener un porcentaje de ganancia de un 19.33 % como se observa en la tabla 61.

Tabla 61.

Porcentaje de ganancia en potencia con el tercer mapeo.

	RPM del vehículo	Potencia máxima (HP)
Carburador.	3900	35.29
Tercer mapeo	3300	43.75
Ganancia neta		8.46
Porcentaje de ganancia.		19.33%

Se puede observar que con el mapeado 3 se obtuvo un porcentaje de ganancia de 24.40% como se observa en la tabla 62.

Tabla 62.

Porcentaje de ganancia torque mapeo 3

	RPM del motor	Torque (ft - lb)
Carburador	3900	48.24
Tercer mapeo	3300	70.75
Ganancia neta		22.51
Porcentaje de ganancia.		31.81%

Se observó mediante un análisis estadístico que los porcentajes de ganancia respecto a la potencia del motor, generando los tres modelos de programación, que con el primer modelo se obtuvo el mejor desempeño del motor como se muestra en la figura 65.

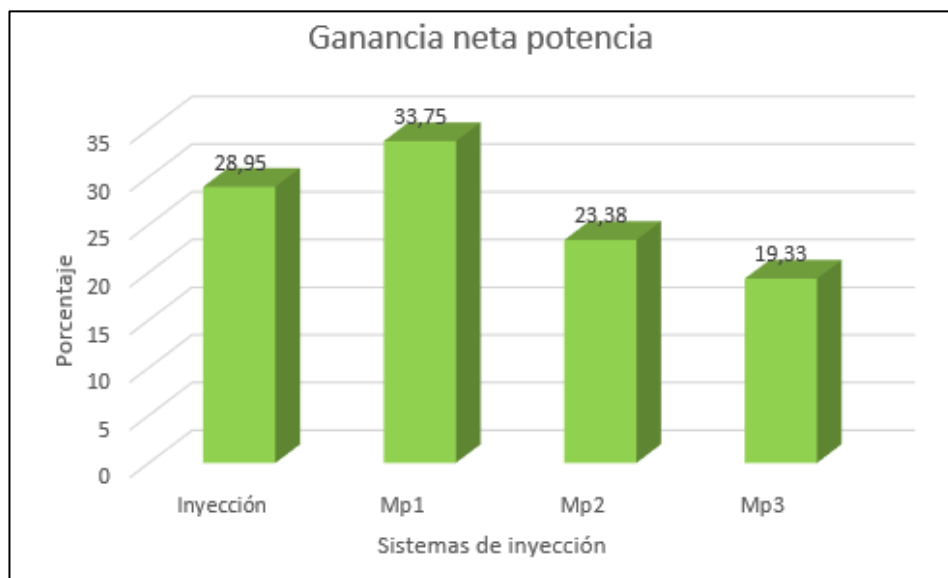


Figura 65. Porcentaje de ganancia neta potencia

Se puede observar mediante un análisis estadístico que con los porcentajes de ganancia en torque aplicando los tres modelos de programación el mejor fue el mapeo 1 ganando un mejor torque como se observa en la figura 66.

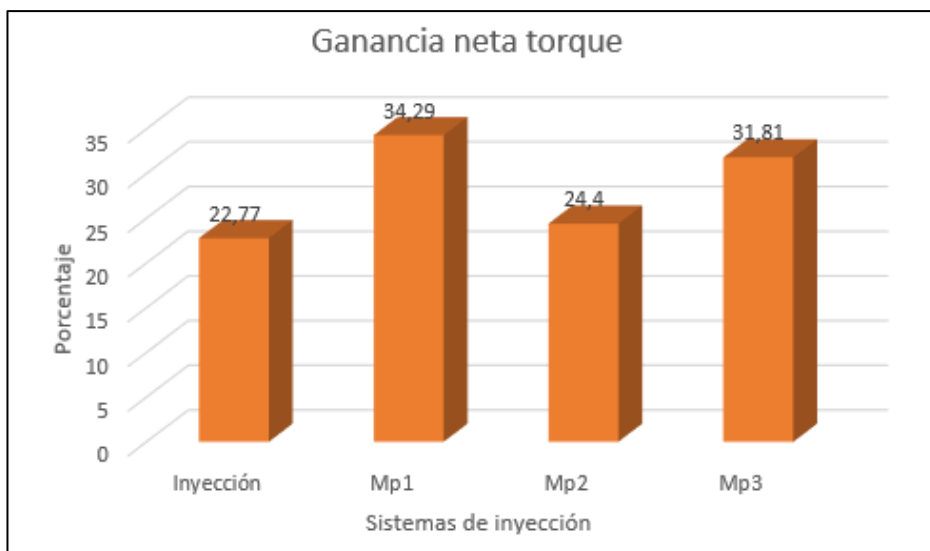


Figura 66. Porcentaje de ganancia neta Torque

Mediante un análisis estadístico se pudo observar la potencia y torque que se obtuvo en cada etapa de las pruebas realizadas tanto a carburador, como aplicando tres modelos de programación para ganar el mejor desempeño del motor como se observa en la tabla 63 en función de las curvas obtenidas.

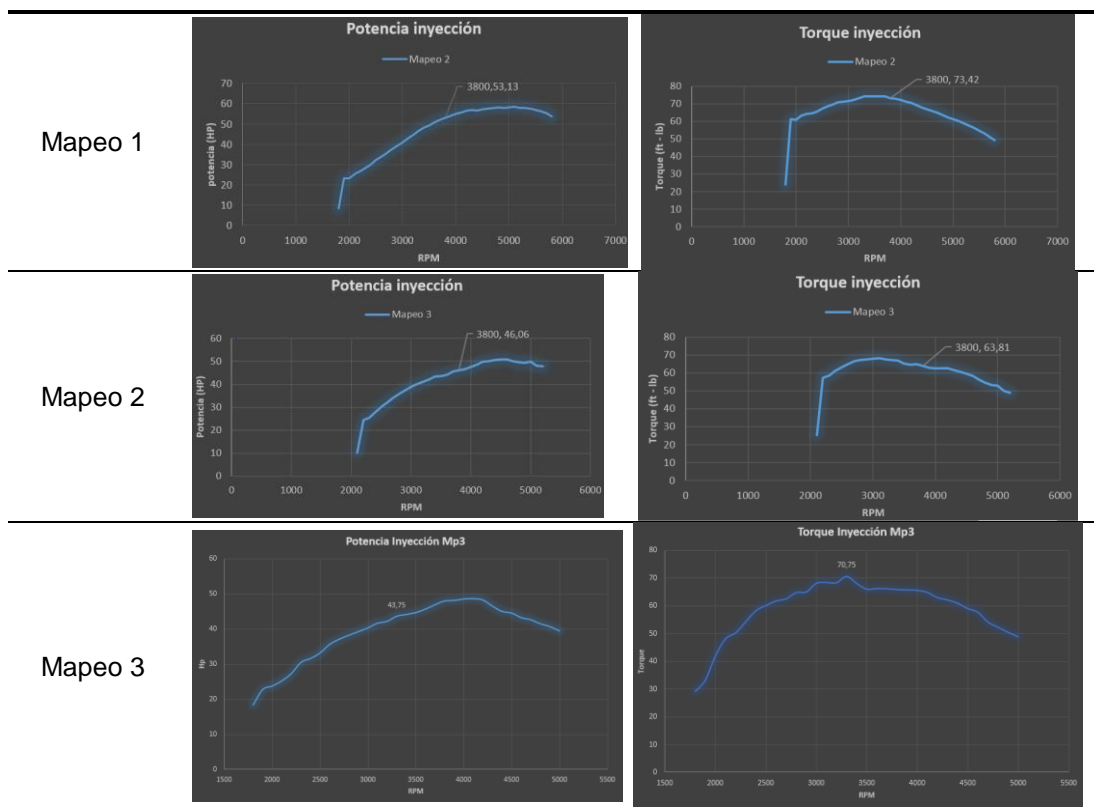
Tabla 63.

Comparación de graficas potencia - torque

Análisis de curvas de potencia y torque		
	Potencia	Torque
Carburador		
Inyección estándar		

CONTINÚA





Se realizó una comparación estadística de la potencia del motor, tanto a carburador y con los tres modelos de programación para determinar el mejor mapa de control para el motor dando como resultado el mapeo 1, ya que con este se obtuvo un incremento de potencia del 33,57% que es muy bueno a comparación del carburador y de los otros modelos como se observa en la figura 67.

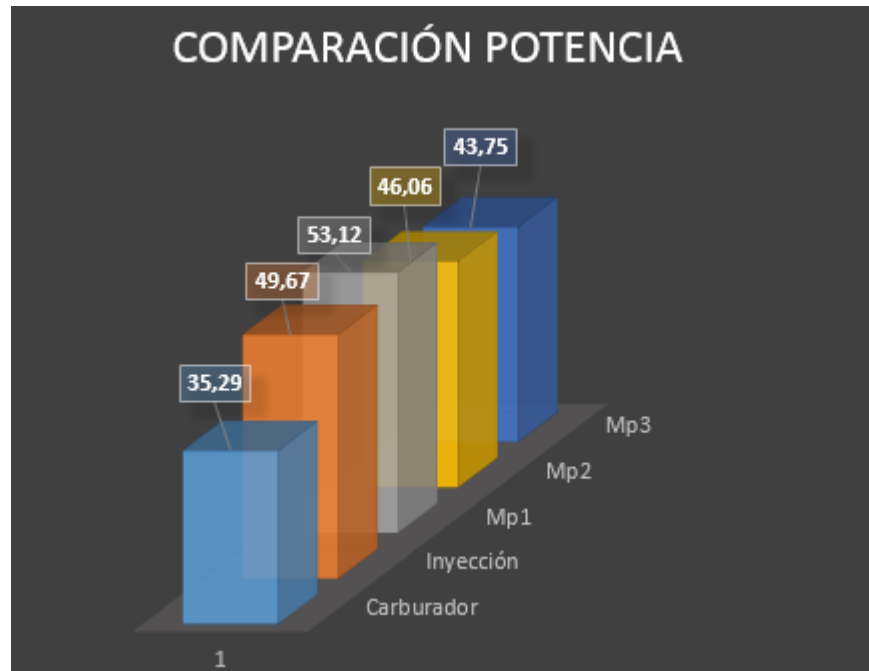


Figura 67. Resumen estadístico de potencias máximas

El torque que se obtuvo con la implementación del sistema MPFI, es mayor en comparación a las anteriores pruebas realizadas dando como mejor resultado el mapa de control electrónico 1 que da un 73.42 ft – lb mejor que los demás propuestos, como se observa en la figura 68.

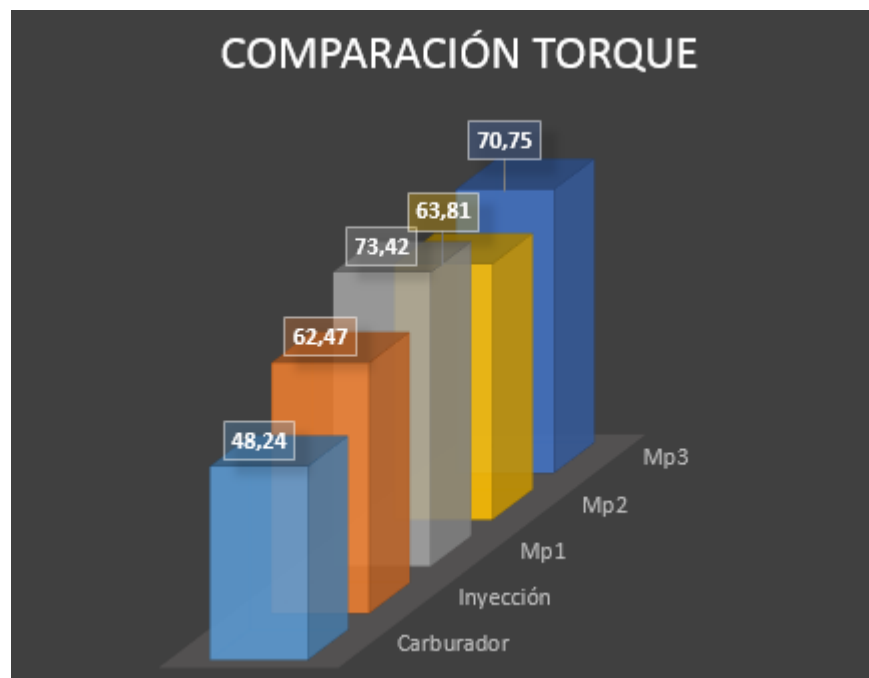


Figura 68. Comparación de torque con sistema MPFI

5.2 Análisis comparativo del consumo de combustible.

Luego de haber realizado la conversión de carburador a inyección, y tras hacer las tres reprogramaciones, nos damos cuenta que el consumo de combustible se redujo gradualmente. Siendo en la primera reprogramación en donde el consumo de combustible es más optimizado y menos desperdiciado, no obstante en los otros dos mapeos también se evidencia la optimización del combustible. En la tabla 64 se observa la comparativa del consumo de combustible en los dos sistemas y las reprogramaciones.

Tabla 64.

Comparativa del consumo de combustible a carburador e inyección.

Velocidad (Km/h)	Recorrido (Km)	Consumo (Litros)				
		Carburador	Inyección	Inyección Mp1	Inyección Mp2	Inyección Mp3
40	20	1,55	0,74	0,29	0,49	0,59
60	20	2,04	1,44	0,99	1,19	1,29
80	20	3,06	2,14	1,69	1,89	1,99

El valor promedio porcentual de disminución del consumo de combustible cuando el vehículo funciona a inyección es de 37,47 %, equivalente a 0,78 litros. Mientras que valor promedio porcentual luego de haber realizado las reprogramaciones es de 51,28 % que equivale a 1,06 litros.

La tabla 65 detalla el porcentaje de reducción del consumo, mientras que en la figura 69 se observan las diferencias en las curvas de consumo de combustible.

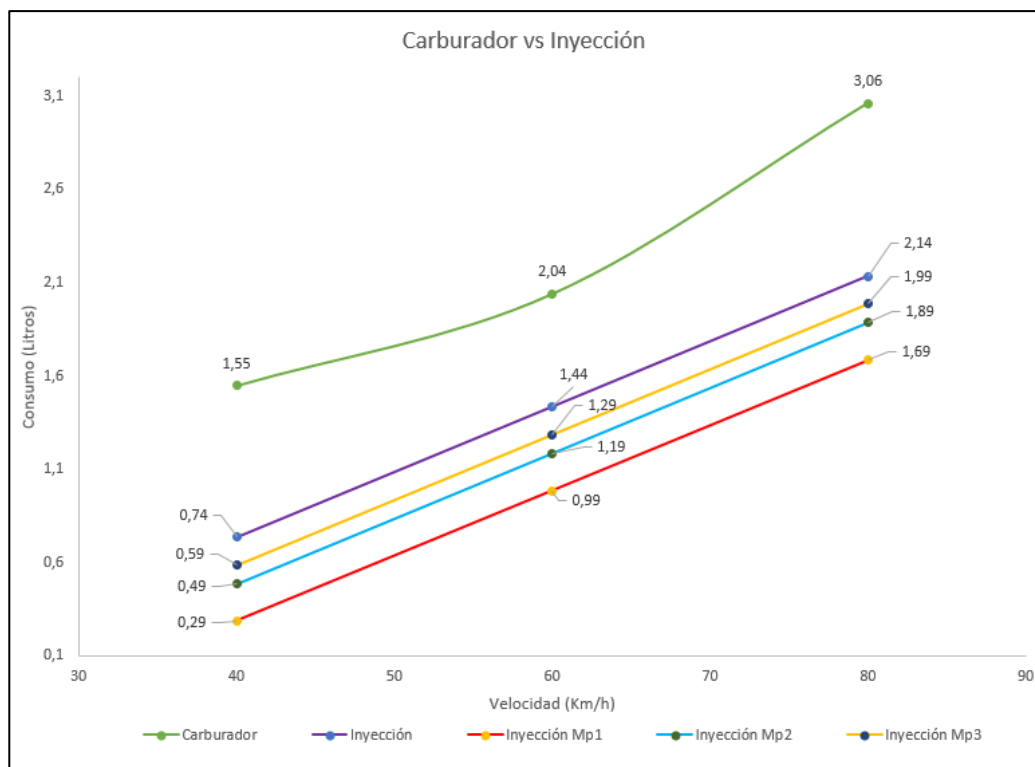


Figura 69. Variación de las curvas de consumo de combustible a carburador e inyección.

Tabla 65.

Disminución del consumo de combustible de carburador a inyección.

Velocidad (Km/h)	Disminución de combustible					
	Carburador		Inyección		Reprogramación	
	Litros	%	Litros	%	Litros	%
40	1,55	100	0,81	52,6	1,10	70,8
60	2,04	100	0,60	29,6	0,89	43,5
80	3,06	100	0,92	30,2	1,21	39,5
Promedio	2,22	100	0,78	37,47	1,06	51,28

Como se puede observar en la figura 70 el porcentaje de consumo de combustible varía de un sistema a otro, y disminuyendo a un más cuando se ha hecho la reprogramación. Cuando el vehículo se encuentra a carburador el consumo es elevado, representa el 100% de consumo, mientras que al implementar la inyección electrónica multipunto hay un reducción significativa del consumo, por lo que la disminución es considerable luego de haber desarrollado la investigación.

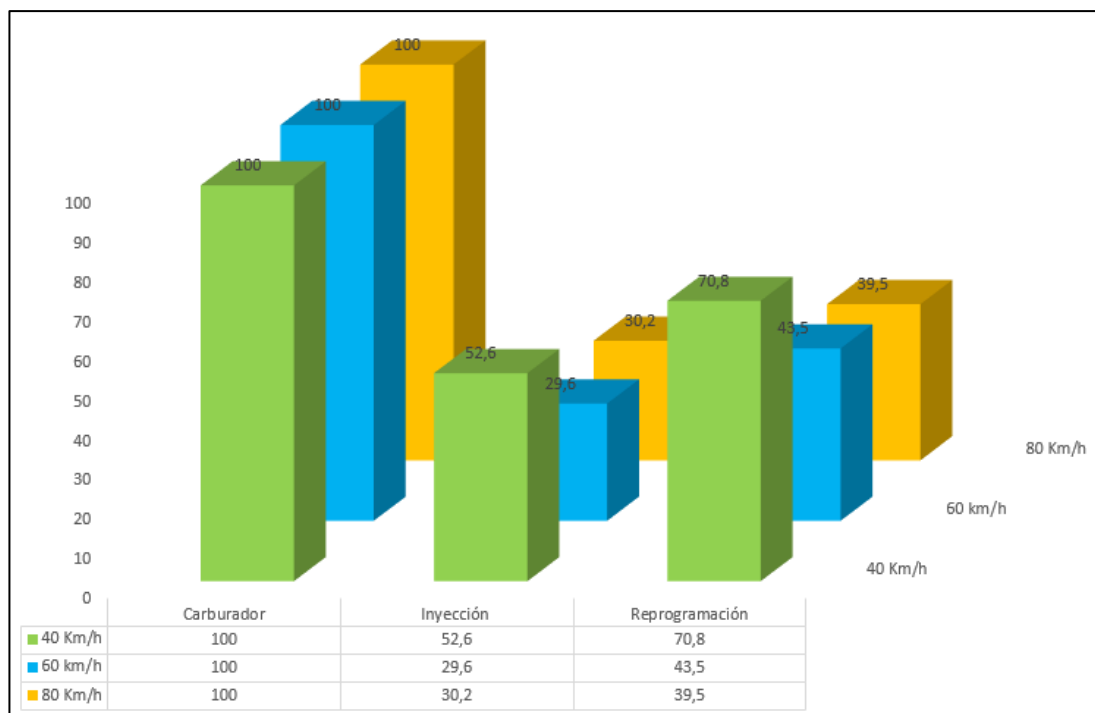


Figura 70. Comparación porcentual de la disminución en el consumo de combustible a carburador, inyección y reprogramación a diferentes velocidades.

El consumo de combustible según la norma DIN 70 030-2 establece que resultado de la prueba se exprese en el volumen de combustible consumido en litros por cada 100 Km. La tabla 66 y la figura 71 detallan el promedio de combustible consumido a carburador, inyección y con la reprogramación.

Tabla 66.

Consumo de combustible según la norma DIN 70 030-2

	Litros / 100 Km
Carburador	12,19
Inyección	7,89
Mapeo 1	5,42
Mapeo 2	6,52
Mapeo 3	7,07

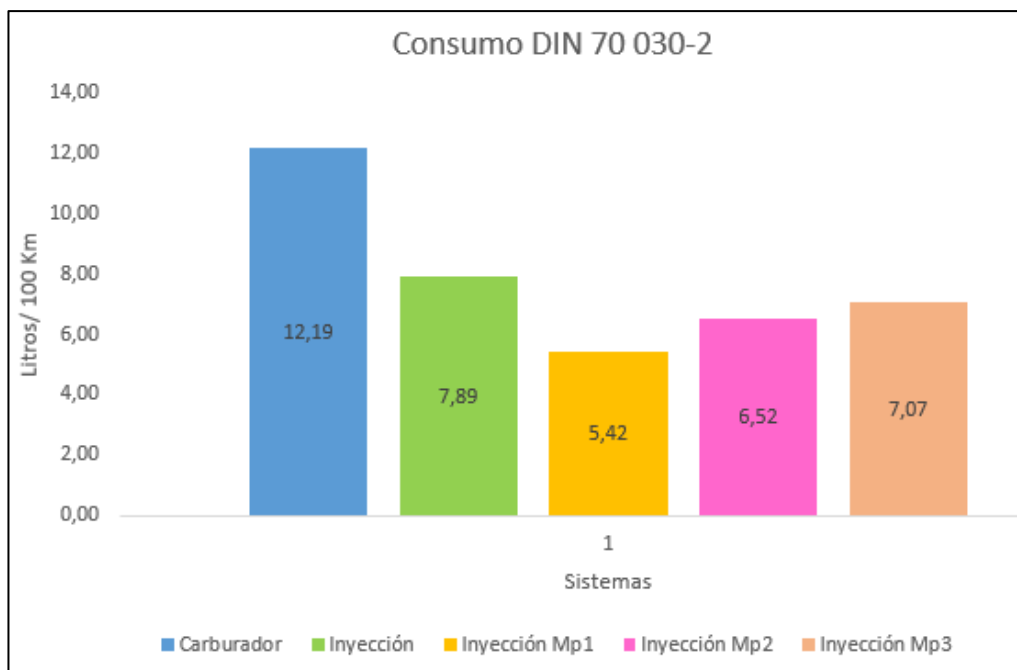


Figura 71. Consumo de combustible según la norma DIN 70 030-2.

5.3 Análisis comparativo de las emisiones de gases contaminantes.

En la figura 72 se observa que el CO% cuando el motor se encuentra a carburador cumple los límites establecidos por norma INEN 2 204:2002, la cual establece que el porcentaje de CO no debe superar los 5,5%, sin embargo al implementar el sistema de inyección multipunto el porcentaje de este gas contaminante supera el límite establecido, alcanzando su valor más alto en la tercera programación de la computadora, siendo este de 6,54 %CO. Estos resultados se los han obtenido con el motor en ralentí o en 1000 rpm.

Realizando la prueba en altas revoluciones, 5000 rpm, el valor de CO en todos sus sistemas superan los límites establecidos por la norma INEN, alcanzando su menor porcentaje con el primer mapeo de la computadora, en la cual se reduce al 5,61 % de CO.

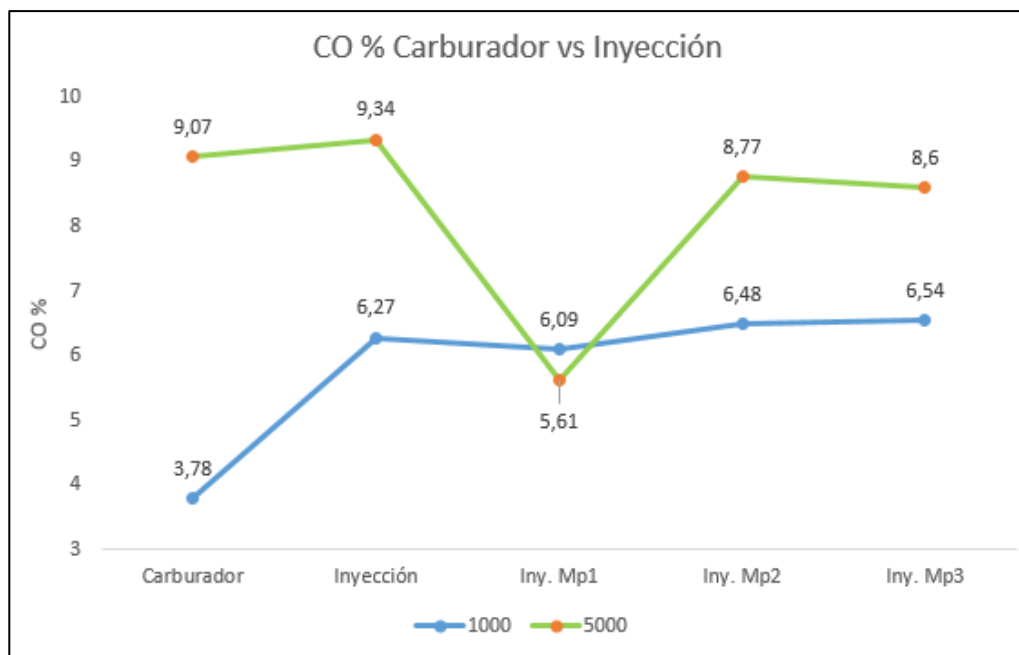


Figura 72. Comparación de CO% Carburador vs Inyección.

Según la norma INEN 2 204:2002 el límite permitido para las emisiones de O₂ es del 3%, por lo que en el sistema a carburador el motor no cumple con esta condición. Al realizar la conversión al sistema MPFI este porcentaje de emisiones disminuye considerablemente, ya que en ningún caso llega a superar el 2 % de O₂. El menor valor se lo encuentra en la conversión estándar a inyección, con un porcentaje igual a 0,3 % de O₂ a 1000 rpm. En la figura 73 se observan las variaciones en las emisiones de este gas en todos sus sistemas.

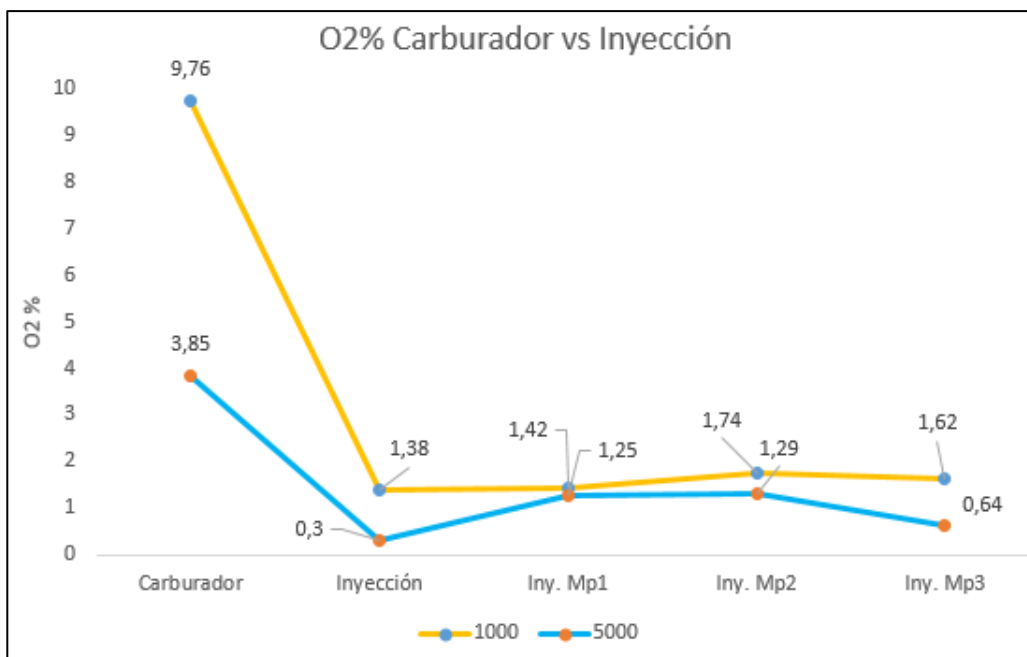


Figura 73. Comparación O2% Carburador vs Inyección.

En la curva de emisiones de CO₂ a bajas y altas revoluciones, figura 74, tan solo con el sistema a carburador a 1000 rpm el porcentaje de CO₂ cumple con 7 % permitido por la norma INEN, siendo su valor de 3,7 %. Al realizar la prueba a 5000 rpm con carburador su valor supera en 1,4 % de CO₂, excediendo el límite permitido. Con la adaptación del sistema de inyección multipunto y sus reprogramaciones, tanto en bajas como altas revoluciones el porcentaje de CO₂ no cumple con la norma, superando en exceso este límite.

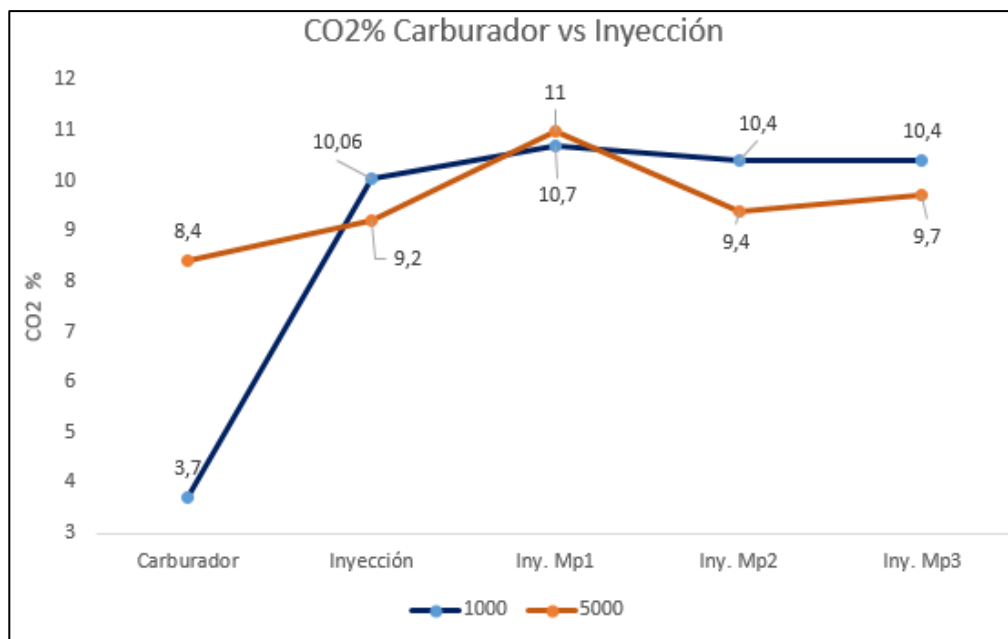


Figura 74. Comparación CO2% Carburador VS Inyección

Un menor porcentaje de CO corr% se presenta a bajas revoluciones, tan solo siendo su valor más alto, 9,7 % de CO, cuando el motor está a carburador; y obteniendo un valor más bajo en inyección con la primera reprogramación, de 5,61 por ciento de corrección en el CO. En altas revoluciones el porcentaje de emisiones del CO corr es por lo general elevado, en un intervalo de 8,6 % a 9,34 %; y únicamente alcanzado el 5,61 % en el primer mapeo. La curva de tendencia de estas emisiones se observan en la figura 75.

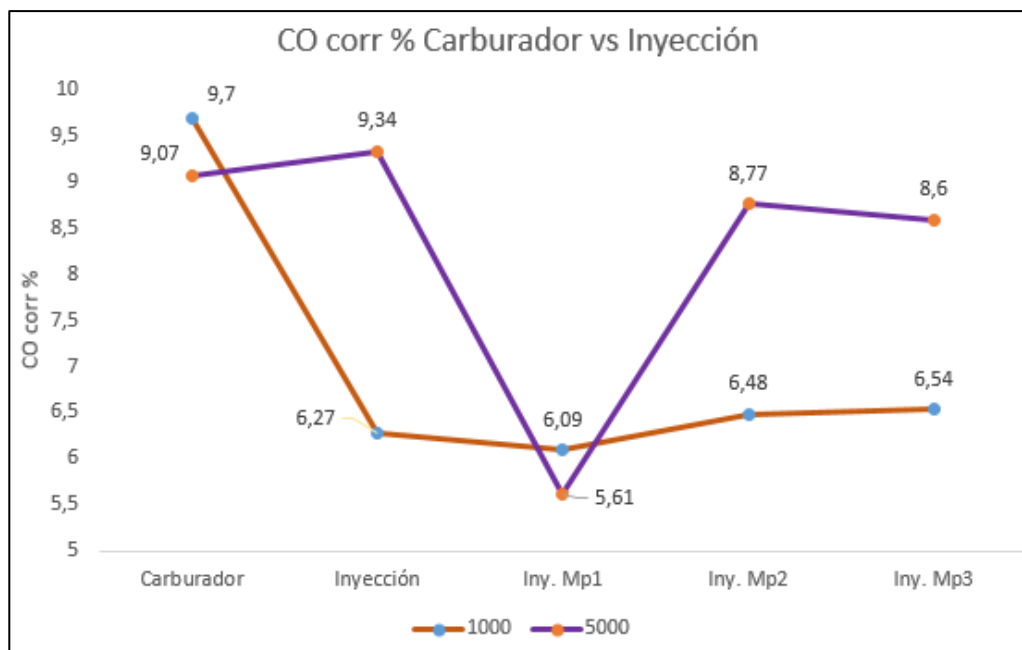


Figura 75. Comparación CO corr% Carburador VS Inyección

Para vehículos de años inferiores a 1990 la norma INEN 2 204:2002 establece que el límite máximo permitido de emisiones de HC ppm es de 1000, por lo que tan solo en el sistema a carburador este límite supera en exceso a lo establecido en la norma, con valores de 3400 y 6480 HC ppm en altas y bajas revoluciones respectivamente. En la figura 76 se puede ver que con la implementación del sistema de inyección multipunto estos valores disminuyen considerablemente, no superando los 500 HC ppm en altas revoluciones y llegando a un valor mínimo de 281 HC ppm. Por lo que con el sistema MPFI y en cualquiera de sus programaciones el HC cumple con la norma INEN.

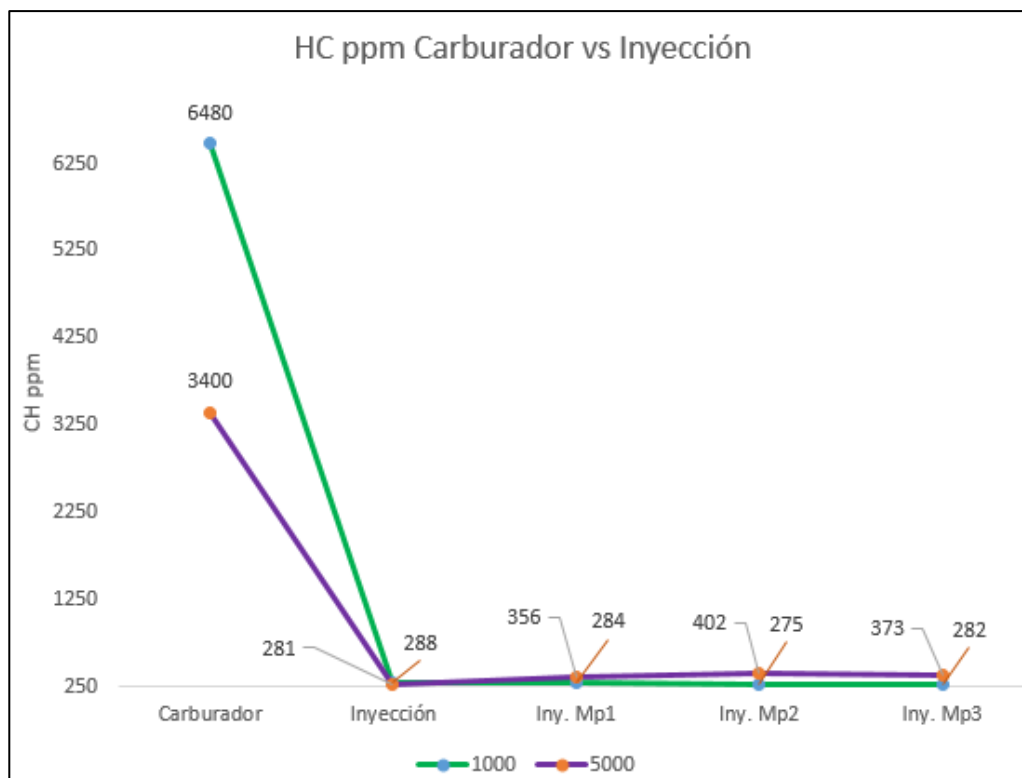


Figura 76. Comparación HC ppm Carburador VS Inyección

El factor lambda establece que la mezcla ideal de la relación aire combustible debe ser de 14,7:1, por lo que si el factor lambda es igual a 1 se trata de un valor ideal, si es mayor a 1 se refiere a una mezcla pobre y si el factor es menor a 1 es una mezcla rica. En la figura 77, tanto a carburador como a inyección el motor presenta una mezcla rica en altas y bajas revoluciones; tan solo a carburador, a 5000 rpm, el valor de 0,964 pretende llegar al 1 requerido para llamarse mezcla ideal. En cualquiera de sus sistemas, incluso en las reprogramaciones, el factor lambda es inferior a 1, llegando a 0,759 con la inyección estándar; por lo que de acuerdo al concepto de mezcla rica el motor tiene más cantidad de combustible que aire. Las ventajas en este tipo de mezcla es obtener un mayor torque y potencia, pero como desventaja está el mayor consumo de combustible y elevadas emisiones de gases contaminantes.

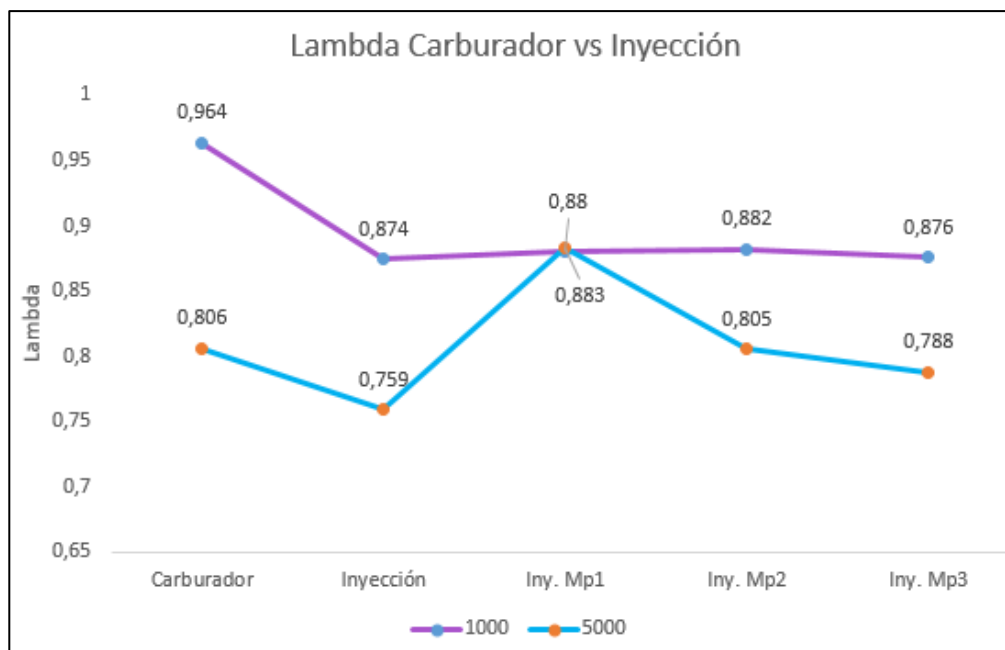


Figura 77. Comparación Lambda Carburador VS Inyección

CAPÍTULO VI

6. MARCO ADMINISTRATIVO

6.1 Recursos

En el proyecto se utilizaron recursos humanos, materiales, tecnológicos que fueron de gran ayuda y permitieron desarrollar los objetivos planteados, de forma satisfactoria

6.1.1 Recursos humanos

Los parámetros más importantes que se utilizaron en la investigación fueron: la compilación de fuentes confiables científicas, la aplicación de métodos de investigación, la aplicación de muestreos de resultados bajo la constante colaboración de nuestro director en la tabla 67 se especifica los recursos humanos del proyecto.

Tabla 67.

Recursos humanos del proyecto

Luis David Chontasi Pilco	Investigador
Lenin Paul Vinlasaca Viera	Investigador
Ing German Erazo	Director del proyecto

6.1.2 Recursos materiales

Para la investigación se utilizó elementos físicos para llevar a cabo la investigación, que se detallan en la tabla 68

Tabla 68.

Recursos materiales del proyecto

N°	Recurso material
1	Motor J14F003885
2	Microsquirt V3
3	Dinamómetro
4	Analizador de gases
5	Multímetro

6.1.3 Recursos tecnológicos

Los recursos que se destacaron para la elaboración de esta investigación se detallan en la tabla 69.

Tabla 69.

Recursos tecnológicos del proyecto

N°	Descripción
1	Software TunerStudio
2	Software dinamómetro
3	Software analizador de gases

6.1.4 Recursos financieros

La realización de la investigación se da a través de recursos propios, el proyecto tiene un costo total de \$ 2977,5, cuyo valor se detalla en las siguientes tablas: puesta a punto del vehículo, implementación del sistema de inyección multipunto, pruebas realizadas.

Tabla 70.

Gastos en la puesta a punto del vehículo.

N°	Ítem	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Baqueteado del radiador	1	45	45
2	Cambio de bujías	1	30	30
3	Cuerina	1	10	10
4	Spray negro	1	5	5
5	Remolcada	1	10	10
6	Pintura de camioneta	1	60	60
7	Gasolina	4	10	40
8	Neumáticos	2	10	20
9	Chapa	1	10	10
10	Empaques	1	120	120
11	Cables de bujías	1	18	18
12	Vulcanizada	1	2	2
13	Asientos	2	20	40
14	Suelda	1	10	10
15	4 pernos	4	0,75	3
16	Pegamento	1	1,25	1,25
17	Flasher	1	3	3
18	Control de compresión	1	10	10
19	Dirección mecánica	1	5	5
20	Cables de bujía	1	10	10
21	Extensión 1	1	14,4	14,4

22	Extensión 2	1	10,35	10,35
23	Espejos	2	5,75	11,5
24	Tacómetro	1	30	30
25	Velocimtro Elec.	1	3	3
26	Gasolina Lat-Quit.	1	5	5
27	Servofreno	1	100	100
28	Bomba freno	1	50	50
29	Cable freno de mano	1	15	15
30	Pinón velocímetro	1	10	10
31	Cauchos cajetín	2	6,9	13,8
32	Radiador	1	40	40
33	Mano de obra	1	100	100
Total				855,3

Tabla 71.**Costo de la implementación del sistema de inyección electrónica multipunto.**

Conversión a inyección				
N°	Ítem	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Microsquirt	1	600	600
2	Sensor TPS	1	30	30
3	Sensor MAP	1	50	50
4	Sensor ECT	1	30	30
5	Sensor IAT	1	30	30
6	Sensor CKP	1	45	45
7	Rueda fónica	1	120	120
8	Cuerpo de aceleración	1	85	85
9	Múltiple de admisión	1	600	600
10	Riel de inyectores	1	35	35
11	Inyectores	4	25	100
12	Bomba de combustible	1	25	25
13	Bobina de encendido	1	50	50
Total				1800

Tabla 72.**Costo de las pruebas realizadas.**

Pruebas realizadas				
N°	Ítem	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Dinamómetro	5	40	200
2	Análisis de gases	5	20	100
3	Consumo de combustible	15	1,48	22,2
Total				322,2

6.2 Título de la propuesta

Investigación del desempeño del motor J14F003885al implementar un sistema de inyección de combustible modificado electrónicamente a través de software dedicado.

6.3 Estructura de la investigación

La investigación se enfoca en demostrar que al implementar un sistema de inyección electrónica programable se puede mejorar el rendimiento de un vehículo a carburador; ganando así potencia, torque, optimización del consumo de combustible y reducir la emisión de gases contaminantes

6.4 Desarrollo de la propuesta

El desarrollo de la investigación ve necesario la participación de talento humano, requiere recursos tecnológicos y financieros, mismo que han sido expuestos en el plan de investigación. Para la realización de la investigación se estableció un valor estimado de \$ 2977,5, en donde no consta el talento humano.

CONCLUSIONES

Finalizado el trabajo de investigación se concluyó lo siguiente:

- Se investigó el desempeño del motor J14F003885 a través de la implementación de un sistema de inyección multipunto modificado electrónicamente a través de software dedicado.
- Se recopiló información técnica acerca de los sistemas de inyección electrónica aplicables en la conversión de un motor con sistema carburador a inyección.
- Se puso a punto el motor a carburador para determinar su desempeño en relación a potencia, torque, consumo de combustible y emisión de gases contaminantes.
- Se realizó la selección de elementos para la implementación del sistema de inyección MPFI.
- Se implementó el sistema de inyección de combustible necesario para el funcionamiento del sistema de inyección multipunto.
- Se modificó la unidad de control electrónico a través de software dedicado lo que permitió obtener mejores desempeños del motor.
- Se determinó los parámetros característicos del motor en función de las reprogramaciones realizadas.
- Se realizó las pruebas de potencia, torque, consumo de combustible y gases contaminantes antes y después de la implementación del sistema MPFI con mapeo de software dedicado.
- Se matematizó los parámetros que caracterizan el motor de combustión interna.
- Con el sistema de inyección electrónica multipunto y su computadora modificada a través de software, la potencia se incrementó un 27,30 %, en un rango de 35,29 Hp con carburador a 53,13 Hp en inyección. Se incrementó el torque en 28,17 %, habiendo sido en carburador 48,24 ft-lb hasta un rango de 73,42 ft-lb a inyección.
- Luego de la implementación del sistema de inyección multipunto y una vez realizada la reprogramación hubo una reducción de las emisiones

de gases contaminantes en un 21,61 %, lo que es un factor importante ya que se encuentra próximo a cumplir con los límites establecidos en la norma NTE INEN 2 204:2002.

- Una vez realizado la conversión de carburador a inyección, y luego de haber reprogramado la ECU se evidenció que el consumo de combustible se redujo en un 44,37 %, según la norma DIN 70 030-2 el consumo de combustible con el sistema a carburador fue de 12,19 litros/100 Km mientras que con la inyección MPFI se redujo a 6,72 litros/100 Km.
- Se obtuvieron tres modelos de reprogramaciones aplicables en el motor J14F003885 a inyección, los que en parámetros de potencia, torque, consumo de combustible y emisión de gases presentan un mejor rendimiento que cuando estuvo a carburador.
- Tras haber reprogramado la ECU en el motor a inyección el rendimiento mecánico, térmico e indicado mejoró en un 11,16 %.

RECOMENDACIONES

Finalizado el trabajo de investigación se recomienda lo siguiente:

- Realizar el mantenimiento preventivo y correctivo del motor, esto ayudará a obtener mejores resultados en futuras pruebas de desempeño del vehículo.
- Dar mantenimiento a los componentes eléctricos del sistema de inyección, ya que al trabajar con voltajes podría producir un cortocircuito en el sistema que afectaría al desempeño de los sensores y actuadores.
- Manipular la unidad de control electrónico con precaución, esta al ser una computadora programable puede llegar a perder los mapeos establecidos para su funcionamiento.
- Si se requiere realizar una reprogramación de la computadora con un mapeo ya en funcionamiento es importante conservar el archivo base en caso de que la reprogramación resulte con fallos.
- Antes de realizar alguna modificación al software de la Microsquirt se debe tener la ficha técnica del motor, sus datos son el primer paso para establecer las características de funcionamiento de la computadora.
- Todo reprogramación se la debe realizar en un banco de pruebas, como el dinamómetro, para altas revoluciones; mientras que la prueba de ruta es necesaria para configurar el mejor desempeño del motor en bajas revoluciones.
- Verificar que la mezcla aire combustible sea la adecuada si no se quiere desperdiciar el consumo de combustible, esta debería ser la mezcla ideal de 14,7:1.
- Para cualquier reprogramación hacer uso del software recomendado por Microsquirt, ya que este ofrece las características más completas para su optimización.
- Mantener el motor en límites permitidos por las normas ISO, INEN, y DIN, en cuanto a potencia, torque, consumo y gases.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

- Bates. (1998). Throttle Position Sensors Shouldn't Depress You. *The electronic, diagnostic and driveability resource.*, 02.
- Concepcion. (2010). *Estrategias de Sistemas Automotrices OBD-II*. United States: Createspace Independent Publishing Platform.
- Concepción, M. (2010). *Sensores Automotrices y Analisis de Ondas de Osciloscopio*. New York: Vetronix Corp.
- EcóEFI. (2014). *Intake air temperature sensor, Technical Spec*. Michigan: Ecotrons LLC.
- EcóEFI. (2017). *TPS SENSOR - Throttle Position Sensor*. Michigan: Ecotrons.
- Enright. (2015). *Basic principles of operation and applications of fuel injection systems in petrolpowered cars*. Limerick: Department of Mechanical & Automobile Engineering.
- Erjavec y Thompson. (2015). *Automotive Technology: A Systems Approach*. New York: Delmar.
- Fundación Natura. (2003). *Control de emisiones Vehiculares en el D. M. Q.* Quito: Cosude.
- Gil, H. (2002). *Sistemas de inyección de gasolina*. Barcelona.
- González. (2015). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto*. Madrid: Paraninfo.
- Guevara, R. (2016). *Carburadores*. Ancash: Universidad Nacional del Santa.
- Gupta, Kandari, Rajput, Asif & Singh. (2013). Multipoint Fuel Injection System. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 643-644.
- Halderman. (2016). *Computers and Sensors - Operation, Diagnosis, and Service*. Alberta: Pearson.
- Haltech. (2017). Haltech PLATINUM SPORT 2000. *Haltech Fuel and Ignition Control System*, 01.
- Herrera, Rodríguez & Rojas. (2012). *Determinación de las emisiones contaminantes*. Heredia: Universidad de Costa Rica.

- Isermann. (2014). *Engine Modeling and Control: Modeling and Electronic Management of Internal Combustion Engines*. Berlín: Springer.
- Jóvaj. (1982). *Motores de automovil*. Moscú: Editorial MIR.
- Kunjam, Sen & Sahu. (2015). A Study on Advance Electronic Fuel Injection System. *International Journal of scientific research and management*, 02.
- Madriñán. (2015). *Estudio de la eficiencia del ciclo de un motor de encendido por chispa de 5 tiempos*. Bogotá: Universidad Nacional De Colombia.
- Martin. (2005). *How To Diagnose and Repair Automotive Electrical Systems*. Minneapolis: Motorbooks.
- McCord. (2011). *Automotive Diagnostic Systems*. North Branch: CarTech.
- MTE Thomson. (2016). Oxygen Sensor Diagnostic Manual. 7 Steps, 03.
- Norbye, J. (1994). *Manual de sistemas Fuel injection*. Naucalpan de Juárez: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
- Orozco, Hernández & Parra. (2014). *Electrónica y servicio - Electrónica Automotriz*. Ciudad de México: México Digital Comunicación.
- Parera, A. (1990). *Inyección electrónica en motores de gasolina*. Barcelona: Marcombo.
- Parks. (2011). *Automotive Wiring*. Minneapolis: Motorbooks MBI.
- Pickerill. (2013). *Today's Technician: Automotive Engine Performance, Classroom and Shop Manuals*. Indiana: Cengage Learning.
- Posada & González. (2013). *Consumo de Combustible en vehículos para transporte por carretera*. Medellín: Universidad de Medellín.
- Rizzi. (2017). *Estudo da adaptação de um motor monocilíndrico de ciclo otto em ciclo atkinson*. Pato Branco: Universidad Tecnológica Federal Do Paraná.
- Simpson. (2014). *EFI fuel systems*. Columbus Ohio: McGraw-Hill Education.
- Sri Venkateswara College of Engineering . (2014). *Fuel System*. Tamil Nadu: Department of Automobile Engineering.
- Staff Electrónica y Servicio. (2014). *Electrónica y servicio, Electrónica Automotriz* . Ciudad de México: Electrónica y Servicio.
- Simpson. (2014). *EFI fuel systems*. Columbus Ohio: McGraw-Hill Education.
- SRI. (2011). *Ley del Impuesto Ambiental a la Contaminación Vehicular (IACV)*. Quito: SRI.

- Well Point Counter. (1998). Making Sense Of Oxygen Sensors. *The Electronic, Diagnostican and Driveability Resorce*, 02-03.
- West Carroll . (2017). *Carburetion And Related Systems*. West Carroll: West Carroll District.
- Yamaha Technical Academy. (2016). *La Inyección Electrónica De Combustible*. Madrid: Yamaha Technical Academy.
- Yong. (2013). *Engine Controls*. Rexton.
- YTA. (2016). *Inyección Electrónica De Combustible*. Madrid: Yamaha Technical Academy.

NETGRAFÍA

- Alientech. (01 de Enero de 2017). Recuperado: 12 Agosto 2017 Obtenido de Alientech: <https://www.alientech-tools.com/>
- AutoAvance. (26 de Enero de 2016). Recuperado: 16 Septiembre 2017 *Auto Avance*. Obtenido de <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/202-metodos-para-flasheo-de-memorias-y-reprogramacion-de-ecus>
- ANT. Normativa ANT. Recuperado: 19 de 06 de 2017 *ANT*. Obtenido de <http://www.ant.gob.ec/index.php/noticias>
- Bosch. Sensores Bosch. Recuperado: 16 de Agosto de 2017 *Bosch Auto Parts*. Obtenido de <https://www.boschautoparts.com/es/auto/engine-position-sensors/crankshaft-position-sensors>
- Diagnostic. (28 de Octubre de 2016). Recuperado: 11 de Noviembre 2017 *Amazon*. Obtenido de <https://www.amazon.es/Mister-diagn%C3%B3stico-Interfaz-1260-Chip-programaci%C3%B3n/dp/B01M7T1Z4V>
- DYNO-mite Dynamometer. Recuperado: 12 de Diciembre de 2017 *DYNO-mite Dynamometer*. Obtenido de <https://www.dynomitedynamometer.com/dyno/dyno-specifications.htm>
- EFI Analytics. Software programación. Recuperado: 23 de Enero de 2018 *EFI Analytics*. Obtenido de <http://tunerstudio.com/index.php/tuner-studio#differenceReports>

- Fernández. (01 de Octubre de 2010). Recuperado: 2 Noviembre 2017 *CISE Electrónica*. Obtenido de <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/174-introducci%C3%B3n-al-flash-y-reprogramaci%C3%B3n-j2534.html>
- Gonzalez, J. (03 de Mayo de 2012). Recuperado: 15 Noviembre 2017 *Mecanicajoseg.blogspot*. Obtenido de <http://mecanicajoseg.blogspot.com/2012/05/como-trabaja-un-carburador.html>
- Maschinenbau Haldenwang. Recuperado: 20 de Noviembre de 2017 *Maha*. Obtenido de <http://www.maha.de/analizador-de-emisiones-mgt-5-con-terminal-de-mano.htm>
- Megasquirt. Recuperado: 12 de Junio de 2017. *Megasquirt*. Obtenido de <http://megasquirt.info/products/ms-complete/ms1/>
- MOTEC. Recuperado: 15 de Agosto de 2017. *Motec*. Obtenido de <http://www.motec.com/m84/m84overview/>
- NGK Spark Plug Europe. Recuperado: 12 de Junio de 2017 *Ngk*. Obtenido de <https://www.ngk.de/en/technology-in-detail/lambda-sensors/basic-exhaust-principles/the-ideal-mixture/>
- ORNL. Recuperado: 03 de 02 de 2018 *Banco Mundial*. Obtenido de <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.GF.ZS?end=2014&locations=EC&start=1960&view=chart>
- Padilla, C. (26 de Abril de 2011). Recuperado: 18 de Diciembre 2017 *slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/celinpadilla/common-rail-bosch-k>
- Parera, A. (4 de Mayo de 1990). Recuperado: 20 de Diciembre 2017 *Inyección Electrónica E Motores De Gasolina*. México: Marcobo. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YFghl1bGeKsC&oi=fnd&pg=PA1&dq=desempe%C3%B1o+del+motor+a+gasolina&ots=qGbf_wY2fP&sig=WcK0_Dw4qfjaqJLcTMD7mlj1aew#v=onepage&q&f=false
- ReproMotor. (16 de Octubre de 2016). Recuperado 24 de Enero 2018. *Repro Motor*. Obtenido de http://www.repromotor.com/FAQ_Reprogramacion_centralitas.html
- TRUPER. Recuperado: 13 de 02 de 2018. *TRUPER*. Obtenido de <https://www.truper.com/CatVigente/192.php>

NORMAS

- INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2000). NTE INEN 2 203:2000. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralentí”. Prueba estática. Primera. Quito, Ecuador.
- INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2002). NTE INEN 2 204:2002. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres. Primera Quito, Ecuador.
- DIN Instituto Alemán de Normalización (1990). DIN 70 030-1. Método de medición del consumo de combustible.
- ISO Organización Internacional de Normalización (1992). ISO 1585:1992. Vehículos de carretera - Código del prueba del motor – Potencia neta.

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **LUIS DAVID CHONTASI PILCO Y LENIN PAUL VINLASACA VIERA.**

En la ciudad de Latacunga, a los: **23 días del mes de febrero del 2018.**

Ing. Germán Erazo

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:



Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Freddy W. Jaramillo Checa

SECRETARIO ACADÉMICO

