



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: INVESTIGACIÓN PARA ELEVAR LOS PARÁMETROS
DE DESEMPEÑO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA
T18SED L4 DOHC 1.8L A TRAVÉS DE LA
REPROGRAMACIÓN ELECTRÓNICA MEDIANTE LA
CONEXIÓN EN PARALELO DE UNA ECU PROGRAMABLE**

**AUTORES: DARÍO FERNANDO PUMARICA LLAMATUMBI
MAURICIO JAVIER TONATO CAIZA**

DIRECTOR: ING. JOSÉ QUIROZ

LATACUNGA

2018



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**INVESTIGACIÓN PARA ELEVAR LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA T18SED L4 DOHC 1.8L A TRAVÉS DE LA REPROGRAMACIÓN ELECTRÓNICA MEDIANTE LA CONEXIÓN EN PARALELO DE UNA ECU PROGRAMABLE**” realizado por los señores **MAURICIO JAVIER TONATO CAIZA** y **DARÍO FERNANDO PUMARICA LLAMATUMBI**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores: **MAURICIO JAVIER TONATO CAIZA** y **DARÍO FERNANDO PUMARICA LLAMATUMBI** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 17 de febrero del 2018

Ing. José Quiroz
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **MAURICIO JAVIER TONATO CAIZA**, con cédula de ciudadanía N°1804377198 y **DARÍO FERNANDO PUMARICA LLAMATUMBI**, con cédula de ciudadanía N°1724468267, declaro que este trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN PARA ELEVAR LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA T18SED L4 DOHC 1.8L A TRAVÉS DE LA REPROGRAMACIÓN ELECTRÓNICA MEDIANTE LA CONEXIÓN EN PARALELO DE UNA ECU PROGRAMABLE ”** 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, 17 de febrero del 2018

Mauricio Javier Tonato Caiza
C.C.:1804377198

Darío Fernando Pumarica Llamatumbi
C.C.: 1724468267



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **MAURICIO JAVIER TONATO CAIZA** y **DARÍO FERNANDO PUMARICA LLAMATUMBI**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN PARA ELEVAR LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA T18SED L4 DOHC 1.8L A TRAVÉS DE LA REPROGRAMACIÓN ELECTRÓNICA MEDIANTE LA CONEXIÓN EN PARALELO DE UNA ECU PROGRAMABLE”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 17 de febrero del 2018

Mauricio Javier Tonato Caiza
C.C.:1804377198

Darío Fernando Pumarica Llamatumbi
C.C.:1724468267

DEDICATORIA

Dedico este logro tan importante mi vida a Dios y a mis padres, a Dios ya que me ha bendecido en todas las circunstancias adversas de mi vida y nunca me ha desamparado.

A mi padre Luis Tonato, el cual me supo guiar y aconsejar que se debe luchar por los sueños por más altos que sean, de esta forma quedo satisfecho por todas sus palabras de aliento que me supo decir.

A mi madre Bélgica Caiza con sus enseñanzas y virtudes que tiene, ha sido un pilar fundamental para concluir esta etapa de mi vida.

Como no dedicar este triunfo a mis tíos y primos los cuales de una u forma me supieron aconsejar moralmente y guiar para culminar esta etapa muy importante de mi vida.

Mauricio Tonato

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a mis padres que han demostrado que la humildad, esfuerzo y perseverancia siempre llevan al éxito.

A mi padre Juan que ha inculcado en mí desde pequeño el valor de las cosas pequeñas. Hombre sabio, trabajador que ha sabido sobresalir ante cualquier adversidad enseñándome que con dedicación todo se puede y nunca es tarde para aprender.

A mi madre Martha por su inmensa paciencia y sacrificio al cuidar de mí, enseñándome valores para llegar a ser un hombre de bien. Demostrando que el amor inmenso de una madre hacia su familia nunca termina.

A mis hermanos Camila y Danny para que nunca desistan de sus sueños, luchen por alcanzar muchos éxitos en su vida personal sin dejar de lado sus estudios.

Sin sus consejos y arduo trabajo para guiarme hacia buenos pasos no hubiese sido posible este logro.

Darío Pumarica

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres ya que con sus consejos me supieron guiar para no desmayar por más difícil que sea las circunstancias.

A mi hermana que de una u otra forma me ayudo para salir adelante en mis estudios.

A mis primos y de forma especial a mi primo Elvis Caiza, el cual fue como un hermano el cual me supo guiar y aconsejar para culminar esta meta.

A mis tíos y tías que de una u otra forma me ayudaron a culminar esta etapa de mi vida.

A mis amigos y amigas con los que compartí tantos momentos malos y buenos.

A mi amigo de la universidad los cuales se convirtieron como parte de mi familia.

A mis amigos del barrio con los que compartí momentos únicos e inolvidables para nuestras vidas.

A mi compañero de Darío Pumarica (el puma), el cual fue parte muy fundamental para culminar este proyecto de titulación.

Además, quiero agradecer a dos personas importantes quienes fueron parte fundamental para concluir este proyecto de investigación: Ing. José Quiroz como director de tesis e Ing. German Erazo como colaborador científico y excelente persona.

Mauricio Tonato

AGRADECIMIENTO

A mi familia por su inmenso cariño y apoyo para continuar mis estudios universitarios.

A María del Carmen, su motivación y cariño no dejaron desfallecer mis ánimos para seguir superándome en la vida personal y profesional.

A mis compañeros de clases y departamento que hicieron llevadera la vida universitaria siempre contando con su amistad y apoyo en cualquier momento.

A Mauricio Tonato por ser parte de este proyecto, su perseverancia ha permitido que este objetivo se cumpla.

A nuestro director de tesis Ingeniero José Quiroz que fue un pilar fundamental en el desarrollo de este proyecto.

Ingeniero Germán Erazo como colaborador científico, supo guiarnos con su conocimiento y experiencia para que este proyecto sea posible.

A todos y cada uno que de alguna forma fueron participes en el trascurso de este proyecto.

Darío Pumarica

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
ÍNDICE DE FIGURAS	xxi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxvii
RESUMEN	xxviii
ABSTRACT	xxviii

CAPÍTULO I **1**

MARCO METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN “INVESTIGACIÓN PARA ELEVAR LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA T18SED L4 DOHC 1.8L A TRAVÉS DE LA REPROGRAMACIÓN ELECTRÓNICA MEDIANTE LA CONEXIÓN EN PARALELO DE UNA ECU PROGRAMABLE

1.1. Antecedentes investigativos.....	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Descripción resumida del proyecto	4
1.4. Justificación e Importancia	5
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
1.8.1.	Variable independiente.....	7
1.8.2.	Variable dependiente.....	8
1.9.	Metodología	8
1.9.1.	Método inductivo.....	8
1.9.2.	Método deductivo.....	9
1.9.3.	Método analítico.....	9
1.9.4.	Método de síntesis.....	9
1.9.5.	Método experimental	9
1.9.6.	Método comparativo	9
1.9.7.	Método de medición.....	10
1.9.8.	Método matemático	10

CAPÍTULO II13

MARCO TEÓRICO

REPROGRAMACIÓN DE ECU'S AUTOMOTRICES

2.	Introducción	13
2.1.	La unidad de control electrónico (ECU).....	14
2.1.1.	Funciones que cumplen las computadoras automotrices (ECU)..	14
2.2.	Unidad de control programable	14
2.2.1.	Protocolo J2534	15
2.2.2.	J2534	15
2.3.	Torque o par del motor.....	16
2.4.	Potencia.....	17
2.5.	Curvas características del motor.....	17

2.5.1.	Curva de torque	18
2.5.2.	Curva de potencia.....	18
2.5.3.	Curva de consumo de combustible.....	19
2.5.4.	Consumo de carburante.....	20
2.6.	Análisis de gases	21
2.6.1.	Monóxido de carbono Co	22
2.6.2.	Dióxido de carbono CO ₂	23
2.6.3.	Oxígeno O ₂	24
2.6.4.	Hidrocarburos HC	25
2.6.5.	Óxido de nitrógeno.....	25
2.6.6.	Lambda	26
2.7.	Eficiencia volumétrica	26
2.7.1.	Cantidad de masa de aire	26
2.7.2.	Ecuación general de gases.....	27
2.7.3.	Condiciones estándar para el aire.....	27
2.7.4.	Tendencia de la Eficiencia Volumétrica VE.....	27
2.7.5.	Relación lineal MAP-MAF	28
2.8.	Adelanto al encendido.....	29
2.9.	Tipos de memorias.....	29
2.9.1.	Memoria tipo DIL.....	30
2.9.2.	Memoria tipo PLCC.....	30
2.9.3.	Memoria tipo SOP	31
2.10.	Tipos de reprogramación	31
2.10.1.	Reprogramación Flash.....	32
2.10.2.	Reprogramación estándar.....	32
a)	Lectura del archivo ECU	32
b)	Modificación De Mapas.....	33

2.10.3. ECU programable	33
2.11. Tipos de ECU's programables	34
2.11.1. Haltech Platinum Sport 2000.....	34
2.11.2. Software	34
2.11.3. Megasquirt	35
2.11.4. Software	35
2.11.5. Motec M84	36
2.11.6. Software	36
2.12. Mapa eficiencia volumétrica.....	37
2.12.1. Zona 1.....	37
2.12.2. Zona 2.....	38
2.12.3. Zona 3.....	39
2.12.4. Zona 4.....	40
2.12.5. Zona 5.....	41
2.12.6. Zona 6.....	41
2.12.7. Zona 7.....	42
2.12.8. Zona 8.....	43
2.13. Generar mapas de Eficiencia Volumétrica.....	44
2.13.1. Método Corners	44
2.14. Generar Mapas de encendido.....	45
2.14.1. Adelantar el encendido con el incremento de RPM.	45
2.14.2. Retrasar el Encendido con el aumento de la carga del cilindro. ..	45
2.14.3. Evitar el Golpeteo.....	46
2.15. Calibración de la ECU.....	46
2.16. Ángulo de encendido y presión en el cilindro	47

CAPÍTULO III	49
INSTALACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA UNIDAD	
ELECTRÓNICA MEGASQUIRT	
3.1. Introducción.....	49
3.2. Características del motor	50
3.3. Sensores y actuadores principales del motor.....	50
3.3.1. Sensores.....	50
3.3.2. Actuadores.....	56
3.4. Comparación y selección del equipo ECU reprogramable.....	61
3.5. Características de la computadora reprogramable	63
3.6. Distribución de pines Megasquirt MS2 3.5.....	64
3.7. Selección de sensor wide-band	66
3.8. Características del kit completo del sensor wide-band	67
3.9. Precauciones para la instalación y reprogramación de la ECU Megasquirt MS2 placa 3.5	68
3.9.1. Diagrama de conexión de la computadora Megasquirt	69
3.9.2. Diagrama de conexión bobina, inyectores, bomba de combustible y electro ventilador	70
3.9.3. Diagrama de conexión sensores ECT, CKP, TPS, IAT	71
3.10. Funcionamiento, configuración y programación de la ECU Megasquirt en el banco de pruebas	72
3.10.1. Funcionamiento del banco de pruebas	72
3.11. Instalación del software.....	74
3.11.1. Conexión del cable RS232.....	74
3.11.2. Instalación software Tunerstudio MS	75
3.12. Configuraciones iniciales del software Tunerstudio	76
3.12.1. Creación de un nuevo proyecto	76
3.13. Calibración de los sensores	78

3.14.	Configuraciones generales	81
3.14.1.	Basic/load settings	81
3.14.2.	Engine and sequential settings	81
3.14.3.	General settings	83
3.14.4.	Revolution limiter.....	83
3.14.5.	Ignition options/ wheel decoder.....	84
3.14.6.	Ángulo de desfase del sensor CKP.....	85
3.14.7.	Programable on/off outputs.....	86
3.15.	Programación de la unidad reprogramable Megasquirt	87
3.15.1.	Priming Pulse	87
3.15.2.	Cranking pulse	88
3.15.3.	Afterstart enrichment percentage	88
3.15.4.	Warm up enrichment curve	89
3.16.	Cálculos para generar un mapa base	89
3.16.1.	Tabla eficiencia volumétrica VE	89
3.16.2.	Aplicación del método Corners	94
3.17.	Tabla de encendido.....	98
CAPÍTULO IV		99
AFINACIÓN Y PRUEBAS DE LOS MAPAS		
4.1.	Calibración del dinamómetro para generar cargas	99
4.2.	Primera Programación	102
4.3.	Segunda Programación	106
4.4.	Datos de potencia y torque	109
4.4.1.	ECU original.....	110
4.4.2.	Mapa base	111
4.4.3.	Primera Programación	112

4.4.4.	Segunda Programación	113
4.5.	Comparación de Potencia	114
4.6.	Comparación de torque.....	116
4.7.	Consumo de combustible.....	117
4.7.1.	Parámetros de conducción para vías autopistas.....	118
4.7.2.	Protocolo de pruebas de consumo de combustible.....	119
4.7.3.	Prueba de consumo ECU estándar del vehículo.....	120
4.7.4.	Prueba de consumo primera programación unidad de control electrónico.....	126
4.7.5.	Prueba de consumo primera programación unidad de control electrónico.....	131
4.7.6.	Prueba de consumo segunda programación unidad de control electrónico.....	137
4.8.	Análisis de emisiones de gases	142
4.8.3.	Prueba de medición del factor Lambda ralentí.....	145
4.8.4.	Prueba de factor Lambda 3000 RPM.....	146
4.8.5.	Prueba de medición de gases factor Lambda 6000 RPM.	147
4.8.6.	Prueba de medición de gases CO% VOL ralentí.	147
4.8.7.	Prueba de medición de gases CO% VOL 3000 RPM.	148
4.8.8.	Prueba de medición de gases CO% VOL 6000 RPM.	149
4.8.9.	Prueba de medición de gases CO ₂ % VOL ralentí.	150
4.8.10.	Prueba de medición de gases CO ₂ % VOL 3000 RPM.	150
4.8.11.	Prueba de medición de gases CO ₂ % VOL 6000 RPM.	151
4.8.12.	Prueba de medición de gases HC Ralentí.	152
4.8.13.	Prueba de medición de gases HC ppm 3000 RPM.....	153
4.8.14.	Prueba de medición de gases HC 6000 RPM.....	153
4.8.15.	Prueba de medición de gases O ₂ Ralentí.....	154
4.8.16.	Prueba de medición de gases O ₂ 3000 RPM.	155

4.8.17. Prueba de medición de gases O ₂ 6000 RPM.	156
4.8.18. Prueba de medición de gases NO ralenti.	156
4.8.19. Prueba de medición de gases NO 3000 RPM.....	157
4.8.20. Prueba de medición de gases NO 6000 RPM.....	158
4.9. Cálculo de ciclos del motor	159
4.9.1. Ciclo de admisión.....	159
a) Presión de admisión.....	159
b) Temperatura de admisión	160
4.9.2. Ciclo de compresión.....	161
a) Presión de compresión	161
b) Temperatura de compresión	162
4.9.3. Ciclo de explosión	162
a) Temperatura de explosión	162
b) Presión de explosión.....	162
4.9.4. Ciclo de escape.....	163
a) Presión de escape	163
b) Temperatura de escape	163
4.9.5. Presión media indicada del ciclo	164
4.9.6. Presión media indicada real.....	164
4.9.7. Potencia indicada.....	164
4.10. Rendimiento mecánico.....	165
4.10.1. ECU estándar.....	165
4.10.2. ECU reprogramable	165
4.10.3. Comparación.....	166

CAPÍTULO V	167
MARCO ADMINISTRATIVO	
5.1. Recursos	167
5.1.1. Recursos humanos	167
5.1.2. Recursos tecnológicos	167
5.1.3. Recursos materiales	168
5.1.4. Presupuesto y financiamiento	169
CONCLUSIONES	170
RECOMENDACIONES.....	171
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	172
ANEXOS.....	175

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Operacionalización de la variable independiente	7
Tabla 2:	Operacionalización de la variable dependiente.....	8
Tabla 3:	Descripción de la metodología del proyecto	10
Tabla 4:	Niveles máximos de % vol CO Consejo Metropolitano De Quito.	23
Tabla 5:	Niveles min. Y máx. CO ₂ +CO consejo metropolitano de quito. .	24
Tabla 6:	Niveles Máx. O ₂ CONSEJO METROPOLITANO DE QUITO. ...	24
Tabla 7:	Niveles máximos de HC ppm vol consejo metropolitano de quito.....	25
Tabla 8:	De especificaciones del motor Chevrolet Optra 1.8l	50
Tabla 9:	Información del sensor TPS.....	51
Tabla 10:	Valores de resistencia entre pines.	51
Tabla 11:	Información del sensor IAT.	52
Tabla 12:	Valores de resistencia del sensor IAT.....	52
Tabla 13:	Información del sensor CKP.....	54
Tabla 14:	Valores de resistencia del sensor CKP.	54
Tabla 15:	Información del sensor ECT.....	55
Tabla 16:	Valor de resistencia del sensor ECT.....	55
Tabla 17:	Información de los actuadores inyectores.....	57
Tabla 18:	Resistencia de los inyectores.....	57
Tabla 19:	Información de la bobina.....	59
Tabla 20:	Resistencia de las bobinas.	59
Tabla 21:	Información de la bomba de combustible.....	60
Tabla 22:	Selección de equipo ECU reprogramable.	61
Tabla 23:	Características de la ECU Megasquirt MS2 3.5.....	64
Tabla 24:	Distribución de pines Megasquirt MS2 3.5.....	65
Tabla 25:	Wide-Band vs. Narrow-Band.....	66
Tabla 26:	Características del kit completo del sensor Wide-Band.	67
Tabla 27:	Estados de los switch del banco de pruebas.	72
Tabla 28:	Estados de los switch del banco de pruebas.	73
Tabla 29:	Protocolo la crear un nuevo proyecto.....	76
Tabla 30:	Proceso de calibración de sensores	78
Tabla 31:	Protocolo para calcular el desfase del sensor CKP.	85

Tabla 32: Porcentajes VE a diferentes presiones	92
Tabla 33: Porcentajes VE en función de la presión y RPM del motor	93
Tabla 34: Porcentajes VE corregidos con el factor lambda de 1.03 a altas RPM.....	94
Tabla 35: Porcentajes VE corregidos con el factor lambda de 0.98 a cargas y RPM altas.	95
Tabla 36: Porcentajes VE corregidos con el factor lambda de 1.02.....	95
Tabla 37: Porcentajes VE corregidos con el aumento del 2% a altas RPM.....	96
Tabla 38: Porcentajes VE corregidos con la disminución del 2% a bajas RPM.....	97
Tabla 39: Características del dinamómetro de Motorroll.....	99
Tabla 40: Protocolo de seguridad para el manejo del dinamómetro	100
Tabla 41: Datos potencia torque ECU original.....	110
Tabla 42: Datos de potencia torque mapa base.	111
Tabla 43: Datos de potencia torque primera programación.	112
Tabla 44: Datos de potencia torque mapa final.....	113
Tabla 45: Datos en el punto de máxima potencia.	115
Tabla 46: Datos en el punto de máximo torque.	117
Tabla 47: Recolección de datos de consumo de combustible.	119
Tabla 48: Prueba 1 resultados obtenidos Ecu estándar.....	120
Tabla 49: Prueba 2 resultados obtenidos Ecu estándar.....	121
Tabla 50: Análisis de consumo de combustible.	122
Tabla 51: Prueba 1 resultados obtenidos mapa base.....	126
Tabla 52: Prueba 2 resultados obtenidos Mapa base.....	127
Tabla 53: Análisis de consumo de combustible.	128
Tabla 54: Prueba 1 resultados obtenidos Primera Programación.	131
Tabla 55: Prueba 2 resultados obtenidos Primera programación.	133
Tabla 56: Prueba 1 resultados obtenidos segunda programación.	137
Tabla 57: Prueba 2 resultados obtenidos segunda programación.	138
Tabla 58: Registro de información analizador de gases.	143
Tabla 59: Factor lambda ralentí.	145
Tabla 60: Datos de gases factor lambda 3000 RPM.....	146
Tabla 61: Datos de gases factor lambda 6000 RPM.....	147

Tabla 62:	Datos de gases CO% vol ralenti.	147
Tabla 63:	Datos de gases CO% vol 3000 RPM.	148
Tabla 64:	Datos de gases CO% vol 6000 RPM.	149
Tabla 65:	Datos de gases CO ₂ % vol ralenti.	150
Tabla 66:	Datos de gases CO ₂ % vol 3000 RPM.	150
Tabla 67:	Datos de gases CO ₂ % vol 6000 RPM.	151
Tabla 68:	Datos de gases HC ppm ralenti.	152
Tabla 69:	Datos de gases HC ppm 3000 RPM.	153
Tabla 70:	Datos de gases HC ppm 6000 RPM.	153
Tabla 71:	Datos de gases O ₂ ralenti.	154
Tabla 72:	Datos de gases O ₂ 3000 RPM.....	155
Tabla 73:	Datos de gases O ₂ 6000 RPM.....	156
Tabla 74:	Datos de gases NO ppm ralenti.	156
Tabla 75:	Datos de gases NO ppm 3000 RPM.	157
Tabla 76:	Datos de gases NO 6000 RPM.	158
Tabla 77:	Recursos humanos	167
Tabla 78:	Recursos tecnológicos	168
Tabla 79:	Recursos materiales	168
Tabla 80:	Presupuesto del proyecto de investigación	169

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Árbol del problema.....	3
Figura 2	Par del motor	16
Figura 3	Curva de torque.	18
Figura 4	Curva Potencia.	18
Figura 5	Influencia del factor Lambda en la potencia.....	19
Figura 6	Influencia del factor Lambda en el consumo de combustible..	20
Figura 7	Curvas típicas de emisiones de gases.....	21
Figura 8	Combustión ideal y real del combustible.....	22
Figura 9	Curva Eficiencia Volumétrica vs RPM.....	27
Figura 10	Tendencia Eficiencia Volumétrica a varias presiones de múltiple	28
Figura 11	Relación lineal MAP-MAF	28
Figura 12	Efectos sobre la presión de cilindro frente a varios ajustes de avance de chispa.....	29
Figura 13	Memoria tipo DIL.....	30
Figura 14	Memoria tipo PLCC.....	30
Figura 15:	Memoria tipo SOP.....	31
Figura 16	Haltech Platinum sport 2000.....	34
Figura 17	Pantalla de software sport 2000.....	35
Figura 18	Megasquirt MS1.....	35
Figura 19	Software Megatune.....	36
Figura 20	ECU Motec.....	36
Figura 21	Pantalla software Motec.....	37
Figura 22	Zonas en la eficiencia volumétrica	38
Figura 23	Zona 2 eficiencia volumétrica.....	39
Figura 24	Zona 3 eficiencia volumétrica.....	40
Figura 25	Zona 4 eficiencia volumétrica.....	40
Figura 26	Zona 5 eficiencia volumétrica.....	41
Figura 27	Zona 6 eficiencia volumétrica.....	42
Figura 28	Zona 7 eficiencia volumétrica.....	43
Figura 29:	Zona 8 eficiencia volumétrica.....	44
Figura 30	Curva presión de combustión vs ángulo avance de encendido	46

Figura 31	Mapeo.....	47
Figura 32	Ángulo de encendido vs torque.....	48
Figura 33	Vista del socket sensor TPS.....	51
Figura 34	Diagrama eléctrico del sensor TPS.....	51
Figura 35	Ubicación del Sensor TPS.....	52
Figura 36	Vista del socket sensor IAT.....	52
Figura 37	Diagrama eléctrico del sensor IAT.....	53
Figura 38	Ubicación sensor IAT.....	53
Figura 39	Vista del socket sensor CKP.....	53
Figura 40	Diagrama eléctrico del sensor CKP.....	54
Figura 41	Ubicación del sensor CKP.....	54
Figura 42	Vista del socket sensor ECT.....	55
Figura 43	Circuito sensor ECT.....	56
Figura 44	Ubicación del Sensor ECT.....	56
Figura 45	Vista del socket inyectores.....	57
Figura 46	Esquema de un inyector.....	58
Figura 47	Ubicación de los Inyectores.....	58
Figura 48	Vista del socket bobina.....	58
Figura 49	Diagrama eléctrico de una bobina.....	59
Figura 50	Ubicación de las bobinas.....	59
Figura 51	Vista del socket bomba de combustible.....	60
Figura 52	Bomba de combustible Chevrolet Optra.....	60
Figura 53	Ubicación bomba de combustible.....	61
Figura 54	DB-37 Megasquirt 3.5.....	64
Figura 55	Conexión de la Megasquirt y la ECU original.....	69
Figura 56	Bobina, Inyectores, Bomba de combustible, Electro Ventilador.....	70
Figura 57	a) Empalmes de señales de bobinas. b) Señales de inyectores. c) Relés de control Inyectores, Bobinas. d) Señales que ingresan a los relés y salen a inyectores y bobinas.....	71
Figura 58	Sensores IAT, ECT, TPS, CKP.....	71
Figura 59	a) Empalme señal TPS. b) Sensor ECT. c) Empalmes sensor CKP. d) Sensor IAT.....	72

Figura 60	Caja de Switch del Banco de pruebas.	73
Figura 61	Caja de Switch del Banco de pruebas.	74
Figura 62	Drivers CD instalación cable RS232.....	74
Figura 63	Estado de instalación del driver cable RS232.....	74
Figura 64	Descarga del software Tunerstudio.	75
Figura 65	Ejecución del instalador Tunerstudio.	75
Figura 66	Proceso de instalación del software Tunerstudio.....	76
Figura 67	Inicio software Tunerstudio	76
Figura 68	Descripción del proyecto.....	77
Figura 69	Configuraciones del nuevo proyecto.....	77
Figura 70	Método de comunicación con el PC.....	77
Figura 71	Selección de interfaz gráfica de indicadores.....	78
Figura 72	Interfaz gráfica de indicadores.....	78
Figura 73	Calibración sensor TPS.	78
Figura 74	Calibración sensor TPS.	79
Figura 75	Calibración sensor TPS.	79
Figura 76	Calibración sensor MAP.	79
Figura 77	Calibración sensor MAP.	79
Figura 78	Calibración sensor ECT e IAT.....	80
Figura 79	Selección del sensor de temperatura.....	80
Figura 80	Calibración sensor Wideband.	80
Figura 81	Opción basic/load settings	81
Figura 82	Cálculo del combustible requerido	82
Figura 83	Configuración general de motor.....	82
Figura 84	Configuración sensor MAP y tablas	83
Figura 85	Configuración del limitador de revoluciones.....	84
Figura 86	Configuración sistema del encendido	85
Figura 87	Sincronización de árboles de levas.....	85
Figura 88	Alojamiento del sensor CKP	86
Figura 89	Número de dientes de desfase	86
Figura 90	Configuración del electro ventilador.....	87
Figura 91	Curva de pulso de preinyección.....	87
Figura 92	Curva de pulso arranque	88
Figura 93	Curva de enriquecimiento luego del arranque	88

Figura 94	Curva de enriquecimiento por calentamiento.....	89
Figura 95	Porcentajes de eficiencia volumétrica.....	89
Figura 96	Mapa inicial de eficiencia volumétrica.....	93
Figura 97:	Mapa base de eficiencia volumétrica.....	97
Figura 98:	Ángulos base de avance al encendido.....	98
Figura 99:	Mapa Tridimensional de Encendido.....	98
Figura 100	Alineación del vehículo en el dinamómetro.....	100
Figura 101	Inmovilización del vehículo.....	100
Figura 102	Instalación eléctrica de la bomba.....	100
Figura 103	Alojamiento de la bomba hidráulica.....	101
Figura 104	Instalación del extractor de gases.....	101
Figura 105	Instalación de ventilador de refrigeración.....	101
Figura 106	Perillas de carga del dinamómetro.....	101
Figura 107	Porcentajes VE en la zona de ralentí.....	102
Figura 108	Porcentajes VE en la zona de velocidad crucero.....	103
Figura 109	Porcentajes VE en la zona de aceleración y máxima potencia.....	103
Figura 110	Mapa tridimensional VE afinado.....	104
Figura 111	Ángulos de avance a altas RPM.....	104
Figura 112	Ángulos de avance en la zona de bajas cargas del motor..	105
Figura 113	Ángulos de avance en la zona de velocidad crucero.....	105
Figura 114	Mapa tridimensional de encendido afinado.....	106
Figura 115	Porcentajes VE en la zona de ralentí.....	106
Figura 116	Porcentajes VE en la zona de velocidad crucero.....	107
Figura 117	Porcentajes VE en la zona de máxima aceleración.....	107
Figura 118	Porcentajes VE en la zona de máxima potencia.....	108
Figura 119	Mapa tridimensional VE final.....	108
Figura 120	Afinación de ángulos de avance.....	109
Figura 121	Mapa tridimensional de encendido final.....	109
Figura 122	Curvas características ECU original.....	110
Figura 123	Curvas características mapa base.....	111
Figura 124	Curvas características primera programación.....	112
Figura 125	Curvas características segunda programación.....	113
Figura 126	Comparación de potencias máximas.....	114

Figura 127	Comparación entre potencias	114
Figura 128	Comparación de torques máximos	116
Figura 129	Comparación entre torques.....	116
Figura 130	Hoja de ruta distancia de 74 km redondel de Pujilí-peaje de panzaleo.	118
Figura 131	a) Depósito de combustible y multímetro, b) Probeta y depósito graduados.	118
Figura 132	Prueba 1 ECU original, a) y b) Variación de resistencia, c) Variación de combustible.....	121
Figura 133	Prueba 2 ECU original, a) y b) Variación de resistencia, c) Variación de combustible.....	122
Figura 134	consumo de combustible ECU estándar.....	123
Figura 135	Consumo de combustible ECU estándar promedio.	124
Figura 136	Consumo Vs Resistencia computadora estándar.	125
Figura 137	Ecuación de consumo de combustible.....	125
Figura 138	Prueba 1 primera programación, a) y b) Variación de resistencia inicial y final, c) Variación de combustible.	127
Figura 139	Prueba 2 primera programación, a) y b) Variación de resistencia inicial y final, c) y d) Variación de combustible.	127
Figura 140	Consumo de combustible mapa base.....	128
Figura 141	Consumo de combustible promedio mapa base.	129
Figura 142	Consumo Vs Resistencia Mapa base.	130
Figura 143	Consumo Vs Resistencia mapa base promedio.	131
Figura 144	Prueba 1 Segunda programación, a) y b) Variación de resistencia inicial y final, c) y d) Variación de combustible.	132
Figura 145	Prueba 2 Segunda programación, a) y b) Variación de resistencia inicial y final, c) Variación de combustible.	133
Figura 146	Consumo de combustible primara programación.....	134
Figura 147	Consumo de combustible primera programación promedio.	135
Figura 148	Consumo Vs Resistencia primera programación.....	136
Figura 149	Consumo Vs Resistencia primera programación promedio.	136
Figura 150	Prueba 1 segunda programación, a) y b) Variación de resistencia inicial y final, c) Variación de combustible.	138

Figura 151	Prueba 2 segunda programación, a) y b) Variación de resistencia inicial y final, c) Variación de combustible.	138
Figura 152	Consumo de combustible segunda programación.	139
Figura 153	Consumo de combustible segunda programación promedio.	140
Figura 154	Consumo Vs Resistencia segunda programación.	141
Figura 155	Consumo Vs Resistencia segunda programación promedio.	141
Figura 156	Analizador de gases AGS-688.	142
Figura 157	Instrumentos de medidor de gases.	143
Figura 158	Equipo analizador de gases.	144
Figura 159	Calibración de equipos.	144
Figura 160:	Conexión de la válvula al tubo de escape.	144
Figura 161:	Datos en el computador.	145
Figura 162:	General el reporte.	145
Figura 163	Factor Lambda-ralentí.	146
Figura 164	Emisiones de gases factor Lambda-3000 RPM.	146
Figura 165	Emisiones de gases factor Lambda-6000 RPM.	147
Figura 166	Emisiones de gases CO% VOL ralentí.	148
Figura 167	Emisiones de gases CO% VOL 3000 RPM.	148
Figura 168	Emisiones de gases CO% VOL 6000 RPM.	149
Figura 169	Emisiones de gases CO ₂ % VOL Ralentí.	150
Figura 170	Emisiones de gases CO ₂ % VOL 3000.	151
Figura 171	Emisiones de gases CO ₂ % VOL 6000 RPM.	151
Figura 172	Emisiones de gases HC ppm ralentí.	152
Figura 173	Emisiones de gases HC ppm 3000 RPM.	153
Figura 174	Emisiones de gases HC ppm 6000 RPM.	154
Figura 175	Emisiones de gases O ₂ ralentí.	154
Figura 176	Emisiones de gases O ₂ 3000 RPM.	155
Figura 177	Emisiones de gases O ₂ 6000 RPM.	156
Figura 178	Emisiones de gases NO ralentí.	157
Figura 179	Emisiones de gases NO ppm 3000 RPM.	157
Figura 180	Emisiones de gases NO ppm 6000 RPM.	158
Figura 181:	Comparación de rendimientos mecánicos.	166

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Potencia	17
Ecuación 2:	Consumo de combustible.....	20
Ecuación 3	Densidad.....	20
Ecuación 4:	Consumo específico de combustible.....	20
Ecuación 5	Eficiencia Volumétrica	26
Ecuación 6	Cantidad de masa de aire	26
Ecuación 7	Ecuación general de los gases.....	27
Ecuación 8	Carga de aire a condiciones reales	90
Ecuación 9	Eficiencia volumétrica del motor.....	92
Ecuación 10	Ecuación de interpolación.....	159
Ecuación 11	Densidad del aire a la entrada del múltiple de admisión	160
Ecuación 12	Presión de admisión.....	160
Ecuación 13	Temperatura en admisión.....	161
Ecuación 14	Presión de compresión.....	161
Ecuación 15	Temperatura de compresión	162
Ecuación 16	Coeficiente real de variación molecular.....	162
Ecuación 17	Presión de explosión	162
Ecuación 18	Presión de escape.....	163
Ecuación 19	Temperatura de escape	163
Ecuación 20	Grado elevación de presión.....	164
Ecuación 21	Presión media indicada no redondeada	164
Ecuación 22	Presión media indicada real	164
Ecuación 23	Potencia indicada.....	164
Ecuación 24	Rendimiento mecánico.....	165

RESUMEN

En el desarrollo de la investigación se recopiló información de fuentes confiables como son libros, tesis, artículos científicos, manuales de los fabricantes. Se investigó sobre los tipos de software y hardware especializados para la reprogramación de la Unidad de Control Electrónico (ECU) donde se tomó en cuenta sus características, funciones que posee, así como también su facilidad de uso. Además, se obtuvieron las características iniciales del motor T18SED L4 DOHC 1.8L del vehículo Optra antes de la modificación electrónica, a través de la medición de las curvas de torque, potencia en el dinamómetro de rodillos en condiciones normales, analizando los parámetros del motor que deben modificarse para aumentar su desempeño. Mediante fórmulas matemáticas, datos característicos del motor e investigación académica se logró obtener un mapa base de eficiencia volumétrica en función de la cantidad de aire que ingresa al cilindro. A continuación, el control electrónico del motor se realizó con la implementación de la conexión en paralelo de la ECU programable y la ECU estándar, lo cual permitió el control independiente de los actuadores para cada ECU mediante la selección manual que se realizó en el tablero de instrumentos. El hardware y software especializados permitieron modificar los mapas tridimensionales de eficiencia volumétrica y avance de encendido, en función de la relación de aire/combustible en cada una de las zonas del mapa para optimizar las curvas características del motor. Finalmente, se desarrolló las pruebas de torque, potencia y consumo de combustible con las diferentes configuraciones de programación para determinar el desempeño mecánico del motor de combustión interna, así como su influencia en las emisiones de gases. Se tabuló los datos obtenidos para comparar los valores de desempeño antes y después de la reprogramación.

PALABRAS CLAVE:

- **MOTOR T18SED L4 DOHC 1.8L**
- **MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**
- **AUTOMÓVILES - MÓDULO DE CONTROL PROGRAMABLE**
- **AUTOMÓVILES - MOTORES - MAPAS TRIDIMENSIONALES**

ABSTRACT

Throughout the research development, information was collected from reliable sources such as books, theses, scientific articles, manufacturers manuals. The thesis investigated the types of specialized software and hardware for the reprogramming of an Electronic Control Unit (ECU) where its characteristics, functions as well as its ease of use were considered. Furthermore, initial characteristics of the T18SED L4 DOHC 1.8L engine of the Optra vehicle were obtained before the electronic modification, through the measurement of the torque and power curves, in the roller dynamometer under normal conditions, analysing the parameters of the engine that must be modified to increase its performance. By means of mathematical formulas, characteristic data of the engine and academic research, it was possible to obtain a base map of volumetric efficiency and ignition advance depending on the amount of air entering the cylinder. Consequently, the electronic control of the motor was completed with the implementation of the parallel connection of the programmable ECU and the standard ECU, which allowed the independent control of the actuators for each ECU through the manual selection that will be made in the instrument panel. As a result, the specialized hardware and software allowed to modify the three-dimensional maps of volumetric efficiency and ignition advance, according to the air/fuel ratio on each zone of the map to optimize the characteristic curves of the engine. Finally, the torque, power and fuel consumption tests were developed with different programming configurations to determine the mechanical performance of the internal combustion engine, as well as its influence on gas emissions. The obtained data was recorded to compare performance values before and after the ECU reprogramming.

KEYWORDS:

- **ENGINE T18SED L4 DOHC 1.8L**
- **INTERNAL COMBUSTION ENGINES**
- **VEHICLES - PROGRAMMABLE CONTROL MODULE**
- **VEHICLES - ENGINES - THREE-DIMENSIONAL MAPS**

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN “INVESTIGACIÓN PARA ELEVAR LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA T18SED L4 DOHC 1.8L A TRAVÉS DE LA REPROGRAMACIÓN ELECTRÓNICA MEDIANTE LA CONEXIÓN EN PARALELO DE UNA ECU PROGRAMABLE.

1.1. Antecedentes investigativos

(Ramirez, 2004) Afirma que: La electrónica en el sector automotriz, ha ido evolucionando paulatinamente en el transcurso del tiempo, convirtiéndose esta en una de las principales herramientas para mejorar la eficiencia de los vehículos. (pág. 41)

(Fidalgo, 2014) Menciona que: En la actualidad todos los vehículos cuentan con elementos electrónicos de control, los cuales ayudan que aumente considerablemente la eficiencia del motor, además, reducen el consumo del combustible, comparado con un motor a carburador. Esto es gracias a la implementación de la (ECU), que ha dado un aporte satisfactorio para los vehículos, con esta se controla la parte mecánica, además variar parámetros, todo esto con el fin de dar un mejor rendimiento del motor.

(Martínez, 2011) Afirma que: Existe en el mercado computadoras programables, este tipo de computadoras automotrices se encuentran ampliamente en vehículos de competición, donde se modifica parámetros como: Avance al encendido, eficiencia volumétrica, presión del turbo, limitadores de RPM, acelerador electrónico, transmisión automática, dependiendo el tipo de motor y software se puede elevar su eficiencia entre 5% y 10% en vehículos atmosféricos.

Según (Mendoza, 2010) la ECU programable se encarga de la gestión del motor, mediante la información de: revoluciones del motor, temperatura del refrigerante, densidad del aire, temperatura del aire, presión del aire, presión barométrica del múltiple de admisión, Esta información es tomada por la ECU,

luego, se procesa con valores que ya están previamente guardados en la memoria EPROM, esta se almacenan parámetros de funcionamiento como: cantidad de combustible ideal, inyección óptima y la presión de admisión adecuada.

1.2. Planteamiento del problema

Según (Kraeling & Oshana, 2013) afirma que: Sin duda alguna, los elementos de control electrónico automotrices han sido los más rápidos en evolucionar, logrando mayores ventajas tales como ergonomía del conductor, seguridad, incluso elevar la eficiencia del vehículo. La influencia en el desempeño mecánico del motor de combustión interna mediante la programación de la unidad de control electrónica abarca aspectos que pueden ser controlados por la ECU, tales como la inyección ajustando la cantidad de combustible necesario en función de la cantidad de aire que ingresa a la cámara de combustión, el avance al encendido es una variante que ayuda a mejorar la combustión de la mezcla que ingresa al cilindro. Con estos parámetros se logra aprovechar al máximo el combustible en el punto óptimo de encendido y así obtener la máxima potencia, además se puede limitar las RPM con el propósito de proteger al motor, todas estas calibraciones incrementan la eficiencia en el desempeño del motor. (pág. 776)

(Mendoza, 2010) Afirma que: Todos estos parámetros y muchos más son controlados por la unidad de control electrónico del motor (ECU), en función de la información que recibe de los sensores que están en el vehículo. (pág. 6,7)

(Díaz & Sopa, 2013) Afirma que: Por esta es la razón, para la investigación de este proyecto se tomó en cuenta el ámbito electrónico automotriz, específicamente la unidad de control electrónica (ECU), con las calibraciones de parámetros antes mencionados se lograra mejorar el desempeño mecánico, obteniendo así un incremento de eficiencia entre 5% y 10% en motores atmosféricos.

Entonces el problema a investigar es: Influencia de la reprogramación electrónica del motor de combustión interna T18SED L4 DOHC 1.8L para elevar la eficiencia del vehículo

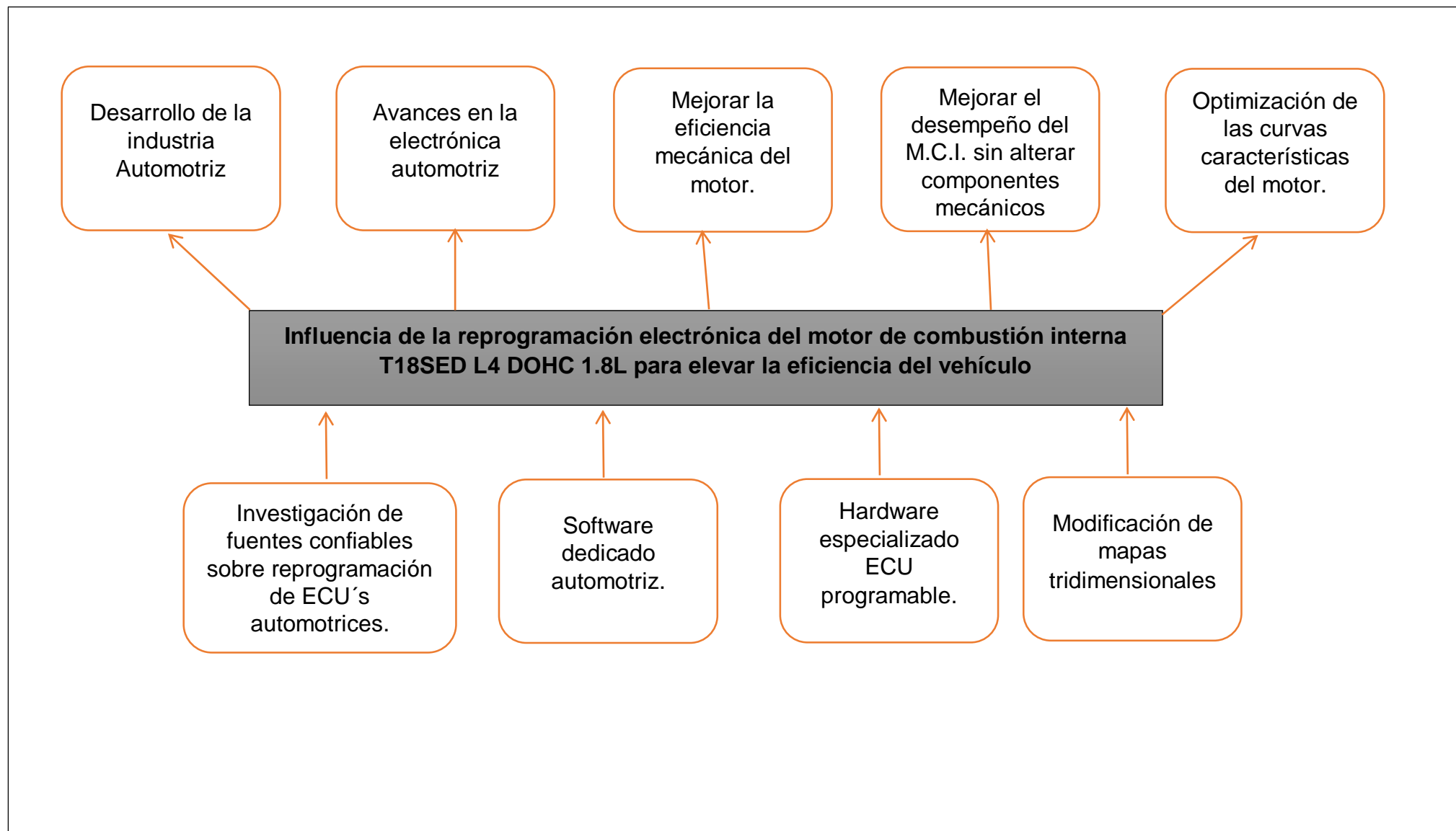


Figura 1 Árbol del problema

La figura 1 muestra el proceso que se realizó para la reprogramación electrónica del motor mediante la ECU programable, en donde se logró mejorar el desempeño del vehículo sin la modificación de componentes mecánicos.

1.3. Descripción resumida del proyecto

En el desarrollo de la investigación se recopiló información de fuentes confiables como son libros, tesis, artículos científicos, manuales de los fabricantes. Se investigó sobre los tipos de software y hardware especializados para la reprogramación de una ECU tomando en cuenta las características, funciones que posee, como también la facilidad de uso. Esto será de utilidad para seleccionar el equipo que mejor se adapte a la finalidad del proyecto.

Se obtuvo las características iniciales del motor T18SED L4 DOHC 1.8L del vehículo Optra antes de la modificación electrónica, mediante la medición de las curvas de torque, potencia en el dinamómetro de rodillos en condiciones normales, para determinar los ajustes que se deben realizar en los parámetros del motor con la finalidad de aumentar su desempeño.

Mediante el hardware, software, fórmulas específicas, cálculos matemáticos, datos característicos del motor y recolección de información se logró obtener un modelo matemático básico de eficiencia volumétrica en función de la cantidad de aire que ingresa al cilindro.

Se modificó los parámetros de los mapas tridimensionales de eficiencia volumétrica y de avance de encendido, calibrándolos en función de la relación de aire/combustible que se obtuvo en cada una de las zonas que necesitan ser repotenciadas para optimizar las curvas características del motor. Teniendo en cuenta las limitaciones que tiene la parte mecánica para evitar daños irreversibles.

La instalación de la ECU programable se realizó en el laboratorio de Autotrónica y Mecánica de patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, en el motor Chevrolet Optra de la Universidad. Mediante la conexión

en paralelo a la ECU estándar del vehículo. Esta conexión permite que el control de los actuadores sea independiente para cada ECU mediante la selección manual que se realizará en el tablero de instrumentos.

Finalmente se realizó pruebas de torque, potencia, consumo de combustible para determinar el desempeño final del motor que se obtuvo luego de realizar las modificaciones en la programación. También se realizó el análisis de emisiones de gases contaminantes con las diferentes configuraciones de programación. Los datos obtenidos se tabularon para la comparación de los valores de rendimiento del motor antes y luego de la reprogramación. Mediante el cálculo de las variaciones que se obtengan.

1.4. Justificación e Importancia

(Martínez, 2011) Menciona que: “La electrónica en el automóvil ha evolucionado rápidamente, lo que implica que el Ingeniero Automotriz debe poseer conocimiento tanto mecánico como electrónico para dar solución a problemas de rendimiento en el vehículo.”

La reprogramación de ECU's al ser un tema de actualidad se ha desarrollado en diversas aplicaciones electrónicas del vehículo, debido que al realizar el mapeo del motor se tiene una variedad de parámetros que se pueden modificar, por lo que esta práctica llega a ser cada vez más utilizada en automóviles de uso cotidiano para mejorar su desempeño, así como en vehículos de competición en los que prima la repotenciación del motor.

En la investigación se evidencia la influencia que tiene el software de control electrónico en el desempeño mecánico, además la importancia que tiene el estudio sobre modificaciones electrónicas de mapas tridimensionales para mejorar el rendimiento del motor sin la necesidad de ajustes ni cambios de componentes mecánicos. Todo esto a través de la experimentación de tipo real.

Las modificaciones realizadas en los mapas se distinguen de manera inmediata en el motor debido a la conexión en paralelo que se realizó entre las dos computadoras

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Investigar los parámetros de desempeño del motor de combustión interna a través de la reprogramación electrónica mediante la conexión en paralelo de una computadora reprogramable.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Investigar información de fuentes bibliográficas confiables para elevar los parámetros del MCI T18SED L4 DOHC 1.8L mediante la reprogramación electrónica de la ECU.
- Realizar mediciones de torque, potencia y consumo de combustible en condiciones estándares del vehículo.
- Determinar el tipo de software (Programa) y hardware (ECU) compatible con el MCI T18SED L4 DOHC 1.8L.
- Determinar los componentes necesarios para la conexión en paralelo de una computadora programable en el motor MCI T18SED L4 DOHC 1.8L, para no perder indicadores del tablero de instrumentos.
- Realizar la reprogramación de la unidad de control en los diferentes parámetros electrónicos del motor, modificando mapas tridimensionales de eficiencia volumétrica y avance de encendido.
- Realizar pruebas de potencia, torque, consumo de combustible y análisis de gases con la ayuda de equipos de medición, cuando está en funcionamiento la computadora reprogramable.
- Comparar los resultados obtenidos con la ECU estándar y la ECU reprogramada para verificar la eficacia de la computadora reprogramable.

1.6. Metas

- Obtener el aumento de la eficiencia mecánica de MCI entre 5% y 10%, realizando modificaciones en la ECU programable, sin cambiar elementos mecánicos.
- Monitorear la variación de las curvas características del motor con la ECU programada, obtenidas en el banco de pruebas de torque y potencia.

1.7. Hipótesis

- A través de la reprogramación electrónica mediante la conexión en paralelo de una ECU programable será posible elevar los parámetros de desempeño del motor de combustión interna T18SED L4 DOHC 1.8L.

1.8. Variables de investigación

1.8.1. Variable independiente

Reprogramación de la unidad de control electrónica

Tabla 1:

Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos	
Es la modificación de valores que controlan los parámetros de la ECU, para mejorar el rendimiento del motor.	Mapa base	Software, datos característicos del motor	RPM KPa °AE	Matematización	Protocolo de pruebas Hoja de datos	
		Avance al encendido	°AE	Reprogramación / Medición	Protocolo de pruebas Hoja de datos	
	Mapeo	Eficiencia Volumétrica	%	Reprogramación / Medición	Protocolo de pruebas Hoja de datos	
		Revoluciones por minuto	RPM	Reprogramación / Medición	Protocolo de pruebas Hoja de datos	
		Carga del motor	KPa	Reprogramación / Medición	Protocolo de pruebas Hoja de datos	
		Entradas	Apertura de aleta	%	Reprogramación / Medición	Protocolo de pruebas Hoja de datos
			Temperatura del refrigerante	°C	Reprogramación / Medición	Protocolo de pruebas Hoja de datos
			Temperatura del aire	°C	Reprogramación / Medición	Protocolo de pruebas Hoja de datos

1.8.2. Variable dependiente

Parámetros característicos del motor de combustión interna.

Tabla 2:

Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Son los indicadores del desempeño de un motor de combustión interna.	Curvas características	Torque	ft-lb	Medición / Experimentación	Protocolo de pruebas Guía de practica
		Potencia	HP	Medición / Experimentación	Protocolo de pruebas Guía de practica
	Consumo de combustible	Consumo específico Consumo volumétrico	Kg/h l/100Km	Medición / Experimentación	Protocolo de pruebas Guía de practica
	Rendimiento	Mecánico	%	Matematización	Protocolo de pruebas Guía de practica
	Contaminación	Niveles de Emisiones	ppm HC CO CO ₂ NO _x O ₂	Medición / Experimentación	Protocolo de pruebas Guía de practica

1.9. Metodología

La metodología permitió establecer los modelos a seguir para el transcurso de la investigación, aquí se logró determinar las técnicas, pasos para el desarrollo y así poder culminar con el objetivo principal que es elevar la potencia del MCI entre el 5-10%. Además, orientó la investigación, involucrando los diferentes recursos necesarios para el desarrollo, y finalizar con el respectivo análisis de datos.

1.9.1. Método inductivo

Se empleó este método ya que, en la investigación sobre reprogramación electrónica de una ECU, se realizó el mapeo de eficiencia volumétrica y avance de encendido. Obteniendo resultados finales de desempeño del motor que permitirán llegar a conclusiones que determinen la viabilidad de una reprogramación.

1.9.2. Método deductivo

La investigación se encaminó en elevar los parámetros característicos del motor (torque, potencia) tratando de no elevar en un 25% en el consumo de combustible, en condiciones estándares del vehículo.

Por lo que se determinó la influencia que tiene la eficiencia volumétrica y el avance al encendido sobre estos parámetros.

1.9.3. Método analítico

Se determinó las variaciones que se producen en los parámetros característicos del motor (Torque, potencia, consumo de combustible) por medio de la reprogramación. Se analizó y revisó de manera independiente, para obtener resultados finales.

1.9.4. Método de síntesis

Mediante este método se recolectó datos resultantes de las pruebas realizadas con los diferentes tipos de modificaciones en los mapas de eficiencia volumétrica y avance al encendido, para monitorear el desempeño del motor.

1.9.5. Método experimental

Se realizó mediciones en las pruebas con la ayuda del dinamómetro de rodillos y analizador de gases, que proporciono los diferentes valores de los parámetros característicos del motor.

1.9.6. Método comparativo

En la investigación se obtuvo datos iniciales de potencia y torque de la ECU estándar medidos mediante el dinamómetro de rodillos, la cual fue comparada con las diferentes programaciones realizadas para determinar la variación existente.

1.9.7. Método de medición

Durante las pruebas de funcionamiento del vehículo, en el dinamómetro se obtuvieron valores numéricos y curvas características de las modificaciones realizadas, que se tabularán para su posterior análisis.

1.9.8. Método matemático

Mediante fórmulas matemáticas se logró obtener el mapa base de eficacia volumétrica, además empleando métodos estadísticos se justificó las variaciones que se obtuvieron durante las pruebas de cada mapa.

Tabla 3:

Descripción de la metodología del proyecto

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Inductivo	Se empleó este método ya que, en la investigación sobre reprogramación electrónica de una ECU, se realizó el mapeo de eficiencia volumétrica y avance de encendido. Obteniendo resultados finales de desempeño del motor que permitirán llegar a conclusiones que determinen la viabilidad de una reprogramación.	<ul style="list-style-type: none"> • Chevrolet Optra • Computador Portátil • Megasquirt • Software Tunerstudio MS 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de mecánica de patio
Deductivo	La investigación se encaminó en elevar los parámetros característicos del motor (torque, potencia) tratando de no elevar en un 25% en el consumo de combustible, en condiciones estándares del vehículo. Por lo que se determinó la influencia que tiene la eficiencia volumétrica y el avance al encendido.	<ul style="list-style-type: none"> • Chevrolet Optra • Dinamómetro de rodillos • Analizador de gases • Computador Portátil • Megasquirt • Software Tunerstudio MS 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de mecánica de patio • Laboratorio de Motores de combustión interna

CONTINÚA 

Analítico	Se determinó las variaciones que se producen en los parámetros característicos del motor (Torque, potencia, consumo de combustible) por medio de la reprogramación. Se analizó y revisó de manera independiente, para obtener resultados finales.	<ul style="list-style-type: none"> • Chevrolet Optra • Dinamómetro de rodillos • Computador Portátil • Megasquirt • Software Tunerstudio MS 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de mecánica de patio • Laboratorio de Motores de combustión interna
Experimental	Se realizó mediciones en las pruebas con la ayuda del dinamómetro de rodillos y analizador de gases, que proporcione los diferentes valores de los parámetros característicos del motor.	<ul style="list-style-type: none"> • Chevrolet Optra • Dinamómetro de rodillos • Analizador de gases • Computador Portátil • Megasquirt • Software Tunerstudio MS 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de mecánica de patio • Laboratorio de Motores de combustión interna
Comparativo	En la investigación se obtuvo datos iniciales de potencia y torque de la ECU estándar medidos mediante el dinamómetro de rodillos, la cual fue comparada con las diferentes programaciones realizadas para determinar la variación existente.	<ul style="list-style-type: none"> • Computador Portátil • Megasquirt • Software Tunerstudio MS • Office 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de mecánica de patio
Observación directa	En la investigación mientras se realizan las pruebas en el dinamómetro de rodillos y el analizador de gases, se pudo visualizar de forma directa cómo influye en el comportamiento del motor el uso de las diferentes configuraciones que se realicen en la programación.	<ul style="list-style-type: none"> • Chevrolet Optra • Dinamómetro de rodillos • Analizador de gases 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de mecánica de patio • Laboratorio de Motores de combustión interna
Medición	Durante las pruebas de funcionamiento del vehículo, en el dinamómetro se obtuvieron valores numéricos y curvas características de las modificaciones realizadas, que se tabularán para su posterior análisis.	<ul style="list-style-type: none"> • Chevrolet Optra • Dinamómetro de rodillos • Analizador de gases 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de mecánica de patio • Laboratorio de Motores de combustión interna

Matematización

Mediante fórmulas matemáticas se logró obtener el mapa base de eficacia volumétrica, además empleando métodos estadísticos se justificó las variaciones que se obtuvieron durante las pruebas de cada mapa.

- Computador Portátil
- Office

- Laboratorio de mecánica de patio
-

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

REPROGRAMACIÓN DE ECU'S AUTOMOTRICES

2. Introducción

La mayoría de vehículos son controlados electrónicamente, los aficionados que buscan un mejor performance del vehículo ya sea en busca de aumentar la eficiencia del vehículo, disminuir la contaminación ambiental, o reducir el consumo de combustible de vehículo, para todo esto ha sido necesario apoyarse de la electrónica automotriz.

La razón que los ingenieros han desarrollado rápidamente del carburador convencional a un sistema electrónico es, que existen estándares máximos de emisiones ambientales, que no se puede controlar con el carburador convencional, pero además, en el ámbito deportivo cada semana son más competitivos, estos son sumamente cautelosos en los cuidados del motor ya que pueden ser eliminados en cuestión de milésimas de segundo, debido a lo mencionado se alcanzado a lo que es la llamada “reprogramación automotriz”, con la ayuda de un software dedicado se logra programar la computadora automotriz, en esta se puede realizar muchos cambios pero los más importantes para este estudio son : El momento exacto donde salte la chispa en el interior del cilindro a esto se le conoce como “avance al encendido”, también de acuerdo a la necesidad del conductor ya sea ganar potencia o disminuir el consumo del combustible se puede variar la relación estequiométrica y tener mayor potencia con un consumo ligeramente alto de combustible, con estas afinaciones se aspiró lograr un incremento de la eficiencia entre un 5% al 10% en motores atmosféricos o disminuir la relación estequiométrica para reducir el consumo de combustible, esto ya es cuestión del uso que se va a dar al vehículo.

2.1. La unidad de control electrónico (ECU)

(Krüger, y otros, 2016) Afirma que: La computadora del automóvil se la conoce como ECM: Electronic Control Module ó Módulo de Control Electrónico, **ECU**: Electronic Control Unit o Unidad de Control Electrónico. Estas computadoras tienen innumerables componentes electrónicos en su interior entre los más importantes cabe mencionar a los microprocesadores, en gran número, montados en una placa impresa con cobre, que le permiten realizar cálculos de los más variados tendientes a mejorar la eficiencia del automóvil y generalmente, a nadie le importa como lo hace a excepción de los mecánicos especializados.

2.1.1. Funciones que cumplen las computadoras automotrices (ECU)

- Control de la inyección de combustible
- Control del tiempo de ignición.
- Control de distribución de válvulas.

2.2. Unidad de control programable

Según (Anm, 2012) la unidad de control del motor programable debe controlar la cantidad de combustible inyectado en cada cilindro. Esta cantidad varía depende las RPM del motor y la posición del pedal de aceleración (o presión del colector de admisión). El controlador del motor puede ajustar esto mediante una hoja de cálculo dada por el portátil en la que se representan todas las intersecciones entre valores específicos de las RPM y de las distintas posiciones del pedal de aceleración. Con esta hoja de cálculo se puede determinar la cantidad de combustible que es necesario inyectar. Modificando estos valores mientras se monitoriza el escape con la ayuda de un sensor de oxígeno, se observa si el motor funciona de una forma más eficiente o no, de esta manera se puede encontrar la cantidad óptima de combustible a inyectar en el motor por cada combinación de RPM y posición del acelerador.

Según (Anm, 2012) los parámetros que pueden ser mapeados en una ECU programables.

- Ignición
- Límite de revoluciones
- Correcta temperatura del agua.
- Alimentación de combustible temporal.
- Modificador de baja presión en el combustible.
- Sensor de oxígeno (sensor lambda).
- Sensor de temperatura en el motor.

2.2.1. Protocolo J2534

(Fernandez, 2010) Afirma que: Cada módulo es programado en fábrica con software que le permiten realizar ciertas funciones. Como por ejemplo dentro de la ECM hay un software que contienen cientos o incluso miles de parámetros para controlar el salto de chispa, la cantidad de combustible, velocidad de cruce, control de las emisiones, facilidad de conducción y el rendimiento.

(Fernandez, 2010) Menciona que: La práctica de la actualización de software en estos módulos es más comúnmente conocida como reprogramación flash. En los concesionarios de automóviles nuevos, reprogramación flash es relativamente sencillo, porque los técnicos de servicio están conectados online a la fábrica de automóviles y poseen las herramientas especializadas de servicio del distribuidor dedicado a la reprogramación.

2.2.2. J2534

(Fernandez, 2010) Plantea que: En el 2000, la Agencia de Protección Ambiental EPA elaboró una investigación y decidió actuar. La EPA solicitó una norma que se desarrolló en el SAE J2534 que dio lugar a una especificación para que los fabricantes de automóviles que venden vehículos en los Estados

Unidos deban cumplir. La especificación J2534 original fue actualizada posteriormente a J2534-1 con el fin de apoyar a todos los fabricantes de automóviles.

(Fernandez, 2010) Afirma que: El Flasher J2534 utiliza los archivos de calibración suministrados por el fabricante, disponible en sus respectivas páginas web, para realizar esta función directamente en su tienda. De paso a través de la tecnología también se libera la herramienta de análisis de diagnóstico de vehículos rentables. Todas las marcas y modelos de ECU's para reprogramación están utilizando la interfaz de J2534. Totalmente compatible con J2534-1, incluyendo chasis y muchos controladores de sistema. Este mandato entró en vigor a partir del 2004, pero muchos fabricantes han decidido ofrecer J2534-1 como soporte técnico para vehículos de más de 2004 vehículos e incluso para modelos desde el 1996. J2534 es un sistema ideado por dos partes independientes: la suscripción de software y una interfaz PassThru para vehículo J2534 compatible. El software de suscripción viene directamente del fabricante de automóviles y se ejecuta en una PC o portátil, y puede ser ejecutable en la web o en CD.

2.3. Torque o par del motor

(Martínez, 2011) Afirma que: El concepto de par, se puede entender como una fuerza de rotación aplicada al final de un eje giratorio. Por ejemplo, la fuerza que se hace para girar un destornillador a la hora de enroscar un tornillo es un par. Cuanto más par se desarrolle, más se podrá apretar el tornillo.



Figura 2 Par del motor

Fuente (Martínez, 2011)

En un vehículo hay que distinguir dos pares fundamentales:

(Martínez, 2011) Confirma que: **EL PAR MOTOR:** Es el par desarrollado por el motor en cada instante y medido en el final del cigüeñal, volante de

inercia o primario del embrague. Se produce debido a la combustión del carburante en los cilindros, por lo que, en general, cuanto más se apriete el acelerador mayor será el par obtenido.

(Martínez, 2011) Afirma que: el par en rueda: Es el par que se aplica en la rueda, proporcionando la fuerza de tracción que será la que realmente mueva el vehículo. Es diferente al par motor, puesto que la caja de cambios se encarga de multiplicarlo, ya que, como se verá después, al reducir la velocidad de giro en la caja se multiplica el par.

2.4. Potencia

(Martínez, 2011) Afirma que: La potencia es la cantidad de trabajo que puede desarrollar un motor en un tiempo determinado.

Cuanta más potencia tenga un motor, más trabajo podrá realizar en el mismo tiempo. Con un motor más potente, un camión puede:

- Acelerar un vehículo más deprisa.
- Subir una pendiente a más velocidad.
- Remolcar cargas más pesadas.

El valor de la potencia en cada instante se obtiene al multiplicar el par por el régimen de giro:

$$Potencia (Cv) = \frac{Par\ motor\ (Nm) * Règimen\ (\frac{r}{min})}{7024}$$

Ecuación 1 Potencia

Fuente: (Martínez, 2011)

2.5. Curvas características del motor

Definen el comportamiento de un motor o de un vehículo.

2.5.1. Curva de torque

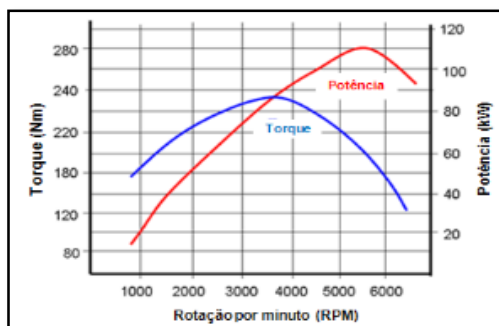


Figura 3 Curva de torque.

Fuente (Banish, 2009)

Según (Banish, 2009) el par motor se expresa en Newton por metro (Nm) y se relaciona al igual que la potencia con las revoluciones a las que se alcanza su valor máximo. El par del motor es proporcionado por el fabricante y muestra el par máximo proporcionado por el motor a cada régimen de giro cuando la carga es máxima, es decir, el acelerador está pisado a fondo.

2.5.2. Curva de potencia

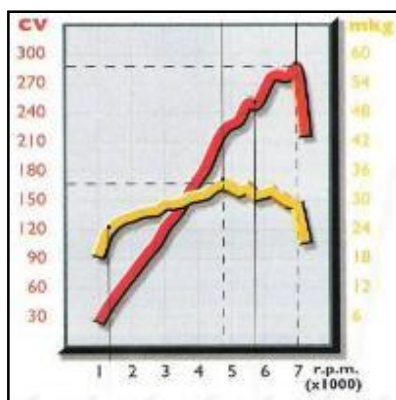


Figura 4 Curva Potencia.

Fuente (Nuñez, 2012)

(Nuñez, 2012) Menciona que: La potencia por definición es el producto de la fuerza por la velocidad, si el movimiento es de traslación, la fuerza es lineal y la velocidad, y si el movimiento es rotativo, la fuerza es rotatoria y se llama par, y la velocidad es rotativa o angular y se llama régimen de giro. Como la potencia, es el par multiplicado por el régimen de giro, una vez obtenida la curva de par función del régimen, la curva de potencia es inmediata.

(Troya , 2012) Aclara que: “La potencia se expresa en habitualmente en kilovatios (kW) en el Sistema internacional de unidades y se refiere siempre a su valor máximo a las revoluciones por minuto (RPM) que se alcanza dicho valor máximo.”

Según (Banish, 2009) Para obtener la mejor potencia, se ha encontrado que la relación entre 13,2 y 13,4: 1 ($\lambda \approx 0,95$) es ideal. El exceso de combustible en esta mezcla significa que se ha inyectado suficiente combustible adicional para asegurar que el mayor número posible de moléculas de oxígeno reacciona con el combustible disponible para generar energía.

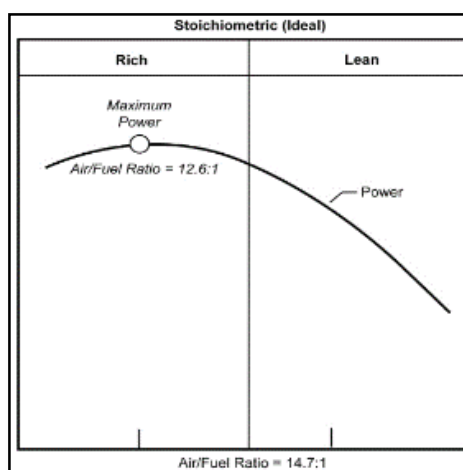


Figura 5 Influencia del factor Lambda en la potencia.

Fuente (Banish, 2009)

2.5.3. Curva de consumo de combustible

Para disminuir el consumo de combustible, (Banish, 2009) menciona que: El factor Lambda debe estar alrededor de $\lambda \approx 1,05$ (aproximadamente 15,5: 1 a/c), dado que el menor consumo de combustible está dirigido en condiciones de crucero. En este caso se busca obtener suficiente potencia para mantener una velocidad constante del vehículo. Para lograr esto, se mezcla sólo el combustible suficiente que al combustionar con un exceso de oxígeno pueda generar suficiente energía.

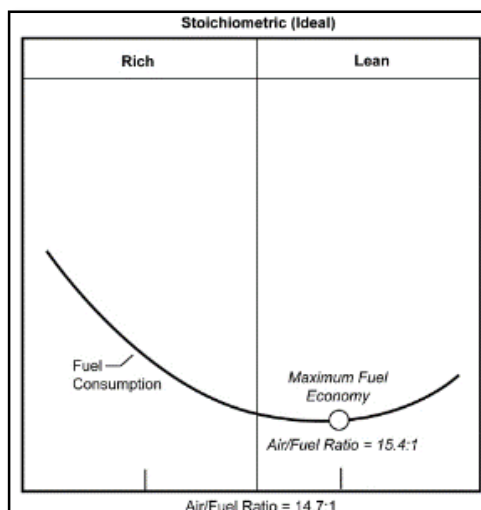


Figura 6 Influencia del factor Lambda en el consumo de combustible.

Fuente (Banish, 2009)

2.5.4. Consumo de carburante

Según (Schuch, s,f) el consumo del carburante C se indica en litros por cada 100km. (pág. 329)

Donde:

Consumo de combustible

$$C = \frac{m}{\delta * s} * 100 \left[\frac{lbs}{100km} \right]$$

Ecuación 2: Consumo de combustible.

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Ecuación 3 Densidad.

Donde

C = consumo de carburante.

m = peso del carburante consumo.

δ = densidad del carburante en $\frac{kg}{lbs}$ ($0.73508 \frac{Kg}{lbs}$)

s = distancia recorrida en Km

t = tiempo (segundos)

Consumo específico de combustible

$$B = \frac{C * \delta * 3600}{t} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Ecuación 4: Consumo específico de combustible.

2.6. Análisis de gases

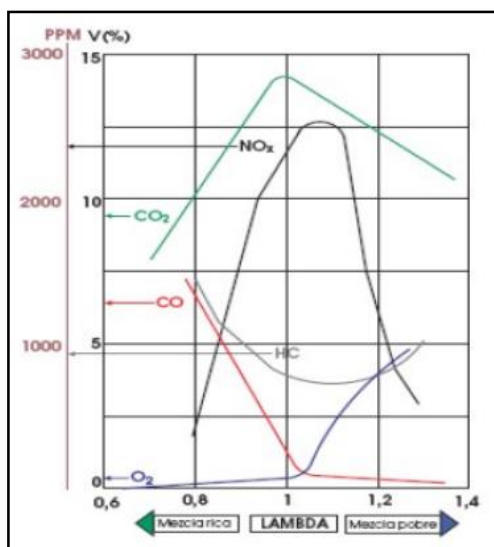
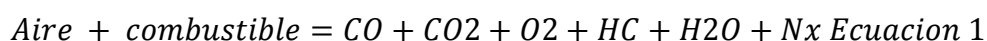


Figura 7 curvas típicas de emisiones de gases

Fuente [Xunta Galicia, sf]

[Xunta Galicia, sf] Afirma que: Los combustibles utilizados están principalmente compuestos de Carbono C e Hidrogeno H. Estos compuestos se unen formando cadenas largas llamadas de hidrocarburos. Según sea la cadena forma compuestos diferentes como el Gasoil, gasolina, GPL, etc. Estos compuestos por si mismos no pueden utilizarse en el motor ya que necesitan añadirles aditivos para evitar la detonación, la congelación, la lubricación, etc. Al decir combustión se refiere a una mezcla de Aire + Gasolina o Gasoil que han reaccionado al aplicarles una energía de activación. En este proceso el oxígeno necesario se encuentra en el aire.

Combustión:



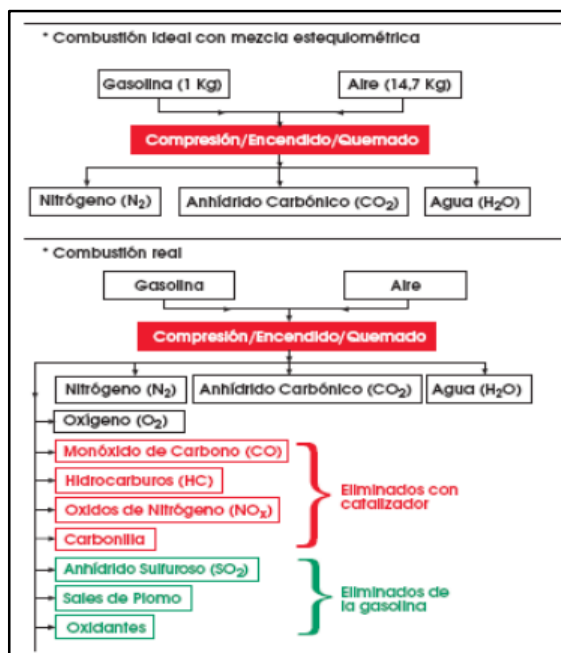


Figura 8 combustión ideal y real del combustible

Fuente: [Xunta Galicia, sf]

2.6.1. Monóxido de carbono Co

[Xunta Galicia, sf] Afirma que: Se produce cuando hay poco oxígeno disponible para la combustión y por tanto no llega para quemar todo el Carbono del combustible completamente quedando átomos de carbono unidos a solo un oxígeno formando el CO.

[Xunta Galicia, sf] afirma que: Es letal para los seres vivos ya que por ejemplo en el hombre puede fijarse a la hemoglobina 5 veces mejor que el oxígeno, en concentraciones altas y tiempos largos de exposición puede provocar en la sangre la transformación irreversible de la Hemoglobina, molécula encargada de transportar el oxígeno desde los pulmones a las células del organismo, en Carboxihemoglobina, incapaz de cumplir esa función. Por eso, concentraciones superiores de CO al 0,3 % en volumen resultan mortales.

Tabla 4:**Niveles máximos de % vol CO Consejo Metropolitano De Quito.**

Año modelo	Monóxido de carbono % vol. CO
2006-posteriores	0,5
2000 a 2005	1
1990 a 1999	4,5
1989 y anteriores	6,5

Fuente: (Consejo Metropolitano De Quito, 2000)

2.6.2. Dióxido de carbono CO₂

[Xunta Galicia, sf] Afirma que: Es un excelente indicador de la eficiencia del motor. El motor funciona correctamente cuando el CO₂ está a su nivel más alto, este valor porcentual se ubica entre el 12-15%.

- CO₂ alto = eficiencia en la combustión y buen funcionamiento del motor.
- CO₂ bajo = fallas en la combustión o mezcla pobre.
- Por regla general, lecturas bajas iniciales de un proceso de combustión malo, representa mala mezcla o un encendido defectuoso.
- Combustión %CO₂ = 12% Regular, 14% Muy buena, 15% Excelente, 16% Optima.
- Un valor de CO₂ alto en vehículo con inyección electrónica (gasolina) con mezcla estequiométrica (valor más alto) alrededor de 14%, en carburador y platino, mucho más bajo 8 – 12%.
- Cuando la combustión es perfecta es todo CO₂ y a medida que va siendo incompleta la combustión va disminuyendo el CO₂ y aumentando el CO y HC.

Tabla 5:**Niveles min. Y máx. CO₂+CO consejo metropolitano de quito.**

Año modelo	Dilución (CO+CO ₂) % vol	
	Mín.	Máx.
2006-posteriores	7	18
2000 a 2005	7	18
1990 a 1999	7	18
1989 y anteriores	7	18

Fuente: [Consejo metropolitano de Quito, 2000]

2.6.3. Oxígeno O₂

El oxígeno que sobro en la combustión de debe:

- Oxígeno alto puede deberse a una mezcla pobre, combustiones que no se producen o un escape roto.
- Oxígeno alto = mezcla pobre, fallas en la combustión = aumento de HC y CO + válvulas de escape descalibradas.
- Oxígeno bajo = mezcla rica.
- Oxígeno = 0% significa que se ha agotado todo el oxígeno, si el CO es alto es indicativo de una mezcla rica.
- Normalmente el oxígeno debe ubicarse debajo del 2%.

Tabla 6:**Niveles Máx. O₂ CONSEJO METROPOLITANO DE QUITO.**

Año modelo	Oxígeno % vol. O ₂ Máx.
2006-posteriores	6
2000 a 2005	6
1990 a 1999	6
1989 y anteriores	6

Fuente: (Consejo Metropolitano De Quito, 2000)

2.6.4. Hidrocarburos HC

[Xunta Galicia, sf] Afirma que: Los restos de hidrocarburos sin quemar que salen por el escape. Se producen por mezclas pobres en Oxígeno es nocivo, cancerígeno e irritante. Dependiendo de su estructura molecular, presentan diferentes efectos nocivos. El Benceno, es venenoso por sí mismo, y la exposición a este gas provoca irritaciones de piel, ojos y conductos respiratorios; si el nivel es muy alto, provocará depresiones, mareos, dolores de cabeza y náuseas, también causa cáncer.

- HC alto = Mezcla rica, si el CO también da un valor alto. Mala combustión de mezcla pobre. Escape o aceite contaminado.
- HC bajo = poco combustible y sobra oxígeno.

Tabla 7:

Niveles máximos de HC ppm vol consejo metropolitano de quito.

Año modelo	Hidrocarburos Ppm vol HC
2006-posteriores	125
2000 a 2005	200
1990 a 1999	750
1989 y anteriores	1200

Fuente: (Consejo Metropolitano De Quito, 2000)

2.6.5. Óxido de nitrógeno

[Xunta Galicia, sf] Afirma que: Se forman a altas temperaturas y bajo presión. Este fenómeno se da cuando el motor está bajo carga, y para su reducción se incorporó el sistema EGR (recirculación de gases de escape). Cuando la temperatura en el motor sube, se abre la EGR para incorporar al aire de la admisión gases, se empobrece la mezcla, se pierde potencia, pero baja la temperatura del motor y por consiguiente el NO.

Alta temperatura en la cámara de combustión

- Altas cargas de motor Razones de compresión.
- Altos Tiempo de ignición avanzado.
- Mezclas de aire / combustible pobres.
- Falla en el sistema de enfriamiento del motor.

2.6.6. Lambda

- [Xunta Galicia, sf] afirma que: “Una relación lambda menos de 1, significa que la mezcla aire combustible se está produciendo en una condición de riqueza.”
- [Xunta Galicia, sf] Afirma que: “Relación lambda mayor que 1, significa que la mezcla se está dando en condición de pobreza.”
- [Xunta Galicia, sf] afirma que: Lambda = 1, significa que la proporción es exacta, perfecta, lo que no implica que el motor después quemé bien esos productos. Esto es importante porque indica problemas en el motor, como una mala puesta a punto de la distribución, un encendido defectuoso, combustiones desparejas por inyectores sucios, etc.

2.7. Eficiencia volumétrica

$$VE = \frac{Ga}{Go} * 100\%$$

Ecuación 5 Eficiencia Volumétrica

Donde:

Ga: Cantidad actual de aire

Go: Cantidad ideal de aire

2.7.1. Cantidad de masa de aire

$$G = V_{motor} * \rho_{aire}$$

Ecuación 6 Cantidad de masa de aire

Donde:

$V =$ cilindrada del motor

$P =$ densidad del aire

2.7.2. Ecuación general de gases

$$P * V = m * R * T$$

Ecuación 7 Ecuación general de los gases

Donde:

$P =$ presión de gas [KPa]

$V =$ volumen que ocupa el gas [m³]

$m =$ cantidad de gas [Kg]

$R =$ constante de los gases $R = 0.28705$ KPa m³ / Kg K

$T =$ temperatura del aire [K]

2.7.3. Condiciones estándar para el aire

La organización [IUPAC, 2014] afirma que: Las condiciones estándar de presión y temperatura de aire están a 100KPa y 25°C, queda descartada la condición de 1 atm (101.5 KPa)

2.7.4. Tendencia de la Eficiencia Volumétrica VE

En su libro (Banish, 2009) menciona que: a 100 KPa la curva de eficiencia volumétrica se parece mucho a la curva de Torque del motor. Las velocidades en las que el motor es más eficiente en el llenado de aire muestran una mayor carga del cilindro y una mayor producción de par motor. (pág. 83)

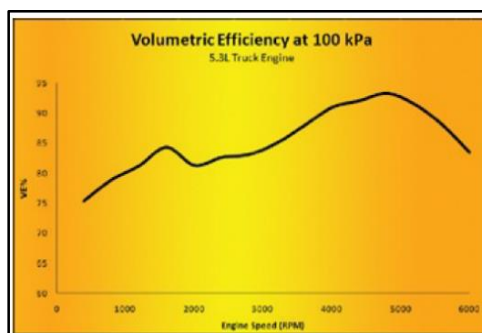


Figura 9 Curva Eficiencia Volumétrica vs RPM

Fuente: (Banish, 2009)

Las presiones bajas del múltiple siguen la misma tendencia que la curva de eficiencia mejorada a medida que aumentan las RPM, pero a una proporción más baja. (pág. 83)

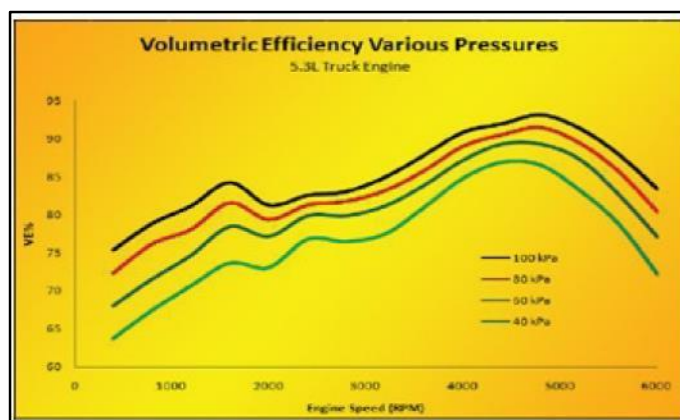


Figura 10 Eficiencia Volumétrica a varias presiones de múltiple

Fuente: (Banish, 2009)

2.7.5. Relación lineal MAP-MAF

(Banish, 2009) Afirma que: Si la eficiencia volumétrica VE y la masa de aire (MAF) se trazan contra los valores del MAP para una sola velocidad del motor, se observa una relación interesante en la Figura 11. Existe una relación en línea recta entre VE y MAP en gran parte del rango de MAP medido. Es lógico que cuanto más fuerte es la presión del múltiple de admisión empujando sobre la columna de aire en el múltiple, más flujo llegara al cilindro en el otro extremo. (pág. 191)

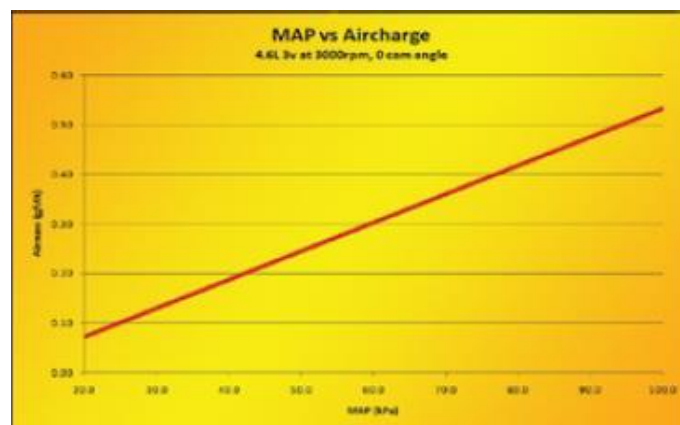


Figura 11 Relación lineal MAP-MAF

Fuente: (Banish, 2009)

2.8. Adelanto al encendido

(Banish, Engine management advanced tuning, 2007)(Menciona que Un motor funciona con muchos valores de avance de chispa diferentes, este rango puede ser bastante amplio. En algún punto cercano a la mitad de este rango se encuentra un valor de avance de chispa para una condición de carga de velocidad específica que da como resultado la máxima salida de par motor. Este valor de avance de chispa se conoce como "Torque de frenado máximo" (MBT). La sincronización real de MBT para un motor cambia dependiendo de la velocidad y la carga. A altas cargas del motor, el golpeteo puede impedir el funcionamiento a este valor de chispa, pero el objeto es tratar de llegar tan cerca como sea posible para obtener la mayor eficiencia del motor sin causar daños. (pág. 41)

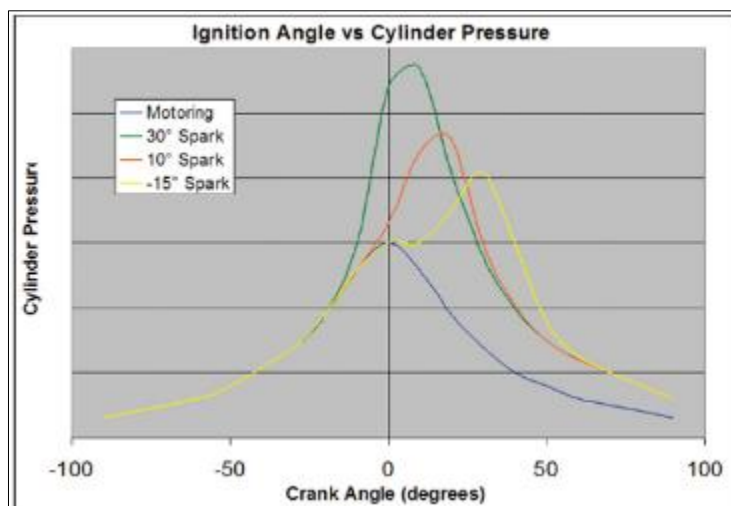


Figura 12 Efectos sobre la presión de cilindro frente a varios ajustes de avance de chispa

Fuente: (Banish, Engine management advanced tuning, 2007)

2.9. Tipos de memorias

(Cise, 2015) Afirma que: Dentro de la amplia gama de Memorias que vienen montadas en los módulos de control electrónicos automotrices (ECM, PCM) se pueden establecer tres Grupos bien definidos. De los cuales se pueden identificar teniendo en cuenta sus características físicas, estas memorias pueden ser de tipo DIL, memoria tipo PLCC y memoria tipo SOP.

2.9.1. Memoria tipo DIL



Figura 13 Memoria tipo DIL.

Fuente: (Cise, 2015)

(Cise, 2015) Menciona que: Este encapsulado fue uno de los primeros usados para los autos equipados con inyección electrónica, Como se aprecia en la figura de arriba este posee 2 líneas con patas o pines de acceso, estas pueden ser de 28 o 32 pines. Una marca o muesca se puede observar en su encapsulado, esta marca se tomará como una guía para orientarse con respecto a su numeración, esta guía indicará la ubicación del pin 1 de la memoria. También se encuentra una ventana en el medio del componente el cual indica que se puede borrar los datos de esta con rayos ultravioletas.

2.9.2. Memoria tipo PLCC

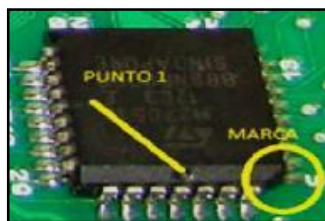


Figura 14 Memoria tipo PLCC.

Fuente: (Cise, 2015)

(Cise, 2015) Afirma que: Este encapsulado fue el segundo utilizado por las terminales automotrices, él mismo cuenta con un tamaño reducido y la configuración de sus patas envuelve los 4 lados a diferencia de su antecesor (DIL) la cantidad de patas puede ser de 32, 44, 48 patas. Lo particular de esta configuración es que las patas o pines se encuentran hacia adentro y su montaje es superficial a la placa madre. Esto simplifica el tamaño que ocupa en la placa madre y también aporta mayor capacidad en su interior. Este tipo de memorias se borran eléctricamente. Sobre un lateral posee una marca que

indica la posición pin 1. Pueden ser encontradas montadas directamente sobre la placa como también sobre un zócalo.

2.9.3. Memoria tipo SOP



Figura 15: Memoria tipo SOP.

Fuente: (Cise, 2015)

(Cise, 2015) Afirma que: Este encapsulado es uno de los más utilizados en la actualidad, posee una capacidad de almacenamiento de 2 hasta 32 megas en el uso automotriz, este encapsulado logro tanto en su costo, como en capacidad y espacio un compromiso adoptado por los fabricantes de electrónica automotriz. La cantidad de pines utilizados es de 44 o 48 terminales, también posee una marca el cual indica la posición del pin 1. Esta Memoria puede borrarse eléctricamente

2.10. Tipos de reprogramación

(Fidalgo, 2014) Afirma que: Aunque es un proceso muy sencillo, reprogramar la unidad de control del motor puede acabar en un fallo catastrófico. Si, por ejemplo, la comunicación se corta por algún motivo durante el proceso, la centralita quedará completamente inutilizada. Para evitar (en lo posible) que pase este inconveniente, hay que entender cómo se debe proceder de forma correcta con cada uno de los diferentes tipos de reprogramación de unidades de mando. Por supuesto, se deberá seguir a rajatabla las instrucciones de fabricante.

Tipos de reprogramación:

- Flash
- ECU estándar
- ECU programable

2.10.1. Reprogramación Flash

(Díaz & Sopa, 2013) Plantea que: Cada módulo es programado de fábrica con un software específico que permiten realizar ciertas funciones. Como por ejemplo dentro de la UEC existe un software que contiene cientos o incluso miles de parámetros para controlar el salto de chispa, la cantidad de combustible, velocidad de crucero, control de las emisiones, facilidad de conducción y el rendimiento del motor.

(Díaz & Sopa, 2013) Menciona que La actualización de software en estos módulos es conocida como "**Reprogramación flash**". En los concesionarios de automóviles nuevos, esta función es relativamente sencilla, porque los técnicos de servicio están conectados online a la fábrica de automóviles y poseen las herramientas especializadas de servicio del distribuidor dedicado a la reprogramación

2.10.2. Reprogramación estándar

(Díaz & Sopa, 2013) Menciona que: Este tipo de reprogramación, se realiza directamente sobre los mapas característicos de inyección e ignición que son codificados y programados desde su fabricación.

El proceso de reprogramación consta de los siguientes pasos:

- Leer la información de la ECU
- Modificar los mapas
- Grabar la información modificada en la ECU.

a) Lectura del archivo ECU

(Díaz & Sopa, 2013) Afirma que: La información del vehículo está contenida en la memoria de la ECU, al realizar la lectura de esta se obtendrá un archivo

el cual se modificará. La lectura de la memoria de la ECU depende del modelo y año del vehículo.

b) Modificación De Mapas

(Díaz & Sopa, 2013) Afirma que: Existen varios tipos de software para realizar la modificación de los mapas, la diferencia que existe entre ellos son la cantidad de opciones que presentan, claro que esto también dependerá del vehículo que se esté modificando. Los softwares más utilizados son: ECM2001, WINOLS, TUNERPRO, los cuales ofrecen diferentes características al usuario y en su mayoría tienen versiones gratuitas.

2.10.3. ECU programable

(Díaz & Sopa, 2013) Afirma que: La ECU programable es una categoría especial de las Unidades de Control, ya que su comportamiento no está prefijado, es decir, sus parámetros deben ser configurados por el usuario.”

(Anm, 2012) Afirma que “Parámetros que son usualmente mapeados:

- Ignición: Define cuando la bujía debe disparar la chispa en el cilindro.
- Límite de revoluciones: Define el máximo número de revoluciones por minuto que el motor puede alcanzar. Más allá de este límite se corta la entrada de combustible.
- Correcta temperatura del agua: Permite la adición de combustible extra cuando el motor está frío (estrangulador).
- Alimentación de combustible temporal: Le dice a la ECU que es necesario un mayor aporte de combustible cuando el acelerador es presionado.
- Modificador de baja presión en el combustible: Le dice a la ECU que aumente el tiempo en el que actúa la bujía para compensar una pérdida en la presión del combustible.
- Sensor de oxígeno (sensor lambda): Permite que la ECU posea datos permanentes del escape y así modifique la entrada de combustible para conseguir una combustión ideal.

- Inyección Banked: Configura el comportamiento del doble de inyectores por cilindro, usado para conseguir una inyección de combustible más precisa y para atomizar en un alto rango de RPM.
- Tiempo variable de levas: Le dice a la ECU como controlar las variables temporales en las levas de entrada y escape.

2.11. Tipos de ECU's programables

Las ECU's reprogramables se utilizan principalmente en vehículos que se preparan para competición, ya sea para rally, trepada de montaña, ¼ de milla, etc. Las más utilizadas en el mercado nacional son las siguientes:

2.11.1. Haltech Platinum Sport 2000

[Haltech, 2013] Afirma que: HALTECH PLATINUM SPORT 2000 es una ECU reprogramable en tiempo real diseñada para los que buscan el rendimiento óptimo de su vehículo. Adecuada para controlar motores de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 y 12 cilindros, motores rotativos de 2 y 3 rotores, atmosféricos y turbo aspirados.



Figura 16 Haltech Platinum sport 2000.

Fuente: [Haltech, 2013]

2.11.2. Software

[Haltech, 2013] Afirma que: “El Sistema Sport 2000 tiene mapas de gasolina ajustables cada uno con 32 barras de carga y 32 rangos de RPM. El Sport 2000 se ejecutará hasta 16000 RPM, manteniendo una excelente precisión y resolución.”

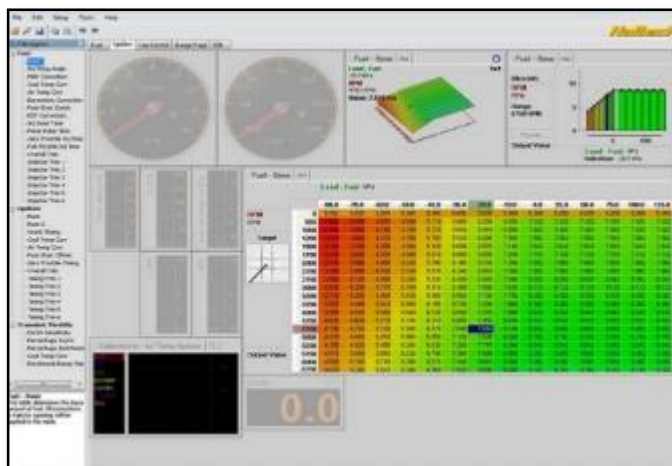


Figura 17 Pantalla de software sport 2000.

Fuente: [Haltech, 2013]

2.11.3. Megasquirt

[Megasquirt, 2012] Afirma que: La EFI Megasquirt es un controlador experimental de inyección de combustible y encendido para motores de combustión interna. La EFI Megasquirt es un proyecto abierto. Los esquemas se encuentran disponibles para todos, de la misma forma que el código del microprocesador.



Figura 18 Megasquirt MS1.

Fuente: (Megasquirt, 2012)

2.11.4. Software

[Megasquirt, 2012] Afirma que: El software utilizado es Tuner Studio MS, el cual es muy fácil y amigable de manipular para la persona que realiza la programación, el cual dispone de tablas de combustible y encendido de 12x12 y de AFR de 8x8. Para ver el registro de datos y realizar correcciones en los

mapas de combustible, se dispone un software adicional llamado MegaLow Viewer.

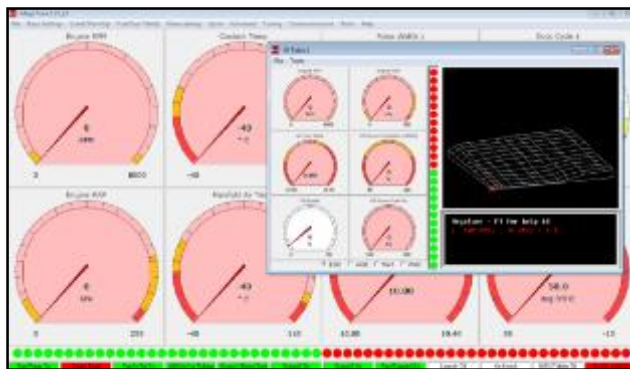


Figura 19 Software Megatune.

Fuente: [Megasquirt, 2012]

2.11.5. Motec M84

(Díaz & Sopa, 2013) Afirma que “El M84 es una ECU versátil diseñada para competencia, adecuada para una amplia gama de aplicaciones de alto rendimiento, incluyendo motores con un máximo de 8 cilindros. También para motores rotativos, con rotores dobles, triples o cuádruples.”



Figura 20 ECU Motec

Fuente: (Díaz & Sopa, 2013)

2.11.6. Software

(Díaz & Sopa, 2013) Afirma que: “El Software completamente actualizable de MOTEC está diseñado para optimizar rápidamente la configuración de su vehículo. Es fácil de usar, con una estructura de menú intuitiva y amplias pantallas de ayuda.”

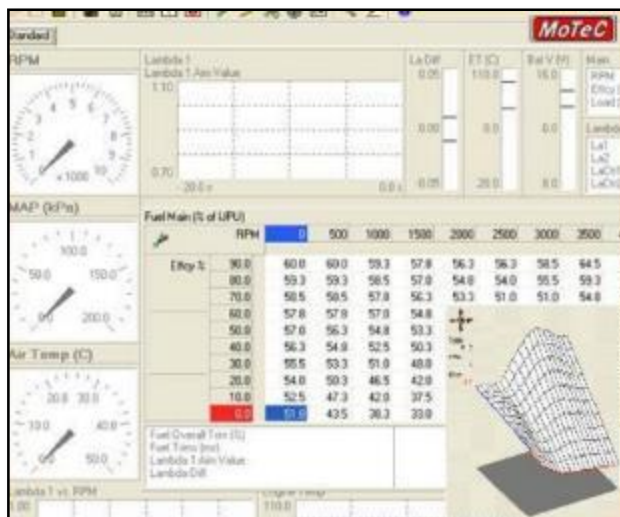


Figura 21 Pantalla software Motec.

Fuente: (Díaz & Sopa, 2013)

2.12. Mapa eficiencia volumétrica

2.12.1. Zona 1

(Banish, 2009) Argumenta que: La primera zona es la región de ralentí. Centrado alrededor de la velocidad de ralentí y vacío nominal de vacío, representa la velocidad dada de funcionamiento más baja del motor y un punto donde la mayoría de los motores pasan una gran cantidad de tiempo. La relación aire / combustible suele mantenerse alrededor de $\lambda = 1,00$ para las emisiones y el consumo de combustible. Dentro de esta zona, la velocidad y la carga del motor pueden variar ligeramente a medida que el vehículo es puesto en marcha sin moverse todavía. (pág. 75)

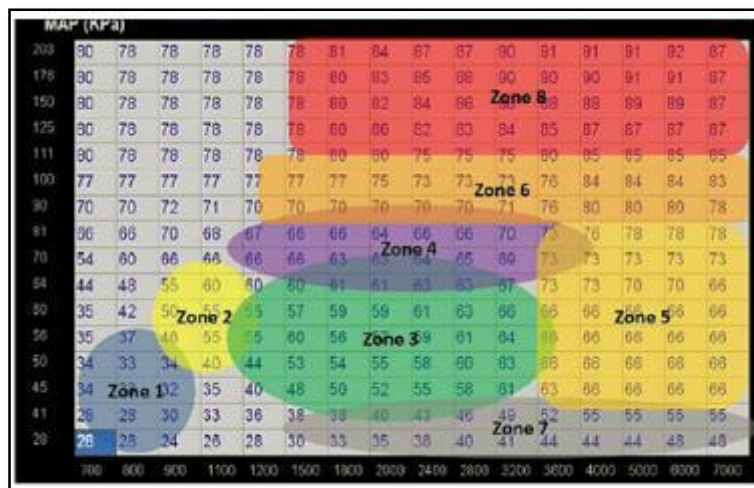


Figura 22 Zonas en la eficiencia volumétrica

Fuente: (Banish, 2009)

2.12.2. Zona 2

(Banish, 2009) Argumenta que: La zona 2 representa la zona de punta. Después de ralentí, este es el próximo punto que los conductores experimentarán con el motor. La relación aire / combustible debe permanecer en $\lambda = 1,00$, incluso si esta zona se introduce en una condición transitoria. Hacerlo requiere dos cosas. En primer lugar, la estimación de la masa de aire en esta región en estado estacionario debe ser correcta. La masa de aire en estado estacionario en cada célula dentro de esta zona representa el flujo de aire objetivo. Si esta masa de aire objetivo no está claramente definida, es casi imposible obtener la masa de combustible allí sobre la marcha con cualquier precisión. En segundo lugar, las correcciones de combustible transitorias deben ser suficientes para cubrir los cambios en el suministro real de combustible en comparación con el combustible añadido directamente en el inyector. (pág. 75)

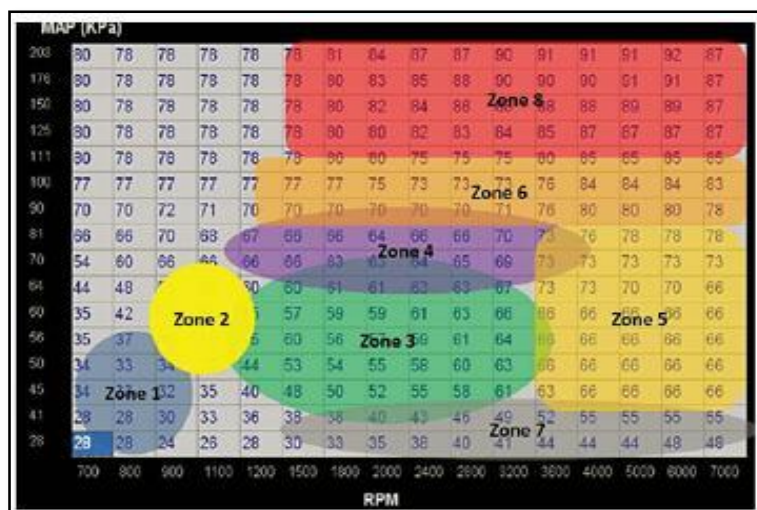


Figura 23 Zona 2 eficiencia volumétrica

Fuente: (Banish, 2009)

2.12.3. Zona 3

(Banish, 2009) Afirma que: La Zona 3 es el área de cruceros. Los motores pasarán mucho tiempo aquí, especialmente cuando se conduce a una velocidad relativamente constante con un grado de carretera mínimo. Dentro de esta zona, los cilindros típicamente sólo se llenan aproximadamente del 20 al 30% de su máximo en una base masiva, carga bastante ligera. Esta zona debe recibir mucha atención durante el proceso de calibración, ya que tiene un impacto tan profundo sobre la "sensación" del coche, así como la economía de combustible y las emisiones. La relación aire / combustible se establece en $\lambda = 1,00$ en toda esta región para promover buenas emisiones y una economía de combustible decente. El golpeteo no suele ser una preocupación en esta zona. (pág. 76)

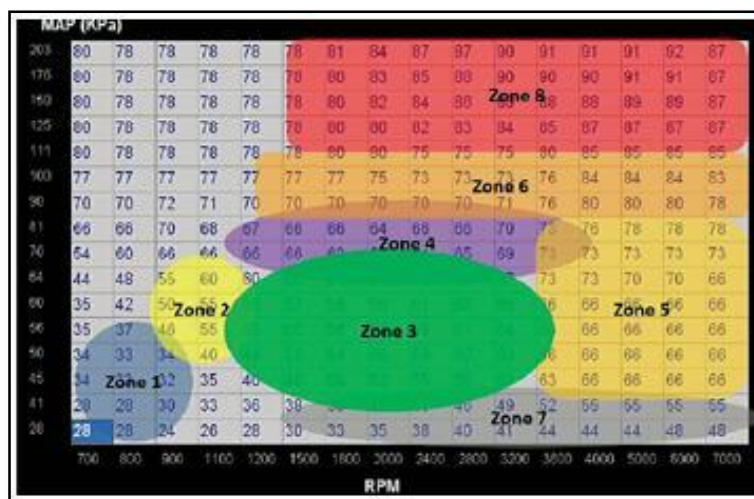


Figura 24 Zona 3 eficiencia volumétrica.

Fuente: (Banish, 2009)

2.12.4. Zona 4

(Banish, 2009) Afirma que: La zona 4 se correlaciona con una región de aceleración moderada en caminos de nivel para mantener la conducción en un grado. La carga del cilindro y el par suministrado son ambos ligeramente superiores a los de la Zona 3, pero no lo suficientemente altos como para garantizar una estrategia de potencia total. La relación aire / combustible permanece en un objetivo de $\lambda = 1,00$ y el tiempo todavía está ajustado a MBT, siempre y cuando el golpe no esté presente. Con un sistema de motor bien diseñado, las temperaturas de los componentes no deberían ser un problema aún. (pág. 77)

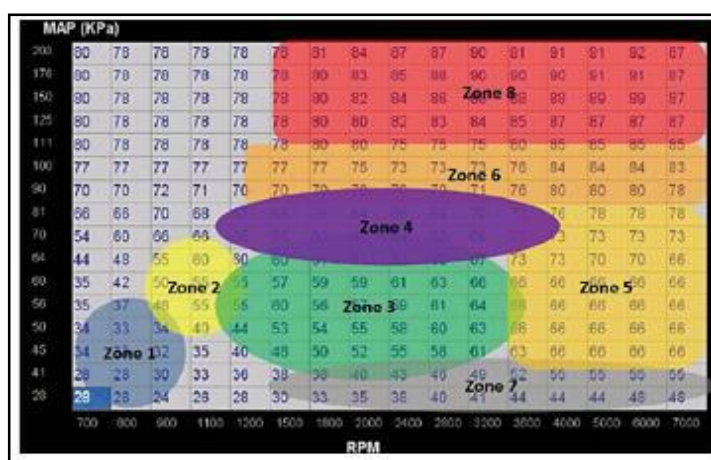


Figura 25 Zona 4 eficiencia volumétrica

Fuente: (Banish, 2009)

2.12.5. Zona 5

(Banish, 2009) Menciona que: La Zona 5 se encuentra en una zona donde la mayoría de los conductores no esperan pasar mucho tiempo. Es una velocidad elevada del motor, pero con cargas sólo moderadas, como dejar el motor en una marcha inferior a propósito. La mayoría de las transmisiones automáticas no permitirán que el motor funcione aquí a menos que el conductor haya seleccionado específicamente el tren inferior. Los corredores de competición pasan el mayor tiempo aquí. En esta condición, las RPM adicionales del motor pueden contribuir a temperaturas de componente más altas. Las válvulas de escape, los catalizadores y los colectores de escape en particular estarán sujetos a altas temperaturas si el motor funciona aquí continuamente a $\lambda = 1,00$, por lo que se agrega un cierto enriquecimiento típico para ayudar a bajar la temperatura de la combustión y de los gases de escape. Valores de cualquier lugar entre $\lambda = 1,00$ y $\lambda = 0,85$ pueden ser necesarios para controlar las temperaturas, dependiendo del sistema. (pág. 77)

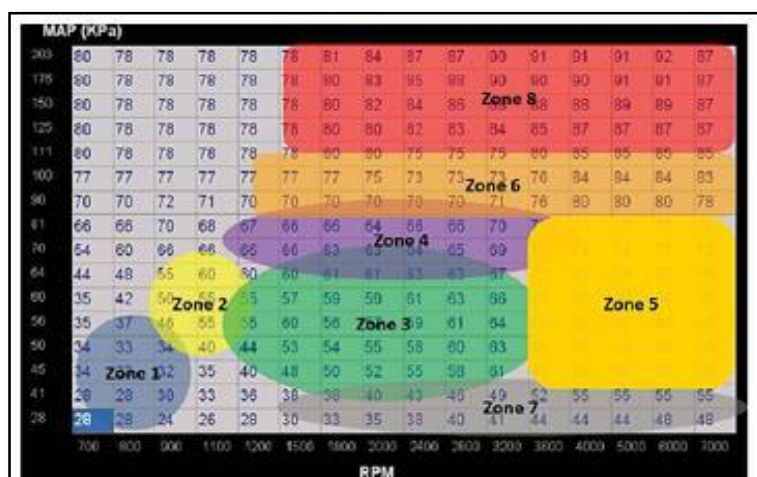


Figura 26 Zona 5 eficiencia volumétrica

Fuente: (Banish, 2009)

2.12.6. Zona 6

(Banish, 2009) Constata que: Un motor aspirado naturalmente viajará a través de esta zona en wide-open throttle (WOT). La presión del colector puede ser ligeramente inferior a la presión atmosférica si hay alguna

restricción en la tubería del sistema de admisión y en el filtro. Recuerde que, en altitudes más altas, esta zona puede incluir valores MAP tan bajos como 70 KPa ya que es todo lo que está disponible en la atmósfera en WOT. El logro de esto es ayudado por una cierta cantidad de enriquecimiento de combustible, por lo general a $\lambda \approx 0,87$ por lo que el uso más eficaz de la entrada de oxígeno se hace. El abastecimiento adicional también ayuda a controlar las temperaturas de los componentes de escape como se observa en la Zona 5. El tiempo se establece lo más cerca posible del MBT sin entrar en el golpeteo. (pág. 78)

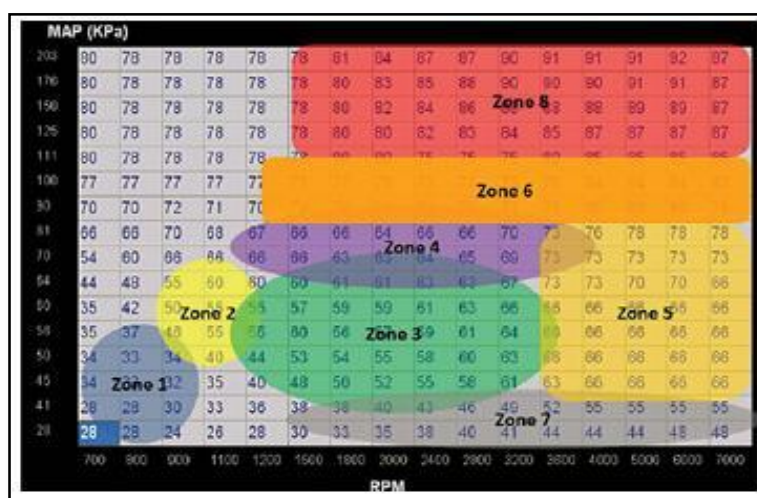


Figura 27 Zona 6 eficiencia volumétrica

Fuente: (Banish, 2009)

2.12.7. Zona 7

(Banish, 2009) Sostiene que: Siempre que el acelerador se levanta abruptamente, la presión del colector cae al mínimo y se introduce la Zona 7. Entrar en esta zona requiere que el acelerador esté casi completamente cerrado. Al llegar aquí, el conductor está solicitando básicamente una salida de par cero o negativo. Desea frenar lo más rápido posible. Si la petición de par es cero (o menos), hace que el control del motor sea muy simple. Para producir torque cero, se requiere combustible cero. Muchos sistemas tienen estrategias para reconocer este conjunto de condiciones y emplear lo que se conoce como deceleración de corte de combustible (DFCO) para ayudar en el frenado del motor. Eliminar el 100% de la producción de par de combustible

y motor significa que el frenado del motor será mucho más pronunciado. Esto puede lograrse simplemente modelando la eficiencia volumétrica como cero dentro de la Zona 7. Zero VE significa masa de aire cero, y en cualquier relación es igual a una orden de masa de combustible cero entregada. (pág. 78)

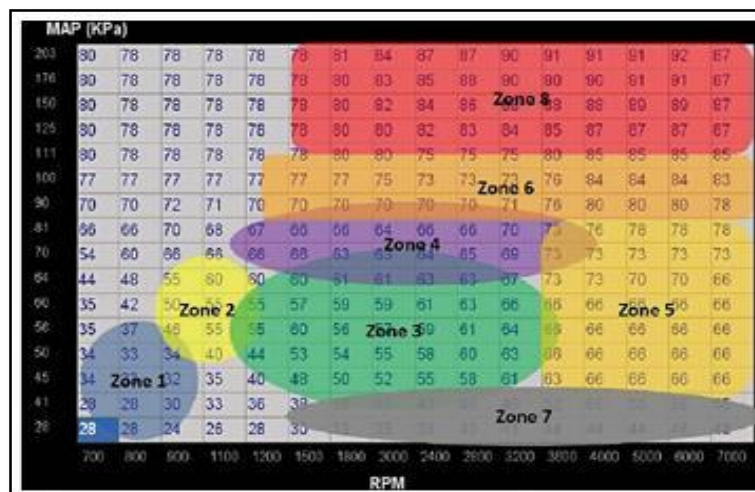


Figura 28 Zona 7 eficiencia volumétrica.

Fuente: (Banish, 2009)

2.12.8. Zona 8

(Banish, 2009) Afirma que: Los motores turboalimentados tienen la capacidad de generar presiones de colector más altas que sus equivalentes aspirados naturalmente. Cuando esto sucede, salen de la Zona 6 y viajan verticalmente en la Zona 8. Las cargas del cilindro se hacen significativamente más altas en esta zona, ya que más moléculas de aire y combustible son alimentadas forzosamente al mismo volumen de la cámara física. Con este aumento de presión viene el calor, que se agrava aún más por el calor adicional generado por la combustión de grandes cantidades de aire y combustible en la misma cámara. Este calor añadido deposita más energía en el sistema de refrigeración del motor, ya que las temperaturas del pistón, la válvula y la culata se incrementan con la liberación de calor adicional de un evento de combustión mayor en cada ciclo. (pág. 79)

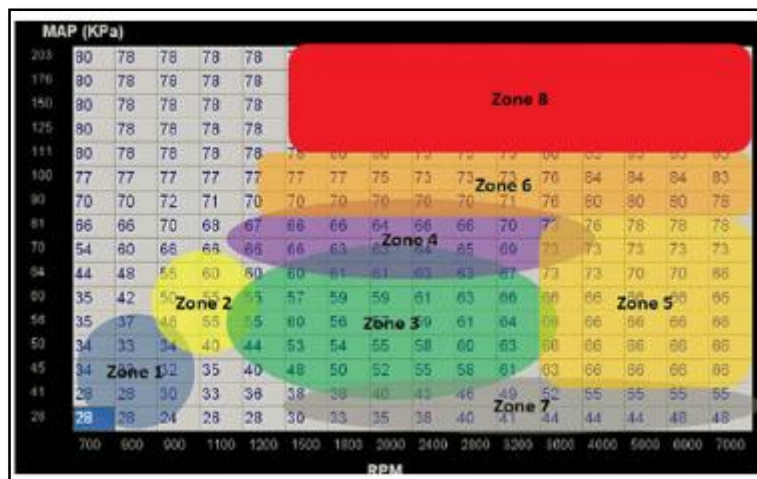


Figura 29: Zona 8 eficiencia volumétrica.

Fuente: (Banish, 2009)

2.13. Generar mapas de Eficiencia Volumétrica

(Banish, 2009) En la calibración del motor, se puede usar la relación predecible MAP-MAF para ayudar a acelerar el proceso de calibración de la tabla VE. No es necesario recopilar todos los puntos a lo largo de la línea recta. Realmente solo se necesita definir la pendiente de la línea y los límites a lo largo de los cuales existe. Los puntos en el medio de la línea recta se pueden interpolar con bastante precisión. (pág. 177)

2.13.1. Método Corners

(Banish, 2009) Sostiene que: El motor al ser considerado como una bomba mecánica, se puede esperar que su eficiencia siga algún tipo de tendencia predecible, por lo que se encontrará que los valores de VE aumentarán con la velocidad hasta llegar a las RPM donde el motor genera un par máximo. Todos los puntos de carga a diferentes velocidades pueden ajustarse rápidamente en función del factor lambda entregada. (págs. 194-200)

2.14. Generar Mapas de encendido

(Banish, 2009) Afirma que: La mejor forma de crear un mapa de encendido no es crearlo desde cero. Si existe un mapa de encendido de fábrica para su aplicación, utilizar ese es casi siempre la mejor manera para comenzar. Los mapas de encendido de fábrica se pueden ajustar fácilmente en áreas específicas para que coincidan mejor con el motor en cuestión. Aplicando las siguientes reglas ayudarán a la afinación del avance de la chispa. (pág. 220)

2.14.1. Adelantar el encendido con el incremento de RPM.

(Banish, 2009) Menciona que: El objetivo de avanzar el tiempo de encendido es proporcionar la presión máxima del cilindro en el punto más efectivo del ciclo. Dado que la mezcla de aire / combustible tarda cierto tiempo en quemarse, el proceso debe iniciarse antes de este objetivo. A velocidades más altas, el encendido debe iniciarse antes. En este sentido significa más grados antes de PMS. Si no se realiza este adelanto, se produce una combustión menos completa y se ejerce menos presión sobre el pistón. (pág. 222)

2.14.2. Retrasar el Encendido con el aumento de la carga del cilindro.

(Banish, 2009) Afirma que: Cada vez que se coloca más energía potencial en el cilindro en forma de mezcla de aire y combustible, la velocidad a la cual combustiona aumenta ligeramente. Las moléculas que reaccionan son más compactas, de modo que la velocidad de propagación de la llama se maneja más rápido entre ellas. Además, la mayor cantidad de moléculas que reaccionan ocasionan una mayor liberación de calor total y una tasa de aumento de presión. El calor y la presión son catalizadores para la combustión, por lo mas de ambos significa que las cosas suceden más rápido. Siendo necesario reducir los grados de adelanto al encendido. (pág. 225)

2.14.3. Evitar el Golpeteo

(Banish, 2009) Menciona que: Independientemente de que más esté sucediendo, el golpeteo debe evitarse a toda costa. El golpeteo de chispa es uno de los mayores dañinos de motores. Es el resultado de una combustión incontrolada que se manifiesta al colisionar las ondas de presión dentro del cilindro, generalmente en el momento más inoportuno. Estas ondas pueden combinarse para entregar presiones muy superiores a las cargas normales de combustión. El exceso de presión sobre el pistón durante la compresión intenta hacer retroceder el cigüeñal y reduce significativamente el par motor. Si el motor exhibe un golpe de chispa, la única opción real es retardar el tiempo de encendido hasta que desaparezca. (pág. 221)

En la Figura 30 se puede observar el efecto que tiene un excesivo adelanto o retraso del encendido en la presión en el cilindro.

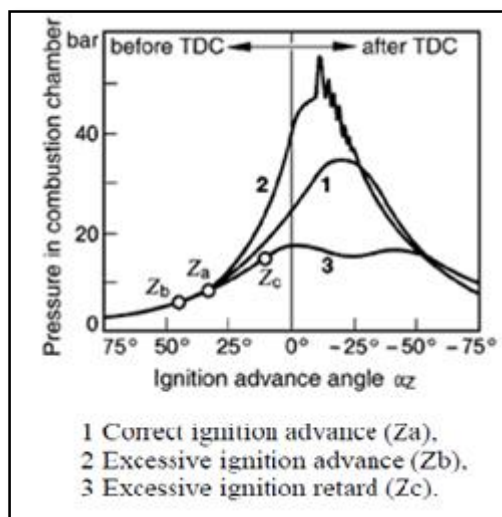


Figura 30 Curva presión de combustión vs ángulo avance de encendido

Fuente: (Bosch, 2002)

2.15. Calibración de la ECU

(Kraeling & Oshana, 2013) Afirma que: La calibración del vehículo se utiliza durante todo el proceso de desarrollo del motor, desde el mapeo inicial hasta

el final de la calibración de la línea de fabricación y la firma del vehículo. La calibración se realiza para maximizar el rendimiento del vehículo, la economía de combustible y la conducción. Además de la calibración electrónica es posible calibrar sub funciones asociadas tales como refrigeración, control del ventilador, Sistemas de acondicionamiento, control del alternador y control de la transmisión. El rendimiento total del vehículo puede ser mapeado, analizado y ajustado para mejorar el rendimiento general de los sistemas del vehículo y recoger los datos de especificación de rendimiento. Como se ilustra en la figura 31.

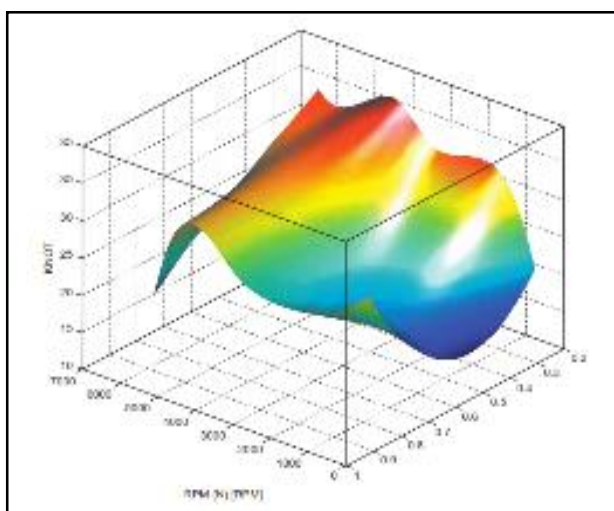


Figura 31 Mapeo

Fuente: (Kraeling & Oshana, 2013)

2.16. Ángulo de encendido y presión en el cilindro

Según (Banish, 2009) afirma que: La potencia, o más apropiadamente par, depende en última instancia de la presión del cilindro. Es la presión generada por el proceso de combustión que empuja hacia abajo en la parte superior del pistón y finalmente gira el cigüeñal. Cuanto mayor sea la presión disponible para empujar el pistón, más fuerza de giro se aplica al cigüeñal. La velocidad de tiempos de par es igual a la potencia, por lo que hacer más potencia todavía significa hacer más presión del cilindro. Cualquier manera que usted la mira, la presión del cilindro es la clave para generar el par y la energía. Los resultados de una prueba de chispas se trazaron el torque vs el ángulo de

encendido para mostrar la curva de gancho, para un solo punto de operación del motor. Tenga en cuenta la pendiente se incrementa y se refleja en la salida de par cerca de MBT y la pérdida visible de par al avance excesivo. (págs. 67-68)

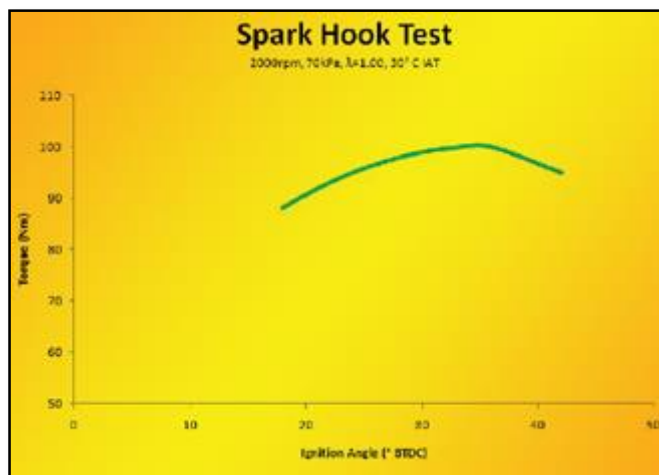


Figura 32 Ángulo de encendido vs torque.

Fuente (Banish, 2009)

CAPÍTULO III

INSTALACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA UNIDAD ELECTRÓNICA MEGASQUIRT

3.1. Introducción

Se determinó la unidad de control electrónica (hardware) su fiabilidad y su diagrama de instalación para el motor T18SED L4 DOHC 1.8L, además se analizó el software a utilizar en la investigación. Los sensores y actuadores: CKP, ECT, MAP, TPS, HEGO (wideband), Inyectores, Bomba De Combustible, Bobina De Encendido. Estos son los principales y necesarios para la conexión de la computadora reprogramable, además fueron analizados cada uno detenidamente para un mejor desarrollo de la investigación.

Se realizó pruebas con la ayuda de un banco de pruebas un “Dinamómetro” la potencia y torque en las condiciones iniciales del vehículo. Una vez obtenido los valores con el dinamómetro, se realizó la configuración los valores que son imprescindibles para que un motor entre en funcionamiento.

A continuación, se programa la ECU en base a la investigación en: “La eficiencia volumétrica y el avance al encendido” los cuales son puntos clave para el perfecto desempeño del motor. En el transcurso de la investigación se logró configurar valores que son imprescindibles para que el motor este en el óptimo funcionamiento.

3.2. Características del motor

Tabla 8:

Especificaciones del motor Chevrolet Optra 1.8l

Tabla de especificaciones del motor Chevrolet Optra	
Modelo	Optra
Cilindraje	1.8 litros
Potencia	122cv @ 5800 rev/min
Numero de cilindros	4 cilindros en línea
Distribución	16 válvulas
Torque máximo	165 Nm @ 4000 rev/min
Diámetro de pistón y Carrera	81.7 x 86 (mm)
Compresión	9.8:1
Combustible	Gasolina
Transmisión	Manual
Peso del vehículo	1211 kg
Longitud del vehículo	4510 mm
Ancho del vehículo	1730 mm
Altura del vehículo	1450 mm
Distancia entre ejes	2610 mm
Frenos delanteros	Disco
Frenos traseros	Tambor
Consumo de combustible	11.8 litros /100Km

Fuente: (Tecnoautos, 2011)

3.3. Sensores y actuadores principales del motor

3.3.1. Sensores

a) Throttle position sensor (TPS)

Está ubicado en el cuerpo de aceleración, es un potenciómetro, por lo tanto, es de resistencia variable, el sensor del vehículo tiene 3 cables.

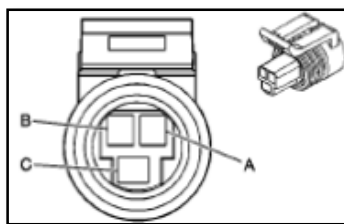


Figura 33 Vista del socket sensor TPS.

Fuente: Manual de servicio Optra.

Tabla 9:

Información del sensor TPS.

Pin	Color	Descripción
A	D-GN/WH	Referencia 5 V
B	BU	Tierra
C	L-GN/WH	Señal

Tabla 10:

Valores de resistencia entre pines.

Pin	Resistencia
AB	6,99K Ω
BC	8,28K Ω
AC	2,1K Ω

Circuito del sensor

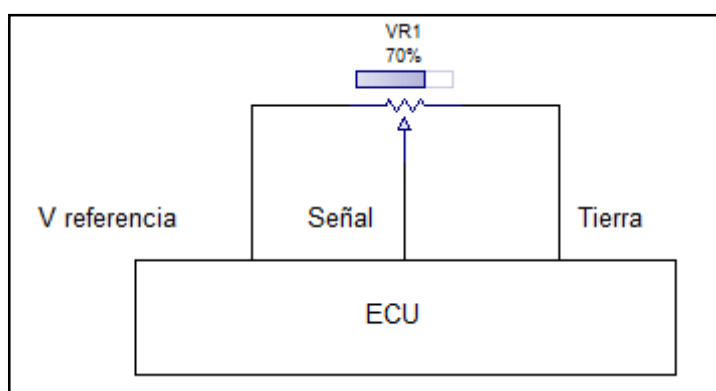


Figura 34 Diagrama eléctrico del sensor TPS.



Figura 35 Ubicación del Sensor TPS.

b) Sensor de temperatura del aire (IAT)

Está ubicado en el múltiple de admisión, en el paso de la toma de aire de admisión, consta de 2 cables, este sensor varía su resistencia según sea la temperatura del aire.

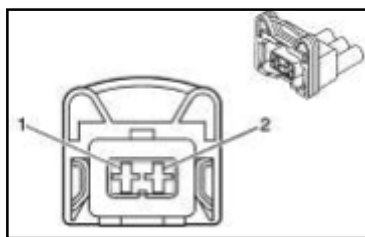


Figura 36 Vista del socket sensor IAT.

Fuente: Manual de servicio Optra.

Tabla 11:

Información del sensor IAT.

Pin	Color	Descripción
A	BK	Referencia Baja (tierra)
B	GY	Señal

Tabla 12:

Valores de resistencia del sensor IAT.

Pin	Resistencia
AB	2,45 kΩ

Circuito Sensor

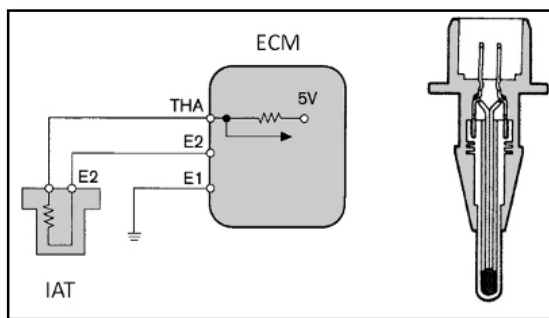


Figura 37 Diagrama eléctrico del sensor IAT.

Fuente: (E-auto, 2017)



Figura 38 Ubicación sensor IAT.

c) Sensor de posición del cigüeñal (CKP)

Está ubicado en un costado del motor en la polea del cigüeñal este sensor es tipo inductivo tiene 3 cables.

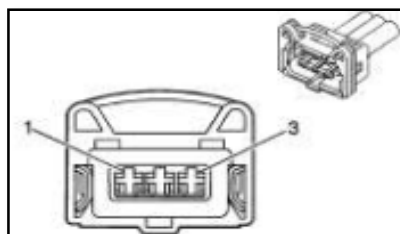


Figura 39 Vista del socket sensor CKP.

Fuente: Manual de servicio Optra.

Tabla 13:

Información del sensor CKP.

Pin	Color	Descripción
1	D-BU/WH	Señal
2	YE/BK	Baja referencia
3	BK	Tierra -Malla

Tabla 14:

Valores de resistencia del sensor CKP.

Pin	Resistencia
1-2	2,45 k Ω
1-3	abierto
2-3	Abierto

Circuito sensor

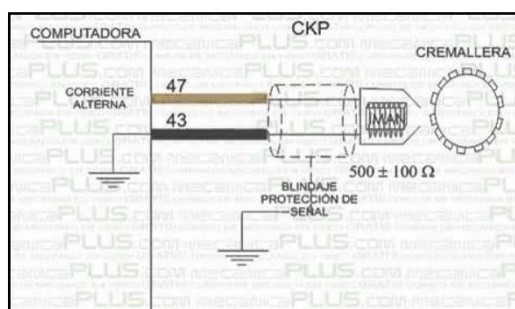


Figura 40 Diagrama eléctrico del sensor CKP.

Fuente: (Mecanicaplust, 2014)



Figura 41 Ubicación del sensor CKP.

d) ECT (sensor de temperatura del refrigerante)

Su función es determinar la temperatura del refrigerante, está situado en el paso de una cañería de agua del block antes del termostato, este sensor contiene 2 cables.

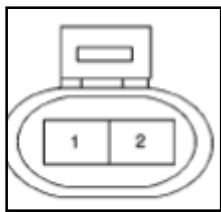


Figura 42 Vista del socket sensor ECT.

Fuente Manual de servicio Opra.

Tabla 15:

Información del sensor ECT.

Pin	Color	Descripción
1	PU	Señal
2	RD	Baja referencia (Tierra)

Tabla 16:

Valor de resistencia del sensor ECT.

Pin	Resistencia
1-2	3,54 kΩ

Circuito sensor

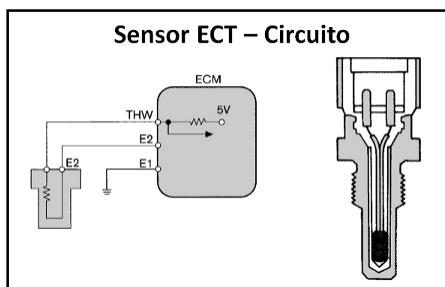


Figura 43 Circuito sensor ECT

Fuente: (E-auto, 2017)



Figura 44 Ubicación del Sensor ECT.

3.3.2. Actuadores

a) Inyectores

Es un componente del sistema de inyección del combustible el cual es activado mediante el control de masa de la ECU su función principal es inyectar combustible en la cámara de combustión en forma pulverizada, el inyector tiene 2 cables: el primero es 12 voltios y el segundo es control de masa de la ECU.

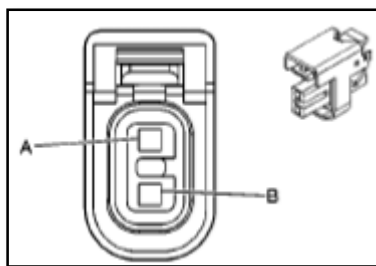


Figura 45 Vista del socket inyectores.

Fuente: Manual de servicio Opra.

Tabla 17:

Información de los actuadores inyectores

Inyectores	Pin	Color	Descripción
Inyector 1	A	PK	12 V
	B	YE/BU	Control de masa
Inyector 2	A	PK	12 V
	B	BN/WH	Control de masa
Inyector 3	A	PK	12 V
	B	D-GN/BK	Control de masa
Inyector 4	A	PK	12 V
	B	D-GN/WH	Control de masa

Tabla 18:

Resistencia de los inyectores.

Inyectores	1	2	3	4
Resistencia	12,2Ω	12,1Ω	12,2Ω	12,2Ω

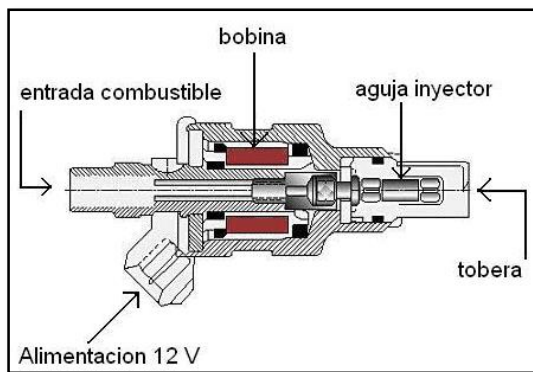


Figura 46 Esquema de un inyector

Fuente: (Foroshonda, 2009)

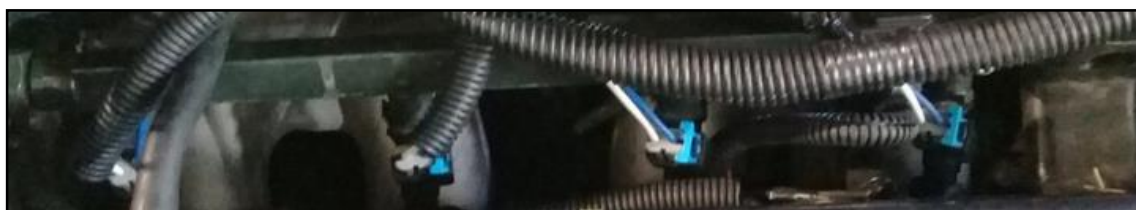


Figura 47 Ubicación de los Inyectores.

b) Bobina de encendido

Está ubicado la parte posterior del motor su función es distribuir la chispa a las bujías, el sistema que utiliza esta bobina es de chispa perdida ya que envía eleva el alto voltaje al cilindro 1 y 4 conjuntamente y luego al 2 y 3 de igual manera, la bobina consta de 3 pines: el del centro es 12 voltios, y los dos de los extremos son los que la ECU controla.

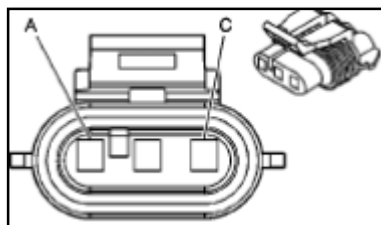


Figura 48 Vista del socket bobina.

Fuente Manual de servicio Opra.

Tabla 19:

Información de la bobina.

Pin	Color	Descripción
A	L-BU	Control ECU bobina 2-3
B	PK	12 V
C	D-GN	Control ECU bobina 1-4

Tabla 20:

Resistencia de las bobinas.

Pin (Bobina)	Resistencia
AB (2-3)	1,3 Ω
BC (1-4)	1,3 Ω

Circuito de la bobina

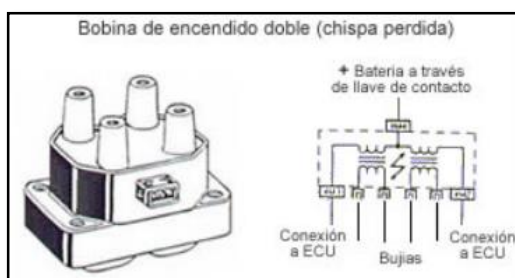


Figura 49 Diagrama eléctrico de una bobina.

Fuente: (Garrido, 2017)



Figura 50 Ubicación de las bobinas.

c) Bomba de combustible

Está ubicado en el tanque de combustible en la parte inferior de los asientos traseros. Su función principal es abastecer de combustible a los inyectores, esta contiene 6 cables de conexión:

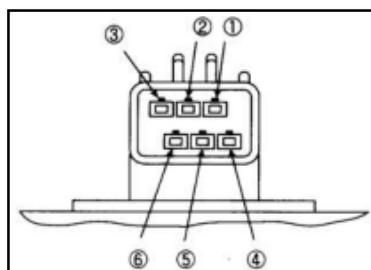


Figura 51 Vista del socket bomba de combustible.

Fuente: Manual de servicio Optra.

Tabla 21:

Información de la bomba de combustible.

Pin	Color	Descripción
1	BN/WH	Señal de nivel de combustible
2	BK	Negativo
3	RD	12 V
4	-	sin uso
5	-	Sin uso
6	L-BU/BK	Baja referencia



Figura 52 Bomba de combustible Chevrolet Optra



Figura 53 Ubicación bomba de combustible.

3.4. Comparación y selección del equipo ECU reprogramable

En la tabla 22 se muestra la comparación de los equipos reprogramables ventajas, desventajas, disponibilidad en el mercado entre otras.

Tabla 22:

Selección de equipo ECU reprogramable.

	EQUIPOS			
	MEGASQUIRT MS2		HALTECH SPRINT 500	
	Descripción	Valoración	Descripción	Valoración
Características generales	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar inyectores de baja y alta impedancia Funcional en motores de 1 o más de 12 cilindros 	3	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar inyectores solo de alta impedancia. Funcional en motores de 1 o más de 12 cilindros. 	2
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> La lectura de datos se los obtiene en tiempo real. La reprogramación se lo hace 	3	<ul style="list-style-type: none"> La lectura de datos se lo hace en tiempo real. 	3

CONTINÚA 

	<p>mediante una PC.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiene un sensor MAP que mide la presión en el múltiple de admisión. 		<ul style="list-style-type: none"> • La reprogramación se realiza mediante una PC. • Tiene un sensor MAP. 	
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • En la placa 3.5 de fábrica, cuenta con una salida de ignición de alta corriente, pero se puede configurar hasta 6 salidas con modificaciones internas. 	2	<ul style="list-style-type: none"> • 4 salidas de ignición de alta corriente no modificables. 	1
Disponibilidad en el mercado	<ul style="list-style-type: none"> • Existe diferentes series empezando desde la MS1 a la MS3. • La fábrica principal de Megasquirt "DYAUTOTUNE" que se puede importar, en Ecuador se puede obtener en la ciudad de Quito con un distribuidor "DINAMYCA". 	3	<ul style="list-style-type: none"> • Diferentes series en el mercado E550 hasta E2500. • Existe un distribuidor de computadoras HALTECH en la ciudad de Quito llamado "DINAMYCA". 	2

Facilidad de programación	<ul style="list-style-type: none"> El software es bastante amigable con el usuario para realizar calibraciones. La interface de comunicación es tan solo un computador para la reprogramación. 	<ul style="list-style-type: none"> El software es un poco más complicado a diferencia de la Megasquirt. 	2
Economía	<ul style="list-style-type: none"> El costo es bastante económico, la computadora MS2 placa 3,5 tiene un valor aproximado de 350 dólares 	<ul style="list-style-type: none"> El costo es elevado, el costo de una computadora haltech Sprint 500 tiene un valor aproximado de 700 dólares. 	1
TOTAL			11

En la tabla 22 se observa que la mejor opción de elección de una computadora reprogramable de control de inyección y encendido es la computadora Megasquirt MS2 placa 3.5.

Debido a que este tipo de computadora se puede modificar las salidas de ignición para los cilindros que tenga el motor, además dispone de un software muy amigable para el usuario que es muy fácil su comprensión y en cuanto a economía se concluye que es mucho más económica con una haltech.

3.5. Características de la computadora reprogramable

La ECU reprogramable Megasquirt MS2 3.5 cuenta con las siguientes características que se muestran en la siguiente tabla.

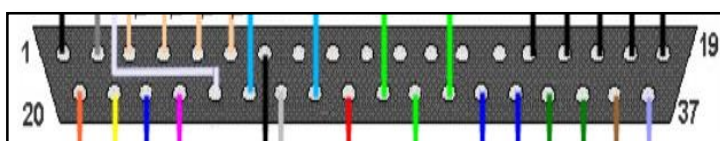
Tabla 23:

Características de la ECU Megasquirt MS2 3.5

Especificaciones De La ECU Megasquirt Ms2 Placa 3.5	
Inputs	<ul style="list-style-type: none"> • Crank and Cam Tach analog. • MAP presión Max de 110 KPa (Analog). • MAF con modificaciones en la placa. • IAT (sensor de temperatura del aire) Analog. • CLT (sensor de temperatura del agua) Analog. • TPS (Throttle Position Sensor) Analog. • O2 sensor de oxígeno (Analog) • MAF. • CAN HIGH/LOW
Outputs	<ul style="list-style-type: none"> • Inyectores Bank1, Bank2. • 2 salidas de ignición de fábrica. • Bomba de combustible. • Idle. (salida adicional configurable).

3.6. Distribución de pines Megasquirt MS2 3.5

Esta ECU cuenta con una salida DB-37, que se la puede observar en la figura 54 que se va a mostrar a continuación.

**Figura 54 DB-37 Megasquirt 3.5**

Fuente (Megasquirt, 2016)

En la tabla 24 se observar la designación de cada pin de salida y entrada.

Tabla 24:

Distribución de pines Megasquirt MS2 3.5

Pin #	Nombre	Entrada/ Salida	Función	Máx. Amp
1	GND	GND	Tierra del sensor de posición del cigüeñal.	-
2	GND	GND	Recubrimiento del sensor de posición del cigüeñal.	-
3	SPR1	Comunicación	CAN H	-
4	SPR2	Comunicación	CAN L	-
5	SPR3	-	Adicional	-
6	SPR3	-	Adicional	-
7	GND	GND	Tierra del sensor	-
8	GND	GND	Tierra adicional	-
9	GND	GND	Tierra adicional	-
10	GND	GND	Tierra adicional	-
11	GND	GND	Tierra adicional	-
12	GND	GND	Tierra adicional	-
13	GND	GND	Tierra adicional	-
14	GND	GND	Tierra adicional	-
15	GND	GND	Tierra Principal	-
16	GND	GND	Tierra Principal	-
17	GND	GND	Tierra Principal	-
18	GND	GND	Tierra Principal	-
19	GND	GND	Tierra Principal	-
20	MAT	In	Entrada del sensor de temperatura del aire (MAT)	-
21	CLT	In	Entrada del sensor de refrigerante (CLT).	-
22	TPS	In	Entrada del sensor TPS	-
23	O2	In	Entrada del sensor de oxígeno	-
24	TACH IN	In	Entrada del sensor de posición del cigüeñal.	-
25	IAC1A	Out	IAC1A	0.5 A

CONTINÚA 

26	TPS (5v referencia)	Out	5 V referencia sensor posición del pedal de aceleración (TPS).	0.1 A
27	IAC1B	Out	IAC1B	0.5 A
28	+ 12V IN	In	Principal alimentación Megasquirt	< 1 A
29	IAC2A	Out	IAC2A	0.5 A
30	FIDLE	Out	Salida adicional (controlable).	0.1 A
31	IAC2B	Out	IAC2B	0.5 A
32	INJ1	Out	Inyector Banco 1 salida.	7 A
33	INJ1	Out	Inyector Banco 1 salida.	7 A
34	INJ2	Out	Inyector Banco 2 salida.	7 A
35	INJ2	Out	Inyector Banco 2 salida.	7 A
36	ING	Out	Alta corriente ignición.	7 A
37	BOMBA	Out	Relé de la Bomba (salida)	0.1 A

Fuente (Megasquirt, 2016)

3.7. Selección de sensor wide-band

Véase en la tabla 25 se describe las características más relevantes de los sensores de oxígeno Wide-Band y Narrow-Band.

Tabla 25:

Wide-Band vs. Narrow-Band

Características	
WIDE-BAND	<ul style="list-style-type: none"> • Mucho más sofisticado que un sensor Narrow-Band ya que tiene una escala de medición en voltios donde 0 voltios es 7.35 de AFR y 5 voltios es 22.30 de AFR. • Su lectura es mucho más rápido e instantánea. • Muestra la lectura de AFR. • Tiene un calentador para que sus mediciones sean mucho más exactas.

CONTINÚA 

NARROW-BAND

- Dispone de una reducida escala de medición en voltios de 0 a 1 voltio.
- Emite 3 señales a la ECU (pobre-estequiométrica-rico).

Fuente (EngineBasics, 2017)

Para fines de calibración de un motor es necesario un sensor de banda ancha (Sensor Wideband), este tiene mayor precisión (véase en la tabla 25), que el sensor que viene de fábrica en el vehículo (Narrow-Band) que es utilizado con fines de emisiones y son usados con convertidores catalíticos. [Haltech, 2017]

3.8. Características del kit completo del sensor wide-band

El kit completo del sensor wide-band consta de 3 partes:

- El sensor wide-band.
- DB digital Air/Fuel gauge (Reloj).
- LC-2 Digital Air/Fuel Ratio (Lambda).

En la tabla 26 se observa las características de cada una de las partes que consta el kit completo del sensor WIDE-BAND.

Tabla 26:

Características del kit completo del sensor Wide-Band.

Kit completo del sensor wide-band	
Sensor Wide-Band	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene un amplio rango en la escala de medición de 0 a 5 voltios donde 0 voltios es 7.35 AFR y 5 voltios es 22.39 AFR. • Tiene un calentador para una mejor medición de la relación AFR.
LC-2 Digital Air/Fuel Ratio (Lambda)	<ul style="list-style-type: none"> • Es un controlador de un sensor O2 de banda ancha. • Este controlador recibe señales del sensor Wide-Band y las envía al DB digital Air/Fuel Gauge (Reloj).

CONTINÚA 

<ul style="list-style-type: none"> • Este controlador tiene la entrada del sensor Wide-Band, los cables de conexión de positivo, negativo para energizar el sistema y él que envía la señal al DB digital Air/Fuel gauge (Reloj). • Serial in & out 4 pines de conexión, son utilizados cuando es necesario configurar salidas analógicas y llevar un registro de datos a través del software Logworks con una PC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Este un reloj digital que recibe la señal del controlador y la muestra la relación de AFR del motor.
--	--

<ul style="list-style-type: none"> • DB digital air/fuel gauge (reloj). 	<ul style="list-style-type: none"> • Este un reloj digital que recibe la señal del controlador y la muestra la relación de AFR del motor.
---	--

Fuente (InnovateMotorSports, 2017)

3.9. Precauciones para la instalación y reprogramación de la ECU Megasquirt MS2 placa 3.5

Para la instalación y reprogramación de la computadora reprogramable ECU se necesitan que cumplan algunos requisitos fundamentales para su mejor desempeño.

- El vehículo debe estar en perfectas condiciones mecánicas y electrónicas para iniciar con el proceso de la instalación de la ECU reprogramable, además se verifico el correcto funcionamiento de los sensores que fueron conectados en la computadora (CKP, ECT, IAT, TPS), la bobina de encendido y sus respectivos inyectores.
- La computadora reprogramable Megasquirt MS2 placa 3.5 se la analizó previamente con su respectivo manual las entradas y salidas disponibles para el motor, este modelo de computadora en su estado original cuenta con una sola salida de alta tensión por lo que fue necesario ampliar la salida de alto voltaje.
- Una vez revisado el estado del motor tanto mecánico como eléctrico y electrónico se procede a realizar la respectiva reprogramación de la

computadora, analizando principalmente mapas tridimensionales de inyección y encendido.

3.9.1. Diagrama de conexión de la computadora Megasquirt

En la figura 55 se observa los sensores y actuadores que son fundamentales para la conexión de la computadora Megasquirt, además se observa los pines utilizados Megasquirt y la ECU original para la conexión, estos diagramas se los puede observar en el anexo 1.

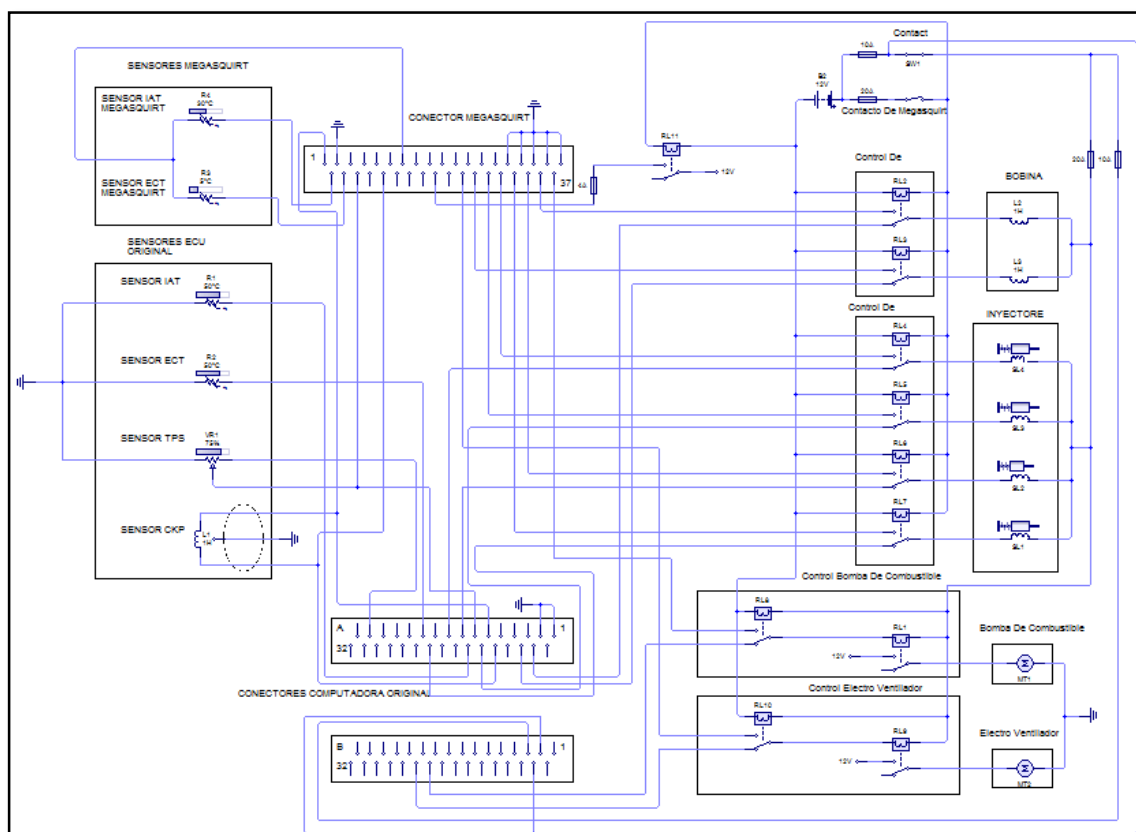


Figura 55 Conexión de la Megasquirt y la ECU original.

Descripción del diagrama

En la figura 55 se observa que tiene dos interruptores Contacto de Megasquirt y contacto de la computadora original. Con el contacto en (ON) de la computadora original se activa: Bobina, Inyectores, ECU original, en este estado el motor está listo para encender con las señales de la ECU original.

En el estado de (ON) del contacto de Megasquirt entra en funcionamiento la ECU Megasquirt en este estado el motor estaría listo para encender con la computadora programable además se activa: Control de la Bobina RL2 y RL3, Control de los inyectores RL4-RL7, control de la bomba de combustible RL8, y control del electro ventilador RL10.

3.9.2. Diagrama de conexión bobina, inyectores, bomba de combustible y electro ventilador

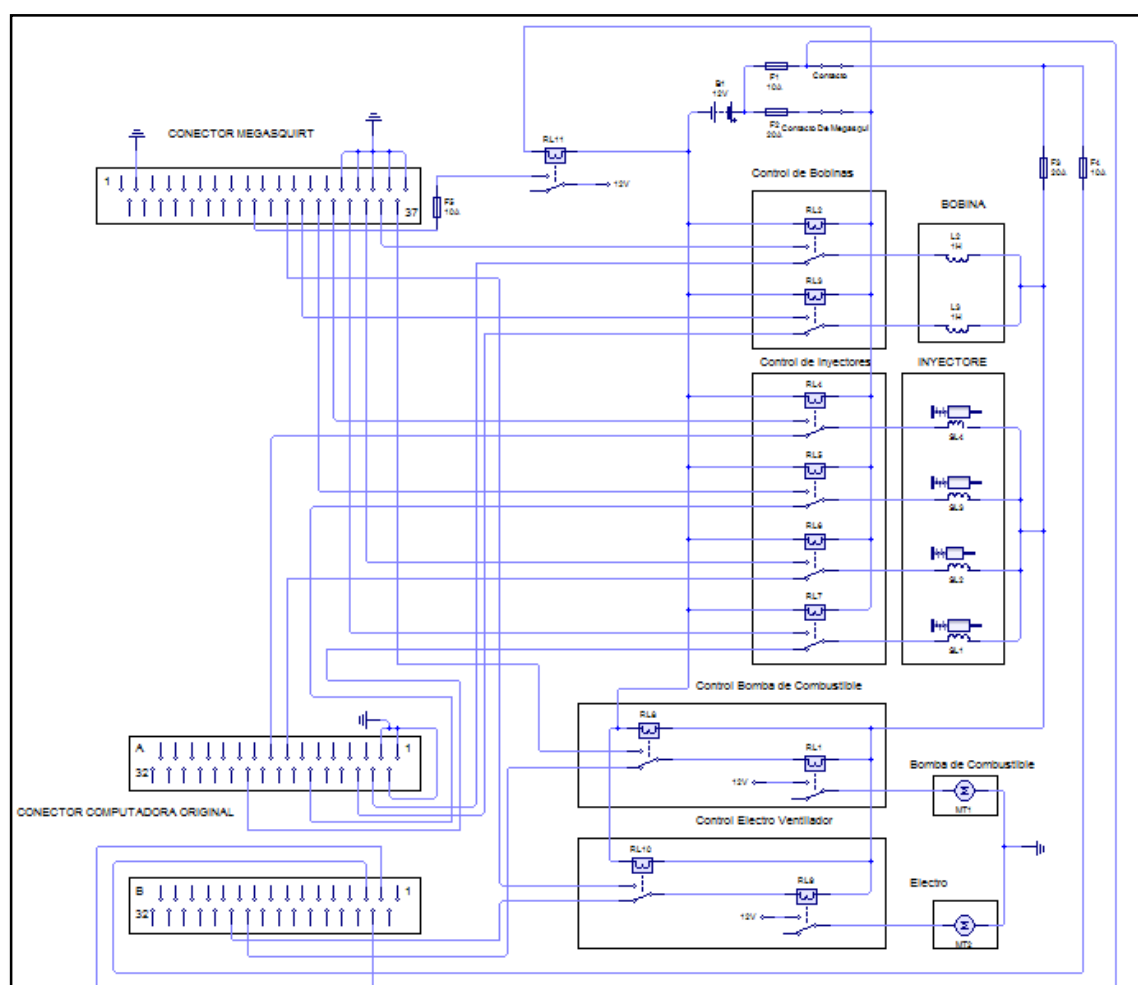


Figura 56 Bobina, Inyectores, Bomba de combustible, Ventilador.

Descripción del diagrama

En el diagrama de la figura 56 se observa la conexión que se realizó en la etapa de bobinas, inyectores, bomba de combustible y electro ventilador. Esta instalación está constituido con 8 relés principales, que controlan las señales de las ECU original y la Megasquirt, mediante un interruptor (contacto de

Megasquirt), que controla las señales de la ECU original y la ECU Megasquirt además activa o desactiva la Megasquirt. Para el funcionamiento de la ECU programable necesariamente debe estar encendida la ECU original enviando voltajes de referencia a los sensores que necesitan.

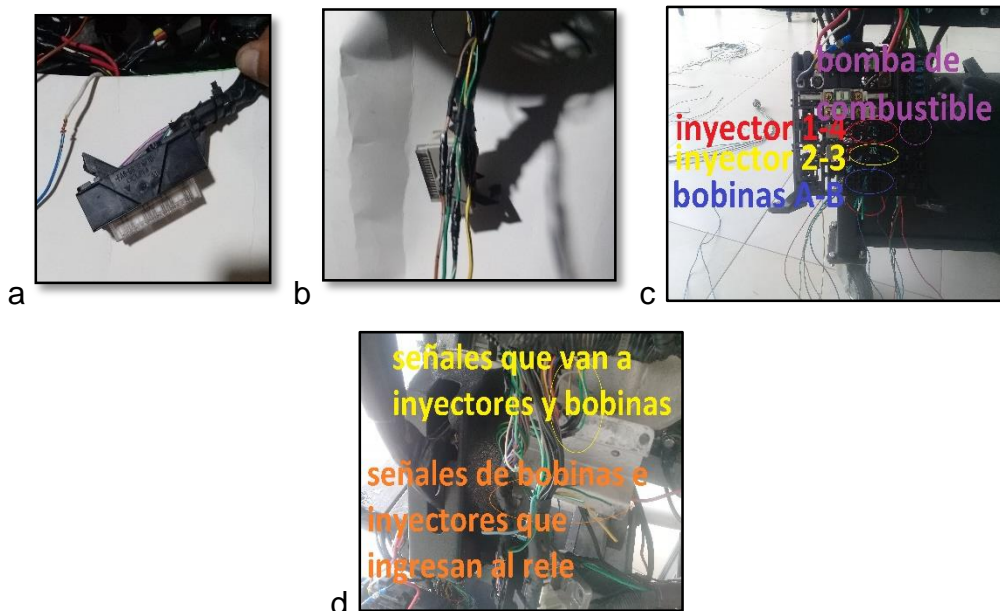


Figura 57 a) Empalmes de señales de bobinas. b) Señales de inyectores. c) Relés de control Inyectores, Bobinas. d) Señales que ingresan a los relés y salen a inyectores y bobinas.

3.9.3. Diagrama de conexión sensores ECT, CKP, TPS, IAT

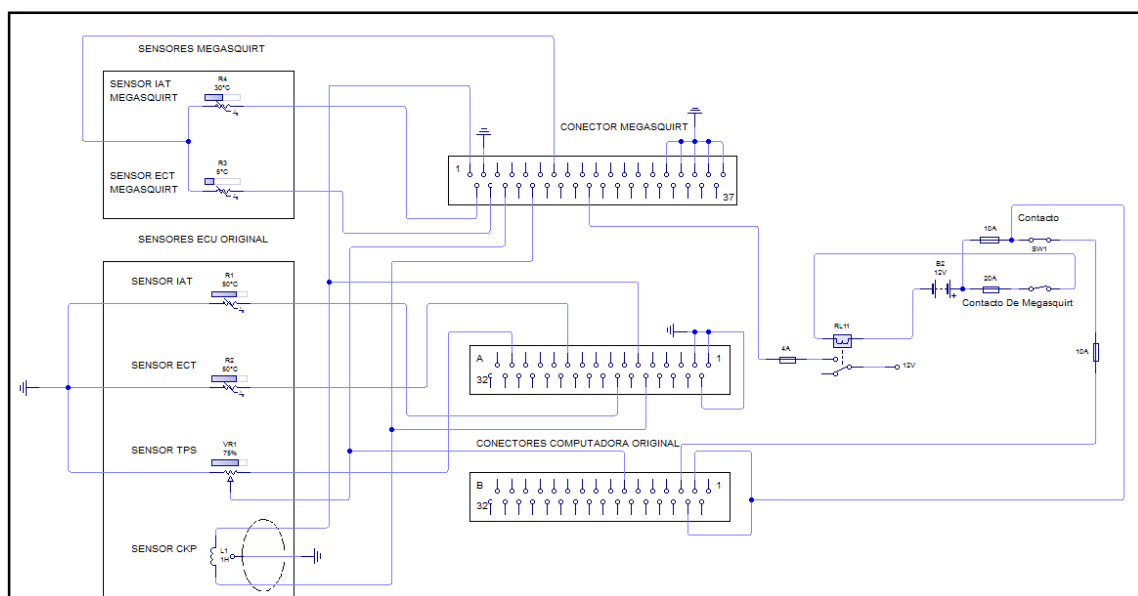


Figura 58 Sensores IAT, ECT, TPS, CKP

En el diagrama de la figura 58 se observa la configuración y adaptación de los sensores que se utilizaran para la conexión en paralelo de las ECU's Megasquirt y Original.

Las señales que se conectaron con un empalme eléctrico son: señal del sensor TPS, Señal y baja referencia del sensor CKP. Para los sensores IAT y ECT fueron necesarios la instalación de nuevos sensores ya que Megasquirt recomienda la adaptación de nuevos sensores ya que en la mayoría de ECU's GM ha generado valores de señales inconsistentes, generando fallas en el vehículo.

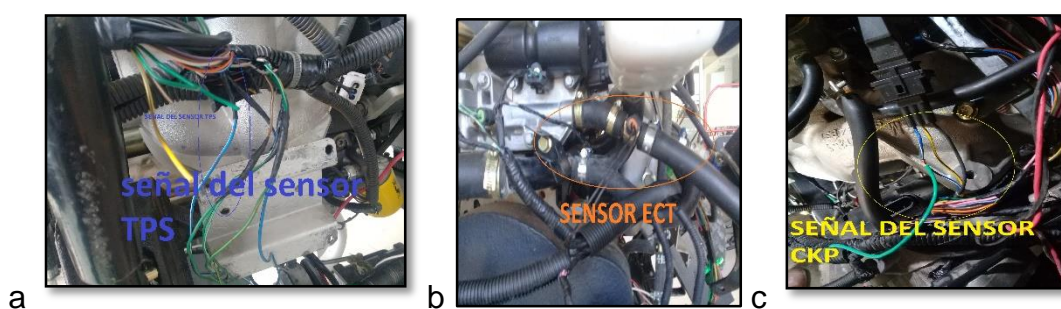


Figura 59 a) Empalme señal TPS. b) Sensor ECT. c) Empalmes sensor CKP. d) Sensor IAT.

3.10. Funcionamiento, configuración y programación de la ECU Megasquirt en el banco de pruebas

3.10.1. Funcionamiento del banco de pruebas

a) Modo 1

Tabla 27:

Estados de los switch del banco de pruebas.

	ON	OFF
Contacto principal	X	
Contacto Megasquirt		X

En el motor cuenta con 2 switch: Contacto principal y contacto de la Megasquirt. El primero funciona como interruptor principal el cual genera voltajes a la ECU original, bobinas de encendido e inyectores. Y este debe estar obligadamente en (ON) para el funcionamiento, en este estado las 2 ECUS reciben las señales, pero las ingresan a la Megasquirt no son procesadas ya que no está encendida la Megasquirt. Las señales que reciben las bobinas e inyectores son de la ECU original ya que el contacto de la Megasquirt está en estado OFF.

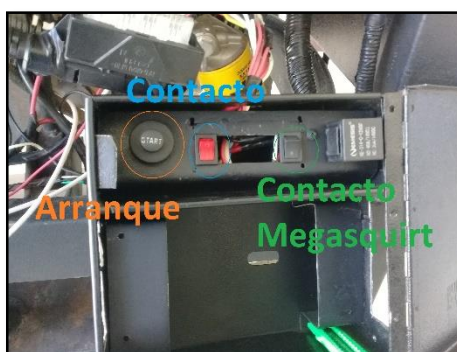


Figura 60 Caja de Switch del Banco de pruebas.

b) Modo 2

Tabla 28:

Estados de los switch del banco de pruebas.

	ON	OFF
Contacto	X	
Contacto	X	
Megasquirt		

Con el contacto principal en (ON) y el contacto de la Megasquirt (ON) el motor, en este estado las bobinas e inyectores están energizadas con 12 voltios, las 2 ECU's reciben señales de ECT, IAT, CKP, TPS, pero los inyectores y bobinas reciben señales de la Megasquirt ya que está en estado (ON) el contacto de la Megasquirt.

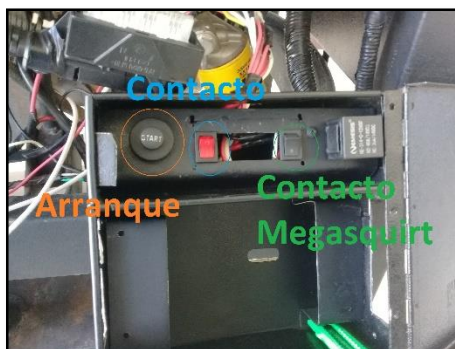


Figura 61 Caja de Switch del Banco de pruebas.

3.11. Instalación del software

3.11.1. Conexión del cable RS232

El cable RS232 es el medio por el cual el software Tunerstudio instalado en el PC puede comunicarse con la unidad Reprogramable Megasquirt. Para que se establezca comunicación es necesario instalar los controladores que se encuentran disponibles en el CD de instalación del cable.

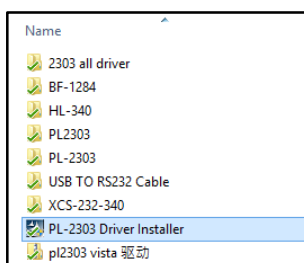


Figura 62 Drivers CD instalación cable RS232

Ejecutar el controlador como administrador, esperar que complete instalación.

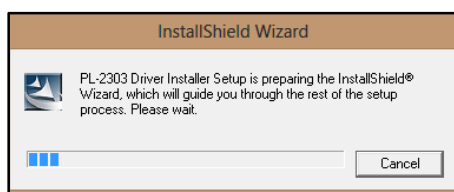


Figura 63 Estado de instalación del driver cable RS232.

Ahora el cable RS232 permite que el software mantenga comunicación con la unidad Megasquirt, se conecta el Cable RS232 en el terminal DB9 que posee Megasquirt y USB de la PC, se energiza la unidad reprogramable para poder establecer comunicación.

3.11.2. Instalación software Tunerstudio MS

El software se encuentra disponible con una versión gratuita en el siguiente enlace <http://www.tunerstudio.com/index.php/downloads>

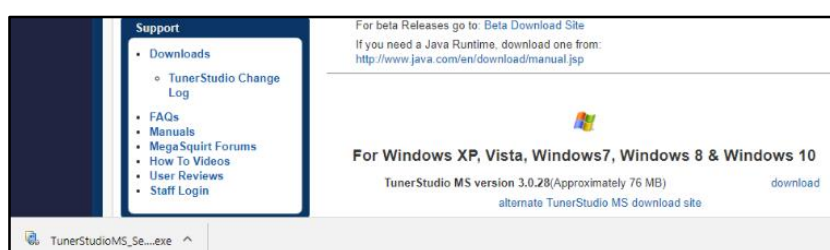


Figura 64 Descarga del software Tunerstudio.

Ejecutar el instalador como administrador, continuar con la instalación.

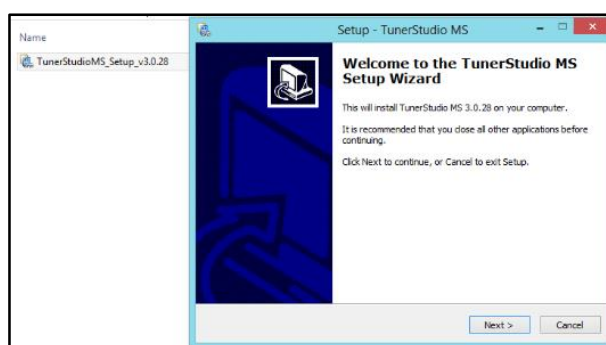


Figura 65 Ejecución del instalador Tunerstudio.

Esperar que finalice el proceso de instalación y finalizar para su configuración.

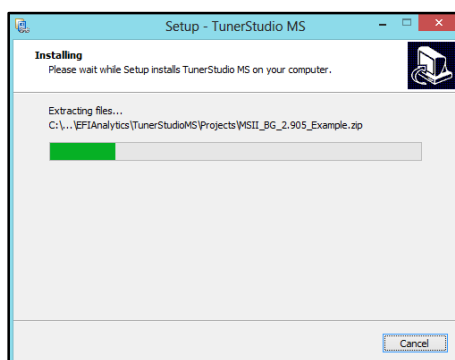


Figura 66 Proceso de instalación del software Tunerstudio.

3.12. Configuraciones iniciales del software Tunerstudio

3.12.1. Creación de un nuevo proyecto

Para el mapeo del motor T18SED mediante la unidad reprogramable Megasquirt se tiene a disposición el software Tunerstudio. Se debe seguir una serie de pasos esenciales para lograr configurar correctamente el sistema de control electrónico del motor.

Tabla 29:

Protocolo la crear un nuevo proyecto.

Orden	Proceso	Figura
1	Ya en el software Tunerstudio crear un nuevo proyecto en el cual se almacenará todas las configuraciones del motor.	
2	Asignar el nombre del proyecto, detectar el tipo de unidad reprogramable Megasquirt que se utiliza. En la parte de la descripción del proyecto es recomendable	<p>Figura 67 Inicio software Tunerstudio</p> <p>CONTINÚA </p>

anotar las condiciones iniciales en las que se encuentra el motor.

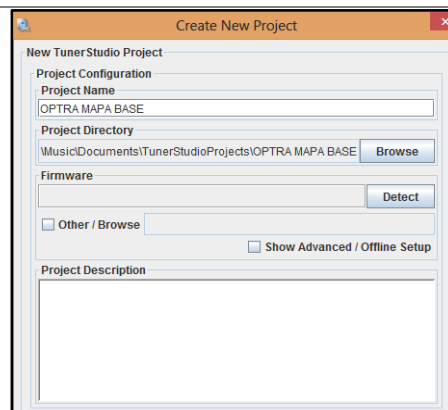


Figura 68 Descripción del proyecto.

- 3 Seleccionar el tipo de sensor de oxígeno Wideband, la temperatura en Celsius, los demás valores no se alteran.

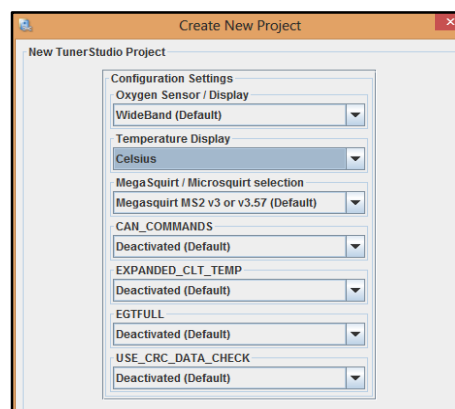


Figura: 69 Configuraciones del nuevo proyecto.

- 4 Seleccionar el tipo de conexión con la cual se comunicará la unidad Megasquirt con el PC. En este caso mediante el cable RS232. Se mantiene los valores por defecto y se realiza el test del puerto en el cual está conectado el cable.

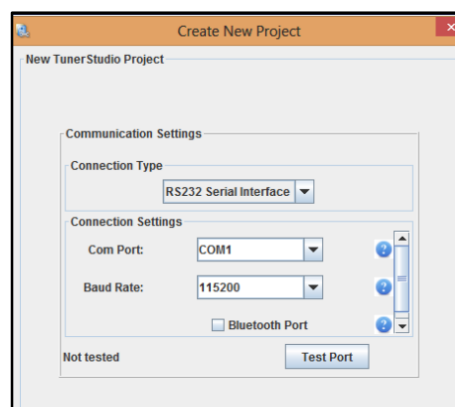


Figura 70 Método de comunicación con el PC.

- 5 Seleccionar la apariencia que tendrán los indicadores del

CONTINÚA 

motor en la interfaz gráfica del software Tunerstudio.

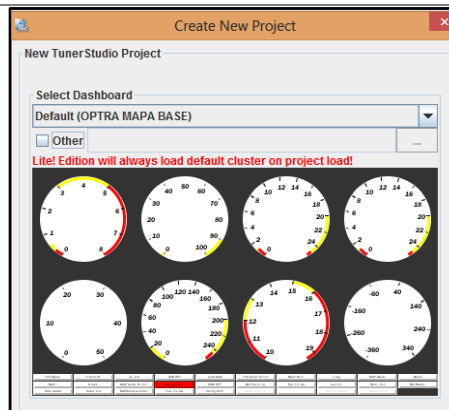


Figura 71 Selección de interfaz gráfica de indicadores

6

Al finalizar se ingresa a la interfaz gráfica del software. Es necesario guardar el nuevo proyecto creado para lo cual se selecciona la opción save tune en la pestaña file.

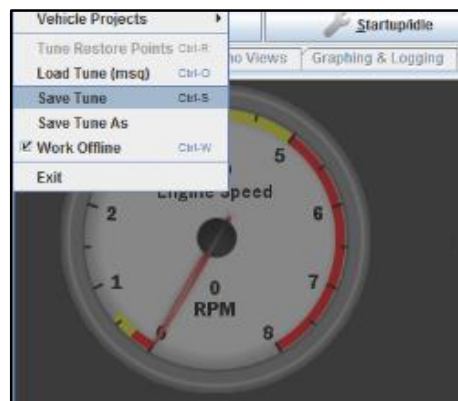


Figura 72 Interfaz gráfica de indicadores

3.13. Calibración de los sensores

Tabla 30:

Proceso de calibración de sensores

Sensor	Proceso	Figura
TPS	El sensor TPS se encuentra ubicado en el cuerpo de aceleración para su calibración se realiza lo siguiente: En la pestaña Tools elegir la opción calibrate TPS	

Figura 73 Calibración

CONTINÚA

Con la aleta de aceleración completamente cerrada en la opción closed throttle ADC count y se presiona sobre el botón get current.

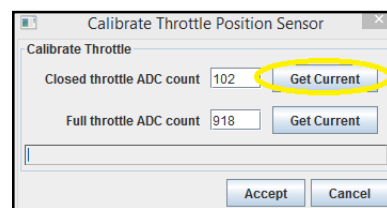


Figura 74 Calibración sensor TPS.

Luego con la aleta de aceleración completamente abierta en la opción full throttle ADC count y se presiona en el botón get current.

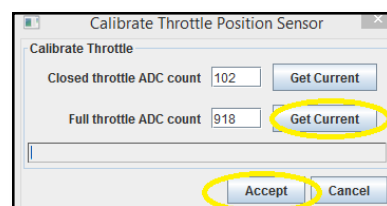


Figura 75 Calibración sensor TPS.

MAP

El sensor MAP viene incorporado en la ECU Megascirt y se lo conecta mediante una manguera de vacío en el cuerpo de aceleración. Para su calibración en la pestaña Tools se selecciona calibrate MAP

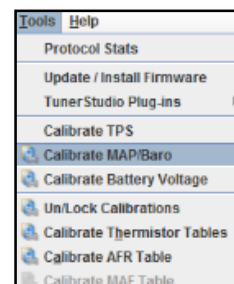


Figura 76 Calibración sensor MAP.

Se selecciona el tipo de sensor, en la ECU Megascirt se encuentra integrado el sensor MAP MPX4250.

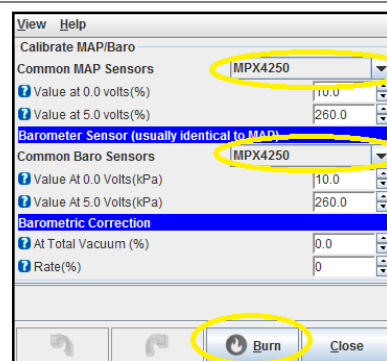


Figura 77 Calibración

CONTINÚA



ECT e IAT El sensor ECT de la Megasquirt se lo ubicó junto al sensor original. Para la calibración se selecciona la pestaña tools y calibrate thermistor tables.

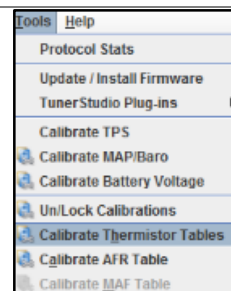


Figura 78 Calibración sensor ECT e IAT.

Se visualiza una pestaña en la cual se elige el sensor a calibrar ECT o IAT y la opción 3 point therm generator. A continuación, se selecciona el tipo de motor en este caso es GM, en grados Celsius y finalmente en Write to controller.

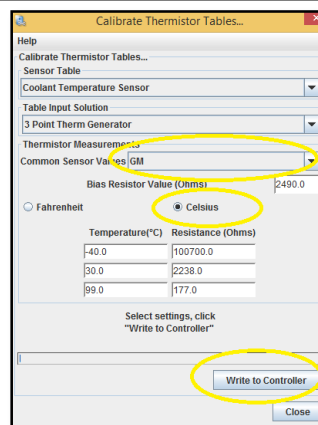


Figura 79 Selección del sensor de temperatura.

Oxigeno wideband El sensor wideband está ubicado en el múltiple de escape. Para su calibración en la pestaña Tools se selecciona la opción calibration AFR. Se desplegó una pestaña en la cual se elige el tipo de sensor en este caso es "LC-2" y luego write to controller.

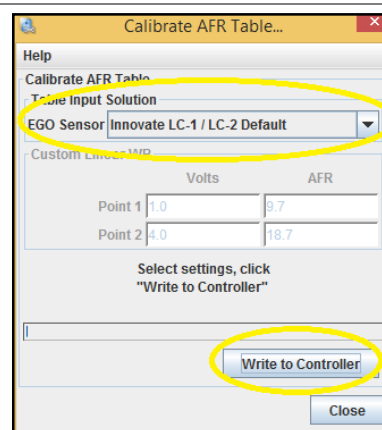


Figura 80 Calibración sensor Wideband.

3.14. Configuraciones generales

3.14.1. Basic/load settings

El software posee varias funciones que permitirán configurar el control electrónico del motor T18SED.

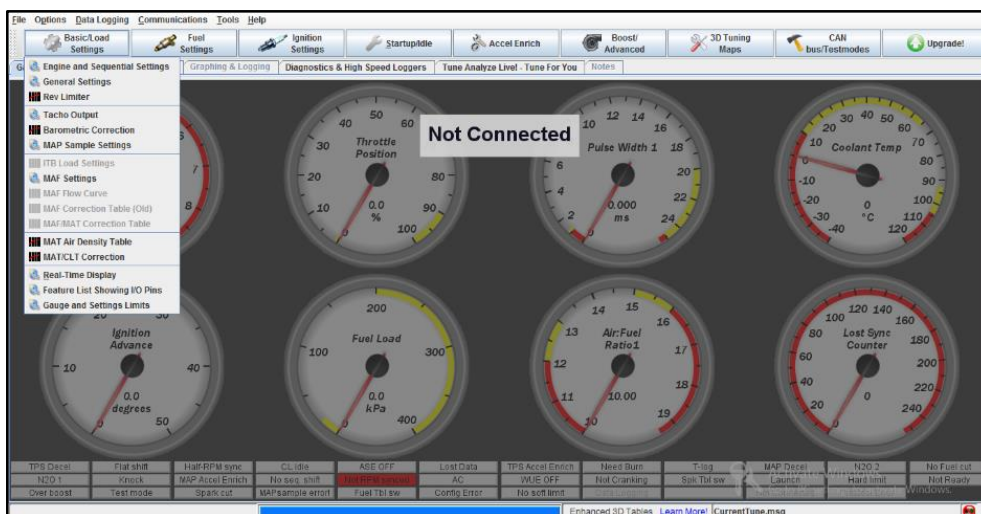


Figura 81 Opción basic/load settings

3.14.2. Engine and sequential settings

En la opción engine and sequential settings, es necesario realizar el cálculo del combustible requerido. Se ingresa los datos de cilindrada del motor 1800 cm^3 , numero de cilindros 4, relación aire combustible 14.7. Para el flujo del inyector se debe conocer exactamente su valor en cm^3/min con la ayuda de datos técnicos del tipo de inyector que se utiliza.

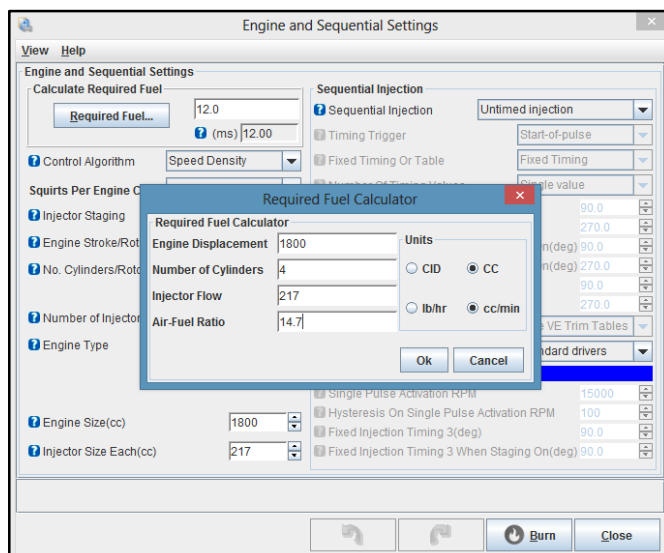


Figura 82 Cálculo del combustible requerido

Se configura los datos en base a la mecánica del motor T18SED. El algoritmo de control: Speed density es el método del como el software va a realizar el cálculo del flujo de aire en base al sensor MAP. Squirt per engine cycle: 2 debido a que el sistema de inyección es semiseccional. Tipo de Motor: Even fire los pistones coronan el PMS de 2 en 2. Los demás valores permanecen por defecto.

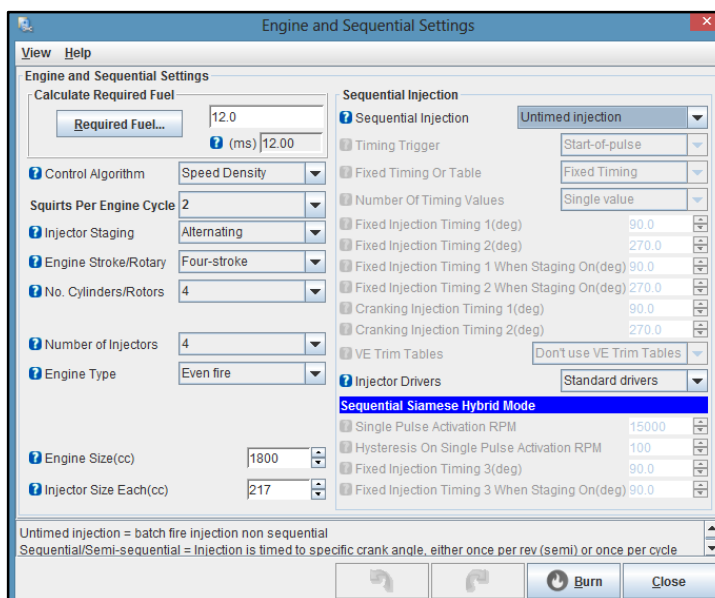


Figura 83 Configuración general de motor

3.14.3. General settings

La siguiente opción para configurar permite seleccionar la forma en que va a trabajar el sensor MAP y el manejo de las tablas de eficiencia volumétrica. Aquí no se utiliza la corrección barométrica, se establecerá un valor fijo de Presión atmosférica de 73 KPa en la ciudad de Latacunga. Se emplea una sola tabla de eficiencia volumétrica con una dimensión de 16x16. El método de cálculo de la tabla VE primaria es speed density. La relación aire/combustible de 14.7:1 El método de cálculo de la tabla de encendido primaria de igual manera speed density.

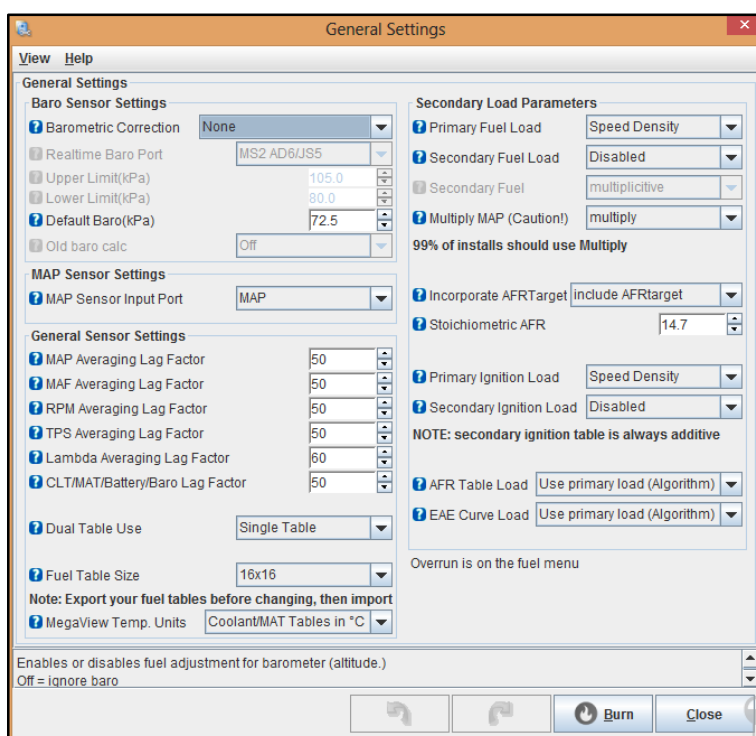


Figura 84 Configuración sensor MAP y tablas

3.14.4. Revolution limiter

El software permite elegir los factores máximos con los que el motor puede funcionar, al sobrepasar estos valores se realiza el corte de combustible o de chispa por seguridad para que la parte mecánica del motor no sufra daños. Configurar con el valor máximo de 6500 RPM mediante el corte por combustible.

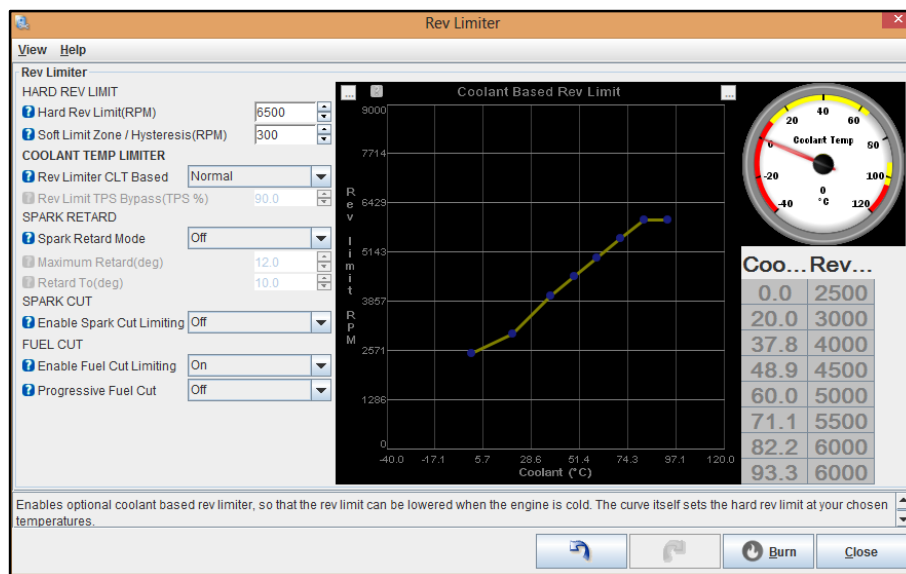


Figura 85 Configuración del limitador de revoluciones

3.14.5. Ignition options/ wheel decoder

Se realiza la configuración del sistema de encendido y como este va a realizar las lecturas de los sensores de posición. El método para censar las RPM mediante toothed wheel rueda fónica. La forma como determina el paso de cada diente de la rueda fónica rising edge cuenta el diente que está por llegar. El modo de control de la bobina de encendido going high para bobinas DIS con wasted spark. Se trabaja con una sola rueda fónica single wheel de 60 dientes menos 2 dientes perdidos para el sensor CKP. Para determinar el ángulo en el que se encuentra el sensor CKP se realiza una medición angular en la rueda fónica.

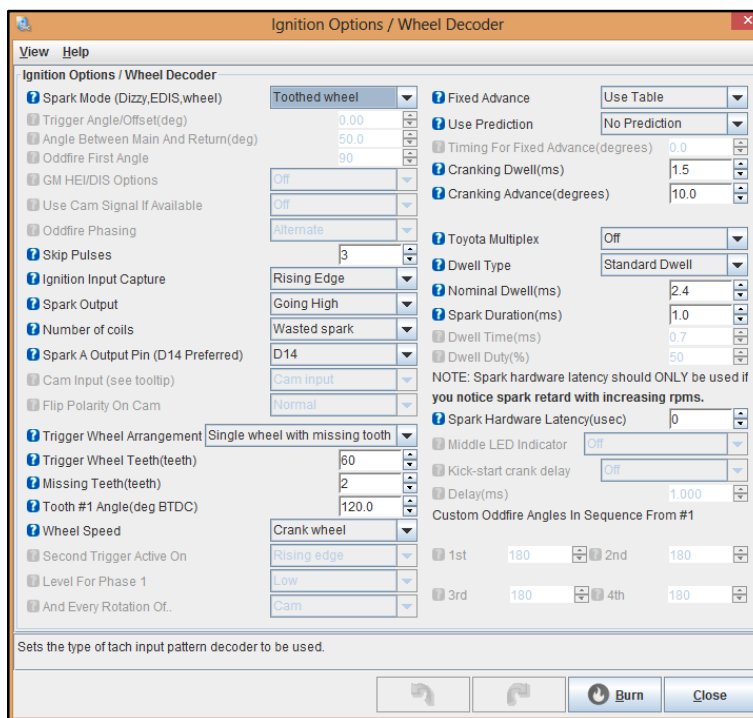


Figura 86 Configuración sistema del encendido

3.14.6. Ángulo de desfase del sensor CKP

Este ángulo es necesario para sincronizar el desfase al que se encuentra el sensor CKP respecto al PMS y así evitar ángulos erróneos de avance al encendido durante el Mapeo. Se determina el ángulo al que se encuentra el diente #1 con respecto al PMS mediante el conteo de dientes que existe entre este desfase.

Tabla 31:

Protocolo para calcular el desfase del sensor CKP.

Orden	Proceso	Figura
-------	---------	--------

1

Sincronizar los puntos del sistema de distribución del motor, con lo que se determina el PMS del cilindro número 1.



Figura 87 Sincronización

CONTINÚA

-
- 2 Retirar el sensor CKP del bloque de cilindros para visualizar la rueda fónica.



Figura 88 Alojamiento del sensor CKP

- 3 Señalar el diente al que apunta el sensor CKP luego girar el cigüeñal en sentido anti horario hasta encontrar el espacio de los dientes perdidos. Girar en sentido horario el cigüeñal y contar los dientes que van pasando hasta llegar al diente marcado.

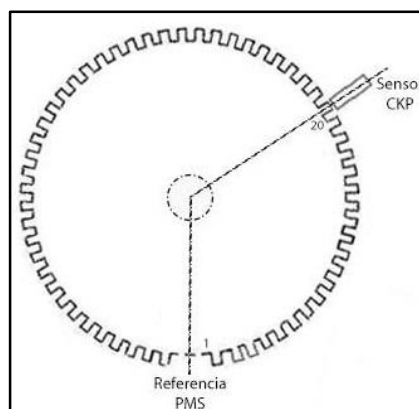


Figura 89 Número de dientes de desfase

La rueda fónica del motor T18SED cuenta con 60-2 dientes. Al realizar la división de 360° para 60 dientes, se tiene que cada diente equivale a 6° de la rueda fónica. El diente #1 se encuentra a una separación de 20 dientes del PMS, realizando la multiplicación por el número de dientes se obtiene un ángulo de 120° de desfase. Valor el cual se ingresa en el software.

3.14.7. Programable on/off outputs

Esta opción permite realizar el control de motores y válvulas eléctricas. Para el motor T18SED se utilizará para el control del electro ventilador con la configuración para que se active cuando la temperatura del motor sobrepase

los 90°C y se desactive luego de enfriar 5°. Para seguridad el ventilador no se activará cuando el motor este a menos de 300 RPM o cuando estese apagado.

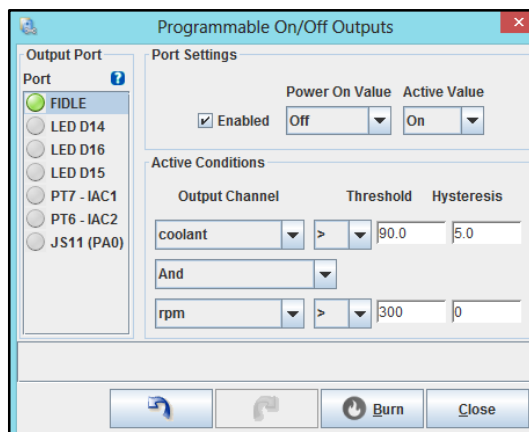


Figura 90 Configuración del electro ventilador

3.15. Programación de la unidad reprogramable Megasquirt

3.15.1. Priming Pulse

El priming pulse es una preinyección que se realiza en el cilindro un determinado tiempo al momento de activar el contacto del switch de encendido. Permite tener el cilindro preparado con una mezcla aire/combustible.

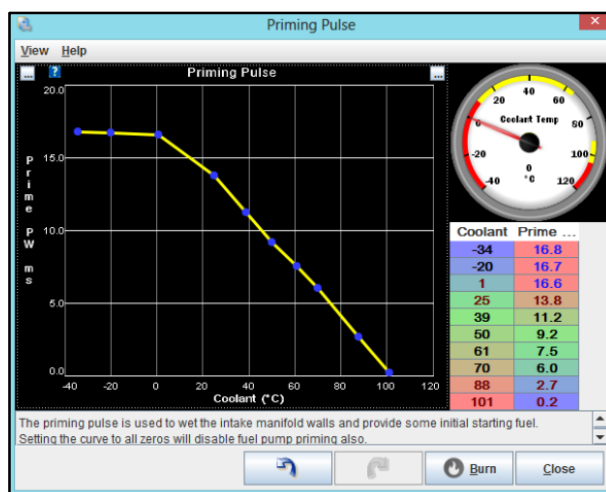


Figura 91 Curva de pulso de preinyección

3.15.2. Cranking pulse

El cranking pulse ocurre mientras se está produciendo el arranque por un determinado tiempo, esta cantidad de combustible se suma a la cantidad que ya está impuesta en el mapa de eficiencia volumétrica. Permitiendo un encendido mucho más rápido cuando el motor se encuentra frío.

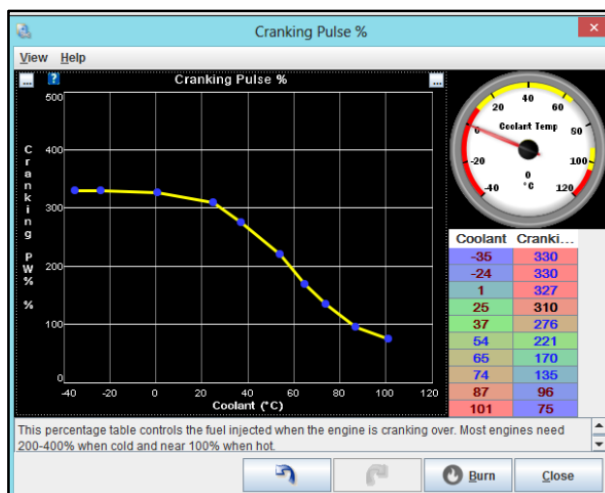


Figura 92 Curva de pulso arranque

3.15.3. Afterstart enrichment percentage

Este porcentaje de enriquecimiento ocurre luego que se produce el arranque durando un determinado tiempo en el encendido. Este porcentaje de combustible se suma al que ya está impuesto en el mapa VE, Permitiendo la estabilidad del ralentí luego de realizarse el arranque.

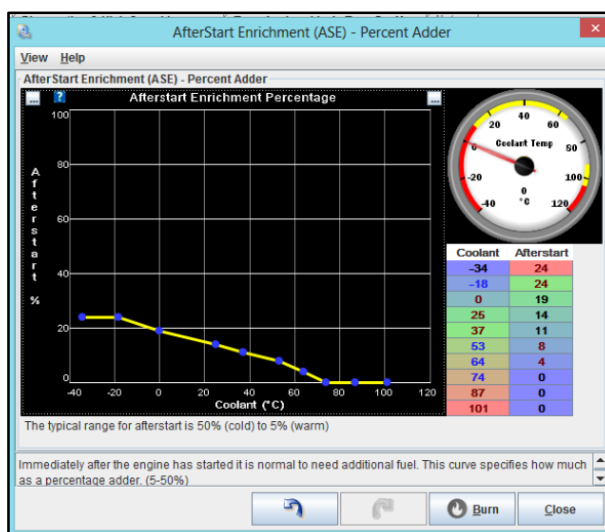


Figura 93 Curva de enriquecimiento luego del arranque

3.15.4. Warm up enrichment curve

La curva de enriquecimiento permite aumentar el porcentaje de inyección de combustible durante la fase de calentamiento del motor hasta que este llegue a su temperatura normal de funcionamiento.

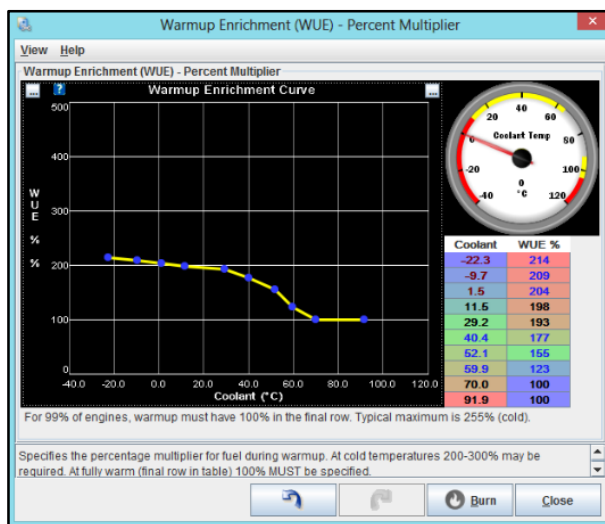


Figura 94 Curva de enriquecimiento por calentamiento

3.16. Cálculos para generar un mapa base

3.16.1. Tabla eficiencia volumétrica VE

La tabla de eficiencia volumétrica está en función de las variables: Presión absoluta del múltiple en [KPa] y Revoluciones del motor en [RPM]. Cada una de las celdas de la tabla representa el porcentaje de llenado volumétrico que posee cada cilindro en el motor, este describe la cantidad de masa de aire que ocupa el cilindro durante la admisión.

100.0	90	90	91	93	95	96	98	100	102	104	106	108	110	110	108	106
95.0	85	85	87	89	90	91	93	95	97	99	101	103	105	105	103	101
90.0	81	81	82	84	86	87	88	90	92	94	96	97	99	99	97	95
85.0	76	76	78	79	81	82	83	85	87	88	90	92	94	94	92	90
80.0	72	72	73	75	76	77	78	80	82	83	85	87	88	88	87	85
75.0	67	67	69	70	71	72	74	75	77	78	80	81	83	83	81	80
70.0	63	63	64	65	67	67	69	70	71	73	74	76	77	77	76	74
65.0	58	58	59	61	62	64	65	66	68	69	70	72	73	73	72	70
60.0	54	54	55	56	57	59	60	61	62	64	65	66	68	68	66	65
55.0	49	49	50	51	52	54	55	56	57	58	60	61	62	62	61	60
50.0	45	45	46	47	48	50	51	52	53	54	55	56	57	57	56	55
45.0	40	40	41	42	43	45	46	47	48	49	50	51	52	52	51	50
40.0	36	36	37	37	38	40	41	42	42	43	44	45	46	46	45	44
35.0	31	31	32	33	33	35	36	36	37	38	39	39	40	40	39	39
30.0	27	27	27	28	29	30	31	31	32	32	33	34	34	34	34	33
20.0	18	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23	23	23	22
	600	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4600	5000	5500	6000	6500	7000

Figura 95 Porcentajes de eficiencia volumétrica

Para calcular el porcentaje de llenado del cilindro se debe determinar la cantidad ideal de aire que ingresa al motor. Esta cantidad se encuentra con la ecuación 8 de carga de aire.

$$G_o = V_{motor} * \rho_{aire}$$

En esta operación se trabaja con valores de volumen de cilindrada del motor 0.0018 m³, la densidad de aire a presión y temperatura estándar (P = 100 KPa; T = 25 °C) de 1.168 Kg/m³.

$$G_o = 0.0018 m^3 * 1.168 Kg/m^3$$

$$G_o = 0.0021024 Kg$$

$$G_o = 2.1024 g$$

Obteniendo la Carga teórica G_o con valores ideales, este representará la cantidad de masa de aire con la cual el cilindro se llena al 100% de su capacidad.

Continuando con el cálculo del porcentaje de llenado, se debe calcular la cantidad de aire real aproximada que ingresará al cilindro. Para esto se utiliza la ecuación general de los gases con la ecuación 07.

$$P * V = m * R * T$$

$$m = \frac{P * V}{R * T}$$

Empleando la nomenclatura la ecuación de carga de aire G_a queda:

$$G_a = \frac{P_{abs} * V_{motor}}{R_{gases} * T_{aire}}$$

Ecuación 8 Carga de aire a condiciones reales

Ocupando valores reales en los cuales se encuentra el motor, se trabaja con la presión absoluta que otorga el sensor MAP en la ciudad de Latacunga de 73 KPa, Volumen de cilindrada 0.0018 m³ manteniendo una temperatura constante de aire que ingresa al motor en funcionamiento normal de 40 °C con una constante $R = 0.28705 \text{ KPa m}^3 / \text{Kg K}$.

$$Ga = \frac{73 \text{ KPa} * 0.0018 \text{ m}^3}{0.28705 \text{ kPa m}^3 / \text{Kg K} * (40^\circ\text{C} + 273.15)\text{K}}$$

En esta parte es necesario transformar la temperatura a escala Kelvin por motivos de magnitudes en las que esta impuesta el constante R de los gases

$$Ga = \frac{73 \text{ KPa} * 0.0018 \text{ m}^3}{0.28705 \text{ KPa m}^3 / \text{Kg K} * (313.15)\text{K}}$$

$$Ga = 0.0014618 \text{ Kg}$$

$$Ga = 1.4618 \text{ g}$$

Con la carga de aire real aproximada que ingresa a los cilindros se podrá obtener el porcentaje de llenado volumétrico (Eficiencia volumétrica VE, ecuación 9) del motor mediante la relación de porcentajes entre la carga real Ga y la carga teórica Go, bajo el conocimiento que esta carga teórica representa el 100% de llenado de cilindro se tiene lo siguiente:

$$Go \rightarrow 100\%$$

$$Ga \rightarrow VE$$

$$VE = \frac{Ga}{Go} * 100\%$$

$$VE = \frac{1.4618 \text{ g}}{2.1024 \text{ g}} * 100\%$$

$$VE = 69.53\%$$

$$VE = 70\%$$

A este porcentaje de eficiencia volumétrica VE se lo aproxima a su inmediato superior debido a métodos en la entrada de escritura que posee el software TunerStudio en el cual se registraran estos porcentajes.

Para empezar a generar la tabla de eficiencia volumétrica se realiza la sustitución de la ecuación 6 y ecuación 8 en la ecuación 5 dando resultado la ecuación de la siguiente forma:

$$VE = \frac{\frac{P_{abs} * V_{motor}}{R_{gases} * T_{aire}}}{V_{motor} * \rho_{aire}} * 100\%$$

$$VE = \frac{P_{abs}}{R_{gases} * T_{aire} * \rho_{aire}} * 100\%$$

Ecuación 9 Eficiencia volumétrica del motor.

Se trabaja con los valores antes mencionados de volumen, temperatura y densidad. Pero en este caso para generar la tabla VE es necesario asignar valores de presión absoluta, siendo esta la variable en la ecuación.

Para asignar los valores de presión se debe tener en cuenta la presión absoluta máxima a la que va a trabajar el motor. Se conoce que el motor T18SED es atmosférico por lo que el valor máximo de presión absoluta que podrá alcanzar es 100 KPa a nivel del mar.

El software TunerStudio emplea tablas de eficiencia volumétrica de dimensión 16X16 para lo cual se asigna presiones que aumenten a razón de 5 desde los 20 KPa que es el promedio de presión absoluta para el motor en ralentí, para conseguir de esta manera una resolución homogénea de la tabla VE en todos los puntos necesarios de presión.

Tabla 32:

Porcentajes VE a diferentes presiones

Presión [KPa]	20	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
VE [%]	19	29	33	38	43	48	52	57	62	67	71	76	81	86	90	95

Los porcentajes VE obtenidos se podrán emplear en todas las revoluciones del motor, en este caso también se debe realizar la división de RPM para tener una resolución adecuada de la tabla 16x16. Para esto se conoce que las máximas RPM que podrá alcanza el motor Optra es de 6500 RPM, con lo que se tendrá divisiones que aumenten a razón de 400 empezando de las 600 RPM hasta 6500 RPM.

Tabla 33:

Porcentajes VE en función de la presión y RPM del motor

	100	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	
	95	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
	90	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	
	85	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	
	80	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	
	75	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	
	70	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	
	65	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	
	60	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	
	55	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	
	50	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	
	45	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	
	40	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	
	35	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	
	30	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	
	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
	0	600	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4600	5000	5500	6000	6500	7000
		Revoluciones del motor [RPM]															

Con la ayuda del software Tunerstudio se puede visualizar gráficamente los porcentajes obtenidos de eficiencia volumétrica. Apreciando claramente la tendencia lineal que poseen estos valores en función de la presión absoluta del múltiple.

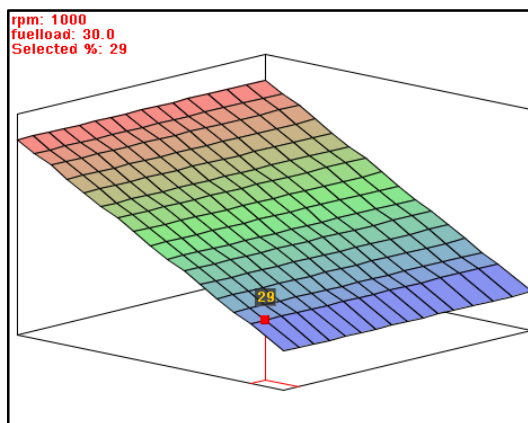


Figura 96 Mapa inicial de eficiencia volumétrica

El mapa obtenido es muy básico para poder implementarlo en el motor, es necesario continuar con el proceso de idealización de los valores. Para esto (Banish, 2009) menciona un método denominado “Corners” con el cual se corrige los porcentajes de eficiencia volumétrica y así llegar a formar un mapa base.

3.16.2. Aplicación del método Corners

En este proceso es importante trabajar por las diferentes zonas que posee el mapa de eficiencia volumétrica VE. La primera corrección se aplica en el rango de altas RPM empezando estas desde 2500 RPM, se aplica el factor de corrección $\lambda = 1.03$ multiplicándolo por los valores de VE que se encuentren en este rango de revoluciones.

Tabla 34:

Porcentajes VE corregidos con el factor lambda de 1.03 a altas RPM.

Presión absoluta [KPa]	100	95	95	95	95	95	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
	95	90	90	90	90	90	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
	90	86	86	86	86	86	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
	85	81	81	81	81	81	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
	80	76	76	76	76	76	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
	75	71	71	71	71	71	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
	70	67	67	67	67	67	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
	65	62	62	62	62	62	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
	60	57	57	57	57	57	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
	55	52	52	52	52	52	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
	50	48	48	48	48	48	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
	45	43	43	43	43	43	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
	40	38	38	38	38	38	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
	35	33	33	33	33	33	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
	30	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	20	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
0	600	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4600	5000	5500	6000	6500	7000		
Revoluciones del motor [RPM]																		

A altas revoluciones del motor y mayores presiones en el múltiple con la aleta de aceleración totalmente abierta, es necesaria una mezcla de aire combustible más rica para esto se aplica el factor $\lambda = 0.98$ en el régimen de revoluciones ≥ 2500 RPM y presiones ≥ 70 KPa.

Tabla 35:

Porcentajes VE corregidos con el factor lambda de 0.98 a altas cargas.

Presión absoluta [KPa]	100	95	95	95	95	95	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
	95	90	90	90	90	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
	90	86	86	86	86	86	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
	85	81	81	81	81	81	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
	80	76	76	76	76	76	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
	75	71	71	71	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
	70	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	65	62	62	62	62	62	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
	60	57	57	57	57	57	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
	55	52	52	52	52	52	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
	50	48	48	48	48	48	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
	45	43	43	43	43	43	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
	40	38	38	38	38	38	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
	35	33	33	33	33	33	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
	30	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	20	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	0	600	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4600	5000	5500	6000	6500	7000	
Revoluciones del motor [RPM]																		

El motor durante la zona de desaceleración necesita inyectar la menor cantidad de combustible posible, aquí se aplica un factor lambda = 1.02 en el rango de revoluciones ≥ 2500 RPM y presiones ≤ 50 KPa.

Tabla 36:

Porcentajes VE corregidos con el factor lambda de 1.02

Presión absoluta [KPa]	100	95	95	95	95	95	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
	95	90	90	90	90	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
	90	86	86	86	86	86	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
	85	81	81	81	81	81	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
	80	76	76	76	76	76	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
	75	71	71	71	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
	70	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	65	62	62	62	62	62	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
	60	57	57	57	57	57	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
	55	52	52	52	52	52	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
	50	48	48	48	48	48	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	45	43	43	43	43	43	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	40	38	38	38	38	38	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	35	33	33	33	33	33	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
	30	29	29	29	29	29	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	20	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	0	600	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4600	5000	5500	6000	6500	7000	
Revoluciones del motor [RPM]																		

En la zona de ralentí y velocidad crucero el motor puede tener una relación aire combustible 14,7:1 para mantener un consumo reducido de combustible con una potencia aceptable. Aquí el factor lambda es igual a 1 por lo cual los valores VE no se alteran.

Debido a que la eficiencia volumétrica aumenta a medida que aumentan las RPM. Es necesario incrementar los valores de VE a razón del 2% desde el rango de revoluciones mayores a 3000 RPM hasta el punto en el que se produce la mayor potencia (alrededor de las 6000 RPM en el motor T18SED). Luego de esto ya no es necesario inyectar más combustible a revoluciones que sobrepasen las 6000 RPM, por lo que los valores de VE se podrán reducir a razón de 2%.

Tabla 37:

Porcentajes VE corregidos con el aumento del 2% a altas RPM.

Presión absoluta [kPa]	100	95	95	95	95	95	96	98	100	102	104	106	108	110	110	108	106
	95	90	90	90	90	90	91	93	95	97	99	101	103	105	105	103	101
	90	86	86	86	86	86	87	88	90	92	94	96	97	99	99	97	95
	85	81	81	81	81	81	82	83	85	87	88	90	92	94	94	92	90
	80	76	76	76	76	76	77	78	80	82	83	85	87	88	88	87	85
	75	71	71	71	71	71	72	74	75	77	78	80	81	83	83	81	80
	70	67	67	67	67	67	67	69	70	71	73	74	76	77	77	76	74
	65	62	62	62	62	62	64	65	66	68	69	70	72	73	73	72	70
	60	57	57	57	57	57	59	60	61	62	64	65	66	68	68	66	65
	55	52	52	52	52	52	54	55	56	57	58	60	61	62	62	61	60
	50	48	48	48	48	48	50	51	52	53	54	55	56	57	57	56	55
	45	43	43	43	43	43	45	46	47	48	49	50	51	52	52	51	50
	40	38	38	38	38	38	40	41	42	42	43	44	45	46	46	45	44
	35	33	33	33	33	33	35	36	36	37	38	39	39	40	40	39	39
	30	29	29	29	29	29	30	31	31	32	32	33	34	34	34	34	33
	20	19	19	19	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23	23	23	22
	0	600	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4600	5000	5500	6000	6500	7000
	Revoluciones del motor [RPM]																

Tomando de forma recíproca la tendencia de la eficiencia volumétrica se tiene que esta disminuye a medida que bajan las RPM. En este caso se reduce los valores de VE a razón del 2% desde las 2000 RPM hasta llegar al ralentí alrededor de las 800 RPM. Para revoluciones menores al ralentí se mantienen los mismos valores de VE.

Tabla 38:

Porcentajes VE corregidos con la disminución del 2% a bajas RPM.

Presión absoluta [KPa]	100	90	90	91	93	95	96	98	100	102	104	106	108	110	110	108	106
	95	85	85	87	89	90	91	93	95	97	99	101	103	105	105	103	101
	90	81	81	82	84	86	87	88	90	92	94	96	97	99	99	97	95
	85	76	76	78	79	81	82	83	85	87	88	90	92	94	94	92	90
	80	72	72	73	75	76	77	78	80	82	83	85	87	88	88	87	85
	75	67	67	69	70	71	72	74	75	77	78	80	81	83	83	81	80
	70	63	63	64	65	67	67	69	70	71	73	74	76	77	77	76	74
	65	58	58	59	61	62	64	65	66	68	69	70	72	73	73	72	70
	60	54	54	55	56	57	59	60	61	62	64	65	66	68	68	66	65
	55	49	49	50	51	52	54	55	56	57	58	60	61	62	62	61	60
	50	45	45	46	47	48	50	51	52	53	54	55	56	57	57	56	55
	45	40	40	41	42	43	45	46	47	48	49	50	51	52	52	51	50
	40	36	36	37	37	38	40	41	42	42	43	44	45	46	46	45	44
	35	31	31	32	33	33	35	36	36	37	38	39	39	40	40	39	39
	30	27	27	27	28	29	30	31	31	32	32	33	34	34	34	34	33
	20	18	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23	23	23	22
		0	600	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4600	5000	5500	6000	6500
Revoluciones del motor [RPM]																	

Terminado el proceso de correcciones del mapa VE mediante el método Corners, se podrá implementar al control del motor mediante la unidad reprogramable Megasquirt. Obteniendo así el mapa base con el cual se tendrá el punto inicial para continuar con la afinación del motor en el dinamómetro y conseguir elevar los parámetros de potencia-torque.

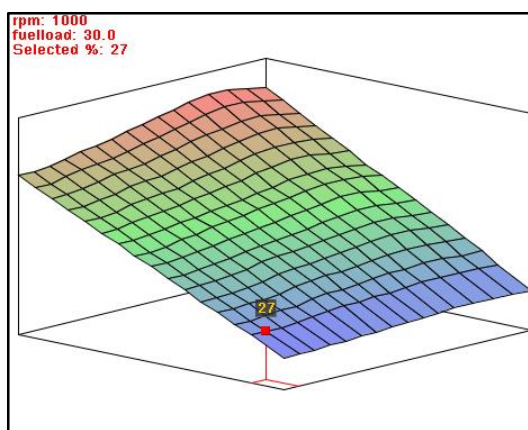


Figura 97: Mapa base de eficiencia volumétrica.

3.17. Tabla de encendido

Para el desarrollo del mapa de encendido (Banish, 2009) recomienda usar un mapa de encendido ya elaborado, para lo cual se trabajará con el mapa de encendido que facilita el software Tunerstudio como ejemplo para la unidad reprogramable Megasquirt 2.

	100.0	14.8	16.8	19.0	21.6	28.2	33.5	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
i	90.0	15.1	17.2	19.5	22.8	29.5	34.3	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
g	80.0	15.5	17.5	20.0	23.5	29.9	34.8	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
n	70.0	16.0	18.3	20.3	24.1	30.8	35.3	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
l	60.0	16.0	18.5	20.5	25.0	31.7	35.8	36.0	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2
o	50.0	15.8	18.8	20.8	25.8	32.0	36.0	36.5	36.5	36.5	37.0	37.0	37.0	37.0
a	45.0	15.7	18.6	20.7	26.8	32.1	36.0	36.6	37.2	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5
d	40.0	15.5	18.4	20.6	27.2	32.2	36.0	36.8	37.4	37.4	37.6	37.6	38.0	38.0
k	35.0	15.5	18.2	20.4	27.4	32.3	36.4	37.0	37.0	37.5	37.5	38.0	38.0	38.0
p	30.0	15.6	18.0	20.2	27.8	32.4	36.8	37.0	37.5	37.5	38.0	38.0	38.0	38.0
a	25.0	15.7	17.8	20.1	28.2	32.4	37.0	37.0	37.0	37.5	38.0	38.0	38.0	38.0
	20.1	15.7	17.5	20.0	28.6	32.8	37.5	37.0	37.5	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0
	↳	600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000	6600	7200	
		rpm												

Figura 98: Ángulos base de avance al encendido

Mediante la herramienta 3D que brinda el software se puede visualizar el mapa tridimensional de encendido verificando la tendencia que tienen los ángulos de encendido a aumentar a mayores RPM y disminuir el ángulo al avance a medida que la presión aumenta.

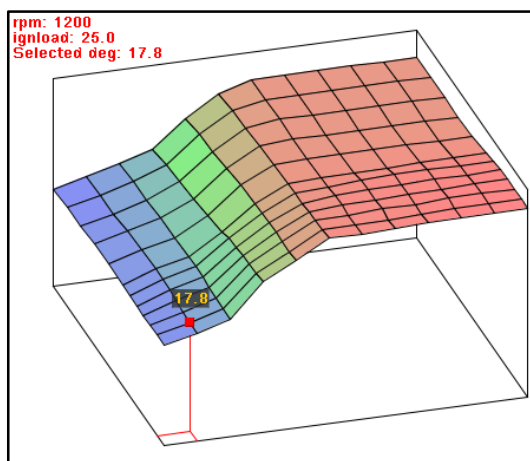


Figura 99: Mapa Tridimensional de Encendido

CAPÍTULO IV

AFINACIÓN Y PRUEBAS DE LOS MAPAS.

4.1. Calibración del dinamómetro para generar cargas

El dinamómetro de marca Motorroll ubicado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga en el laboratorio de motores fue empleado para generar cargas con la finalidad de afinar los mapas de eficiencia volumétrica y encendido.

Tabla 39:

Características del dinamómetro de Motorroll

Tipo de dinamómetro	Rodillos
Tipo de freno	Hidráulico de 260HP
Diámetro de rodillos	165 mm
Brazo de palanca	256 mm
Peso bruto	950 kg
Carga máxima sobre rodillos	5000 kg
Potencia máxima medible	260 HP
Velocidad máxima	160 km/h (6000 RPM)
Alcance de revoluciones	20000 RPM
Electrónica utilizada	Interfaz Motorroll con conexión a pc.
Sensor de velocidad	Óptico
Alimentación eléctrica	220 v/ 30 / 85 Hz.

Fuente: (Motorroll, 2017)

Se debe tener ciertas precauciones antes de realizar la fijación del vehículo en el dinamómetro.

Tabla 40:

Protocolo de seguridad para el manejo del dinamómetro


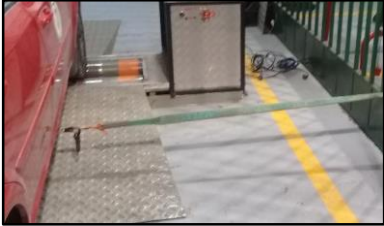
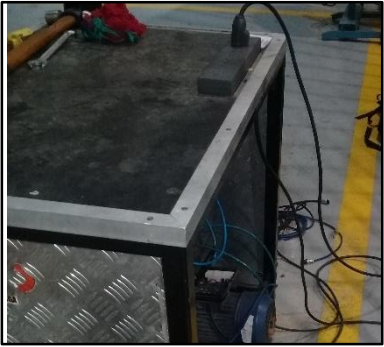

Orden	Proceso	Figura
1	Colocar el vehículo sobre los rodillos verificando que exista una correcta alineación de los neumáticos. objetos que interfieran con su rotación	
2	Inmovilizar el vehículo mediante eslingas de seguridad.	
3	Verificar que la instalación eléctrica de la bomba hidráulica a 220V sea correcta.	
4	Verificar que el nivel de agua del depósito sea el adecuado y no existan objetos que puedan obstruir el conducto de alimentación de la bomba.	<p data-bbox="1098 1973 1246 2002">CONTINÚA</p> 



Figura 103 Alojamiento de la bomba hidráulica

-
- 5 Instalar el conducto de extracción de gases en el tubo de escape del vehículo.

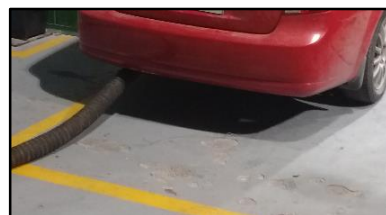


Figura 104 Instalación del extractor de gases

-
- 6 Instalar el ventilador de refrigeración delante del vehículo

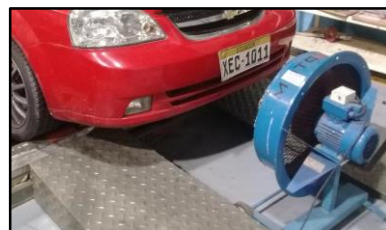


Figura 105 Instalación de ventilador de refrigeración

-
- 7 Ajustar el freno hidráulico del dinamómetro mediante las perillas para generar la carga suficiente en los rodillos.



Figura 106 Perillas de carga del dinamómetro

4.2. Primera Programación

La afinación del mapa base de eficiencia volumétrica se realizará con la finalidad de conseguir una mayor eficiencia del motor consiguiendo aumentar la potencia y torque. Para se trabaja por cada una de las zonas del mapa VE verificando la relación aire combustible que posee cada una de ellas y corrigiéndola con la ayuda de la interfaz del sensor Wideband

Con el vehículo en funcionamiento sobre el dinamómetro con cargas hidráulicas que permitan acelerar el motor hasta las 6500 RPM en cuarta marcha y previamente cargados los mapas base en la unidad reprogramable Megasquirt. Se percibió que en la zona de ralentí se obtuvo una mezcla demasiado pobre de 20:1 por lo que se procedió a aumentar los valores de VE en esta zona consiguiendo una relación de 15,4:1.

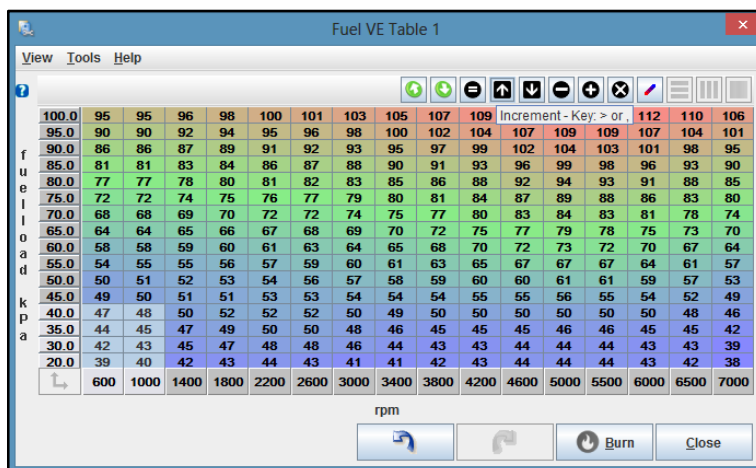


Figura 107 Porcentajes VE en la zona de ralentí

Para la zona de velocidad crucero se obtuvo una relación pobre de 22:1, razón por la cual se incrementan los valores VE obteniendo una relación final de 20:1

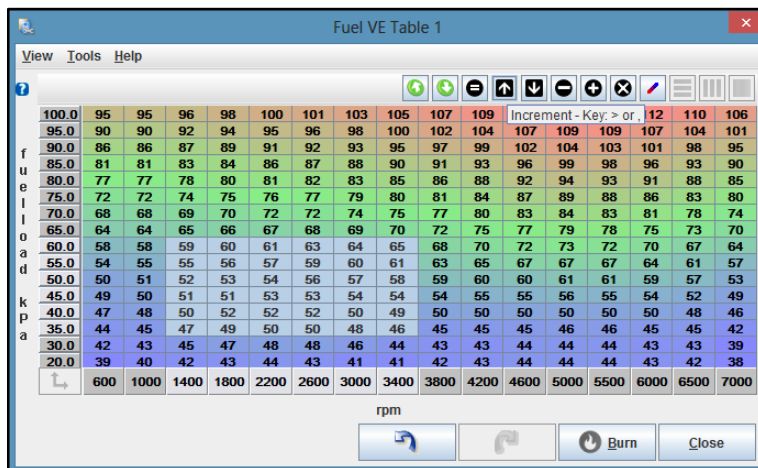


Figura 108 Porcentajes VE en la zona de velocidad crucero.

En la zona de aceleración y máxima potencia se obtuvo una relación aire combustible que van de 19:1 a 15:1 a medida que aumentan las RPM. Se aumentó estos valores consiguiendo valores de 17:1 a 13,5:1.

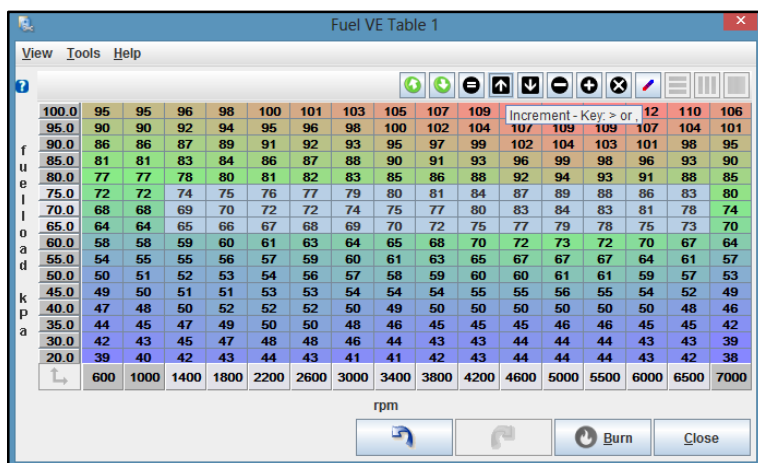


Figura 109 Porcentajes VE en la zona de aceleración y máxima potencia

Completado este proceso en cada una de las zonas se procede a la suavización del mapa, para esto es necesario tener en cuenta la tendencia que sigue el mapa VE explicada en el Capítulo 2.

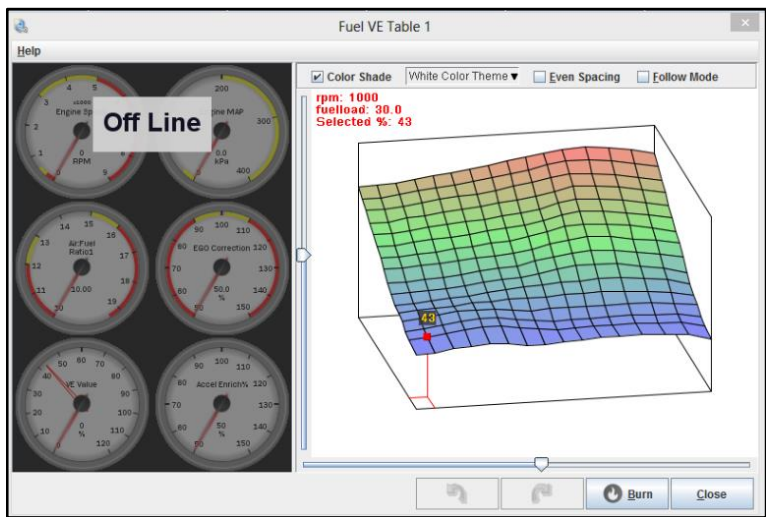


Figura 110 Mapa tridimensional VE afinado.

En esta programación se consiguió las relaciones de aire combustible adecuadas en cada una de las zonas teniendo una Mapa de eficiencia casi terminado.

En el mapa de encendido se encontró que los ángulos de avance al encendido son muy altos para lo cual se redujo los valores en la zona de altas RPM.

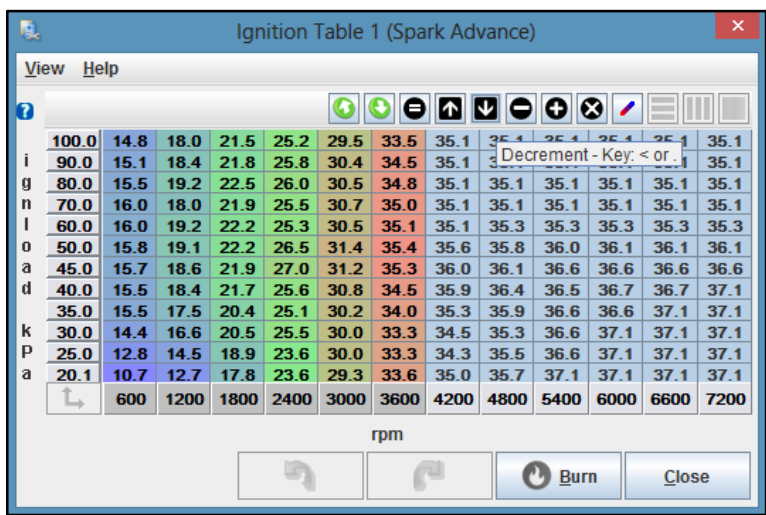


Figura 111 Ángulos de avance a altas RPM

De igual manera se disminuyó el ángulo de avance en la zona de bajas cargas del motor.

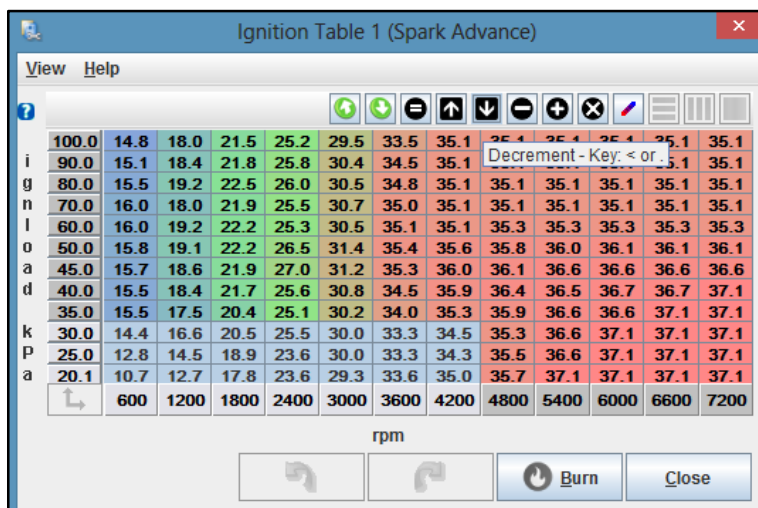


Figura 112 Ángulos de avance en la zona de bajas cargas del motor

En la zona de velocidad crucero también se reduce el avance al encendido.

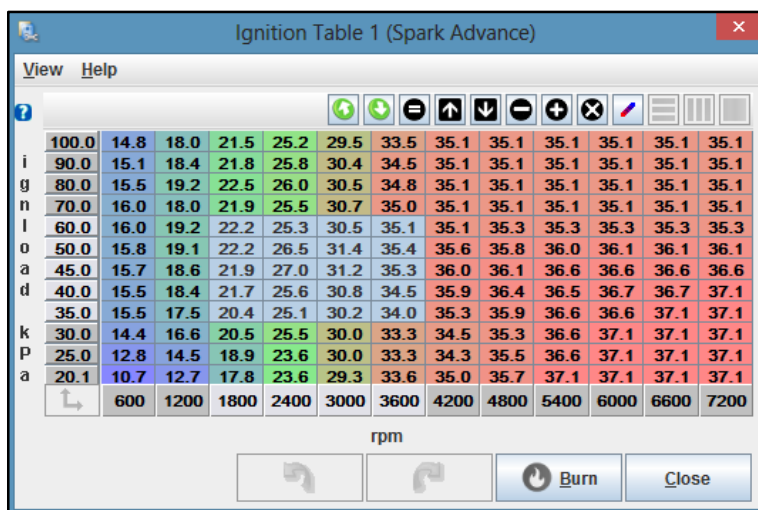


Figura 113 Ángulos de avance en la zona de velocidad crucero

En el mapa tridimensional se procede a la suavización de las curvas.

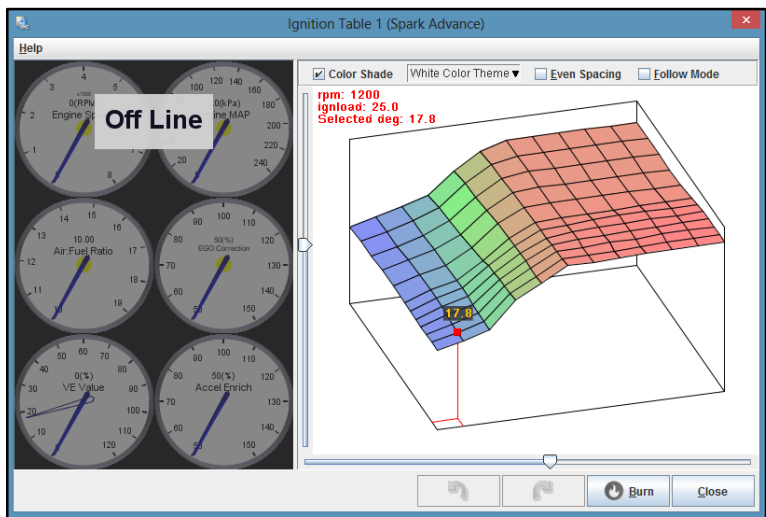


Figura 114 Mapa tridimensional de encendido afinado

4.3. Segunda Programación

En el afinamiento final de los mapas, se realiza de igual manera el ajuste del mapa de eficiencia volumétrica en función de la relación aire/combustible necesaria para cada zona, con la finalidad de obtener una mejor eficiencia del motor T18SED.

En la zona de ralentí la relación aire/combustible es ajustada a 14,7:1 en la cual el motor trabaja a una potencia adecuada con un consumo moderado de combustible.

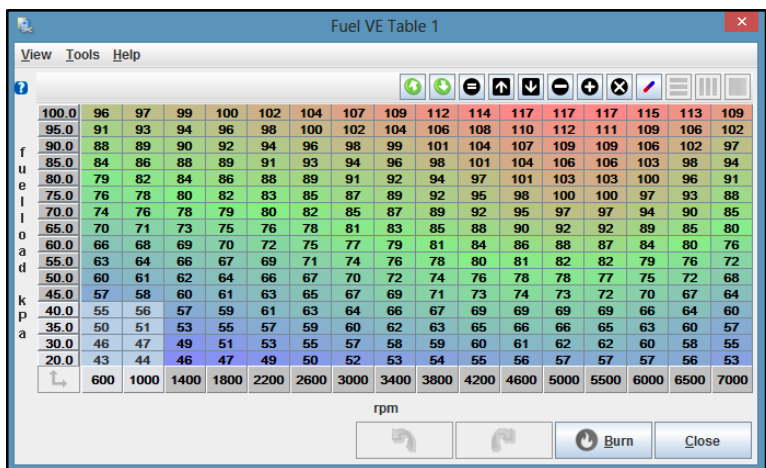


Figura 115 Porcentajes VE en la zona de ralentí

Para la zona de velocidad crucero se debe alcanzar una relación entre los 15,3:1 y 14,7:1 conforme aumentan las RPM. Con la finalidad de reducir el consumo de combustible manteniendo una potencia aceptable.

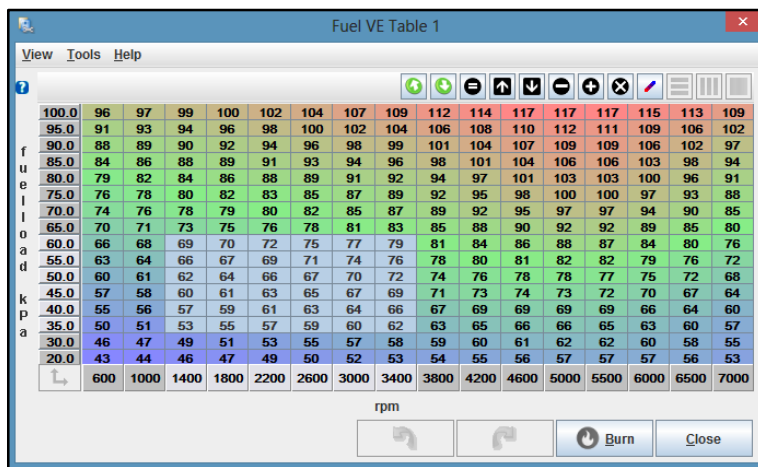


Figura 116 Porcentajes VE en la zona de velocidad crucero

En la zona de aceleración se debe alcanzar una relación aire combustible que varíen entre los 15:1 a 13,5:1 a medida que aumentan las revoluciones para empezar acoplar el motor a la relación de potencia máxima.

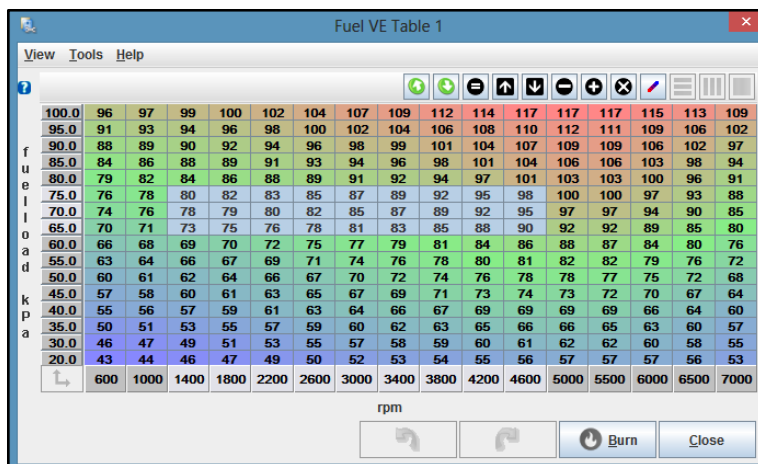


Figura 117 Porcentajes VE en la zona de máxima aceleración

Para alcanzar la máxima potencia en altas RPM, la relación aire/combustible a la que se debe llegar es de 13:1 a 12:1.

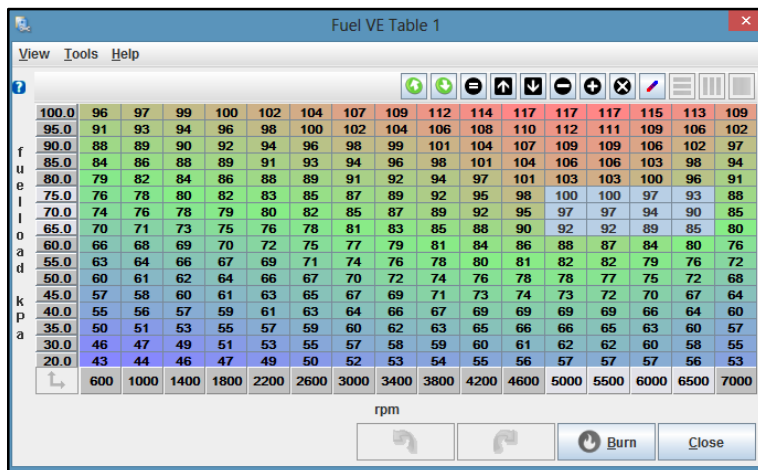


Figura 118 Porcentajes VE en la zona de máxima potencia

Las zonas principales que se modifican minuciosamente son las mostradas anteriormente. Para el resto del mapa se emplea la tendencia característica de la eficiencia volumétrica con respecto a las RPM y la presión del múltiple de admisión, expuestas en el capítulo 2 con la finalidad de suavizar las curvas en el mapa.

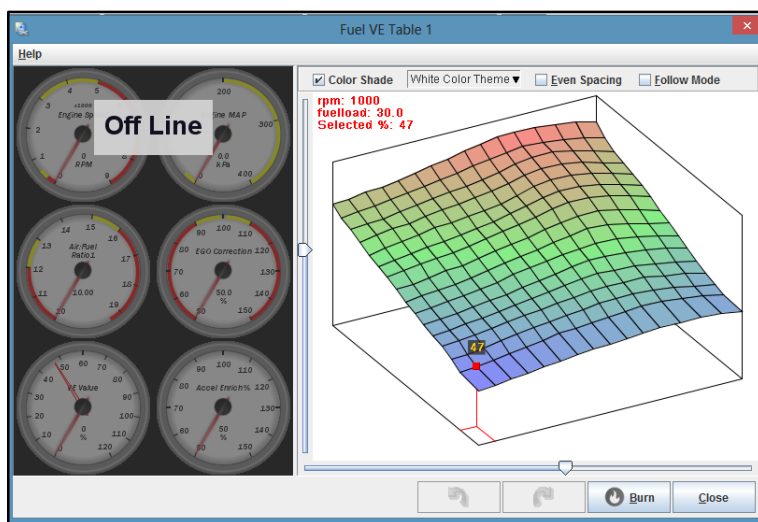


Figura 119 Mapa tridimensional VE final.

El avance al encendido adecuado para alcanzar la máxima presión de combustión en el cilindro es de alrededor 35° por lo que este valor se debe asignar solo en la zona de máxima potencia del mapa. También se fija el valor para la zona de ralentí que oscila entre 10° a 15° de avance al encendido.

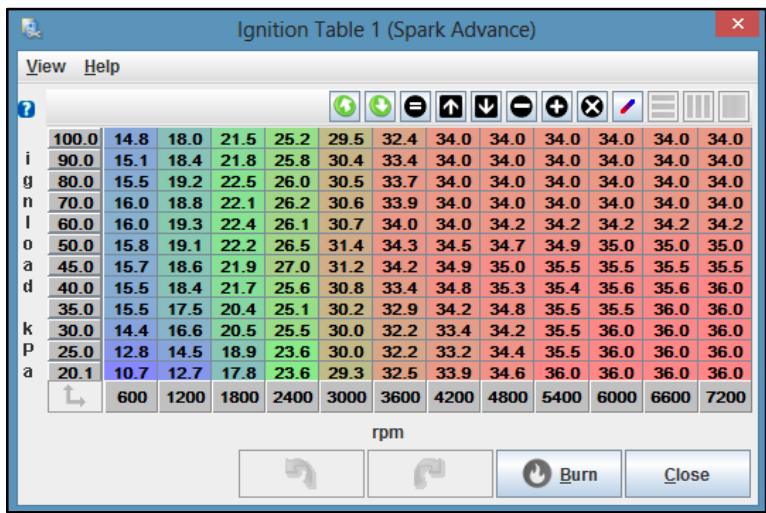


Figura 120 Afinación de ángulos de avance

Se suaviza las curvas del mapa de manera que aumenten los grados de avance conforme incrementan las RPM, y que disminuyan a medida que aumenta la presión en el múltiple de admisión.

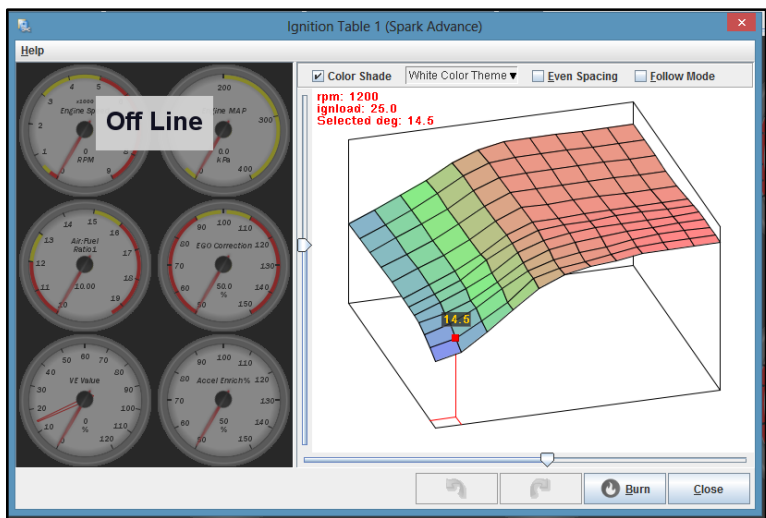


Figura 121 Mapa tridimensional de encendido final

4.4. Datos de potencia y torque

Mediante la utilización del dinamómetro de rodillos se determinaron los valores obtenidos de torque y potencia con cada uno de los mapas.

4.4.1. ECU original

Es necesario conocer los valores iniciales que posee el motor T18SED con la ECU original, en la prueba de dinamómetro se obtuvo los siguientes valores.

Tabla 41:

Datos potencia torque ECU original.

RPM	Potencia [HP]	Torque [ft-lb]
2000	32.18	84.54
2500	41.95	88.14
3000	52.17	91.33
3500	61.68	92.55
4000	71.34	93.65
4500	77.84	90.85
5000	84.57	88.82
5500	90.68	86.59
6000	97.68	85.49
6400	91.09	74.97

Obteniendo:

Potencia máxima de 99.10 HP a 5750 RPM

Torque máximo: 93.65 ft-lb a 4000 RPM

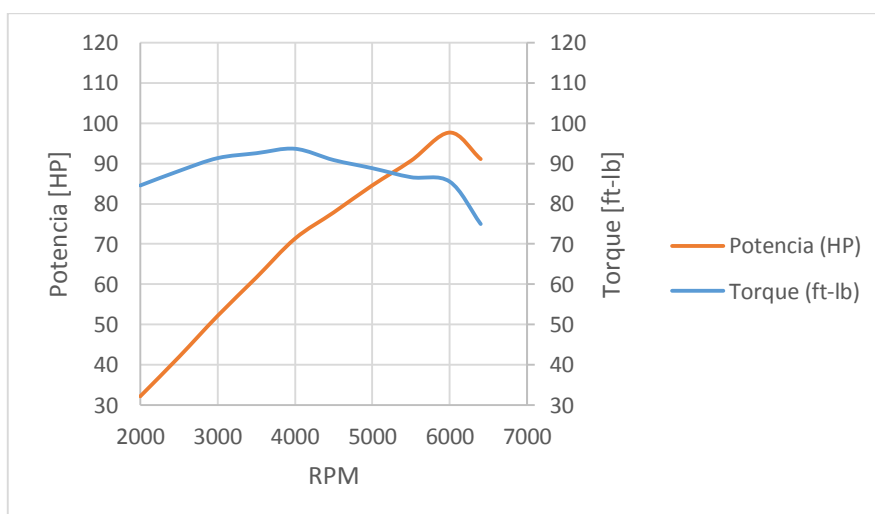


Figura 122 Curvas características ECU original

4.4.2. Mapa base

Los datos obtenidos del mapa calculado de eficiencia volumétrica se muestran a continuación:

Tabla 42:

Datos de potencia torque mapa base.

RPM	Potencia [HP]	Torque [ft-lb]
2400	45.44	100.3
2500	47.68	101.0
3000	57.07	100.7
3500	69.83	102.6
4000	84.30	108.6
4500	91.84	107.8
5000	98.13	103.8
5500	104.1	100.1
6000	107.9	95.18
6200	107.8	92.11

Obteniendo:

Potencia máxima de 108.4 HP a 5950 RPM

Torque máximo de 109.2 ft-lb a 4200 RPM

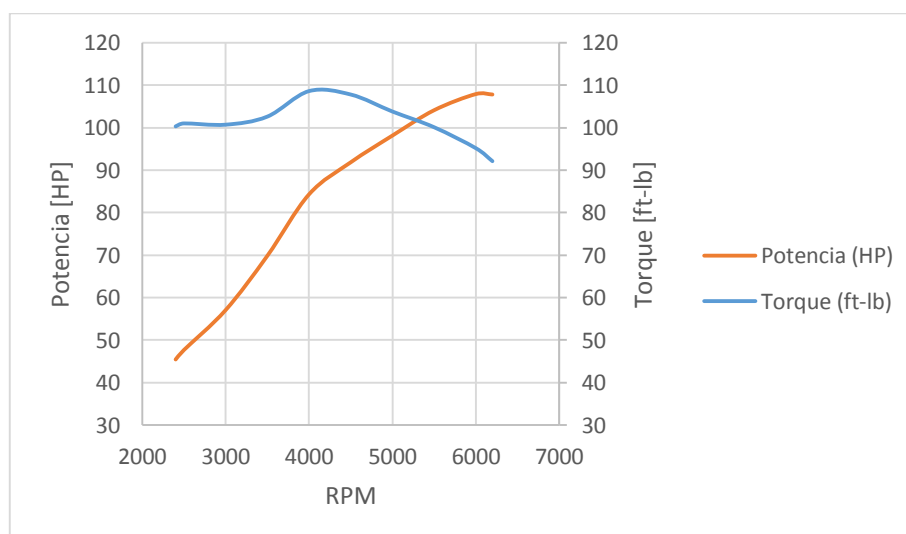


Figura 123 Curvas características mapa base

4.4.3. Primera Programación

Con los mapas de eficiencia volumétrica y avance al encendido de la primera calibración se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 43:

Datos de potencia torque primera programación.

RPM	Potencia [HP]	Torque [ft-lb]
2000	37.0	94.03
2500	47.74	101.2
3000	57.52	101.5
3500	67.16	101.6
4000	84.61	109.0
4500	91.65	107.6
5000	99.80	105.5
5500	107.0	102.9
6000	110.3	97.28
6400	107.6	89.04

Potencia máxima de 110.4 HP a 6100 RPM

Torque máximo de 109.0 ft-lb a 4000 RPM

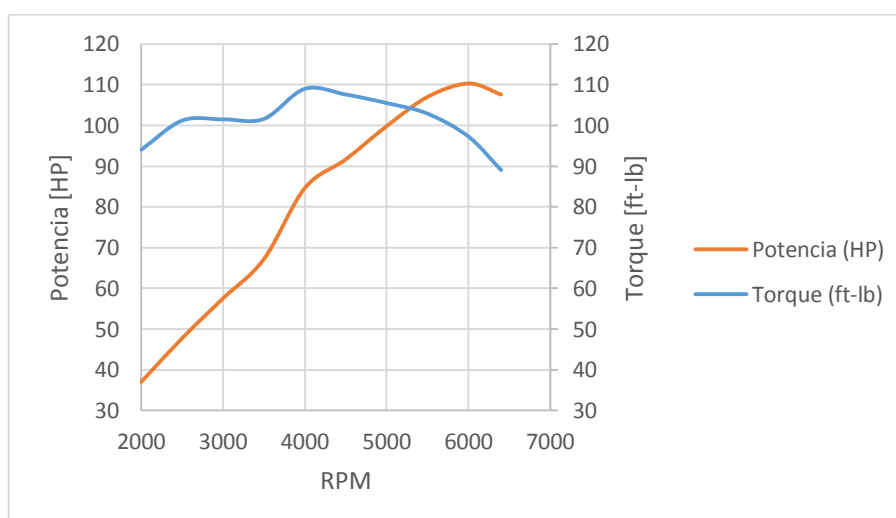


Figura 124 Curvas características primera programación

4.4.4. Segunda Programación

Los datos obtenidos de la afinación final que se realizó en los mapas de eficiencia volumétrica y avance al encendido son los siguientes:

Tabla 44:

Datos de potencia torque mapa final.

RPM	Potencia [HP]	Torque [ft-lb]
2100	39.59	96.48
2500	50.25	102.4
3000	58.46	103.1
3500	68.25	103.2
4000	85.51	110.2
4500	93.36	109.6
5000	101.3	107.0
5500	108.7	104.5
6000	113.0	99.68
6400	110.4	91.40

Potencia máxima de 113.2 HP a 6050 RPM

Torque máximo de 111.0 ft-lb a 4100 RPM

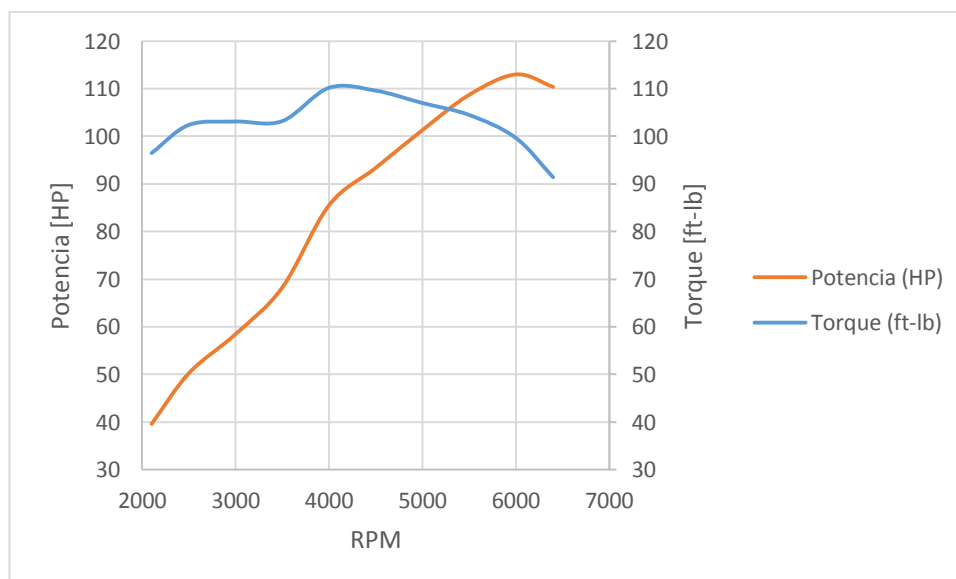


Figura 125 Curvas características segunda programación

4.5. Comparación de Potencia

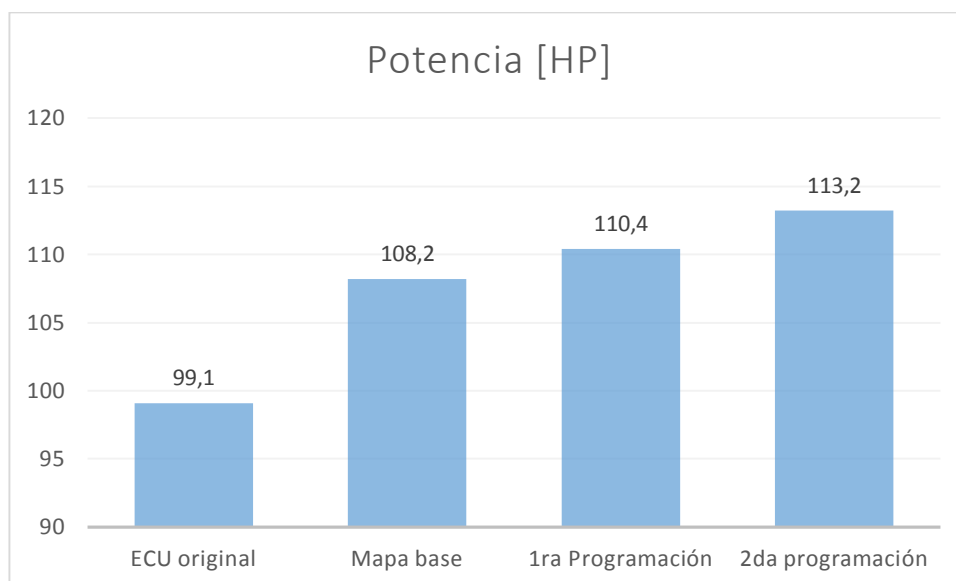


Figura 126 Comparación de potencias máximas

Mediante la modificación de valores del mapa final de eficiencia volumétrica y avance al encendido se obtuvo un aumento de potencia del 14.22% respecto al valor obtenido con la ECU original.

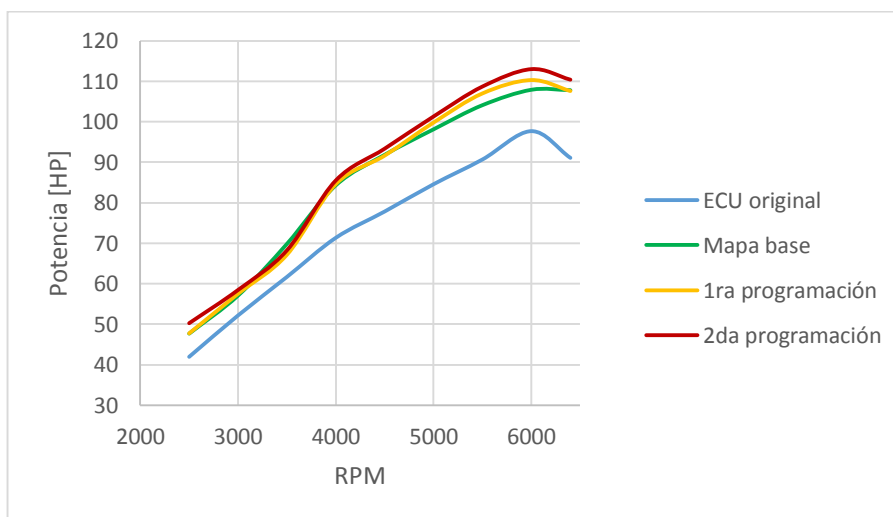


Figura 127 Comparación entre potencias

La curva de potencia de la ECU original aumenta progresivamente de forma uniforme a medida que incrementan las RPM alcanzando la potencia máxima y descendiendo rápidamente su valor.

Para los mapas reprogramados se tiene un aumento brusco de potencia al sobrepasar las 3500 RPM. Este comportamiento se debe al cambio drástico en la relación de aire/combustible ya que a partir de este régimen de RPM se está inyectando mayor cantidad de combustible. Caso que no ocurre en la curva de potencia medida con el mapa base, aquí se tiene un aumento uniforme hasta alcanzar su valor máximo.

Tabla 45:

Datos en el punto de máxima potencia.

	Potencia [HP]	Torque [ft-lb]	Relación a/c	RPM	VE [%]	Avance [°]
Mapa base	108.4	96.42	12.42	5950	81	36
Primera programación	110.4	98.19	12.88	6100	84	35
Segunda programación	113.2	98.97	12.95	6050	87	34

Se puede apreciar que la potencia y torque aumentan a medida que la relación aire/combustible incrementa hasta el valor de 12.95. También se visualiza que al aumentar la eficiencia volumétrica la mezcla a/c se vuelve más pobre.

4.6. Comparación de torque

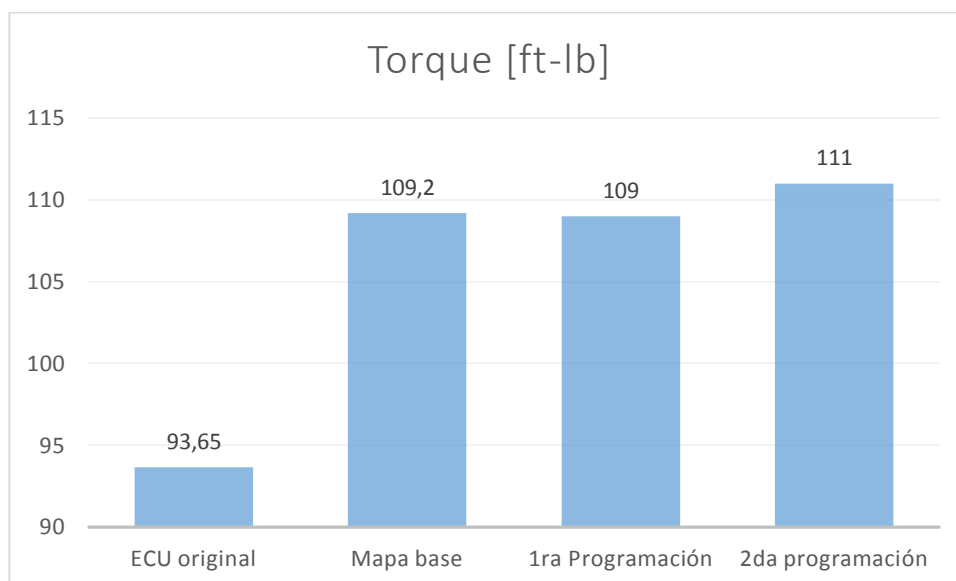


Figura 128 Comparación de torques máximos

Revisando los valores máximos obtenidos con la programación final, se obtiene un aumento de torque del 18.52% en relación con el torque medido con la ECU original.

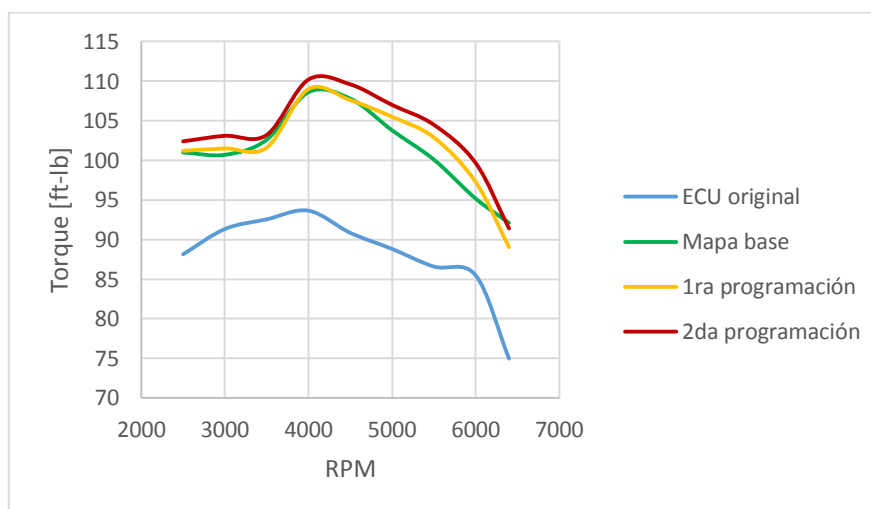


Figura 129 Comparación entre torques

La curva de torque de la ECU original aumenta uniformemente a medida que incrementan las RPM alcanzando el valor máximo, luego desciende hasta el régimen de 5500 a 6000 RPM donde ocurre la máxima potencia, aquí se tiene mayor inyección de combustible aumentando el valor de torque.

De igual manera para los mapas reprogramados se tiene un aumento drástico de torque al sobrepasar las 3500 RPM. Durante este régimen de RPM se está inyectando mayor cantidad de combustible hasta alcanzar los valores máximos. Luego la curva desciende progresivamente sin aumento de valores a diferencia que la curva con la ECU original.

Tabla 46:

Datos en el punto de máximo torque.

	Potencia [HP]	Torque [ft-lb]	Relación a/c	RPM	VE [%]	Avance [°]
Mapa base	86.87	109.2	12.70	4100	76	36
Primera programación	84.61	109.0	13.38	4000	82	35
Segunda programación	88.29	111.0	13.62	4100	85	34

El torque máximo alcanzado con el mapa base aumenta a 109.2 ft-lb con una relación de 12.7:1. Con el mapa realizado en la primera programación se tiene una disminución a 109 ft-lb al aumentar la relación aire/combustible a 13.38 y disminuir en 1 grado el avance. En la segunda programación se obtiene un aumento de torque máximo de 111 ft-lb con una relación de 13.62 con el adelanto a 34°.

4.7. Consumo de combustible.

Para la prueba de consumo de combustible consistió, en realizar 2 pruebas por cada programación de la unidad de control electrónico, se trazó una hoja de ruta, en la cual constó una distancia de 74km, tiempo aproximado de 48 min, con una conducción prudente de 80 a 110 km/h, la prueba empezó desde el redondel de Pujilí (intercambiador), hasta el peaje de Panzaleo 2 veces, esta ruta está ubicada en la provincia de Cotopaxi “Paso Lateral”.

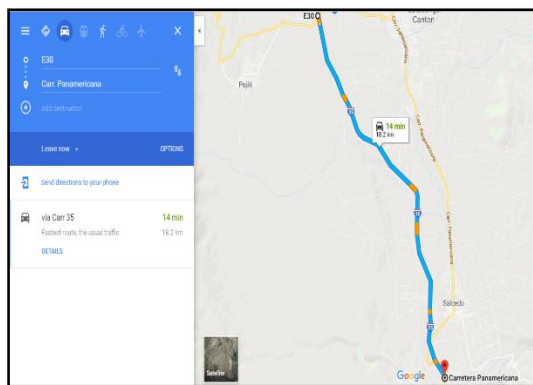


Figura 130 Hoja de ruta distancia de 74 km redondel de Pujilí-peaje de panzaleo.

Para la medición de valores exactos de consumo de combustible, se construyó un depósito de combustible de 20*30*30, altura, ancho y profundidad respectivamente, además un recipiente de 12 L, una probeta graduada de 500 cc, un litro graduado de apreciación de 5cc y un multímetro para determinar valores de resistencia en la boya de la bomba de combustible.

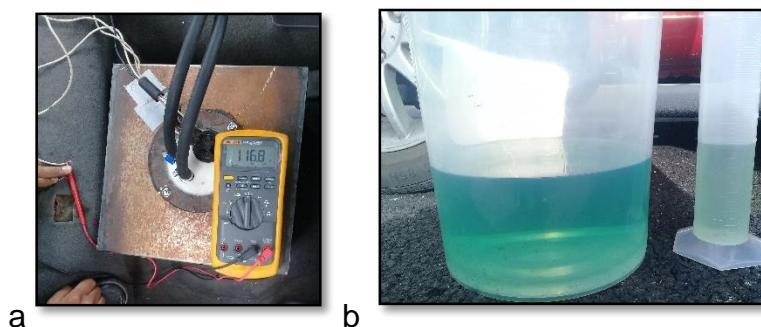


Figura 131 a) Depósito de combustible y multímetro, b) Probeta y depósito graduados.

4.7.1. Parámetros de conducción para vías autopistas

Según (Terán, 2013) la ruta que se escogió es una autopista, y para que los datos sean correctos se debe tomar los siguientes parámetros.

- En el recorrido de la ruta no se debe disminuir la RPM del motor por debajo de las 2000 RPM.

- En el recorrido de la ruta se debe respetar los límites de velocidad establecidos para autopistas.
- En todo el recorrido de la ruta hay que mantener una velocidad promedio.

Tabla 47:**Recolección de datos de consumo de combustible.**

DATOS DE PRUEBA			
Fecha:	Tramo:	Tipo de vía	
		Autopista	
		Urbana	
Marca:		Modelo:	
Año:		Peso del vehículo:	
Cilindraje:		Potencia:	
Datos iniciales		Datos finales	
Volumen de combustible(L)		Volumen de combustible(L)	
Temperatura ambiente (°C)		Temperatura ambiente (°C)	
Resistencia de la boya (Ω)		Resistencia de la boya (Ω)	
Kilometraje (km)		Kilometraje (km)	
Cronometro		Cronometro	
Consumo			
Kilómetros	Tiempo	Δ Resistencia(Ω)	Δ Combustible (L)

4.7.2. Protocolo de pruebas de consumo de combustible

(Terán, 2013) Afirma que cuando se tiene una carga extra al conductor, esta debe ser del 30 % menor de la carga máxima permitida (peso del vehículo), de acuerdo a las características de la tabla 47.

- Cargar en el depósito de combustible con 10 L de combustible.
- Tomar datos de temperatura ambiente, resistencia en la boya de combustible, y llenar la tabla 47.
- Revisar la presión de los neumáticos Chevrolet Optra 1.8
- Pesar al conductor y la carga del vehículo.

- Iniciar el cronometro para determinar el tiempo de la prueba.
- Tomar el kilometraje de salida del vehículo.
- Comenzar la ruta establecida.
- Finalización de la ruta establecida tomar datos de: tomar datos del cronometro, temperatura del motor, valor de resistencia de la boya de combustible, kilometraje final.
- Fin del protocolo apagar el vehículo y medir el consumo de combustible en la ruta establecida.

4.7.3. Prueba de consumo ECU estándar del vehículo.

Se realizó 2 pruebas con la ruta establecida y con el vehículo en estado original, en esta prueba tiene una potencia de 98 HP y se obtuvo los siguientes valores que se muestran a continuación en la tabla 48 y 49.

Tabla 48:

Prueba 1 resultados obtenidos ECU estándar.

DATOS DE PRUEBA			
Fecha: 8/01/2018	Tramo: Redondel de Pujilí-Peaje de panzaleo		Tipo de vía Autopista x Urbana
Marca: Chevrolet	Modelo:		Optra Design
Año 2008	Peso del vehículo:		1211 Kg
Cilindraje: 1.8 L	Potencia:		98 HP
Datos iniciales		Datos finales	
Volumen de combustible(L)	10	Volumen de combustible(L)	4,490
Temperatura ambiente (°C)	12 °C	Temperatura ambiente (°C)	13°C
Resistencia de la boya (Ω)	84,7	Resistencia de la boya (Ω)	205,9
Kilometraje (km)	15335	Kilometraje (km)	15409
Cronometro	0	Cronometro(min)	48.4
Consumo			
Kilómetros (km)	Tiempo (min)	Δ Resistencia(Ω)	Δ Combustible (L)
74	48.4	121.2	5.510



Figura 132 Prueba 1 ECU original, a) y b) Variación de resistencia, c) Variación de combustible.

Tabla 49:

Prueba 2 resultados obtenidos ECU estándar.

DATOS DE PRUEBA			
Fecha: 08/01/2018	Tramo: Redondel de Pujilí-Peaje de panzaleo	Tipo de vía	
		Autopista	x
		Urbana	
Marca: Chevrolet		Modelo:	Optra Design
Año: 2008		Peso del vehículo:	1211 Kg
Cilindraje: 1.8 L		Potencia:	98 HP
Datos iniciales		Datos finales	
Volumen de combustible(L)	10	Volumen de combustible(L)	4,205
Temperatura ambiente (°C)	12°C	Temperatura ambiente (°C)	14°C
Resistencia de la boya (Ω)	84,8	Resistencia de la boya (Ω)	205,9
Kilometraje (km)	15409	Kilometraje (km)	15483
Cronometro	0	Cronometro(min)	48.2
Consumo			
Kilómetros (km)	Tiempo (min)	Δ Resistencia(Ω)	Δ Combustible (L)
74	48.2	121.1	5.795

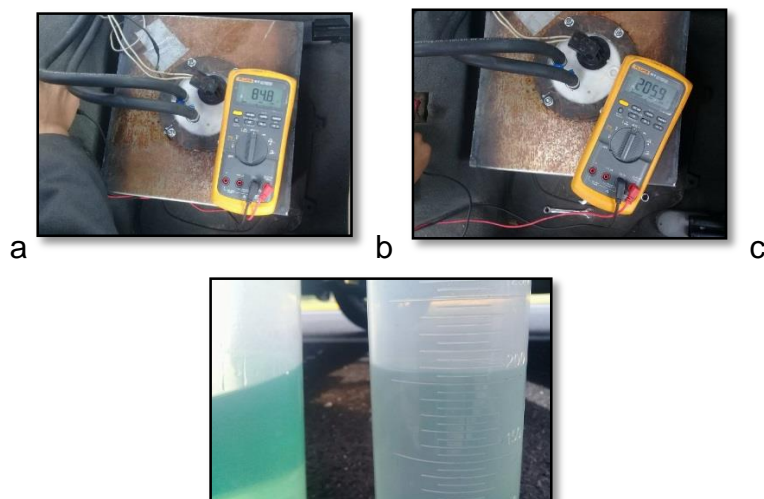


Figura 133 Prueba 2 ECU original, a) y b) Variación de resistencia, c) Variación de combustible.

Análisis de resultados con la ECU Estándar

Transformación de litros a galones

$$1 \text{ galon} = 3.785 \text{ l}$$

$$5.510 \text{ l} * \frac{1 \text{ galon}}{3.785 \text{ l}} = 1.46 \text{ galones}$$

Tabla 50:

Análisis de consumo de combustible.

	Consumo de combustible (L)	Consumo de combustible (Gal)
1 Prueba	5.510	1.455
2 Prueba	5.795	1.53

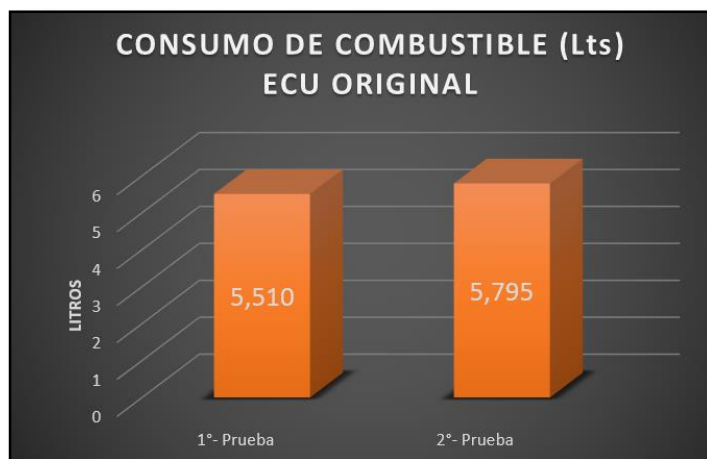


Figura 134 consumo de combustible ECU estándar

Consumo de combustible en las unidades de L/100Km y gal/100km primera prueba.

$$m = \delta * v \text{ Ecuacion 3}$$

$$m = 0.73508 \frac{gr}{cm^3} * 5.510 l * \frac{1000cm^3}{1 l} * \frac{1 kg}{1000 gr} = 4.05kg$$

$$C = \frac{m}{\delta * s} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right] \text{ Ecuacion 2}$$

$$C = \frac{4.05kg}{0.73508 \frac{kg}{l} * 74 km} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.44 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.44 \left[\frac{l}{100km} \right] * \frac{1 galon}{3.785l} = 1.97 \left[\frac{galones}{100km} \right]$$

Consumo de combustible en las unidades de L/100Km y gal/100km segunda prueba.

$$m = \delta * v \text{ Ecuacion 3}$$

$$m = 0.73508 \frac{gr}{cm^3} * 5.795l * \frac{1000cm^3}{1 l} * \frac{1 kg}{1000 gr} = 4.26kg$$

$$C = \frac{m}{\delta * s} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right] \text{ Ecuacion 2}$$

$$C = \frac{4.26kg}{0.73508 \frac{kg}{l} * 74 km} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.83 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.83 \left[\frac{l}{100km} \right] * \frac{1 galon}{3.785l} = 2.07 \left[\frac{galones}{100km} \right]$$



Figura 135 Consumo de combustible ECU estándar promedio.

$$m = \delta * v \text{ Ecuacion 3}$$

$$m = 0.73508 \frac{gr}{cm^3} * 5.6225l * \frac{1000cm^3}{1 l} * \frac{1 kg}{1000 gr} = 4.13kg$$

$$C = \frac{m}{\delta * s} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right] \text{ Ecuacion 2}$$

$$C = \frac{4.13kg}{0.73508 \frac{kg}{l} * 74 km} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.59 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.59 \left[\frac{l}{100km} \right] * \frac{1 galon}{3.785 l} = 2.005 \left[\frac{galones}{100km} \right]$$

Consumo especifico

$$B = \frac{C * \delta * 3600}{t} \left[\frac{kg}{h} \right] \text{ Ecuacion 4}$$

$$B = \frac{5.6525l * \frac{0.73508kg}{l} * 3600}{48.2min * \frac{60seg}{1min}} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

$$B = 5.17 \text{ Kg/h}$$

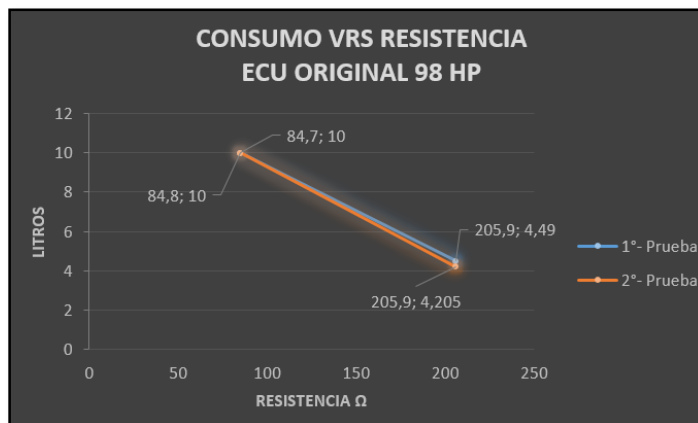


Figura 136 Consumo Vs Resistencia computadora estándar.

En la figura 136 son gráficas de las pruebas realizadas de consumo de combustible y observa la tendencia del consumo que es inversamente proporcional a la resistencia.

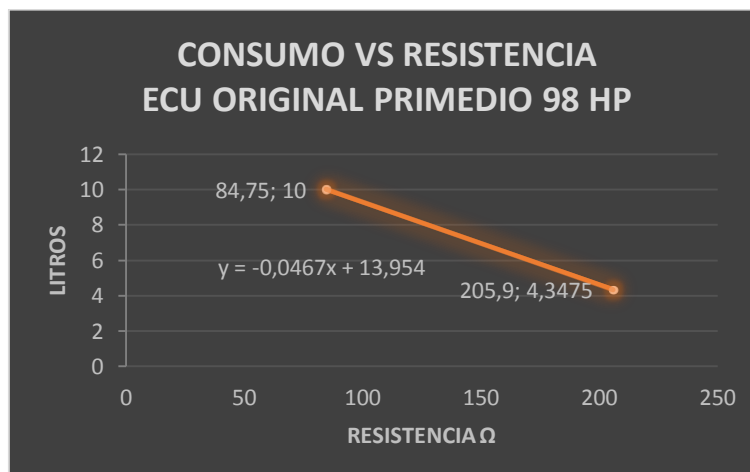


Figura 137 Ecuación de consumo de combustible.

$$y = -0.0467x + 13.954$$

Punto medio

$$Xm = \frac{205.9 - 84.75}{2} + 84.75$$

$$Xm = 145.325 \Omega$$

$$y = -0.0467(145.325) + 13.954$$

$$y = 7.16 \text{ litros}$$

Consumo punto medio

$$C = 10 - 7,16$$

$$C = 2,84$$

En la figura 137 es un promedio de las 2 pruebas realizadas con la ruta establecida en esta se observa, que el consumo es inversamente proporcional a la resistencia, con la ecuación de la recta se puede calcular la variación de consumo de combustible en cualquier punto.

4.7.4. Prueba de consumo primera programación unidad de control electrónico.

Se realizó 2 pruebas con la ruta establecida, con el mapa base, en esta prueba tiene una potencia de 108 HP y se obtuvo los siguientes valores que se muestran a continuación en la tabla 51 y 52.

Tabla 51:

Prueba 1 resultados obtenidos mapa base.

DATOS DE PRUEBA			
Fecha: 09/01/2018	Tramo: Redondel de Pujilí-Peaje de panzaleo	Tipo de vía	
		Autopista	x
		Urbana	
Marca:	Chevrolet	Modelo:	Optra Design
Año	2008	Peso del vehículo:	1211 Kg
Cilindraje:	1.8 L	Potencia:	108 HP
Datos iniciales		Datos finales	
Volumen de combustible(L)	10	Volumen de combustible(L)	4,335
Temperatura ambiente (°C)	13°C	Temperatura ambiente (°C)	15°C
Resistencia de la boya (Ω)	84,7	Resistencia de la boya (Ω)	205,7
Kilometraje (km)	15503	Kilometraje (km)	15577
Cronometro	0	Cronometro(min)	48.32
Consumo			
Kilómetros (km)	Tiempo (min)	Δ Resistencia(Ω)	Δ Combustible (L)
74	48.32	121	5.665

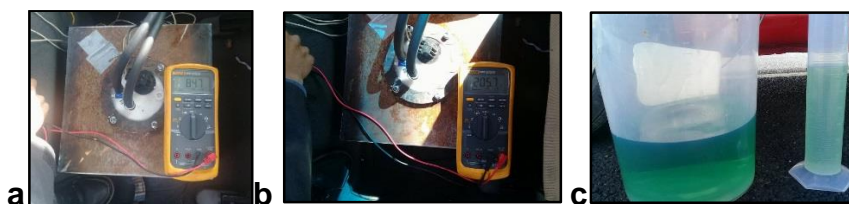


Figura 138 Prueba 1 primera programación, a) y b) Variación de resistencia inicial y final, c) Variación de combustible.

Tabla 52:

Prueba 2 resultados obtenidos Mapa base.

DATOS DE PRUEBA			
Fecha: 09/01/2018	Tramo: Redondel de Pujilí-Peaje de panzaleo	Tipo de vía	
		Autopista	x
		Urbana	
Marca: Chevrolet		Modelo:	Optra Design
Año 2008		Peso del vehículo:	1211 Kg
Cilindraje: 1.8 Lts		Potencia:	108 HP
Datos iniciales		Datos finales	
Volumen de combustible(L)	10	Volumen de combustible(L)	4,455
Temperatura ambiente (°C)	13°C	Temperatura ambiente (°C)	15°C
Resistencia de la boya (Ω)	87.2	Resistencia de la boya (Ω)	210,9
Kilometraje (km)	15577	Kilometraje (km)	15651
Cronometro	0	Cronometro(min)	48.28
Consumo			
Kilómetros (km)	Tiempo (min)	Δ Resistencia(Ω)	Δ Combustible (L)
74	48.28	123.7	5.545

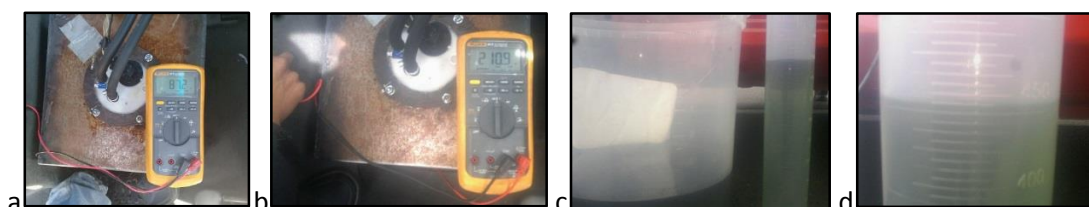


Figura 139 Prueba 2 primera programación, a) y b) Variación de resistencia inicial y final, c) y d) Variación de combustible.

Análisis de resultados de la programación calculada.

Transformación de litros a galones

$$1 \text{ galon} = 3.785 \text{ lts}$$

$$5.665 \text{ l} * \frac{1 \text{ galon}}{3.785 \text{ l}} = 1.46 \text{ galone}$$

Tabla 53:

Análisis de consumo de combustible.

	Consumo de combustible (L)	Consumo de combustible (Gal)
1 Prueba	5.665	1.49
2 Prueba	5.545	1.46

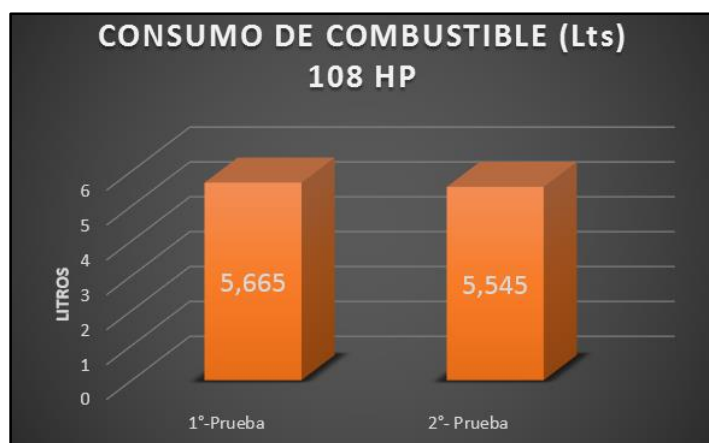


Figura 140 Consumo de combustible mapa base

Consumo de combustible en las unidades de L/100Km y gal/100km primera prueba.

$$m = \delta * v \text{ Ecuacion 3}$$

$$m = 0.73508 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 5.665 \text{ l} * \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ l}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 4.16 \text{ kg}$$

$$C = \frac{m}{\delta * s} * 100 \left[\frac{\text{l}}{100 \text{ km}} \right] \text{ Ecuacion 2}$$

$$C = \frac{4.16 \text{ kg}}{0.73508 \frac{\text{kg}}{\text{l}} * 74 \text{ km}} * 100 \left[\frac{\text{l}}{100 \text{ km}} \right]$$

$$7.64 \left[\frac{\text{l}}{100 \text{ km}} \right]$$

$$7.64 \left[\frac{l}{100km} \right] * \frac{1 \text{ galon}}{3.785 l} = 2.02 \left[\frac{\text{galones}}{100km} \right]$$

Consumo de combustible en las unidades de L/100Km y gal/100km segunda prueba.

$$m = \delta * v \text{ Ecuacion 3}$$

$$m = 0.73508 \frac{gr}{cm^3} * 5.545 l * \frac{1000cm^3}{1 l} * \frac{1 kg}{1000 gr} = 4.07kg$$

$$C = \frac{m}{\delta * s} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right] \text{ Ecuacion 2}$$

$$C = \frac{4.07kg}{0.73508 \frac{kg}{l} * 74 km} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.48 \left[\frac{lbs}{100km} \right]$$

$$7.48 \left[\frac{l}{100km} \right] * \frac{1 \text{ galon}}{3.785l} = 1.97 \left[\frac{\text{galones}}{100km} \right]$$



Figura 141 Consumo de combustible promedio mapa base.

$$m = \delta * v \text{ Ecuacion 3}$$

$$m = 0.73508 \frac{gr}{cm^3} * 5.605 l * \frac{1000cm^3}{1 l} * \frac{1 kg}{1000 gr} = 4.12kg$$

$$C = \frac{m}{\delta * s} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right] \text{ Ecuacion 2}$$

$$C = \frac{4.12kg}{0.73508 \frac{kg}{l} * 74 km} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.57 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.57 \left[\frac{l}{100km} \right] * \frac{1 \text{ galon}}{3.785l} = 2 \left[\frac{\text{galones}}{100km} \right]$$

Consumo especifico

$$B = \frac{C * \delta * 3600}{t} \left[\frac{kg}{h} \right] \text{ Ecuacion 4}$$

$$B = \frac{5.605l * \frac{0.73508kg}{l} * 3600}{48.28min * \frac{60seg}{1min}} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

$$B = 5.12 \text{ Kg/h}$$

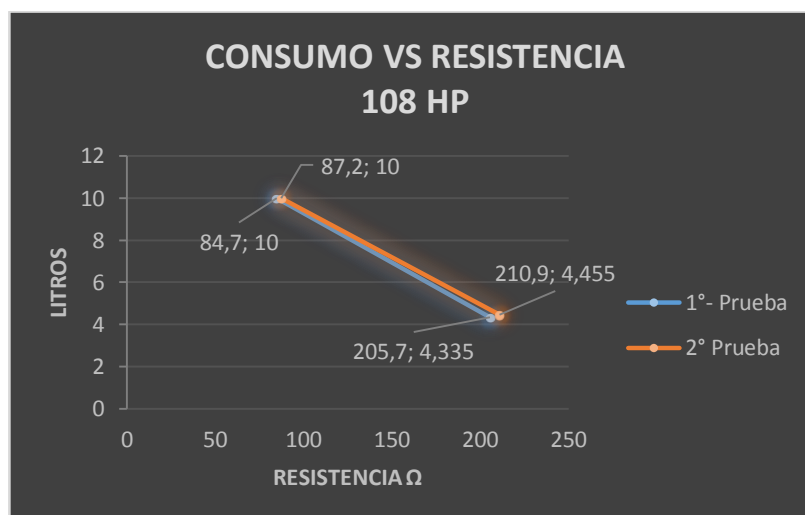


Figura 142 Consumo Vs Resistencia Mapa base.

En la figura 142 se observa las curvas de consumo vs resistencia de las 2 pruebas realizadas en la ruta establecida.

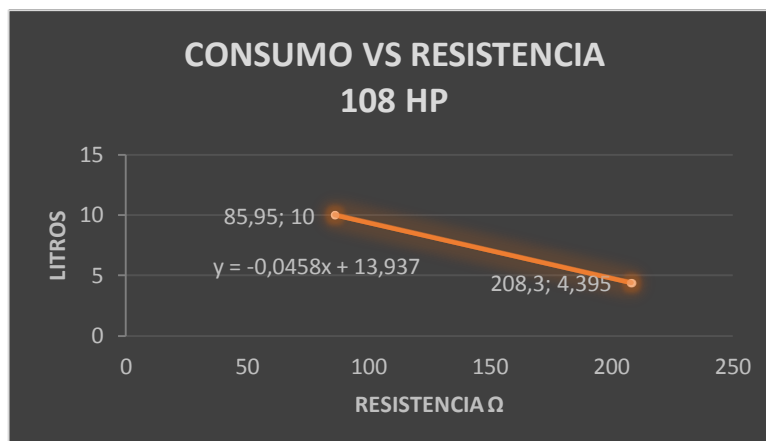


Figura 143 Consumo Vs Resistencia mapa base promedio.

$$y = -0.0458x + 13,937$$

Punto medio

$$Xm = \frac{208,3 - 85,95}{2} + 85,95$$

$$Xm = 147,125 \Omega$$

$$y = -0.0467(147,125) + 13.954$$

$$y = 7.08 \text{ litros}$$

Consumo punto medio

$$C = 10 - 7,08$$

$$C = 2,92$$

En la Figura 143 se observa que el consumo de combustible en el punto medio de la recta es 2,92 litros con el mapa bases y en su punto final se tiene un consumo de combustible de 4,395 litros.

4.7.5. Prueba de consumo primera programación unidad de control electrónico.

Se realizó 2 pruebas con la ruta establecida, con la primera programación, en esta prueba tiene una potencia de 110 HP y se obtuvo los siguientes valores que se muestran a continuación en la tabla 54 y 55.

Tabla 54:

Prueba 1 resultados obtenidos Primera Programación.

DATOS DE PRUEBA			
Fecha: 10/01/2018	Tramo: Redondel de Pujilí-Peaje de panzaleo	Tipo de vía	
		Autopista	x
		Urbana	
Marca: Chevrolet		Modelo: Optra Design	
Año 2008		Peso del vehículo: 1211 Kg	
Cilindraje: 1.8 L		Potencia: 110 HP	
Datos iniciales		Datos finales	
Volumen de combustible(L)	10	Volumen de combustible(L)	4,740
Temperatura ambiente (°C)	12°C	Temperatura ambiente (°C)	15°C
Resistencia de la boya (Ω)	87,3	Resistencia de la boya (Ω)	200,2
Kilometraje (km)	15673	Kilometraje (km)	15747
Cronometro	0	Cronometro(min)	48.25
Consumo			
Kilómetros (km)	Tiempo (min)	Δ Resistencia(Ω)	Δ Combustible (L)
74	48.25	112.9	5,260



Figura 144 Prueba 1 Segunda programación, a) y b) Variación de resistencia inicial y final, c) y d) Variación de combustible.

Tabla 55:

Prueba 2 resultados obtenidos Primera programación.

DATOS DE PRUEBA			
Fecha: 10/01/2018	Tramo: Redondel de Pujilí-Peaje de panzaleo	Tipo de vía	
		Autopista	x
		Urbana	
Marca:	Chevrolet	Modelo:	Optra Design
Año	2008	Peso del vehículo:	1211 Kg
Cilindraje:	1.8 L	Potencia:	110 HP
Datos iniciales		Datos finales	
Volumen de combustible(L)	10	Volumen de combustible(L)	4.570
Temperatura ambiente (°C)	13°C	Temperatura ambiente (°C)	15°C
Resistencia de la boya (Ω)	87.4	Resistencia de la boya (Ω)	200.3
Kilometraje (km)	15747	Kilometraje (km)	15821
Cronometro	0	Cronometro(min)	48.20
Consumo			
Kilómetros (km)	Tiempo (min)	Δ Resistencia(Ω)	Δ Combustible (L)
74	48.20	112.9	4.430

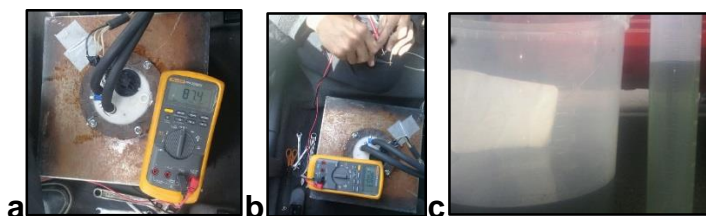


Figura 145 Prueba 2 Segunda programación, a) y b) Variación de resistencia inicial y final, c) Variación de combustible.

Análisis de resultados

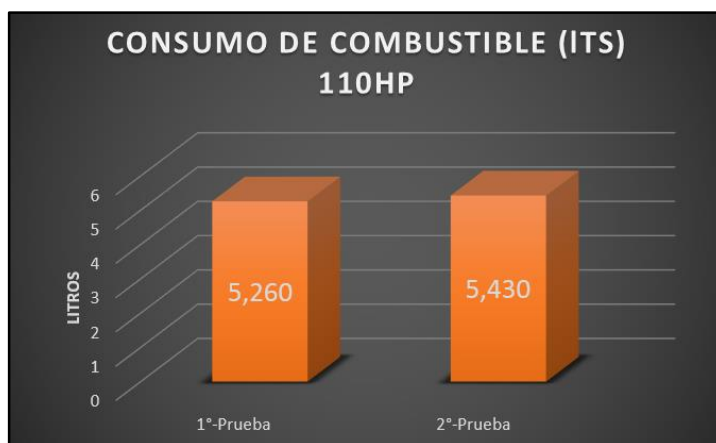


Figura 146 Consumo de combustible primera programación.

Consumo de combustible en las unidades de L/100Km y gal/100km primera prueba.

$$m = \delta * v \text{ Ecuacion 3}$$

$$m = 0.73508 \frac{gr}{cm^3} * 5.260 l * \frac{1000cm^3}{1 l} * \frac{1 kg}{1000 gr} = 3.86kg$$

$$C = \frac{m}{\delta * s} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right] \text{ Ecuacion 2}$$

$$C = \frac{3.86kg}{0.73508 \frac{kg}{l} * 74 km} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.09 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.09 \left[\frac{l}{100km} \right] * \frac{1 galon}{3.785l} = 1.87 \left[\frac{galones}{100km} \right]$$

Consumo de combustible en las unidades de L/100Km y gal/100km segunda prueba.

$$m = \delta * v \text{ Ecuacion 3}$$

$$m = 0.73508 \frac{gr}{cm^3} * 5.430 l * \frac{1000cm^3}{1 l} * \frac{1 kg}{1000 gr} = 3.99kg$$

$$C = \frac{m}{\delta * s} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right] \text{ Ecuacion 2}$$

$$C = \frac{3.99kg}{0.73508 \frac{kg}{l} * 74 km} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.33 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.33 \left[\frac{l}{100km} \right] * \frac{1 galon}{3.785 l} = 1.93 \left[\frac{galones}{100km} \right]$$

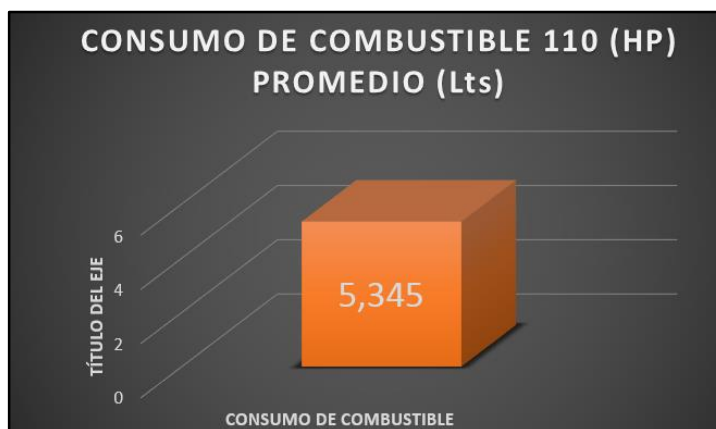


Figura 147 Consumo de combustible primera programación promedio.

$$m = \delta * v \text{ Ecuacion 3}$$

$$m = 0.73508 \frac{gr}{cm^3} * 5.345 l * \frac{1000cm^3}{1 l} * \frac{1 kg}{1000 gr} = 3.92kg$$

$$C = \frac{m}{\delta * s} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right] \text{ Ecuacion 2}$$

$$C = \frac{3.92kg}{0.73508 \frac{kg}{l} * 74 km} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.20 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.20 \left[\frac{l}{100km} \right] * \frac{1 galon}{3.785 l} = 1.90 \left[\frac{galones}{100km} \right]$$

Consumo especifico

$$B = \frac{C * \delta * 3600}{t} \left[\frac{kg}{h} \right] \text{ Ecuacion 4}$$

$$B = \frac{5.345 \text{ lts} * \frac{0.73508 \text{ kg}}{\text{lts}} * 3600}{48.20 \text{ min} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$B = 4.89 \text{ Kg/h}$$

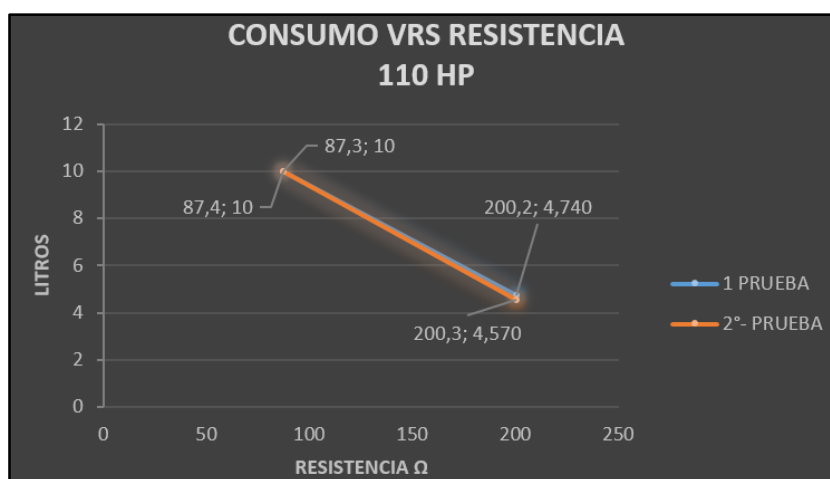


Figura 148 Consumo Vs Resistencia primera programación.

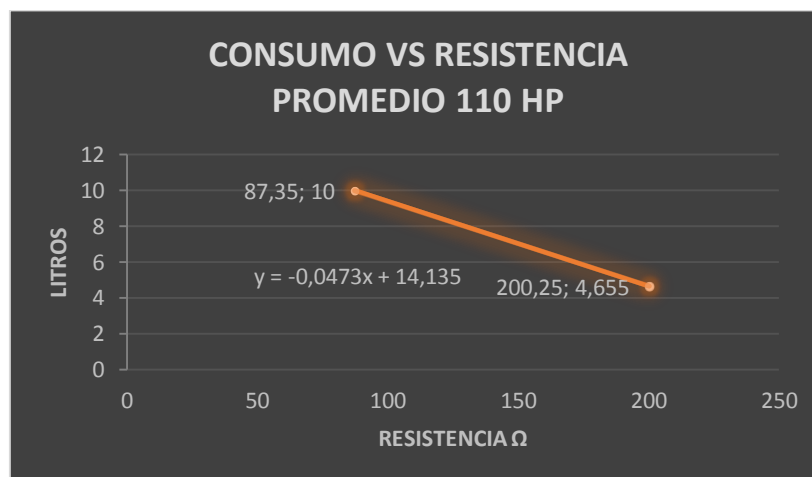


Figura 149 Consumo Vs Resistencia primera programación promedio.

$$y = -0,0473x + 14,135$$

Punto medio

$$Xm = \frac{200,25 - 87,35}{2} + 87,35$$

$$Xm = 143,8 \Omega$$

$$y = -0.0473(143,8) + 14,135$$

$$y = 7.33 \text{ litros}$$

Consumo punto medio

$$C = 10 - 7,33$$

$$C = 2,67$$

En la figura 149 se observa que con el punto medio con la primera programación se obtiene un consumo de 2,67 litros y en su recorrido se obtiene un consumo total de 4,655 litros.

4.7.6. Prueba de consumo segunda programación unidad de control electrónico.

Se realizó 2 pruebas con la ruta establecida, con la segunda programación, en esta prueba tiene una potencia de 113 HP y se obtuvo los siguientes valores que se muestran a continuación en la tabla 56 y 57.

Tabla 56:

Prueba 1 resultados obtenidos segunda programación.

DATOS DE PRUEBA			
Fecha: 11/01/2018	Tramo: Redondel de Pujilí-Peaje de panzaleo	Tipo de vía	
		Autopista	x
		Urbana	
Marca: Chevrolet		Modelo:	Optra Design
Año 2008		Peso del vehículo:	1211 Kg
Cilindraje: 1.8 L		Potencia:	113 HP
Datos iniciales		Datos finales	
Volumen de combustible(L)	10	Volumen de combustible(L)	4.055
Temperatura ambiente (°C)	13°C	Temperatura ambiente (°C)	14°C
Resistencia de la boya (Ω)	84.7	Resistencia de la boya (Ω)	200,2
Kilometraje (km)	15844	Kilometraje (km)	15918
Cronometro	0	Cronometro(min)	48.20
Consumo			
Kilómetros (km)	Tiempo (min)	Δ Resistencia(Ω)	Δ Combustible (L)
74	48.20	115.5	5.945



Figura 150 Prueba 1 segunda programación, a) y b) Variación de resistencia inicial y final, c) Variación de combustible.

Tabla 57:

Prueba 2 resultados obtenidos segunda programación.

DATOS DE PRUEBA			
Fecha: 11/01/2018	Tramo: Redondel de Pujilí-Peaje de panzaleo	Tipo de vía	
		Autopista	x
		Urbana	
Marca: Chevrolet		Modelo:	Optra Design
Año 2008		Peso del vehículo:	1211 Kg
Cilindraje: 1.8 L		Potencia:	113 HP
Datos iniciales		Datos finales	
Volumen de combustible(L)	10	Volumen de combustible(L)	4.480
Temperatura ambiente (°C)	15°C	Temperatura ambiente (°C)	15°C
Resistencia de la boya (Ω)	84.6	Resistencia de la boya (Ω)	200.2
Kilometraje (km)	15918	Kilometraje (km)	15992
Cronometro	0	Cronometro(min)	48.35
Consumo			
Kilómetros (km)	Tiempo (min)	Δ Resistencia(Ω)	Δ Combustible (L)
74	48.35	115.6	4.520

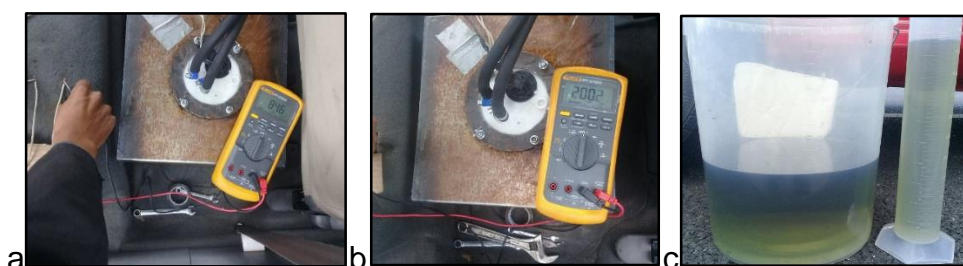


Figura 151 Prueba 2 segunda programación, a) y b) Variación de resistencia inicial y final, c) Variación de combustible.

Análisis de resultados

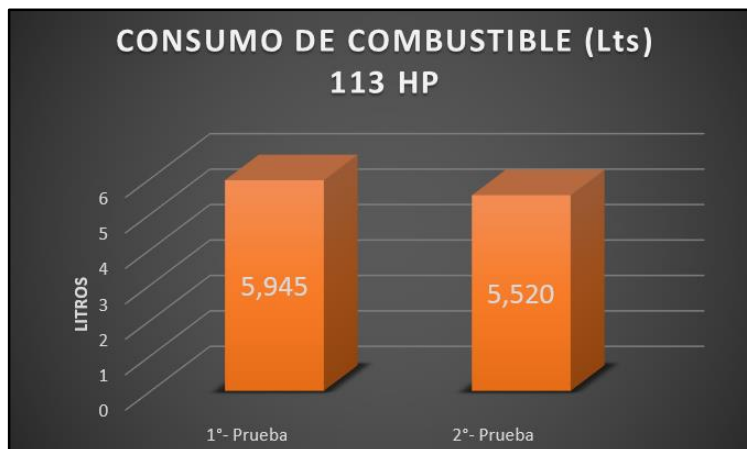


Figura 152 Consumo de combustible segunda programación.

Consumo de combustible en las unidades de L/100Km y gal/100km primera prueba.

$$m = \delta * v \text{ Ecuacion 3}$$

$$m = 0.73508 \frac{gr}{cm^3} * 5.945l * \frac{1000cm^3}{1l} * \frac{1kg}{1000gr} = 4.37kg$$

$$C = \frac{m}{\delta * s} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right] \text{ Ecuacion 2}$$

$$C = \frac{4.37kg}{0.73508 \frac{kg}{l} * 74 km} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$8.03 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$8.03 \left[\frac{l}{100km} \right] * \frac{1 galon}{3.785 l} = 2.12 \left[\frac{galones}{100km} \right]$$

Consumo de combustible en las unidades de L/100Km y gal/100km segunda prueba.

$$m = \delta * v \text{ Ecuacion 3}$$

$$m = 0.73508 \frac{gr}{cm^3} * 5.520 l * \frac{1000cm^3}{1l} * \frac{1kg}{1000gr} = 4.05kg$$

$$C = \frac{m}{\delta * s} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right] \text{ Ecuacion 2}$$

$$C = \frac{4.05kg}{0.73508 \frac{kg}{l} * 74 km} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.44 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.44 \left[\frac{l}{100km} \right] * \frac{1 galon}{3.785 l} = 1.96 \left[\frac{galones}{100km} \right]$$



Figura 153 Consumo de combustible segunda programación promedio.

$$m = \delta * v \text{ Ecuacion 3}$$

$$m = 0.73508 \frac{gr}{cm^3} * 5.7325l * \frac{1000cm^3}{1 l} * \frac{1 kg}{1000 gr} = 4.21kg$$

$$C = \frac{m}{\delta * s} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right] \text{ Ecuacion 2}$$

$$C = \frac{4.21kg}{0.73508 \frac{kg}{l} * 74 km} * 100 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.73 \left[\frac{l}{100km} \right]$$

$$7.73 \left[\frac{l}{100km} \right] * \frac{1 galon}{3.785l} = 2.04 \left[\frac{galones}{100km} \right]$$

Consumo especifico

$$B = \frac{C * \delta * 3600}{t} \left[\frac{kg}{h} \right] \text{ Ecuacion 4}$$

$$B = \frac{5.7325ts * \frac{0.73508kg}{l} * 3600}{48.35min * \frac{60seg}{1min}} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

$$B = 5.24 \text{ Kg/h}$$

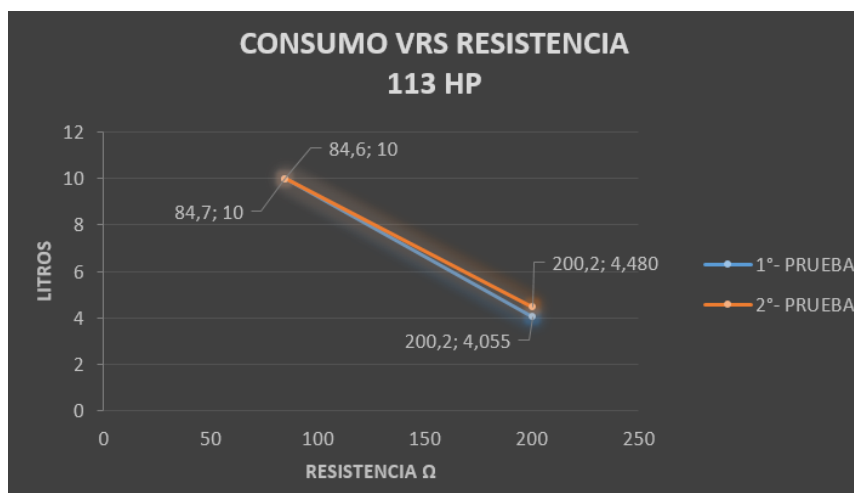


Figura 154 Consumo Vs Resistencia segunda programación.

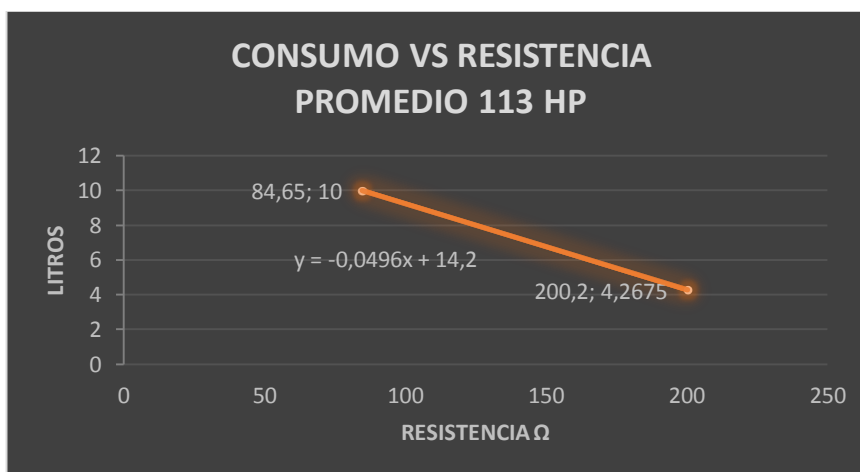


Figura 155 Consumo Vs Resistencia segunda programación promedio.

$$y = -0,0496x + 14,2$$

Punto medio

$$Xm = \frac{200,2 - 84,65}{2} + 84,65$$

$$Xm = 143,425 \Omega$$

$$y = -0.0496(143,425) + 14,2$$

$$y = 7.08 \text{ litros}$$

Consumo punto medio

$$C = 10 - 7,33$$

$$C = 2,91$$

En la figura 155 se observa que con el punto medio con la segunda programación se obtiene de 2,91 litros siendo este consumo con la mayor potencia que se obtuvo.

4.8. Análisis de emisiones de gases

Para esta prueba se utilizó el analizador de gases AGS-688 que está ubicado en la universidad de las fuerzas armadas Espel. Se realizó medidas a 3 revoluciones diferentes: Ralentí, 3000 RPM y 6000 RPM, con las tres programaciones diferentes.



Figura 156 Analizador de gases AGS-688

Se utilizó los siguientes instrumentos:

- Computador.
- Analizador de gases
- Cable serial.
- Medidor de RPM.



Figura 157 Instrumentos de medidor de gases.

4.8.1. Precauciones para utilizar el analizar de gases

- Calibrar los equipos previamente.
- Mantener el vehículo en perfectas condiciones de funcionamiento.
- Realizar el reporte respectivo de cada prueba realizada.

Tabla 58:

Registro de información analizador de gases.

PRUEBA DE GASES			
RPM	Ralentí	3000	6000
Lambda			
CO			
CO2			
HC			
O2			
NO			

El reporte de todos los datos se puede observar en el anexo 2.

4.8.2. Protocolo de pruebas de medición de gases.

- Conectar los equipos que corresponden al medidor de gases.



Figura 158 equipo analizador de gases.

- Calibrar el equipo analizador de gases.

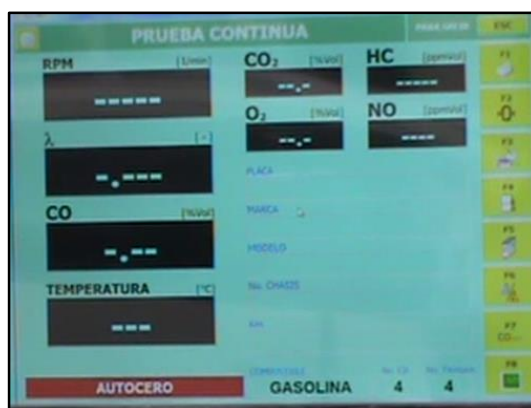


Figura 159 Calibración de equipos.

- Conectar la válvula receptora de gases en el tubo de escape.



Figura 160: Conexión de la válvula al tubo de escape.

- Verificar los datos que sean coherentes en el computador y que establezcan para generar el reporte.

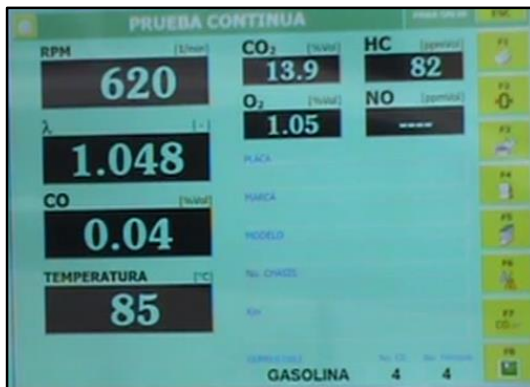


Figura 161: Datos en el computador.


 BrainBee[®] ANÁLISIS GASES ESCAPE <small>AUTOMOTIVE</small>	
ANALIZADOR	AGS-688 CUESTARREVOLUCIONES
Número de serie	16051300054
ESPE-L	
LATAACUNGA	TELEPHONE
BELIZARIO QUEVEDO	FAX - EMAIL
Datos del vehículo:	
Marca	CHEVROLET
Modelo	OPTRA DESIGN
Matricula	XEC-1011
No. Chasis	9GAJM523X7B076542
Combustible	GASOLINA
Km recorridos	17157
Valores relevados:	
Temp. motor	[°C] : 90
RPM	[1/min] : 3000
COcorr	[%Vol] : 0.26
Lambda	[-] : 1.190
CO	[%Vol] : 0.21
CO ₂	[%Vol] : 12.1
HC	[ppmVol] : 156
O ₂	[%Vol] : 3.62
NO	[ppmVol] : 158
Fecha y hora prueba	: 24/01/2018 10:23
Sello	

Figura 162: General el reporte.

4.8.3. Prueba de medición del factor Lambda ralenti.

Tabla 59:

Factor lambda ralenti.

FACTOR LAMBDA- RALENTI		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	1,184	%
Calculada	1,646	39,02
Primera	1,098	-7,26
Segunda	1,112	-6,08

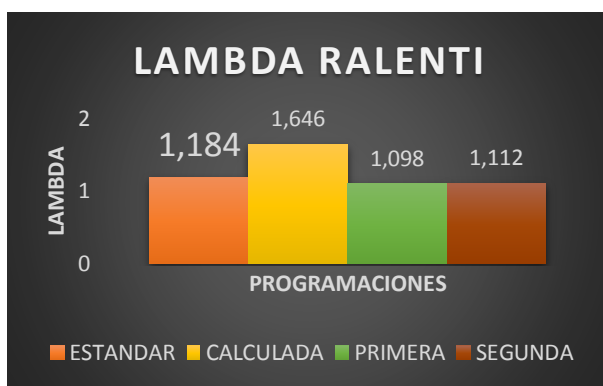


Figura 163 Factor Lambda-ralentí.

En la figura 163 se ve reflejado los valores del factor lambda con un mínimo de 1,098 para la primera programación realizada y un máximo de 1,646 para la programación calculada, se observa que para la segunda programación se tiene una reducción del 6,08% con relación al ECU estándar.

4.8.4. Prueba de factor Lambda 3000 RPM.

Tabla 60:

Datos de gases factor lambda 3000 RPM.

Factor Lambda- 3000		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	1,008	%
Calculada	2,148	113,10
Primera	1,190	18,06
Segunda	1,111	10,22

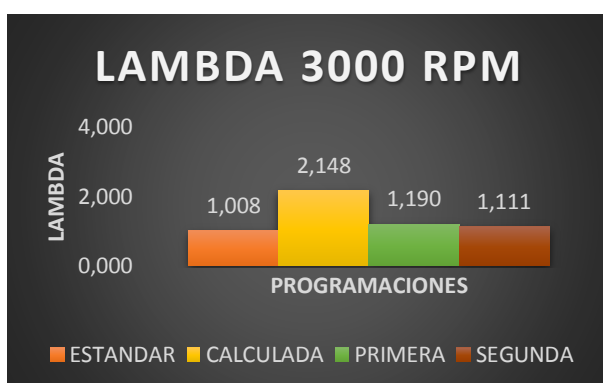


Figura 164 Emisiones de gases factor Lambda-3000 RPM.

En comparación con la figura la figura 163-164 se observa que mientras se aumenta las RPM va disminuyendo el factor lambda, al observar la figura 164 la Megasquirt en la segunda programación se obtuvo un incremento poco

significativo de 0,103 correspondiente al 10,22% con relación a la ECU estándar.

4.8.5. Prueba de medición de gases factor Lambda 6000 RPM.

Tabla 61:

Datos de gases factor lambda 6000 RPM.

Factor Lambda- 6000		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	1,377	%
Calculada	1,696	23,17
Primera	1,651	19,90
Segunda	1,424	3,41

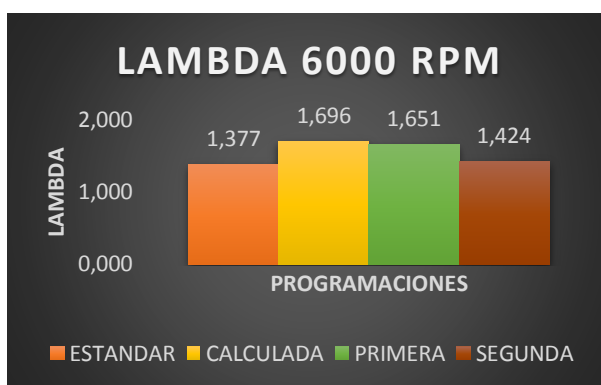


Figura 165 Emisiones de gases factor Lambda-6000 RPM.

En la figura 165 se observa que existe un decremento progresivo con relación a la calculada, primera y segunda reprogramación, esto es debido a que se está ganando un incremento de potencia y torque en las programaciones.

4.8.6. Prueba de medición de gases CO% VOL ralentí.

Tabla 62:

Datos de gases CO% vol ralentí.

CO% VOL- Ralentí		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	0,34	%
Calculada	0,15	-55,88
Primera	0,19	-44,12
Segunda	0,16	-52,94

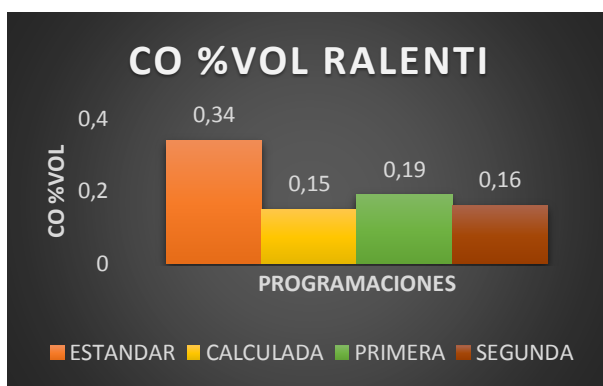


Figura 166 Emisiones de gases CO% VOL ralenti.

En la figura 166 se observa los porcentajes en volumen de CO en estado de ralenti teniendo un valor máximo de 0,34 con la ECU estándar y un valor de decremento en la calculada de 0,19 perteneciente al 55,88%, que de acuerdo a la figura 7 correspondiente a la curva típica de gases se observa que mientras el lambda es más alto se tiene un decremento de CO y se constata en la figura 163 factor lambda ralenti, en la calculada programación se obtiene el mayor factor lambda.

4.8.7. Prueba de medición de gases CO% VOL 3000 RPM.

Tabla 63:

Datos de gases CO% vol 3000 RPM.

CO% VOL- 3000		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	0,18	%
Calculada	0,17	-5,56
Primera	0,21	16,67
Segunda	0,22	22,22



Figura 167 Emisiones de gases CO% VOL 3000 RPM.

En la figura 167 se observa el CO % vol de las 3 programaciones y la ECU estándar a 3000 RPM, en la calculada se obtiene un 0,17 % CO que es el mínimo valor que se obtiene en las tres programaciones y de acuerdo a la figura 07 correspondiente a la curva típica de gases, según el factor lambda más elevado se obtiene el mínimo porcentaje de CO.

4.8.8. Prueba de medición de gases CO% VOL 6000 RPM.

Tabla 64:

Datos de gases CO% vol 6000 RPM.

CO% VOL- 6000		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	0,64	%
Calculada	0,28	-56,25
Primera	0,23	-64,06
Segunda	0,32	-50,00



Figura 168 Emisiones de gases CO% VOL 6000 RPM.

En la figura 168 se observa las CO% vol a 6000 RPM, obteniendo un valor máximo de 0,64 % CO% a 6000 RPM y un valor mínimo de 0,23 CO% correspondiente a la primera programación existiendo un decremento de 0,41 equivalente al 64,06%. Con respecto al factor lambda el dato más alto que se obtiene es en la calculada programación a 6000 RPM es de 1,696 correspondiente a la figura 07 emisiones de gases factor Lambda-6000 RPM, en la cual se puede constatar mientras más alto sea el factor lambda más bajo es el CO.

4.8.9. Prueba de medición de gases CO2% VOL ralenti.

Tabla 65:

Datos de gases CO2% vol ralenti.

CO2% VOL- Ralenti		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	12,3	%
Calculada	8	-34,96
Primera	13	5,69
Segunda	13,2	7,32

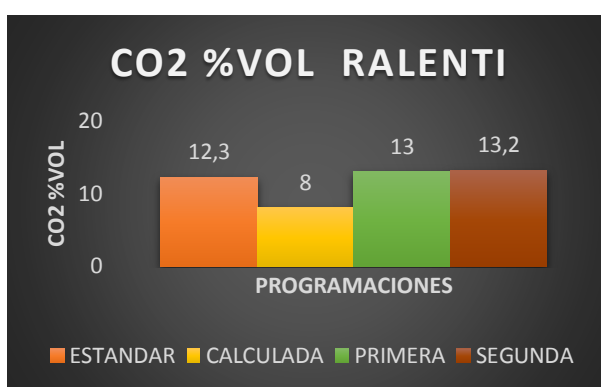


Figura 169 Emisiones de gases CO2% VOL Ralenti.

En la figura 169 se puede observar el % en vol de CO2 que se genera en ralenti, y que con respecto a la calculada se obtiene un decremento de 4,3 % correspondiente al 34,96 % y se puede observar en la figura 163 factores lambda a ralenti se tiene 1,646, y con respecto a la primera y segunda programación se obtiene un incremento de 0,7 y 0,9 correspondiente al 5,69% y 7,32% respectivamente.

4.8.10. Prueba de medición de gases CO2% VOL 3000 RPM.

Tabla 66:

Datos de gases CO2% vol 3000 RPM.

CO2% VOL- 3000 RPM		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	14,80	%
Calculada	4	-72,97
Primera	12,10	-18,24
Segunda	13,30	-10,14

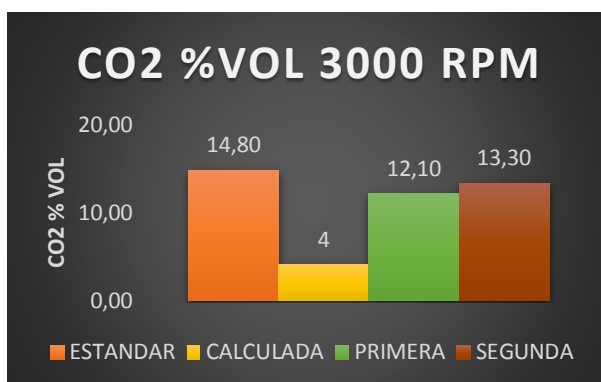


Figura 170 Emisiones de gases CO2% VOL 3000.

En la figura 170 se observa el % CO2 a 3000 RPM en las tres programaciones y la ECU estándar, además se observa que el valor mínimo es de 4% vol a 3000 RPM existió un decremento de 10,80 correspondiente al 72,97% y con un factor lambda de 2,148. Con respecto a la primera y segunda programación se obtiene un decremento de 2,70 y 1,50 correspondiente al 18,24% y 10,14% respectivamente.

4.8.11. Prueba de medición de gases CO2% VOL 6000 RPM.

Tabla 67:

Datos de gases CO2% vol 6000 RPM.

CO2% VOL- 6000 RPM		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	13,30	%
Calculada	7,60	-42,86
Primera	7,80	-41,35
Segunda	10,00	-24,81



Figura 171 Emisiones de gases CO2% VOL 6000 RPM.

En la figura 171 de emisiones de gases CO₂% vol a 6000 RPM se observa un decremento para la segunda reprogramación de 3,30 perteneciente al 24,81 %, el máximo valor de CO₂ % vol se obtiene en la ECU original del vehículo y en la figura 165 corresponde al factor lambda a 6000 RPM que más se acerca a 1, mientras más se acerque es donde se obtiene los máximos CO₂% vol.

4.8.12. Prueba de medición de gases HC Ralentí.

Tabla 68:

Datos de gases HC ppm ralentí.

HC ppm Ralentí		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	182	%
Calculada	1277	601,65
Primera	282	54,95
Segunda	253	39,01

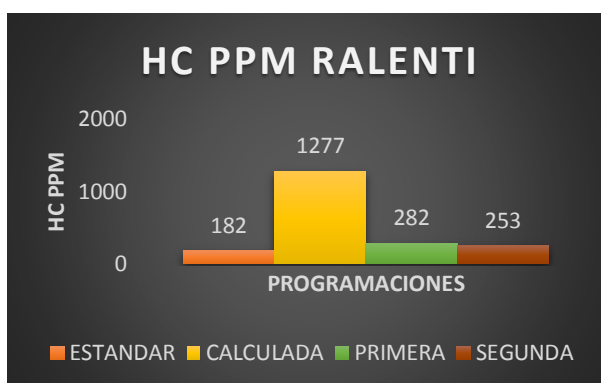


Figura 172 Emisiones de gases HC ppm ralentí.

De acuerdo a la figura 172 perteneciente a los hidrocarburos HC en ppm se observa que se genera un incremento considerable en la calculada perteneciente al 1095, esto en porcentaje es 601,65%, y esto se verifica ya que existe un alto factor lambda y de acuerdo a la norma INEN NTE 2204 (anexo 3) los límites máximos de circulación para este vehículo son de 200 HC ppm.

4.8.13. Prueba de medición de gases HC ppm 3000 RPM.

Tabla 69:

Datos de gases HC ppm 3000 RPM.

HC ppm 3000 RPM		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	71	%
Calculada	4370	6054,93
Primera	156	119,72
Segunda	125	76,06

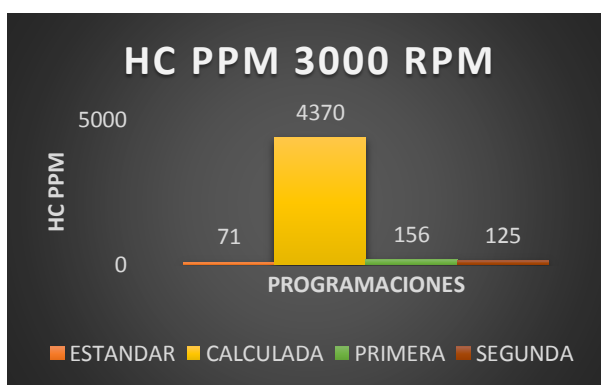


Figura 173 Emisiones de gases HC ppm 3000 RPM.

En la figura 173 perteneciente a las emisiones de gases HC ppm a 3000 RPM, se observa que las HC disminuyeron con respecto a la figura 124 a ralentí, esto es porque el factor lambda medido está en un rango de 1 a 1,2 en donde se optimiza los HC en ppm.

4.8.14. Prueba de medición de gases HC 6000 RPM.

Tabla 70:

Datos de gases HC ppm 6000 RPM.

HC 6000 ppm RPM		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	163	%
Calculada	1505	823,31
Primera	1075	559,51
Segunda	229	40,49

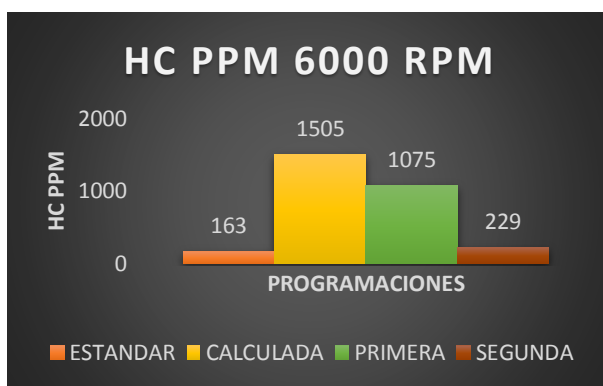


Figura 174 Emisiones de gases HC ppm 6000 RPM.

De acuerdo a la figura 174 se observa que en la calculada y primera reprogramación se elevan los HC en cantidades considerables de 1342 y 912 correspondiente al 823,31% y 559,51% respectivamente y en la segunda programación se elevan en 66 HC ppm correspondiente al 40,49% y esto es debido a que el factor lambda es de 1,4 ya que en valores que se acercan a 1,05 y 1,13 se obtiene el mínimo valor de HC ppm.

4.8.15. Prueba de medición de gases O2 Ralentí.

Tabla 71:

Datos de gases O2 ralentí.

O2 Ralentí		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	3,70	%
calculada	9,38	153,51
Primera	2,23	-39,73
Segunda	2,47	-33,24

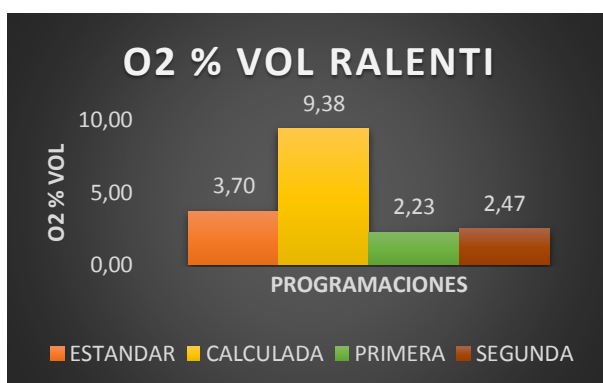


Figura 175 Emisiones de gases O2 ralentí.

En la figura 175 se observa las emisiones de O₂ de gases a ralentí, en la calculada se tiene un incremento considerable de 5,68 perteneciente al 153,51%, esto se genera porque el factor lambda es mayor que 1,5 por lo tanto se incrementan los O₂.

4.8.16. Prueba de medición de gases O₂ 3000 RPM.

Tabla 72:

Datos de gases O₂ 3000 RPM.

O ₂ 3000 RPM		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	0,35	%
Calculada	14,9	4157,14
Primera	3,62	934,29
Segunda	2,40	585,71

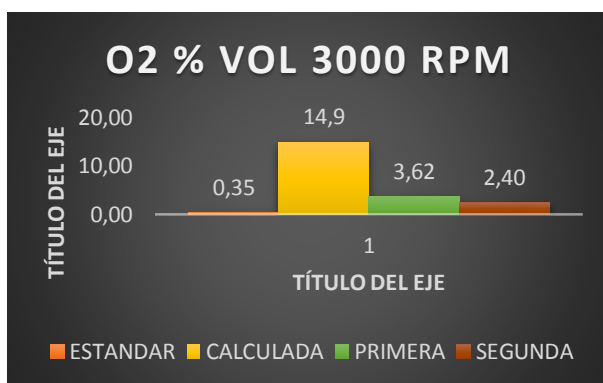


Figura 176 Emisiones de gases O₂ 3000 RPM.

En la figura 176 se observa que las emisiones de O₂ a 3000 RPM, en la ECU estándar y la segunda programación disminuyen esto es debido a que se está generando un lambda menor en relación a la calculada y primera reprogramación. Tomando en referencia de la ECU estándar y la segunda programación se eleva en 2,05 perteneciente al 585,1%.

4.8.17. Prueba de medición de gases O2 6000 RPM.

Tabla 73:

Datos de gases O2 6000 RPM.

O2 6000 RPM		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	8,08	%
Calculada	10,1	25,00
Primera	9,10	12,62
Segunda	6,71	-16,96



Figura 177 Emisiones de gases O2 6000 RPM.

En la figura 177 se observa que se genera valores de O2% vol elevados esto es debido a que el factor lambda es mayor a 1 por lo tanto es una mezcla pobre, para obtener valores bajos de O2 es necesaria que el factor lambda se mantenga menos de 1.

4.8.18. Prueba de medición de gases NO ralentí.

Tabla 74:

Datos de gases NO ppm ralentí.

NO ppm ralentí		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	64	%
Calculada	18	-71,88
Primera	134	109,38
Segunda	138	115,63

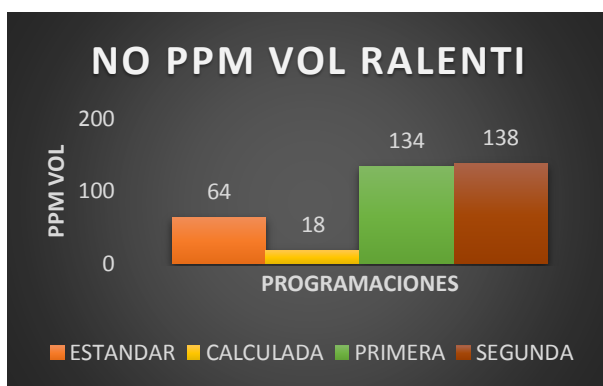


Figura 178 Emisiones de gases NO ralentí.

En la figura 178 se observa las emisiones de gases NO ppm vol y se observa que con respecto a la ECU estándar la calculada tiene un decremento de 46 correspondiente al 71,88% y por el contrario a la segunda programación se tiene un incremento de 74 perteneciente al 115,63%.

4.8.19. Prueba de medición de gases NO 3000 RPM.

Tabla 75:

Datos de gases NO ppm 3000 RPM.

NO ppm 3000 RPM		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	373	%
Calculada	23	-93,83
Primera	158	-57,64
Segunda	487	30,56



Figura 179 Emisiones de gases NO ppm 3000 RPM.

La figura 179 corresponde a gases NO ppm a 3000 RPM y se puede constatar que a mayor factor lambda se obtiene los valores mínimos NO ppm vol, y mientras el factor lambda se acerque a 1 se obtiene los máximo valores de NO ppm vol.

4.8.20. Prueba de medición de gases NO 6000 RPM.

Tabla 76:

Datos de gases NO 6000 RPM.

NO ppm 6000 RPM		
Programación	[-]	Ganancia/Perdida
Estándar	1299	%
Calculada	32	-97,54
Primera	27	-97,92
Segunda	75	-94,23



Figura 180 Emisiones de gases NO ppm 6000 RPM.

En la figura 180 se observa las emisiones de gases de NO ppm a 6000 RPM, los valores de NO disminuyen considerablemente con respecto a la ECU estándar esto se debe a que los valores del factor lambda se alejan de 1,2 y mientras que en la ECU estándar el factor lambda se acerca a 1 por esta razón es que los NO se incrementan considerablemente.

4.9. Cálculo de ciclos del motor

Mediante el uso de cálculos se compara la variación del desempeño mecánico del motor T18SED antes y después de la modificación de parámetros. Para lo cual es necesario obtener los valores de presión y temperatura en cada uno de los procesos térmicos del motor.

4.9.1. Ciclo de admisión

a) Presión de admisión

En su investigación (Jóvaj, 1982) menciona que, para la apertura completa de la válvula en el régimen nominal, la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso es $w_{ad} = 50 \dots 130$ m/s, $(\beta^2 + \xi) = 2.5 \dots 4$. Además (Escola & Mora, 2017) afirman que, estos valores se emplean para motores de encendido por chispa de cilindraje de 1000 a 3000 cm³.

Mediante interpolación se encuentran los valores para el motor Optra.

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1}$$

Ecuación 10: Ecuación de interpolación.

$$w_{ad} = 50 \text{ m/s} + \frac{(1800 \text{ cm}^3 - 1000 \text{ cm}^3)(130 \text{ m/s} - 50 \text{ m/s})}{3000 \text{ cm}^3 - 1000 \text{ cm}^3}$$

$$w_{ad} = 82 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El factor entre el coeficiente de amortiguación y resistencia del sistema de admisión resulta:

$$(\beta^2 + \xi) = 2.5 + \frac{(1800 - 1000)(4 - 2.5)}{3000 - 1000}$$

$$(\beta^2 + \xi) = 3.1$$

La densidad del aire a la entrada del múltiple.

$$\rho_o = \frac{P_o}{R * T_o}$$

Ecuación 11: Densidad del aire a la entrada del múltiple de admisión

$$\rho_o = \frac{100 \text{ KPa}}{0.28705 \text{ KPa} \frac{\text{m}^3}{\text{Kg K}} * (15^\circ\text{C} + 273.15)\text{K}}$$

$$\rho_o = 1.209 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_a = P_o - (\beta^2 + \xi) * \frac{w a d^2}{2} (\rho_o) 10^{-6}$$

Ecuación 12: Presión de admisión.

$$P_a = 0.1 \text{ MPa} - (3.1) * \frac{82^2}{2} (1.209) 10^{-6}$$

$$P_a = 0.087 \text{ MPa}$$

b) Temperatura de admisión

En su investigación (Jóvaj, 1982) menciona que, la cantidad de gases residuales para motores a gasolina y gas sin sobrealimentación a plena carga $\gamma_r = 0.06 \dots 0.1$, con una temperatura $T_r = 900 \dots 1000 \text{ K}$, calentamiento de carga $\Delta T = 0 \dots 20^\circ\text{C}$.

Interpolación del coeficiente de gases residuales

$$\gamma_r = 0.06 + \frac{(1800 - 1000)(0.1 - 0.06)}{3000 - 1000}$$

$$\gamma_r = 0.076$$

La temperatura de gases residuales

$$T_r = 900 \text{ K} + \frac{(1800 - 1000)(1000 - 900)}{3000 - 1000}$$

$$T_r = 940 \text{ K}$$

Calentamiento de carga de aire

$$\Delta T = 0 + \frac{(1800 - 1000)(20 - 0)}{3000 - 1000}$$

$$\Delta T = 8$$

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}$$

Ecuación 13: Temperatura en admisión.

$$T_a = \frac{(15^\circ\text{C} + 273.15)\text{K} + (8) + (0.076)(940)\text{K}}{1 + 0.076}$$

$$T_a = 341.626 \text{ K}$$

4.9.2. Ciclo de compresión

a) Presión de compresión

En su investigación (Jóvaj, 1982) menciona que, el exponente politrópico medio de compresión $n_1 = 1.30 \dots 1.37$.

Interpolación del exponente politrópico medio de compresión

$$n_1 = 1.3 + \frac{(1800 - 1000)(1.37 - 1.3)}{3000 - 1000}$$

$$n_1 = 1.328$$

$$P_c = P_a * \epsilon^{n_1}$$

Ecuación 14: Presión de compresión

$$P_c = 0.087 \text{ MPa} * 9.8^{1.328}$$

$$P_c = 1.802 \text{ MPa}$$

b) Temperatura de compresión

$$T_c = T_a * \epsilon^{n1-1}$$

Ecuación 15: Temperatura de compresión

$$T_c = 341.626 \text{ K} * 9.8^{1.328-1}$$

$$T_c = 722.226 \text{ K}$$

4.9.3. Ciclo de explosión

En su investigación (Jóvaj, 1982) menciona que, la temperatura de combustión en el ciclo de trabajo $T_z = 2300 \dots 2400 \text{ }^\circ\text{C}$, el coeficiente teórico de variación molecular $\mu_o = 1.08$

a) Temperatura de explosión

Interpolación de la temperatura de explosión

$$T_z = 2300 \text{ }^\circ\text{C} + \frac{(1800 - 1000)(2400 - 2300)}{3000 - 1000}$$

$$T_z = 2340 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_z = 2613.15 \text{ K}$$

b) Presión de explosión

$$\mu_r = \frac{\mu_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r}$$

Ecuación 16: Coeficiente real de variación molecular

$$\mu_r = \frac{1.08 + 0.076}{1 + 0.076}$$

$$\mu_r = 1.074$$

$$P_z = \mu_r * \frac{T_z}{T_c} * P_c$$

Ecuación 17: Presión de explosión

$$P_Z = 1.074 * \frac{2613.15 \text{ K}}{722.226 \text{ K}} * 1.802 \text{ MPa}$$

$$P_Z = 7.002 \text{ MPa}$$

4.9.4. Ciclo de escape

a) Presión de escape

En su investigación (Jóvaj, 1982) menciona que, el coeficiente politrópico de expansión $n_2 = 1.23 \dots 1.30$

Interpolación del coeficiente politrópico

$$n_2 = 1.23 + \frac{(1800 - 1000)(1.3 - 1.23)}{3000 - 1000}$$

$$n_2 = 1.258$$

$$P_b = \frac{P_z}{\varepsilon^{n_2}}$$

Ecuación 18: Presión de escape

$$P_b = \frac{7.002 \text{ MPa}}{9.8^{1.258}}$$

$$P_b = 0.397 \text{ MPa}$$

b) Temperatura de escape

$$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2-1}}$$

Ecuación 19: Temperatura de escape

$$T_b = \frac{2613.15 \text{ K}}{9.8^{1.258-1}}$$

$$T_b = 1450.200 \text{ K}$$

$$\lambda = \frac{Pz}{Pc}$$

Ecuación 20: Grado elevación de presión

$$\lambda = \frac{7.002 \text{ MPa}}{1.802 \text{ MPa}} = 3.886$$

4.9.5. Presión media indicada del ciclo

$$p_{mi} = P_a \frac{\epsilon^{n1}}{\epsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\epsilon^{n2-1}} \right) - \frac{1}{n1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\epsilon^{n1-1}} \right) \right]$$

Ecuación 21: Presión media indicada no redondeada

$$p_{mi} = 0.087 \frac{9.8^{1.328}}{9.8 - 1} \left[\frac{3.886}{1.258 - 1} \left(1 - \frac{1}{9.8^{1.258-1}} \right) - \frac{1}{1.328 - 1} \left(1 - \frac{1}{9.8^{1.328-1}} \right) \right]$$

$$p_{mi} = 0.204 \text{ MPa} [15.062(0.445) - 3.048(0.526)]$$

$$p_{mi} = 1.044 \text{ MPa}$$

4.9.6. Presión media indicada real.

En su investigación (Jóvaj, 1982) emplea el factor de desviación del ciclo real respecto al teórico $\varphi_1 = 0.97$ entonces la presión media indicada real será:

$$P_i = \varphi_1 * p_{mi}$$

Ecuación 22: Presión media indicada real

$$P_i = 0.97 * 1.044 \text{ MPa}$$

$$P_i = 1.013 \text{ MPa}$$

4.9.7. Potencia indicada

$$N_i = \frac{p_{mi} * V_h * N * i}{z * 60}$$

Ecuación 23: Potencia indicada

$$N_i = \frac{1.013 \text{ MPa} * 0.45 \text{ m}^3 * 5800 \text{ RPM} * 4}{2 * 60}$$

$$N_i = 88.131 \text{ KW}$$

4.10. Rendimiento mecánico

Se calcula el rendimiento mecánico estándar del motor y el rendimiento mecánico obtenido con la configuración final de reprogramación.

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$$

Ecuación 24: Rendimiento mecánico

4.10.1. ECU estándar

Mediante las pruebas de dinamómetro se obtuvo la potencia efectiva con la ECU original de: 99.10 HP al convertir resulta 73.89 KW

$$\eta_m = \frac{73.89 \text{ KW}}{88.13 \text{ KW}}$$

$$\eta_m = 0.8384$$

$$\eta_m = 83.84\%$$

4.10.2. ECU reprogramable

En las pruebas de dinamómetro se obtuvo la potencia efectiva final implementada la ECU Megasquirt de: 113.20 HP al convertir resulta 84.41 KW

$$\eta_m = \frac{84.41 \text{ KW}}{88.13 \text{ KW}}$$

$$\eta_m = 0.9578$$

$$\eta_m = 95.78\%$$

4.10.3. Comparación

Mediante la modificación de mapas de eficiencia volumétrica y avance al encendido se obtuvo un aumento del 11.94% en el rendimiento mecánico del motor T18SED.

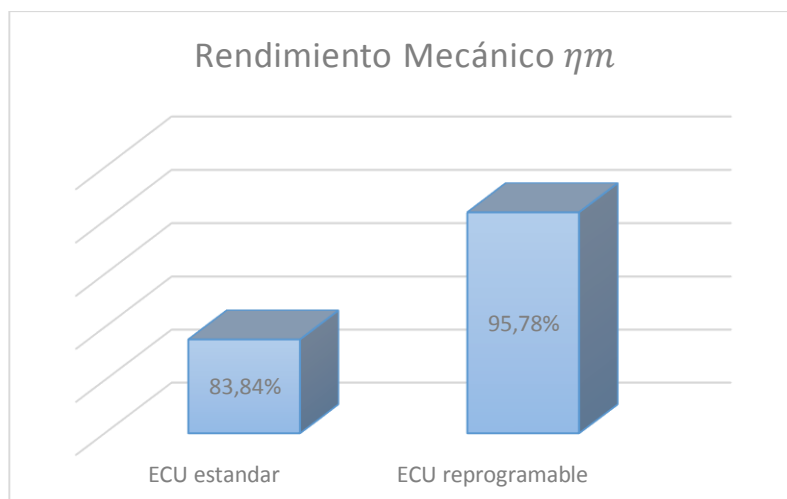


Figura 181: Comparación de rendimientos mecánicos

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Recursos

En el proyecto: Investigación para elevar los parámetros de desempeño del motor de combustión interna T18SED L4 DOHC 1.8l a través de la reprogramación electrónica mediante la conexión en paralelo de una ECU programable, fue necesario contar con recursos humanos, tecnológicos y materiales los cuales fueron factores muy importantes para la culminación del proyecto de investigación.

5.1.1. Recursos humanos

Para el desarrollo del proyecto de investigación se contó con la participación que se detalla en la **tabla 77**.

Tabla 77:

Recursos humanos

Grupo de investigación	
Director	Ing. José Quiroz
Colaborador científico	Ing. Germán Erazo
Investigador 1	Mauricio Javier Tonato C.
Investigador 2	Darío Fernando Pumarica LI.

Los aspectos más relevantes que fueron necesarios para la culminación del proyecto de investigación, fue la capacidad de trabajo grupal que se desarrolló por el Sr. Mauricio Javier Tonato Caiza y Darío Fernando Pumarica Llamatumbi como investigadores.

5.1.2. Recursos tecnológicos

Para el desarrollo de las del proyecto de investigación conlleva el uso de materiales tecnológicos como lo fueron: La ECU reprogramable Megasquirt MS2 extra y su software aplicado el cual fue de mucha ayuda para las calibraciones respectivas, sensor de banda ancha wideband, multímetro automotriz, osciloscopio automotriz, scanner, computador portátil y para verificar los resultados obtenidos se utilizó el dinamómetro que está ubicado

en el taller “Dynamica competición” Quito, y para verificar emisiones de gases se utilizó equipos que están disponibles en el laboratorio de autotrónica.

En la tabla 78 se observa los recursos tecnológicos utilizados en la investigación.

Tabla 78:

Recursos tecnológicos

N°	Recurso
1	ECU programable Megasquirt
2	Sensor wideband
3	Multímetro Automotriz
4	Osciloscopio Automotriz
5	Scanner Automotriz
6	Computadora portátil
7	Dinamómetro
8	Analizador de gases

5.1.3. Recursos materiales

Los recursos materiales son: Herramientas, equipos y todos los elementos necesarios que se utilizaron para la conexión de la ECU reprogramable en el motor, en la tabla 79 se observa los elementos utilizados.

Tabla 79:

Recursos materiales

N°-	Elemento
1	Cable de cobre flexible de cobre #22
2	Cable de cobre flexible de cobre #12
3	Cortafríos
4	Playo
5	alicate
6	Cautín
7	Pasta para soldar
8	Estaño
9	Fusibles
10	Taipe
11	Tornillos
12	Sensor ECT

CONTINÚA 

13	Sensor IAT
14	Socket del sensor ECT e IAT
15	Relés
16	Porta relés
17	Terminales de riel
18	Terminales de ojo
19	Protección plástica

5.1.4. Presupuesto y financiamiento

El presupuesto para el desarrollo del proyecto de investigación y las pruebas realizadas se detalla a continuación en la tabla 80.

Tabla 80:

Presupuesto del proyecto de investigación

Ord.	Cant.	Detalle	Costo Total
1	1	Computadora reprogramable Megasquirt 2	800
2	10	Relés	50
3	2	Porta fusibles	4
4	1	Cable serial	15
5	5	Fusibles	0,50
6	1	Sensor de oxígeno banda ancha	400
7	1	Elementos electrónicos	50
8	5	Gasolina	100
9	1	Calibración de equipos	400
10	1	Movilización	150
11	30m	Cable flexible	15
12	1	Equipo de seguridad personal	10
13	1	Imprevistos	150
14	3	Resma de papel Bond A4	10
15	5000	Copias e Impresiones	40
16	1	Anillado	4
TOTAL GENERAL			2198,50

El total del presupuesto del proyecto de investigación es de 2198,50 dólares americanos, cuyo financiamiento se realizó por parte de los señores: Mauricio Javier Tonato Caiza y Darío Fernando Pumarica Llamatumbi.

CONCLUSIONES

- Se investigó los parámetros de desempeño del motor de combustión interna a través de la reprogramación de una ECU programable.
- Se realizó las mediciones de potencia, torque, consumo de combustible y emisiones de gases, en condiciones estándares del vehículo y con cada una de las reprogramaciones de la Megasquirt.
- Se realizó la reprogramación electrónica del motor de combustión interna, elevando las curvas características del MCI.
- Se determinó el tipo de software y hardware compatible con el motor de combustión interna Chevrolet Optra 1.8.
- Se realizó la conexión de la ECU programable en paralelo con la ECU original en el motor Chevrolet Optra 1.8 l.
- Se tabulo los valores obtenidos con la ECU estándar y las programaciones de la Megasquirt.
- El software dedicado Tunerstudio posee una amplia opción de configuraciones que permiten el control electrónico para una calibración más fina del motor.
- La unidad reprogramable Megasquirt 2 es una computadora muy versátil con la capacidad de ampliar su configuración electrónica para el control de una gran variedad de vehículos.
- La conexión en paralelo entre la ECU reprogramable Megasquirt y ECU original es necesaria para vehículos en los cuales la ECU controla diferentes módulos electrónicos, permitiendo que se mantenga la comunicación con estos módulos durante el funcionamiento de la unidad reprogramable.
- Para la conexión en paralelo de la ECU programable se determinó aspectos muy importantes sobre su finalidad una de estas es para mantener indicadores del motor como es la luz MIL y RPM.
- Mediante la modificación de parámetros de eficiencia volumétrica y avance al encendido se obtuvo un aumento del desempeño mecánico del motor T18SED, aumentando el torque el 18% y la potencia en un 14.22% con respecto los datos obtenidos en las curvas características con la ECU estándar.

- En las pruebas de consumo de combustible se logró constatar, que para la ECU estándar del vehículo se obtuvo un consumo de: 7,59 l/100Km y para la segunda programación en la que se alcanzó la máxima potencia de 113 HP se obtuvo un consumo de 7,73 l/100km, teniendo un incremento de 0,14 l/100km perteneciente al 1,84 % adicional de consumo de combustible.
- En la pruebas de emisiones de gases según la norma INEN 2204:2002 los valores máximos en ralentí permitidos de CO% vol para el motor Optra T18SED es: 1% y para los hidrocarburos HC es de 200 ppm, y los valores generados en el analizador de gases de CO% vol para la ECU estándar es: 0,34 y los HC ppm es: 182 y para la segunda programación con la Megasquirt en CO% vol es: 0,16 y para los HC es: 253, la cual se llega a la conclusión que con la ECU estándar pasa la prueba y con la ECU Megasquirt no pasaría por los HC.

RECOMENDACIONES

- Durante la afinación de los mapas de eficiencia volumétrica es necesario conocer la relación de aire/combustible indicada en cada una de las zonas para lograr un desempeño adecuado del motor.
- Para la afinación de los mapas de encendido se debe evitar el golpeteo producido por un adelanto excesivo de encendido para evitar daños mecánicos internos del motor.
- Previo a la utilización del dinamómetro de rodillos, se debe utilizar fajas que inmovilicen el vehículo ya que a altas RPM el vehículo pierde estabilidad sobre los rodillos.
- Aplicar una carga hidráulica óptima en el dinamómetro de rodillos para que el motor desarrolle la máxima potencia a altos regímenes de RPM para tener una mayor facilidad en la modificación de los mapas.
- Se debe implementar dos sensores adicionales de IAT y ECT, para la conexión en paralelo ya que estos sensores generan voltaje de referencia y al mismo instante señal a las ECU's y generan interferencia entre las dos ECU's.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anm, A. (7 de 06 de 2012). *Sistema electrónico del auto*. Recuperado el 24 de mayo de 2017, de <http://rime-elganadorcomtlic.blogspot.com/2012/06/modulo-de-automovil-ecu-engine-control.html>
- Banish. (2007). *Engine management advanced tuning*. North Branch: CarTech.
- Banish. (2009). *Designing and Tuning High-Performance Fuel Injection Systems*. North Branch: CarTech®.
- Bosch. (2002). *BOSCH Automotive Handbook*. Robert Bosch GmbH.
- Cise. (24 de 08 de 2015). *cise.com*. Recuperado el 14 de enero de 2018, de <http://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/167-procesamiento-de-datos-controladores-y-memorias-computadoras-automotrices>
- Consejo Metropolitano De Quito. (2000). *De control de la contaminacion vehicular*. Quito.
- Díaz, & Sopa. (2013). *reprogramación electrónica del vehículo corsa evolution 1.4 para elevar los parámetros característicos del motor de combustion interna*. Latacunga.
- E-auto. (05 de 12 de 2017). Recuperado el 19 de septiembre de 2017, de http://www.e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=224
- E-auto. (12 de 05 de 2017). Recuperado el 10 de febrero de 2018, de http://www.e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=225
- EngineBasics. (05 de 12 de 2017). Recuperado el 25 de agosto de 2017, de <http://www.enginebasics.com/EFI%20Tuning/AF%20Ratio%20Basics.html>
- Escola, C. D., & Mora, F. J. (2017). *Investigación del desempeño térmico y mecánico de un motor suzuki 1300 al implementar el sistema de estrangulación independiente ITB*. Latacunga.

- Fernandez, S. (01 de 10 de 2010). *Cise.com*. Recuperado el 10 de agosto de 2017, de <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/174-introducci%C3%B3n-al-flash-y-reprogramaci%C3%B3n-j2534.html>
- Fidalgo, R. (27 de 11 de 2014). *Autocasion.com*. Recuperado el 20 de julio de 2017, de <http://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/como-reprogramar-tu-motor>
- Foroshonda. (1 de 10 de 2009). Recuperado el 12 de julio de 2017, de <https://www.foroshonda.com/index.php?threads/inyectores.809/>
- Garrido, G. (05 de 12 de 2017). *mexaescuadron*. Recuperado el 20 de febrero de 2018, de <http://elmexaescuadron832.blogspot.com/2013/06/>
- Haltech. (22 de 04 de 2013). *Haltech engine management systems*. Recuperado el 24 de septiembre de 2017, de www.haltech.com
- Haltech. (05 de 12 de 2017). *HALTECH ENGINE MANAGEMENT SYSTEMS*. Recuperado el 20 de julio de 2017, de <http://www.haltech.com/wideband-o2-sensors-explained/>
- InnovateMotorSports. (2017). LC-2 Digital Air/Fuel Ratio (Lambda). *InnovateMotorSports*, 2-3.
- IUPAC. (2014). *Gold Book*. Recuperado el 14 de noviembre de 2017, de IUPAC: <http://goldbook.iupac.org/html/S/S06036.html>
- Jóvaj, M. (1982). *Motores del automóvil*. Moscú: MIR.
- Kraeling, M., & Oshana, R. (2013). *Software Engineering for Embedded Systems*. United States of America: Elsevier.
- Krüger, M., Straube, S., Middendorf, A., Hahn, D., Dobs, T., & Lang, K.-D. (2016). Requirements for the application of ECUs in e-mobility originally qualified for gasoline cars. 1.
- Martínez. (2011). *Conducción eficiente de vehiculos industriales*. Madrid: IDAE.
- Mecanicaplus. (2 de 11 de 2014). Recuperado el 21 de julio de 2017, de <https://www.youtube.com/watch?v=q689NkyCDFE>

- Megasquirt. (2012). *Engine management systems*. Recuperado el 17 de enero de 2018, de www.msextra.com
- Megasquirt. (2016). MS2/V3.57 Hardware Manual. *Msextra*, 14.
- Mendoza, E. (2010). *Desarrollo de una unidad de control electrónica (ecu) dedicada al gobierno de motores de combustión interna*. Barcelona: Escola Universitària d'Enginyeria.
- Nuñez, C. (2012). Curvas características de motores y vehículos . 22.
- Ramirez. (2004). *Centrales Electrònicas* . Bogota.
- Schuch, F. W. (s,f). *Manual de la técnica del Automovil*. Barcelona: Reverté.
- Tecnoautos. (07 de 05 de 2011). *TECNOAUTOS*. Recuperado el 21 de enero de 2018, de <https://tecnoautos.com/automoviles/fichas-tecnicas/ficha-tecnica-del-chevrolet-optra-1-8-lt-ensamblado-en-2008/>
- Terán, J. L. (2013). *Evaluación del consumo de combustible de vehículos livianos en el distrito metropolitano de Quito* . Quito .
- Troya , S. (14 de 09 de 2012). *Investigacion.com*. Recuperado el 18 de noviembre de 2017, de <http://investigacion-reconstruccion-traffic.blogspot.com/2012/09/la-potencia-y-el-par-motor.html>
- Xunta Galicia. (sf de sf de sf). *Análisis de gases*. Recuperado el 14 de enero de 2018, de <http://www.edu.xunta.gal/centros/cifpsomeso/system/files/ANALISIS+DE+GASES.pdf>

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores **MAURICIO JAVIER TONATO CAIZA** y **DARÍO FERNANDO PUMARICA LLAMATUMBI**.

En la ciudad de Latacunga, a los **26 días del mes de febrero del 2018**.

Ing. José Quiroz

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Freddy Jaramillo

SECRETARIO ACADÉMICO