



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ

**“ADAPTACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A
CARBURADOR A UN SISTEMA DE INYECCIÓN Y
VERIFICACIÓN DEL TORQUE Y POTENCIA EN UN
DINAMÓMETRO.”**

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

STEEVEN EFRAÍN RODRÍGUEZ TAPIA

WILLIAM GERMÁNICO PLASENCIA CAIZA

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ

**“ADAPTACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A
CARBURADOR A UN SISTEMA DE INYECCIÓN Y
VERIFICACIÓN DEL TORQUE Y POTENCIA EN UN
DINAMÓMETRO.”**

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: STEEVEN EFRAÍN RODRÍGUEZ TAPIA
WILLIAM GERMÁNICO PLASENCIA CAIZA

DIRECTOR: ING. PAÚL ALEJANDRO MONTÚFAR PAZ

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Steeven Efraín Rodríguez Tapia & William Germánico Plasencia Caiza

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Steeven Efraín Rodríguez Tapia y William Germánico Plasencia Caiza, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 09 de septiembre de 2021



Steeven Efraín Rodríguez Tapia

070549336-9

William Germánico Plasencia Caiza

050364080-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de integración curricular: Tipo: Proyecto Técnico, “**ADAPTACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A CARBURADOR A UN SISTEMA DE INYECCIÓN Y VERIFICACIÓN DEL TORQUE Y POTENCIA EN UN DINAMÓMETRO**”, realizado por los señores: **STEEVEN EFRAÍN RODRÍGUEZ TAPIA y WILLIAM GERMÁNICO PLASENCIA CAIZA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DE TRIBUNAL	_____	2021-09-09
Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2021-09-09
Ing. Víctor David Bravo Morocho MIEMBRO DE TRIBUNAL	_____	2021-09-09

DEDICATORIA

Para mi familia quien de una u otra forma me han ayudado a culminarlo.

Steeven Efraín Rodríguez Tapia

El presente proyecto técnico va dedicado a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a su estructura general de docencia , que con los conocimientos impartidos en clase y la auto educación han sido de gran ayuda para poder culminar el proyecto de finalización de carrera, en la escuela de Ingeniería Automotriz, Facultad de Mecánica, además dedicar a mis padres, hermanas y hermanos políticos, por su apoyo moral y económico permanente, así me han levantado de varios traspiés con el fin de ayudarme a cumplir una meta que me prometí cuando apenas comenzaba a tener aspiraciones.

William Germánico Plasencia Caiza

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi papá por su apoyo incondicional en el trabajo de titulación, además de consejos técnicos para culminar de una forma en la que no solo funcione bien si no que también se vea bien, agradezco a mi mamá por su apoyo emocional y por estar ahí cuando más la necesitaba.

Gracias a toda mi familia que ha estado pendiente de mí en toda mi etapa universitaria brindándome un sinfín de ayuda, y, por último, gracias a todos mis amigos con los que he compartido todos estos años y hemos librado miles de batallas en las aulas, espero que les vaya bien en su vida profesional y personal.

Steeven Efraín Rodríguez Tapia

Agradezco a Dios, por haberme mantenido bajo sus bendiciones ante las adversidades tan complicadas de la vida.

Gracias a mis padres: Fausto Germánico Plasencia Minta Y María Luisa Caiza Caiza por ser los principales participes de mi gran camino universitario, además de creer en mis aspiraciones y sueños, gracias por nunca dejar de apoyarme.

William Germánico Plasencia Caiza

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Justificación	3
1.3.1. <i>Justificación Teórica</i>	3
1.3.2. <i>Justificación Metodológica</i>	3
1.3.3. <i>Justificación práctica</i>	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Estado del arte	5
2.1.1. <i>Sistemas de inyección electrónica</i>	5
2.1.2. <i>Sistema de Inyección Programable</i>	6
2.2. Sensores	7
2.2.1. <i>MAP (Manifold Absolute Pressure)</i>	7
2.2.2. <i>TPS (Throttle Position Sensor)</i>	8
2.2.3. <i>ECT (Engine Coolant temperature)</i>	9
2.2.4. <i>IAT (Intake Air Temperature)</i>	9
2.2.5. <i>Sonda Lambda – Sensor de oxígeno</i>	9
2.2.6. <i>CKP (Crankshaft Position)</i>	10
2.3. Actuadores	12

2.3.1.	<i>Bomba de alimentación</i>	13
2.3.2.	<i>Inyectores</i>	14
2.3.3.	<i>Relés (Relay)</i>	18
2.3.4.	<i>Bobinas de encendido</i>	19
2.4.	Tanque de combustible	23
2.5.	Regulador de combustible	24
2.6.	Riel de inyectores	25
2.7.	Circuito de admisión	26

CAPÍTULO III

3.	DISEÑO Y ADAPTACIÓN DEL SISTEMA	27
3.1.	Diseño del múltiple de admisión	27
3.1.1.	<i>Sección del ducto</i>	28
3.1.2.	<i>Diámetro del ducto</i>	29
3.1.3.	<i>Longitud del ducto</i>	29
3.1.4.	<i>Diámetro de la mariposa</i>	29
3.1.5.	<i>Plenum de admisión</i>	30
3.1.6.	<i>Asientos de los inyectores</i>	30
3.2.	Selección de inyectores	32
3.3.	Selección de la Bomba	34
3.4.	Desmontaje de elementos	34
3.4.1.	<i>Múltiple de admisión</i>	34
3.4.2.	<i>Bujías</i>	35
3.4.3.	<i>Bobina de encendido</i>	36
3.4.4.	<i>Depósito de combustible</i>	37
3.5.	Adaptación de los elementos	37
3.5.1.	<i>Rueda fónica y sensor CKP</i>	37
3.5.2.	<i>Múltiple de admisión y riel de inyectores</i>	40
3.5.3.	<i>Sistema de combustible</i>	41
3.5.4.	<i>ECU y accesorios</i>	41
3.6.	Programación	45
3.6.1.	<i>Creación de un nuevo proyecto</i>	45
3.6.2.	<i>Calibración de sensores</i>	50
3.6.3.	<i>Caracterización de los inyectores</i>	51
3.6.4.	<i>Modificación en los circuitos integrados de la ECU</i>	52
3.6.5.	<i>Tabla VE</i>	53

3.6.6.	<i>Tabla de Ignición</i>	57
3.6.7.	<i>Compensación de combustible en arranque y calentamiento.</i>	60
3.6.8.	<i>Pulso de arranque</i>	61
3.6.9.	<i>Enriquecimiento post arranque (ASE)</i>	61
3.6.10.	<i>Enriquecimiento post arranque (ASE) Taper</i>	62
3.6.11.	<i>Multiplicador de porcentaje de enriquecimiento de calentamiento. (EUA - WUE).</i> 62	
3.6.12.	<i>Enriquecimiento por aceleración (AE)</i>	63
3.6.13.	<i>Corte de combustible por desaceleración.</i>	64
3.6.14.	<i>Limitador de revoluciones del motor</i>	64
3.7.	Pruebas	65
3.7.1.	<i>Compresión del motor</i>	65
3.7.2.	<i>Pruebas con el sistema de carburador</i>	66
3.7.3.	<i>Pruebas con el sistema de inyección programable</i>	72
3.8.	Análisis y comparativa de resultados	74
3.9.	Análisis Económico	77

CAPÍTULO IV

4.	GESTIÓN DEL PROYECTO	79
4.1.	Cronograma de actividades	79
4.2.	Presupuesto	79

	CONCLUSIONES	80
--	---------------------------	----

	RECOMENDACIONES	81
--	------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Valores referenciales para selección de bobina	21
Tabla 2-2:	Valores referenciales para diagnosis	22
Tabla 3-2:	Valores referenciales para diagnosis	23
Tabla 1-3:	BSFC en motores de combustión interna y encendido provocado	32
Tabla 2-3:	Diagnóstico de bujías	35
Tabla 3-3:	Valores de comparación entre bobina nueva y bobina desmontada	37
Tabla 4-3:	Cableado eléctrico	44
Tabla 5-3:	Cálculos de valores VE en función del MAP	54
Tabla 6-3:	Valores de compresión obtenidos antes de la calibración	66
Tabla 7-3:	Valores de compresión obtenidos después de la calibración	66
Tabla 8-3:	Valores obtenidos de prueba en dinamómetro sin factor de corrección	67
Tabla 9-3:	Valores obtenidos de prueba en dinamómetro con factor de corrección	67
Tabla 10-3:	Valores comparativos de INEN 2017 y Valores permisibles Ecuador	70
Tabla 11-3:	Valores obtenidos en prueba de gases contaminantes	70
Tabla 12-3:	Valores obtenidos de la prueba de consumo de combustible Carburador	72
Tabla 13-3:	Valores obtenidos en prueba de gases contaminantes con sistema de inyección	73
Tabla 14-3:	Valores obtenidos de la prueba de consumo de combustible con sistema de inyección	74
Tabla 15-3:	Límites máximo permisibles para pruebas estáticas	76
Tabla 1-4:	Cronograma de actividades	79
Tabla 2-4:	Lista de materiales con su respectivo costo y modelo	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Oscilograma de sensor MAP analógico	8
Figura 2-2:	Oscilograma de sensor TPS analógico	8
Figura 3-2:	Oscilograma de sensor ECT analógico	9
Figura 4-2:	Oscilograma de sensor Oxígeno analógico	10
Figura 5-2:	Esquema de conexión del sensor CKP	11
Figura 6-2:	Oscilograma CKP analógico	12
Figura 7-2:	Oscilograma CKP digital	12
Figura:8-2:	Conexión de la bomba de combustible	14
Figura 9-2:	Representación de un inyector	15
Figura 10-2:	Representación del circuito de conexión de inyectores	16
Figura 11-2:	Representación de señal de inyección	17
Figura 12-2:	Representación de un relé automotriz	18
Figura 13-2:	Representación de un relé con activación	19
Figura 14-2:	Representación bobina distribuidor	21
Figura 15-2:	Representación bobinas de chispa perdida	21
Figura 16-2:	Representación bobinas individual	22
Figura 17-2:	Representación bobina de encendido	23
Figura 18-2:	Representación de un tanque de combustible	24
Figura 19-2:	Representación de un tanque de combustible	24
Figura 20-2:	Representación de un riel de inyección	26
Figura 21-2:	Representación circuito de admisión	26
Figura 1-3:	Esquema Vista superior del múltiple de admisión	31
Figura 2-3:	Vista lateral del múltiple de admisión	31
Figura 3-3:	Riel de inyección	31
Figura 4-3:	Caudal y Resistencia de inyectores Bosch	33
Figura 5-3:	Caudal de inyectores en función de su cantidad y potencia máxima del motor	34
Figura 6-3:	Desmontaje del múltiple de admisión del sistema carburado	35
Figura 7-3:	Conductos de entrada de la mezcla hacia los cilindros	35
Figura 8-3:	Desmontaje y estado de bujías en sistema por carburador	36
Figura 9-3:	Desmontaje y estado del depósito de combustible	37
Figura 10-3:	Rueda fónica 60-2	38
Figura 11-3:	Acople de rueda fónica con la polea del cigüeñal	38
Figura 12-3:	Rueda fónica instalada en el motor	39
Figura 13-3:	Base de aluminio para el sensor CKP	39

Figura 14-3:	GAP entre el CKP y la Rueda Fónica.....	40
Figura 15-3:	Esquema calibración ckp y rueda fónica.....	40
Figura 16-3:	Instalación del múltiple de admisión junto con el riel de inyección	41
Figura 17-3:	Instalación bomba de combustible.....	41
Figura 18-3:	Instalación de filtro regulador.....	41
Figura 19-3:	Ubicación ECU	42
Figura 20-3:	Conjunto de fusibles y relés.....	42
Figura 21-3:	Esquema eléctrico de instalación	43
Figura 22-3:	Circuito interno de la ECU	43
Figura 23-3:	Esquema de la conexión de un Relé.....	45
Figura 24-3:	Ventana Nuevo Proyecto	46
Figura 25-3:	Ventana 2 Nuevo Proyecto	46
Figura 26-3:	Ventana Principal.....	47
Figura 27-3:	Esquema Estrategia por MAF.....	48
Figura 28-3:	Esquema Estrategia Speed Density.....	48
Figura 29-3:	Ventana Configuración del motor.....	49
Figura 30-3:	Ventana Configuración de encendido.....	50
Figura 31-3:	Ventana Calibración Sensores	50
Figura 32-3:	Ventana Calibración TPS.....	51
Figura 33-3:	Ventana Calibración Termistores.....	51
Figura 34-3:	Caracterización del inyector.....	52
Figura 35-3:	Potenciómetros para calibración del CKP	53
Figura 37-3:	Tabla base VE en 3D	55
Figura 38-3:	AFR en función de la potencia.....	56
Figura 39-3:	Emisiones vs Lambda	56
Figura 40-3:	Eficiencia de consumo de combustible vs AFR.....	57
Figura 41-3:	Gráfica de presión del cilindro vs ángulo de ignición.....	58
Figura 42-3:	Tabla base ignición en 2D.....	59
Figura 43-3:	Tabla base ignición en 3D.....	60
Figura 44-3:	Tabla pulso de cebado.....	61
Figura 45-3:	Tabla pulso de arranque	61
Figura 46-3:	Tabla Enriquecimiento post arranque (ASE)	62
Figura 47-3:	Tabla Enriquecimiento post arranque (ASE) Taper.....	62
Figura 48-3:	Tabla Multiplicador de porcentaje de enriquecimiento de calentamiento	63
Figura 49-3:	Selección del tipo de enriquecimiento por aceleración.....	63
Figura 50-3:	Enriquecimiento por aceleración	64
Figura 51-3:	Corte de combustible en desaceleración	64

Figura 52-3:	Limitador de revoluciones	65
Figura 53-3:	Medición de compresión en cada uno de los cilindros del motor	66
Figura 54-3:	AFR medido en el dinamómetro en ralentí con sistema carburado	69
Figura 55-3:	AFR medido en el dinamómetro a 1000 RPM con sistema carburado	69

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Curvas torque y potencia con sistema a carburador	68
Gráfico 2-3:	Representación % CO, ralenti, 2400 rpm	71
Gráfico 3-3:	Representación HC, ralenti, 2400 rpm	71
Gráfico 4-3:	Representación % CO ₂ , ralenti, 2400 rpm	72
Gráfico 5-3:	Torque y potencia con sistema de inyección	73
Gráfico 6-3:	Comparativa del torque y potencia entre el sistema de carburador e inyección.	75
Gráfico 7-3:	Análisis de gases contaminantes Carburador vs Inyección en ralenti	75
Gráfico 8-3:	Análisis de gases contaminantes Carburador vs Inyección (2400 rpm)	76
Gráfico 9-3:	Comparativa de consumos Carburador vs Inyección	77

RESUMEN

El presente trabajo consistió en la adaptación de un sistema de inyección electrónica programable en un vehículo con sistema de carburador (Mitsubishi L200) con la finalidad de aumentar la potencia y torque del vehículo disminuyendo el consumo de combustible y a su vez emitir menos gases contaminantes al ambiente. Se adaptó todo el hardware necesario para que funcione un sistema de inyección multipunto realizando los cálculos pertinentes para el diseño de un múltiple de admisión y selección de componentes como inyectores, bomba de combustible, etc. Con los componentes instalados según las necesidades del motor se procedió a la programación del software para así obtener una mezcla lo más cercana a la estequiométrica o mezcla ideal de 14.7 partes de aire por 1 de gasolina. Se utilizó un dinamómetro para medir la potencia a las ruedas y con la ayuda de un sensor de oxígeno de banda ancha y un analizador de gases se tomaron distintas medidas a los gases emitidos del motor por el tubo de escape. Con la implementación del sistema de inyección se logró un aumento de la potencia de más del doble y con un ahorro del 60.4% en consumo de combustible, este ahorro viene acompañado de una reducción del 45% de emisiones de hidrocarburos. En conclusión, obtenemos un vehículo más amigable con el medio ambiente, consume menos combustible ayudando así a la economía del dueño y con un aumento considerable en torque y potencia. Se recomienda una revisión previa del motor, ya que nos debemos asegurar que se encuentre en óptimas condiciones antes de programar y sobre todo que no haya problemas cuando se realicen las pruebas en el dinamómetro.

Palabras clave: <INYECCIÓN PROGRAMABLE>, <DISEÑO DE MÚLTIPLE DE ADMISIÓN>, <POTENCIA>, <CONSUMO DE COMBUSTIBLE>, <EMISIONES>, <DINAMÓMETRO >.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

2220-DBRA-UPT-2021

2021-12-08

ABSTRACT

The present work consisted of adapting a programmable electronic injection system in a vehicle with a carburetor system (Mitsubishi L200) in order to increase the power and torque of the vehicle, reducing fuel consumption and in turn emitting less polluting gases into the environment. All the hardware necessary for a multipoint injection system to work was adapted by performing the pertinent calculations for the design of an intake manifold and selection of components such as injectors, fuel pump, etc. With the components installed according to the needs of the engine, the software was programmed to obtain a mixture as close to the stoichiometric or ideal mixture of 14.7 parts of air for 1 of gasoline. A dynamometer was used to measure the power to the wheels and with the help of a broadband oxygen sensor and a gas analyzer, different measurements were taken of the gases emitted from the engine by the exhaust pipe. With the implementation of the injection system, an increase in power of more than double was achieved and with a saving of 60.4% in fuel consumption, this saving is accompanied by a 45% reduction in hydrocarbon emissions. In conclusion, a more environmentally friendly vehicle was obtained, it consumes less fuel thus helping the owner's economy and with a considerable increase in torque and power. A prior check of the engine is recommended, as it must be ensured that it is in optimal condition before programming and, above all, that there are no problems when the dynamometer tests are carried out.

Keywords: <PROGRAMMABLE ELECTRONIC INJECTION SYSTEM> <INTAKE MANIFOLD DESIGN> <POWER> <FUEL CONSUMPTION><DYNAMOMETER>.

LUIS
FRANCISCO
MANTILLA
CABRERA



Firmado
digitalmente por
LUIS FRANCISCO
MANTILLA CABRERA
Fecha: 2021.12.14
09:48:31 -05'00'

INTRODUCCIÓN

Desde que se fabricó el primer vehículo de combustión interna con gasolina en 1860, la evolución de la industria automotriz ha sido continua, cada año se busca conseguir un motor más eficiente y amigable con el medio ambiente. Según los datos de fábrica, el coche modelo Hispano-Suiza Alfonso XIII para el año 1914, lograba recorrer 5km/litro. El contraste con la actualidad es que ahora hay vehículos que consumen 5.7 l/100 Km.

Esta mejora en la eficiencia energética viene influenciada en gran parte por toda la gestión electrónica que se ha venido implementando en los vehículos, en 1939 se presenta el primer sistema de inyección de gasolina de Bosch en la exposición de automóviles en Frankfurt y en el año 2000 se empiezan a usar el sistema Motronic que permite combinar el menor consumo de combustible con el mayor rendimiento del motor. (BOSCH, 2010) Con la electrónica se podrá tener un mayor control y hacer el proceso de combustión más eficiente y así aumentar el torque y potencia del motor y a su vez reducir las emisiones contaminantes. Con la adaptación de un motor de carburador a inyección se podrá reducir alrededor de un 68% el CO, 85% los HC, 63% de NO, 20% consumo del combustible. Aumentar en un 25% la potencia y 7% el torque aproximadamente. (Erazo, 2012)

Este trabajo trata de conseguir resultados similares al de otros autores y así contribuir con la reducción de gases contaminantes en la atmosfera y el consumo de hidrocarburos como la gasolina.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

En la actualidad pese a que el desarrollo automotriz está en pleno auge con diferentes tecnologías de punta para mejorar el consumo, eficiencia, seguridad, rapidez, contaminación y confort en vehículos, la existencia de sistemas de alimentación fuera de época como son los sistemas a carburador que aún existen en el país sobre todo en grandes ciudades como en la ciudad de Quito que al menos el 25% de los vehículos que circulan por la ciudad aun contienen dicho sistema de alimentación. Pese a que en ciudades con menor cantidad de habitantes la tendencia y concurrencia de vehículos alimentados por dicho sistema puede incrementar hasta en un 35%. (Hora, 2015)

En cuanto a la necesidad de reducir la contaminación y estandarizar los sistemas de diagnóstico abordo, en Estados Unidos, la 'California Air Resources Board' determinó en 1988 todos los automóviles a gasolina contarán con un elemento que les permitiera realizar diagnósticos al motor, de ahí nace el nombre de On Board Diagnostics (OBD), con ello permite controlar los límites máximos de emisiones mediante dispositivos de mandos electrónicos.

En el transcurso de los años 1824 hasta 1875 el desarrollo del carburador fue de manera consecutiva con diferentes nombres importantes que fueron realizando grandes cambios y avances al carburador, en cuanto a la primera bomba de inyección fue probada en el año 1932 con el ensayo sistemático de inyección en un motor de aviación, por el año de 1951 hasta el año 1957 la aparición de sistemas de inyección para motores de pequeño cilindraje comenzó.

A partir de 1984 aparecieron los primeros vehículos fuel injection, el principio de funcionamiento de la inyección electrónica de combustibles es muy sencillo. Los inyectores se abren no solo por la presión del combustible que está en las líneas de distribución sino también por los solenoides accionados por una unidad electrónica de control puesto que el combustible no tiene que vencer una resistencia que no sea las insignificantes pérdidas debidas a la fricción la presión de la bomba puede fijarse en valores muy bajos compatibles con los mites para obtener atomización completa con el tipo de inyectores utilizados.

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad los niveles de contaminación se han incrementado de una forma drástica, por el excesivo uso de químicos en los campos, la tala de bosques conjuntamente con la explotación de combustibles fósiles además la explotación minera que ayuda a generar todo tipo de elementos móviles que serán utilizados en la industria automotriz y en diferentes campos de producción industrial.

Mediante la adaptación de un motor de combustión interna con sistema de carburador a un sistema actual de inyección electrónica, se buscará dar soluciones rápidas, eficaces y de bajo costo a vehículos que forman parte de la matriz productiva en el país, al mismo tiempo este tipo de vehículos tienden a quedar inutilizados por diferentes exigencias que tiene el operario como: el consumo de combustible en la jornada laboral ya que la misma conforma una trayectoria por los sitios de trabajo o de mantenimiento ya que se encuentran alejadas del lugar de residencia o taller mecánico, de igual forma la necesidad de incrementar el torque y la potencia del motor para la circulación por terrenos difíciles, así también la disminución en los porcentajes de gases contaminantes generados por la combustión, finalmente por la generación de avería en el motor en el momento del cambio constante de locaciones geográficas en una sola jornada laboral.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación Teórica

Mediante el presente trabajo de grado se utilizarán los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Automotriz para lograr de forma eficaz y eficiente un sistema de inyección electrónica programable adaptado a las necesidades del vehículo, mediante las pruebas en el dinamómetro, analizador de gases y de consumo de combustible se validará el proyecto.

1.3.2. Justificación Metodológica

Para la realización del proyecto se comenzará con una investigación detallada y minuciosa de todos los parámetros que se deben considerar para poder adaptar un sistema de inyección electrónica en un motor con sistema de carburador. Una vez se haya generado un marco teórico que sustente el trabajo se procederá con la elección de elementos que se acoplen y cumplan de forma eficiente las necesidades del motor.

Con el hardware instalado en el vehículo se procederá a trabajar en el software del control motor, realizando distintas pruebas en el dinamómetro para asegurar que es la configuración y puesta a punto más eficiente del motor.

1.3.3. Justificación práctica

El proyecto de titulación generará un impacto positivo en aspectos de eficiencia energética y medio ambiente, ya que al poder controlar la cantidad de combustible y avance de chispa se trabajará cerca de la mezcla estequiométrica perfecta, lo cual da como resultado una máxima potencia con la menor cantidad de gases contaminantes emitidos por el tubo de escape. Esta precisión en el control de combustible es imposible de realizar en un sistema de carburador, por lo que al pasar un vehículo con este sistema a uno de inyección electrónica se obtendrá un vehículo que genera un menor impacto ambiental.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Adaptar un sistema de inyección electrónica a un motor de combustión interna con sistema de alimentación por carburador con el fin de aumentar el torque y potencia.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica sobre los sistemas de inyección electrónica y adaptaciones de sistemas de carburador a inyección.
- Seleccionar los sensores y actuadores adecuados que satisfagan las necesidades del vehículo.
- Determinar los parámetros para los mapas de entrega de combustible y chispa.
- Realizar pruebas y correcciones del sistema.
- Evaluar los resultados de consumo de combustible, gases contaminantes, torque y potencia.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

2.1.1. *Sistemas de inyección electrónica*

Con la rápida evolución de los motores de los automóviles, el antiguo carburador ya no suplía las necesidades de los nuevos vehículos, en lo que se refiere a la contaminación, ahorro de combustible, potencia, respuestas rápidas en las aceleraciones, etc. (BOSCH, 2010).

La idea del sistema de inyección de combustible ya toma importancia desde los años 1893 cuando Rodolf Diesel intentaba encontrar soluciones para el buen funcionamiento de su motor, cabe recalcar que una inyección diésel es muy diferente a la inyección de gasolina, sin embargo, es destacable la presencia del método de inyección como suministro de combustible al motor desde hace más de un siglo.

La primera industria en interesarse en la inyección de gasolina fue la industria de la aviación, ya que con el paso del tiempo conseguirían elevar el techo de los aviones y debido a los cambios de presiones atmosféricas en las que se veían envueltos, los motores podían perder hasta un 50% de potencia a 5400 metros sobre el nivel del mar respecto a la potencia alcanzada en condiciones normales de 1 atmosfera. Los primeros estudios sobre inyección de gasolina en motores de aviación se pueden encontrar desde 1935 a cargo de Mercedes Benz y Bosch. (Ramirez García, y otros, 1996)

En 1939 sale a la luz el primer sistema de inyección de gasolina Bosch en la exposición de automóviles en Frankfurt y en 1954 Mercedes Benz lanzó al mercado su vehículo deportivo 300 SL. Esta tecnología no solo se aplicaba a vehículos de calle, sino que también tomó importancia en el mundo de la competición, incluso mayor importancia ya que años atrás en 1949 sale a la luz en Indianápolis un motor OFFENHAUSER y en 1953 corre en Europa un auto con motor CONNAUGHT que había tomado inspiración en la tecnología americana.

Desde los años 60 hasta la actualidad han ido apareciendo diferentes normas y regulaciones sobre los gases contaminantes que generan los motores de combustión interna, para poder sobrellevar y cumplir con todas estas directrices impuestas por los diferentes gobiernos y organizaciones, el

sistema de inyección de gasolina ha tenido una constante evolución. Dentro de los sistemas creados por Bosch podemos encontrar sistemas de inyección mecánicos como el K – Jetronic, este sistema ha ido evolucionando y ya en el año 1982 se lanza una actualización con ayudas electrónicas denominado KE – Jetronic. Para el año 1989 se empieza usar el sistema Motronic, el cual combina el sistema de inyección y el sistema de encendido para la gestión del motor. Gracias al procesamiento digital de los datos y a los microprocesadores se puede transformar una enorme cantidad de datos recogidos por sensores, como temperatura del motor, temperatura del aire de admisión, rpm, posición de la aleta de aceleración, entre otros, en datos de inyección y encendido. Es en base a este sistema donde vamos a trabajar para lograr la transformación de sistema de carburador a un sistema de inyección electrónica. (BOSCH, 2010)

2.1.2. Sistema de Inyección Programable

Los sistemas de inyección programable son usualmente usados en vehículos de competencia y en transformaciones de un motor con carburador a uno con sistema de inyección electrónica, una actualización de este estilo puede mejorar la eficiencia, la flexibilidad a los cambios climáticos y al confort de conducción en general. En vehículos de competencia se las usa con el fin de aumentar la potencia y el torque respecto a la ECU de fábrica ya que, si uno no tiene acceso adecuado a todos los mapas de calibración en una ECU de fábrica, puede ser absolutamente imposible ajustar algunas combinaciones de hardware correctamente. (Banish, 2009)

Con un sistema de inyección programable se puede tener un control más exacto en la entrega de combustible para conseguir una mezcla estequiométrica perfecta, esto hace referencia a entregar el combustible exacto que se necesita mezclar con la cantidad de aire que ingresa al cilindro del motor, se tiene que por norma general la mezcla estequiométrica de la gasolina es de 14.7:1, es decir que se necesita 14.7 partes de aire por 1 parte de gasolina, con esta relación se obtiene la máxima potencia del motor con la menor cantidad de gases contaminantes. Mezclas más ricas tienden a generar una mayor potencia y mezclas más pobres un mayor ahorro de combustible, sin embargo, las emisiones contaminantes aumentan en ambos casos.

El proceso de combustión se ve afectado por diversos factores como el clima, aquí puede influir los cambios de presión, humedad y temperatura del aire; factores como la velocidad del motor y la carga a la que está sometido, ya que estos son unos puntos importantes cuando se selecciona los valores de salto de chispa. Estos cambios que se tienen son prácticamente imposibles de compensar en un sistema a carburador, por lo que al implementar un sistema de inyección electrónica se tiene un control más exacto sobre todas estas variables de entrada, por lo que ajustando la programación de la ECU se obtiene un mejor desempeño del motor.

En vehículos de competencia, debido al cambio o adaptación de varias partes como turbos, arboles de leva, aumento de la cilindrada y relación de compresión, inyección de NO, entre otros, la programación original de la ECU ya no se puede adaptar para obtener las mejores prestaciones del motor y al no siempre poder ingresar y modificar todos sus parámetros se opta por la instalación de una ECU programable o Standalone, logrando así acceso total a no solo los mapas de inyección y gasolina, sino también a mapas de presiones de turbo, comando de inyectores adicionales, controles de largada, incluso tener varios mapas del motor para diferentes circunstancias.

2.2. Sensores

2.2.1. MAP (*Manifold Absolute Pressure*)

Es el encargado de medir el vacío en el colector de admisión, puede tener una salida de voltaje analógica o digital, esta señal indica a la ECU la carga del motor y así gestionar la entrega de combustible y el avance de chispa, el sensor puede venir dentro de la ECU o ser un componente individual.

El sensor cuenta con 3 cables:

- Una tensión de alimentación de 5 voltios
- Una conexión a tierra
- Una salida analógica variable
- Una conexión de vacío al colector de entrada

Cuando el motor se encuentra en KOEO la presión del múltiple es igual a la atmosférica y dará un voltaje alrededor de los 5 V. Cuando el motor empieza a funcionar se genera un vacío el cual provoca que el sensor entregue una señal con voltaje inferior que puede ser de 1 V. Si el sensor esta defectuoso o está tomando medidas erróneas presentaran problemas tales que una tensión más baja de lo esperado provocará una pérdida de potencia debido a la falta de combustible, por lo contrario, una tensión más alta dará como resultado una mezcla rica que pueda afectar al catalizador.

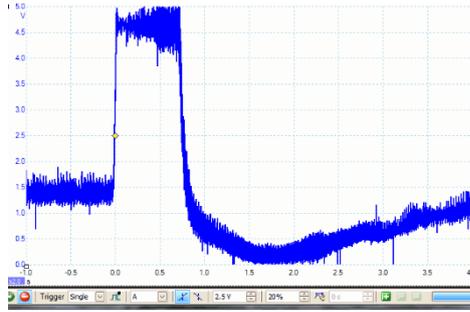


Figura 1-2: Oscilograma de sensor MAP analógico

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

2.2.2. TPS (Throttle Position Sensor)

Indica a la ECU el porcentaje de apertura de la mariposa de aceleración, usualmente son sensores tipo potenciómetro con una salida de voltaje lineal.

El sensor cuenta con 3 cables:

- Una tensión de alimentación de 5 voltios
- Una conexión a tierra
- Una salida analógica variable

Dado que la salida de voltaje es lineal y continua, cualquier fallo en la pista del potenciómetro provocará caídas de tensión y dará como resultado atrancones en el vehículo. De forma general los potenciómetros que se encuentren en buen estado darán un pequeño voltaje cuando el acelerador se encuentre en reposo, este voltaje puede variar entre 0.5 a 1 V en ralentí y se acercará a 5 V cuando la mariposa se encuentre completamente abierta, es decir, en estado WOT.

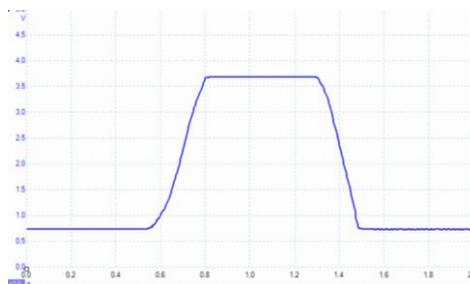


Figura 2-2: Oscilograma de sensor TPS analógico

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021.

2.2.3. *ECT (Engine Coolant temperature)*

Es un termistor encargado de sensar la temperatura del refrigerante del motor, la mayoría de los sensores trabajan con un coeficiente de temperatura negativo (NTC), es decir, la resistencia del componente se reduce al aumentar la temperatura, esto provoca la salida de tensión, generalmente será un dispositivo de dos cables con un suministro de voltaje de aproximadamente 5V. Arranque el motor y, en la mayoría de los casos, el voltaje comenzará en la región de 3 a 4V y caerá gradualmente.

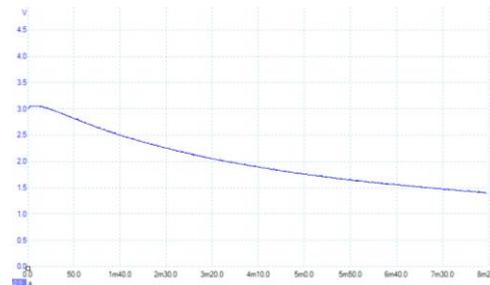


Figura 3-2: Oscilograma de sensor ECT analógico

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

2.2.4. *IAT (Intake Air Temperature)*

Es el encargado de medir la temperatura del aire de admisión, junto con el sensor MAP calculan la densidad del aire, dando así valores con los cuales la ECU trabaja para determinar la cantidad de oxígeno real que ingresan a los cilindros. Su conexión y funcionamiento es igual al del sensor ECT, un termistor NTC.

2.2.5. *Sonda Lambda – Sensor de oxígeno*

Este sensor mide la cantidad de oxígeno que se encuentran en los gases de escape y así darle información a la ECU sobre la calidad de la mezcla aire combustible, de esta forma se sabe si las mezclas están siendo muy ricas o pobres y poder realizar los ajustes pertinentes para permanecer en la relación estequiométrica ideal.

En el mercado hay dos tipos de sensores, de banda estrecha cuyo elemento principal es el Circonio, este tipo de sensores pueden venir incorporados con una resistencia calefactora para ayudarle así a entrar en temperatura óptima de funcionamiento más rápido (alrededor de 600 C). Las señales de estos sensores son analógicas cíclicas, que varían de 0.2 a 0.8 V.

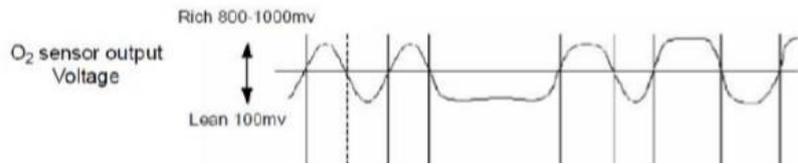


Figura 4-2: Oscilograma de sensor Oxígeno analógico

Fuente: (Picoscope, 2015)

La conexión de este tipo de sensores puede ser:

- Un solo cable: este cable es la salida de tensión autogenerada del sensor y suele ser de color negro.
- Dos cables: tendrá un cable de salida y un uno de retorno a tierra.
- Tres cables: tendrá un cable de salida única y dos cables para el elemento calentador (alimentación y tierra). El elemento calentador interno eleva la temperatura para asegurar un control más rápido cuando se arranca en frío.
- Cuatro cables: esta unidad tiene señal y retorno a tierra de la señal. Los dos cables adicionales son para el elemento calentador.

El otro tipo de sensor son los de banda ancha o de titanio, estos sensores son más precisos que los de banda estrecha, ya que en el primer tipo de sensores no se sabe cuan rico o cuan pobre esta la mezcla, es más un sistema binario en donde se obtiene una mezcla rica y una pobre, pero no es cuantificable más allá de eso. Con los sensores de banda ancha se obtiene este tipo de valores, así se sabe cuánto es la diferencia que se tiene con la relación estequiométrica y se puede corregir los tiempos de inyección.

El sensor de oxígeno de titanio difiere del sensor de circonio en que es incapaz de producir su propia tensión de salida y, por lo tanto, depende de una fuente de 5 voltios procedente del ECM del vehículo. La tensión de referencia se altera según la relación aire-combustible del motor; una mezcla pobre devuelve una tensión de tan solo 0,4 voltios, mientras que una mezcla rica produce una tensión de alrededor de 4,0 voltios. (Picoscope, 2015)

2.2.6. *CKP (Crankshaft Position)*

El sensor CKP informa a la computadora la posición en la que se encuentran los pistones ya que sin esta información la ECU no puede sincronizar el encendido y la inyección. Existen principalmente dos tipos de sensores, los que generan una señal digital trabajan por efecto hall. Cuentan con 3 cables, alimentación de 12 o 5V, GND y la señal que envía a la computadora. Los

sensores analógicos trabajan variando su frecuencia y voltaje, a mayor velocidad la frecuencia y voltaje aumentan. Ambos sensores vienen colocados en una rueda fónica ubicada en un extremo del cigüeñal, esta rueda puede tener 32 o 58 dientes y una abertura donde pueden faltar 1 o 2 dientes, este salto indica a la computadora la posición de los pistones y calcula el orden de encendido.

Si el sensor es inductivo se debe medir la resistencia, esta debe estar entre 600 y 1800 Ohm. Se debe también revisar la rueda dentada para ver si se encuentra en buen estado y si se encuentra que el sensor está dañado procedemos a remplazarlo. (Ulivarria)

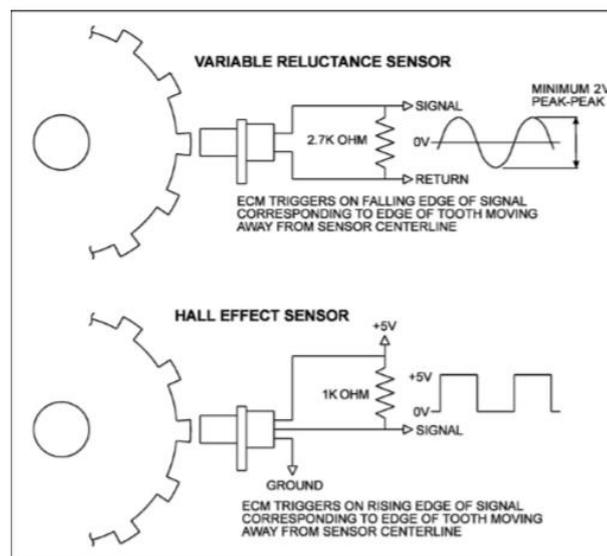


Figura 5-2: Esquema de conexión del sensor CKP

Fuente: (Ulivarria, 2012, p.23)

Sensores tipo inductivo: 2 cables (bobinado) + shield (GND protección contra ruido)

- 2 a 3V en ralentí (casos desde 1V), 10-20 V en WOT (AC) (A mayor rpm aumenta la frecuencia y voltaje)
- Resistencia del bobinado de 1 KOhm (Pueden variar desde 100 hasta 2.5 KOhms)
Trabajan con una frecuencia de 120 a 3.5 KHz
- Pueden tener voltajes de referencia enviados por la ECU de 2.5 V (1.3 V, etc) que se anulan al conectarse

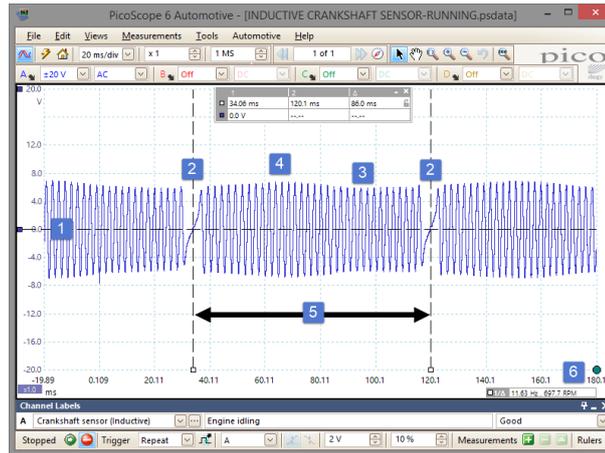


Figura 6-2: Oscilograma CKP analógico

Fuente: (Picoscope, 2015)

Sensores efecto Hall:

- 3 cables (señal, GND, voltaje de referencia)
- 5 o 12 V de alimentación Señal cuadrada de 0 a 5 V
- Frecuencias de 7 a 30 Hz



Figura 7-2: Oscilograma CKP digital

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

2.3. Actuadores

Elementos de un sistema de inyección que para su funcionalidad es necesaria la recepción de una señal de actuación ya sea de un sensor o directamente de la Ecu central.

2.3.1. Bomba de alimentación

Como función elemental, realiza el abastecimiento de combustible a una presión y caudal constante transportándolo desde el tanque de combustible hasta el riel de alta presión o riel de inyección.

Por lo general para los sistemas de inyección se utilizan bombas de alimentación que mantienen una presión de trabajo alrededor de 2 a 4 bar con una aceleración de entre 800 y 1000 rpm, al mismo tiempo la presión se podría incrementar a una lectura de 3 o 4 bar, pero con una aceleración mucho mayor.

El elemento de alimentación de un sistema de inyección por lo general se encuentra con un sobredimensionamiento en lo que se refiere a la presión que envía al riel de inyección va a ser mayor a la de activación del inyector, mediante este principio ayuda a que el sistema no se perjudique al momento de existir una obstrucción en el recorrido del combustible, en los cambios de aceleración fuera de sincronía, la existencia de averías o deficiencia eléctricas.

En la gran parte de automóviles la bomba se encuentra incorporada en el tanque de suministro de combustible ya que es necesario mantenerlo con una lubricación y temperatura de trabajo de estos dos factores dependerán directamente al tiempo de vida útil, para encontrar una bomba de alimentación fuera del tanque de combustible deberíamos observar en un vehículo a carburador, aquellos están accionados mecánicamente con una presión máxima de 1 bar.

En el momento que la bomba de combustible llegase a fallar es necesario la sustitución, por el motivo que las mismas vienen totalmente selladas, con sus ductos de salida y entrada de combustible, y sus conectores.

A continuación, se muestra el diagrama de conexión de la bomba de combustible, en la misma se observa el control positivo hacia el relay principal además de alimentar a la ECM todo esto lo protege mediante fusibles.

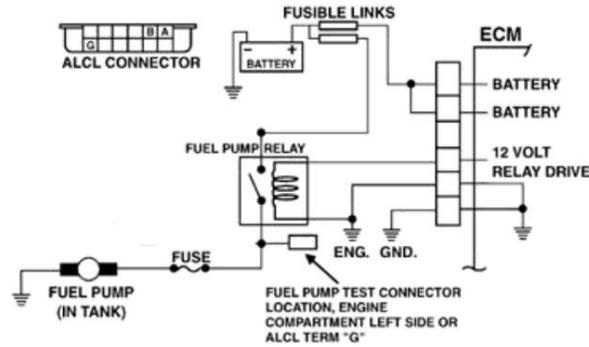


Figura:8-2: Conexión de la bomba de combustible

Fuente: (Cabrera, Cifuentes, 2009, p.69)

Averías:

Vehículo con arranque forzado.

Inestabilidad de aceleración con el motor encendido.

Caída de tensión en la bomba.

Comprobación:

En cuanto al vehículo con un arranque forzado se viene dado por una falta de presión en el riel de inyección la misma que provoca una deficiencia de combustible en el cilindro, además si el vehículo muestra un arranque repentino este será provocado por un desgaste en los contactos de la bomba.

La inestabilidad en la aceleración o tirones en el movimiento del vehículo por lo general son provocados por la obstrucción en los filtros del sistema esta anomalía provoca la disminución de la cantidad de combustible inyectada.

En cuanto a la caída de tensión se la puede comprobar utilizando un multímetro automotriz, utilizando el conector negativo del multímetro con el negativo de la batería con ello verificaríamos la caída de tensión en el negativo del circuito, para la verificación del lado positivo lo realizamos de igual forma que en el negativo del circuito.

2.3.2. *Inyectores*

Como elemento principal del sistema de inyección se encarga de la alimentación y pulverización del combustible mediante una elevada presión la misma que es ejecutada en el colector de admisión.

En cuanto al funcionamiento del inyector se acota la característica de movimiento interno del mismo es generado mediante electromagnetismo ya que contiene un bobinado y un solenoide que con la alimentación de energía realizara dicha ejecución.

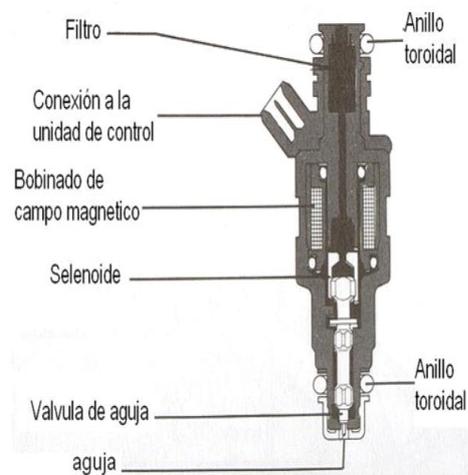


Figura 9-2: Representación de un inyector

Fuente: (Guaranda, Figueroa, 2018)

El inyector empieza a trabajar cuando recibe una señal de tipo pulso negativo el mismo que es enviado desde la unidad de control, este pulso ayudara al control del tiempo de apertura del inyector , al recibir la señal de tipo negativa el inyector se energiza y da paso a que la aguja del inyector pueda desplazarse, como característica de la aguja del inyector, es un núcleo inducido que al momento de la generación del electromagnetismo la aguja se contrae dando así la inyección del combustible por el denominado cambio de presión en la cabeza del inyector, acotando que al momento de quitar la energización el resorte interno ayuda a que la aguja del inyector retorne.

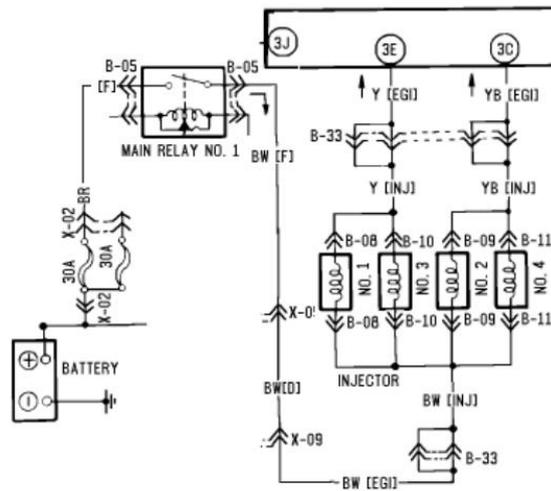


Figura 10-2: Representación del circuito de conexión de inyectores

Fuente: (Cabrera, Cifuentes, 2009, p. 72)

Clasificación mediante impedancia:

- Baja Impedancia: 1,7 a 3 Ohm
- Alta impedancia: 10 a 16 Ohm

2.3.2.1. Inyectores de baja impedancia

La caracterización de los inyectores de baja impedancia viene dada por una reacción a la inyección que es más corta, como una recomendación de uso son en los inyectores de caudal elevado que son utilizados en motores de gran cilindrada por lo general los inyectores son de baja impedancia.

2.3.2.2. Inyectores de alta impedancia

La conceptualización se basa en la generación de calor en los transistores de potencia que es baja, además que no se utiliza ningún tipo de resistor externo para la limitación de corriente que va a circular por el circuito.

A continuación, se representa la gráfica característica que emite el inyector al momento de trabajo.

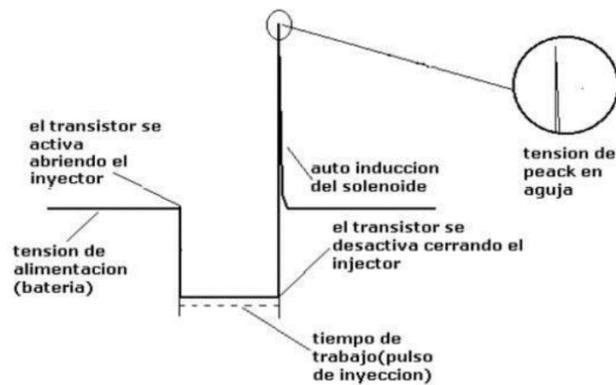


Figura 11-2: Representación de señal de inyección

Fuente: (Jiménez, Vásquez, 2016.)

2.3.2.3. Averías frecuentes en un inyector

Presencia de una pulverización de combustible poco eficiente, en su efecto es provocado por diferentes causantes, alguno de ellos tenemos la micro suciedad, cavitación, obturación de la punta de inyección.

Con frecuencia la aparición de tirones en la conducción o pérdida de potencia, provocada por lo general cuando los micro filtros contienen materiales extraños.

Observación de estanqueidad pobre, ocasionada por la falta de cierre en la punta del inyector a su vez tendría el problema del bobinado interno, revisión eléctrica.

Comprobaciones

Por lo general los respectivos controles del inyector se la realizara en un banco de prueba donde los inyectores estén visibles así poder analizar los diferentes ítems de calidad de inyección del combustible.

En primer lugar, para la prueba del inyector se debe tomar en cuenta la resistencia ya que si los valores transcurren por (1,0-3,0) Ohm se debe conectar un resistor en serie con la alimentación, pero si tenemos una resistencia de (15,0-17,0) Ohm se puede conectar la alimentación de 12 v directamente.

Revisaremos la calidad de la pulverización, tomando en cuenta que tipo y calidad de inyector que se pondrá a prueba.

Tomaremos encuenta la cantidad y velocidad del combustible inyectado por cada uno de los inyectores por lo general (0,20 -0,25) Litros/segundo. Como control eléctrico tomar en cuenta en los terminales tanto en la línea de alimentación y de la resistencia generada por el misma, además el control de la señal generada por el inyector y verificar valores y grafica correcta.

2.3.3. Relés (Relay)

Tomando en cuenta la utilización los relés son utilizados para diferentes usos ya que los mismo son eficientes al resistir cargas eléctricas inductivas y resistivas.

En la descripción de los relés vienen caracterizados por los diferentes pines de conexión, en los cuales el pin (30) se refiere a la alimentación, cuando la bobina está alimentada sale por el pin (87), para cuando la bobina esta sin energizar su salida es por el pin (87a) la bobina se encuentra entre el pin (85-86).

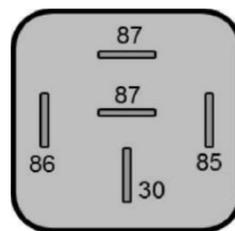


Figura 12-2: Representación de un relé automotriz

Fuente: (Desarrollo de avances, Proyecto electrónica conexiones,2015)

Mediante la utilización de los relés automotrices la instalación de elementos eléctricos del automóvil como las luces y accesorios son activados con la comodidad de un switch que estará instalado en el tablero.

En el siguiente grafico internamente tiene una bobina de muy bajo consumo que, cuando una corriente eléctrica la atraviesa, genera un magnetismo que hace que el platino remarcado en rojo-cierre y conduzca la corriente que va a alimentar a un consumo.

La corriente de activación entra por el pin 86 del relé y sale por el pin 85. (Esta es la etapa de bajo consumo). La corriente de trabajo entra por el pin 30 y alimenta al circuito a través del pin 87. (Esta es la etapa de potencia del relé).

Los dos tipos de relés más básicos que podemos encontrar son los relés normalmente cerrados y los normalmente abiertos. Los primeros siempre dejan pasar la corriente salvo que sean activados

y ahí abren el circuito. Los segundos están como un interruptor abierto en reposo, mientras que si son excitados pasan a conducir la corriente.

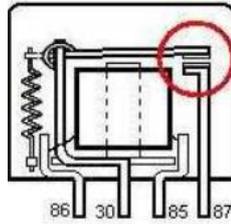


Figura 13-2: Representación de un relé con activación

Fuente: (Cabrera, Cifuentes, 2009, p. 77)

Los relés también son utilizados para el control y alimentación de los inyectores, calefactor de la sonda lambda, sistema de encendido, con la ayuda de los llamados relés de inyección la ECM se evita de comandar la alimentación o corriente de activación de los mismos.

Averías

Los contactos suelen estar pegados, entonces el circuito que da cerrado o apagado dependiendo si es normalmente abierto o normalmente cerrado, la misma es provocada por la existencia de calor excesivo.

El bobinado por lo general suele recalentarse y llegar a un punto de fundición y en efecto deja de funcionar.

El contacto interno no se provoca dando como efecto la detención de la función del relé.

Comprobación

Mediante la utilización de un comprobador de luz, verificar el paso y cierre de la corriente por el relé.

Analizar la lectura de resistencia del bobinado interno del relé que debe estar por los (70-75) Ohm.

2.3.4. Bobinas de encendido.

En cuanto a la bobina de encendido automotriz, se puede caracterizar tres voltajes que son de suma importancia al momento del funcionamiento de un motor de otto (4 tiempos).

Voltaje Requerido: Es la característica principal de una bobina de encendido la cual está encargada de abastecer con el voltaje que requiere la bujía para generar la chispa de encendido,

la misma que será de gran importancia para regímenes de motor bajos e inicios de encendidos a baja temperatura.

Voltaje disponible (máximo): Por lo general resulta ser el doble del voltaje requerido.

Voltaje de reserva: Es primordial la existencia de este factor por el cambio de régimen de un motor de forma agresiva, es decir este voltaje entra en acción cuando los regímenes de motor son altos.

2.3.4.1. Bobinas Húmedas:

Utiliza un aceite aislante que provoca su enfriamiento las misma le ayuda a mantener una mejor resistencia al voltaje.

2.3.4.2. Bobinas secas

Más pequeñas y modernas con mejor sistema de aislamiento

2.3.4.3. Bobina simple con distribuidor

Con un rotor que gira acoplado a la velocidad del motor a través del árbol de levas, al girar el rotor distribuye la chispa al cilindro que corresponda, a su vez contiene un sistema de avance por vacío el cual está conectado por una manguera hacia la admisión y en función del vacío del acelerador se puede saber la carga del motor, además con su mecanismo centrifugo mientras más rápido gire el distribuidor aumentara el avance de chispa.

Distribuidores con modulo electrónico que ahora tiene un transistor en vez de los platinos, el cual mejoro su vida útil.

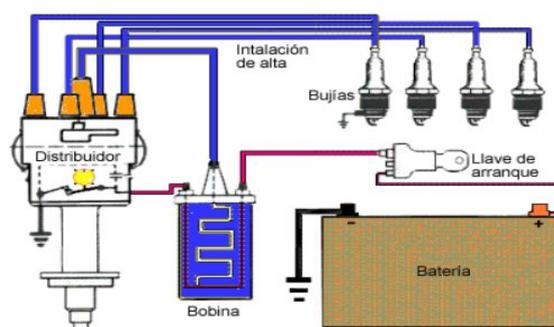


Figura 14-2: Representación bobina distribuidor

Fuente: (Ecured, 2015.)

2.3.4.4. Bobinas de chispa perdida

Se caracterizan por alimentar a dos bujías a la vez, la primera chispa está en el lugar y momento correcto del encendido (admisión), la segunda chispa se da en otro lugar y en tiempo diferente (escape), por el motivo de la presión baja en el escape provoca que la chispa generada en ese instante sea baja, el movimiento de la misma es generada por cada vuelta del cigüeñal.

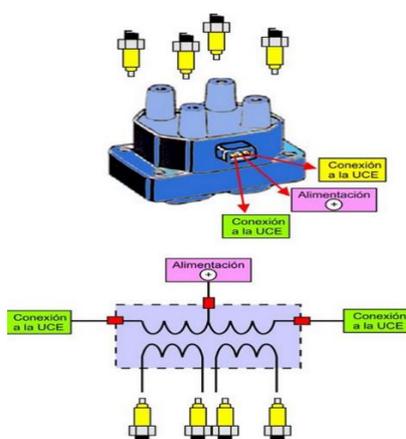


Figura 15-2: Representación bobinas de chispa perdida

Fuente: (e-auto. 2015.)

Como característica de las bobinas para la utilización en este proyecto se tomó en cuenta el tipo de bobina existente en el mercado y que tan favorable se daba para el encendido del motor con el nuevo sistema de inyección, para ello se fijó en los valores de resistencia, mientras mayor resistencia exista en la bobina mejor será el encendido de la mezcla.

Tabla 1-2: Valores referenciales para selección de bobina

Tipo de bobina	Resistencia	Numero de pines
Bobina Bruta	1-3 Ω	3
Bobina Lógica	Más de 1 K Ω	4

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

De la misma forma vale recalcar sobre el número de pines de las bobinas ya que, las bobinas con 3 pines toman una característica de una alimentación y los dos pines restantes controlan la excitación de los circuitos de alta tensión, la masa de dicha bobina se encuentra incorporada en su carcasa de tal forma que al momento de sujetarse la bobina utiliza los mismo soportes como masa a chasis, mientras que las bobinas con 4 pines mantienen su línea de alimentación, dos pines utilizados para el control de cada uno de los circuitos de alta tensión además de una masa ya controlada desde la ECU.

2.3.4.5. Bobinas Individuales

En este sistema cada bobina está conectada directamente en cada cilindro el mismo mantiene una gran eficiencia y potencia al momento del encendido en cualquier circunstancia. (chispa de mayor tamaño), el funcionamiento es similar con las rampas de bobinas, son controladas por una computadora la cual energiza al inductor primario de manera eficiente.

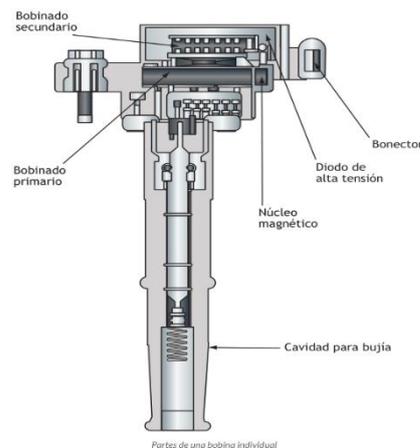


Figura 16-2: Representación bobinas individual.

Fuente: (autoytecnica.com,2021.)

En cuanto al mantenimiento de las bobinas se enfatizará en ciertos parámetros que ayudaran al diagnóstico correcto.

Pruebas para bobinas convencionales.

En caso de no tener un arranque correcto, Verificar el voltaje que está generando la bobina, para ello desconectamos el cable que conecta al distribuidor e introduciendo el destornillador en el cable se comprueba si genera voltaje la bobina en prueba.

Tabla 2-2: Valores referenciales para diagnosis

Bobinado Primario	Bobinado Secundario
5 ohmios	5 kilo-ohmios

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Para el inicio del diagnóstico de la siguiente bobina se debe tomar como punto de referencia el (+), para con ello lograr una medición correcta tanto del bobinado primario y secundario.

Tabla 3-2: Valores referenciales para diagnosis

Bobinado Primario	Bobinado secundario
Terminal (+) con (-) 5 ohmios	Terminal (+) con salida alto voltaje Valores entre 5000 y 15000 ohmios

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021



Figura 17-2: Representación bobina de encendido

Fuente: (autodaewoospark,2021.)

Si el valor de resistencia del secundario es muy bajo la bobina se encuentra en corto.

Por otro lado, en cuanto la resistencia del secundario se encuentra demasiado alta por lo general la bobina se encuentra abierta.

2.4. Tanque de combustible

Como referencia es un reservorio creado de materiales seguros en el cual se puede guardar tanto gasolina como Diésel, el tamaño va dependiendo del vehículo en el que se lo va a utilizar, en el interior está sumergida la bomba de gasolina además de los conductos de paso de combustible que van unidas al cuerpo del tanque de combustible.

Se encuentra ubicado debajo de la cabina del automóvil cercana a la parte de atrás, los materiales con los cuales está hecho son de metal además de aleaciones que ayudaran a mantener una temperatura y hermeticidad recomendada.



Figura 18-2: Representación de un tanque de combustible

Fuente: (Spectra premium,2020.)

2.5. Regulador de combustible

Como función principal es mantener y controlar el sistema de alimentación a una presión constante, con ello el funcionamiento general del sistema se ve notable a diferentes regímenes de giro, además este elemento contiene un retorno de combustible el mismo que es activado o utilizado cuando existe una sobre presión en el sistema, el combustible con exceso es enviado por el retorno al tanque de combustible.

Por lo general está ubicado en el conducto distribuidor, o a lo mejor junto a la bomba de alimentación de combustible. Al momento de encontrar un problema del regulador de combustible es que la válvula se quede abierta, se debe a la falta de presión en el combustible.

Se muestra un regulador y sus elementos que tiene constituido una membrana un muelle y la válvula, la válvula es la encargada de permitir el retorno de combustible al tanque.

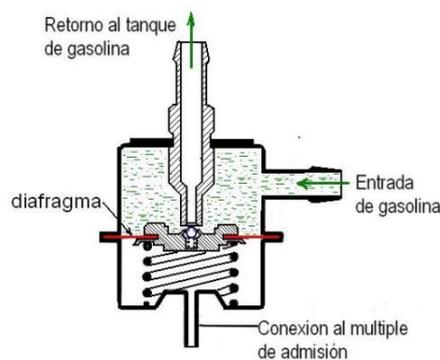


Figura 19-2: Representación de un tanque de combustible

Fuente: (Mundo automotriz,2019.)

El regulador está conformado por un conducto que está conectado a la admisión del motor, la válvula se va a abrir según la válvula tarada y la presión en el colector, en los sistemas de inyección mono punto la apertura se la realiza tomando en cuenta al tarado del muelle.

Comprobación

En cuanto al funcionamiento del regulador este trabaja bajo un estándar de presiones que están en los valores de (45-50) psi en vehículos con sistema de inyección multipunto, mientras que en una inyección monopunto su presión esta alrededor de los 15 psi.

Para la medición de presión se debe aliviar la presión del sistema, se la realiza desconectando el relé de la bomba de alimentación y girar el motor, en el sistema se debe instalar un medidor de presión en la manguera de alimentación, conectamos el relé y procedemos a dar golpes de arranque para observar la existencia de alguna fuga.

La prueba que se va a realizar con el regulador va a tomar de referencia al vacío, por lo cual se debe conectar en la manguera de vacío se debe colocar una bomba de vacío manual con el fin de generar vacío en el momento que se necesita además que los valores que se van a tomar de datos serán con el vacío activado y desactivado. Los valores generados toman la referencia de cuando, cuando sube la cantidad de vacío la presión en el combustible debe bajar, y aumenta la presión al momento de disminuir la cantidad de vacío.

Para descartar la bomba de combustible, observar la medición en el medidor de presión si esta es baja probar estrangulando el retorno, con esto la presión debería subir caso contrario la bomba está en mal estado.

Cuando la presencia de presiones demasiado altas es frecuente, apagar el motor desconectar el retorno de combustible y verificar si existe alguna obstrucción de no existir realizar el cambio del regulador.

2.6. Riel de inyectores

Denominado también como acumulador de presión, está ubicado después de la bomba de alta presión conteniendo el regulador de presión, el riel es encargado del transporte del combustible hacia los inyectores, por lo general el riel de inyección está constituido por dos cañerías que hacen el trabajo de alimentar al sistema, pero también retornan el combustible al depósito.

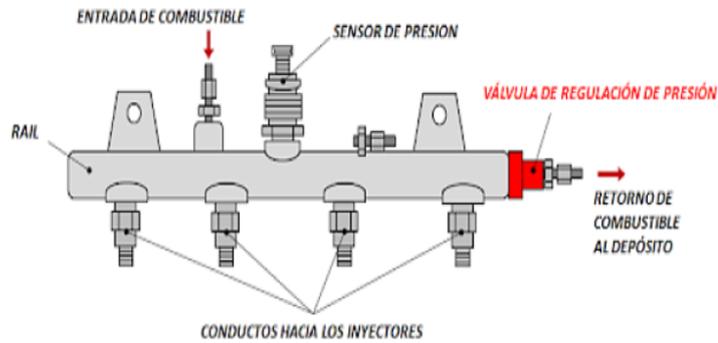


Figura 20-2: Representación de un riel de inyección

Fuente: (Loctite, Teroson, 2015.)

En cuanto a los vehículos de la actualidad con estos tipos de rieles de inyección vienen con un solo retorno ya que su control de inyección viene dado desde la ECM además de la configuración de número de pulsos y también su ancho de pulso.

2.7. Circuito de admisión

En un conjunto de elementos que proveen de aire limpio al sistema ya que el sistema funciona con la mayor parte de oxígeno que combustible, por lo cual conforma de varios elementos que ayudan a la purificación del aire que son, purificador de aire, cuerpo de aceleración, colector de admisión.



Figura 21-2: Representación circuito de admisión

Fuente: (Cabrera, Cifuentes, 2009, p. 82)

Purificador de aire: Este un producto compacto, elemento ofrece filtración en un solo sentido y en una etapa.

Cuerpo de acelerador: Conocido también como mariposa de aceleración esta es controlada mediante un cable de accionamiento que abre o cierra la lengüeta estranguladora, en el mismo se genera la entrada del aire al múltiple de admisión.

Averías: por lo general este sistema tiende a disminuir su eficiencia cuando existen fugas de presión en el sistema o a su vez elementos extraños que obstruyen los ductos de admisión.

La existencia de ruidos intermitentes al momento del encendido específicamente en la admisión muestra una obstrucción o existencia de suciedad.

En cuanto el vehículo no soporte un ciclo de encendido normal, es visible que tenemos un problema en la admisión.

Carraspeos en el ralentí es provocado por la existencia de suciedad o carbonilla en la admisión esto provoca una deficiente cantidad de aire para la combustión.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y ADAPTACIÓN DEL SISTEMA

3.1. Diseño del múltiple de admisión.

Se creó un múltiple de admisión nuevo que cumpla con las necesidades de un sistema de inyección y a su vez brinde mayor eficiencia en la mezcla de aire combustible en los cilindros. Los materiales para la fabricación pueden ser de acero inoxidable o aluminio.

$$V_{pis} * S_{pis} = V_g * S_c \quad (1)$$

En donde:

V_{pis} : Velocidad media del pistón

S_{pis} : Superficie del pistón

V_g : Velocidad del gas del pistón (60 a 80 m/s)

S_c : Sección del conducto considerado

Datos:

Cilindrada total del motor: 2 litros = 2000 cm³

Diámetro del pistón: 8.5 cm

Carrera del pistón: 8.81 cm

Cilindros: 4

RPM máxima potencia: 4450

Velocidad media del pistón

$$V_{pis} = \frac{Carrera \times RPM}{30} \quad (2)$$

$$V_{pis} = \frac{0.0881 \text{ m} \times 4450 \text{ rpm}}{30} = 13.068 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Superficie del pistón

$$S_{pis} = \frac{Diametro \text{ del pistón} \times \pi}{4} \quad (3)$$

$$S_{pis} = \frac{(8.5 \text{ cm})^2 \times \pi}{4} = 56.75 \text{ cm}^2$$

3.1.1. Sección del ducto

$$Sd = \frac{V_{pis} * S_{pis}}{V_g} \quad (4)$$

$$Sd = \frac{13.068 \frac{m}{s} * 56.75 \text{ cm}^2}{60 \frac{m}{s}} = 12.36 \text{ cm}^2$$

3.1.2. Diámetro del ducto

$$D_{duc} = \sqrt{\frac{4 * Sd}{\pi}} \quad (5)$$

$$D_{duc} = \sqrt{\frac{4 * 12.36 \text{ cm}^2}{\pi}} = 3.967 \text{ cm}$$

Si se considera un $V_g = 80 \text{ m/s}$ se obtiene un diámetro del ducto de 3.44 cm

3.1.3. Longitud del ducto

$$L_{duc} = \frac{58800}{RPM} \quad (6)$$

$$L_{duc} = \frac{58800}{4450} = 13.21 \text{ cm}$$

3.1.4. Diámetro de la mariposa

$$D_{marip} = \sqrt{\frac{154 * I * S * RPM * B^2}{67547}} \quad (7)$$

En donde:

I: # de cilindros

B: Diámetro del pistón

S: Carrera del pistón

$$D_{marip} = \sqrt{\frac{154 * 4 * 3.4686 \text{ in} * 4450 * (3.346 \text{ in})^2}{67547}} = 39.698 \text{ mm} = 3.97 \text{ cm}$$

3.1.5. *Plenum de admisión*

Se construye por lo general con tubería metálica y su diámetro pueden rondar entre 3 y 4 pulgadas con un espesor entre 0.65 y 1 mm.

Una longitud referencial puede ser calculada mediante la siguiente formula.

$$Volumen \text{ del plenum} = \pi * \frac{D^2}{4} * h \quad (8)$$

En donde:

Volumen del plenum = Cilindrada de motor

D: Diámetro del plenum (3.5 in = 9 cm)

H: Longitud del plenum

$$H = \frac{4 * Volumen \text{ del plenum}}{\pi * D^2} \quad (9)$$

$$H = \frac{4 * 2000 \text{ cm}^3}{\pi * (9 \text{ cm})^2} = 31.438 \text{ cm}$$

3.1.6. *Asientos de los inyectores*

La longitud de los asientos del inyector está comprendida entre 1.35 a 1.5 pulgadas.

La distancia entre el asiento y la unión del múltiple con el motor se encuentra entre 2 y 3.5 pulgadas. (José Hidrovo, 2011)

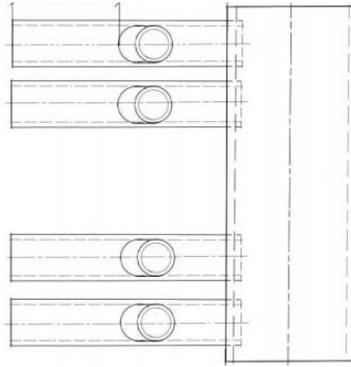


Figura 1-3: Esquema Vista superior del múltiple de admisión

Fuente: (Hidrovo, Pérez, Puma, 2011, p. 94)

Los ángulos para los distintos elementos tienen un amplio rango según la bibliografía revisada, por lo que se recomienda usar aquellos que encajen con los demás elementos del motor.
Runners: 3 a 15 grados respecto a la horizontal del suelo.

Inyectores: 25 a 45 grados respecto al runner

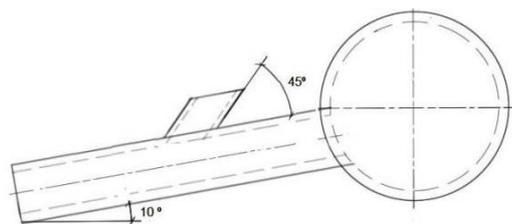


Figura 2-3: Vista lateral del múltiple de admisión

Fuente: (Hidrovo, Pérez, Puma, 2011, p. 93)

Para la fabricación del riel de inyectores se usó un tubo cuadrado de 1.5 cm por lado y una longitud de 27 cm.



Figura 3-3: Riel de inyección

3.2. Selección de inyectores

La potencia que un motor puede producir está relacionada con el caudal máximo que puede dar el inyector y la bomba, por eso se parte estimando cual es la potencia que el motor puede alcanzar y empezar a calcular desde ahí.

La potencia máxima alcanzada con el sistema de carburación fue de 27 hp, se realizó una investigación en donde se comprobó que proyectos similares donde se adapta un sistema de inyección programable a un vehículo con carburador pueden dar una ganancia entre un 60 y 70% de potencia medidos en un dinamómetro de rodillos (VITERI, 2011).

Otra consideración a tomar en cuenta es que el ciclo de trabajo del inyector no puede ser del 100%, es decir, que no puede permanecer completamente abierto durante mucho tiempo ya que se puede quemar con facilidad, es por eso que se opta por darle un margen de seguridad de un 20%, es decir que como mucho, el inyector este trabajando con un 80% de ciclo de trabajo o Duty Cycle.

El Consumo Especifico de Combustible del freno o (BSFC) suele referirse como la cantidad de combustible necesario para hacer la potencia actual, pueden tener como unidades libras por caballos de potencia hora, conociendo este valor se puede hacer una buena estimación del requerimiento de combustible del sistema, este valor varía dependiendo del motor existen tablas con valores aproximados

Tabla 1-3: BSFC en motores de combustión interna y encendido provocado

Tipo de motor a gasolina	BSFC (lb/hp*hr)
Aspiración natural	0.3 – 0.5
Sobrealimentados	0.55 – 0.7

Fuente: Banish, 2017

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Potencia original: 27 hp

Potencia esperada = Potencia original + 70%

Potencia esperada = $27 * 1.70 = 45.9$ hp

$$\text{Caudal inyector} \left(\frac{\text{lb}}{\text{hora}} \right) = \frac{\text{Potencia esperada (hp)} * \text{BSFC} \left(\frac{\text{lb}}{\text{hp} * \text{hr}} \right)}{\# \text{ de cilindros} * \text{Factor Seguridad}} \quad (10)$$

$$\text{Caudal inyector} \left(\frac{\text{lb}}{\text{hora}} \right) = \frac{45.9 \text{ (hp)} * 0.5 \left(\frac{\text{lb}}{\text{hp} * \text{hr}} \right)}{4 * 0.8}$$

$$\text{Caudal inyector} = 7.17 \frac{\text{lb}}{\text{hora}} = 75.29 \frac{\text{cc}}{\text{min}}$$

Una vez se tiene el caudal mínimo necesario se procede a realizar una búsqueda para seleccionar el inyector que cumple este requisito, para ello se usa el catálogo de Bosch y se escoge el número de parte del inyector para su compra. Cabe recalcar que el caudal aumenta a medida que aumenta la presión, por lo que el caudal mostrado por Bosch fue dado a una presión de 3 bares.

Bosch Number	cc/min @3bar	Resistance (ohm)	Bosch Number	cc/min @3bar	Resistance (ohm)
0280150007	338	2.4	0280150811	277	2.4
0280150008	338	2.4	0280150812	211	2.4
0280150009	338	2.4	0280150813	310	2.4
0280150016	406	2.4	0280150814	310	2.4
0280150019	406	2.4	0280150818	248	2.4
0280150030	338	2.4	0280150819	248	2.4
0280150034	338	2.4	0280150820	248	2.4
0280150035	406	2.4	0280150821	185	2.4
0280150036	485	2.4	0280150823	200	2.4
0280150038	406	2.4	0280150824	201	4.6
0280150040	406	2.4	0280150825	195	2.4
0280150041	485	2.4	0280150826	232	2.4
0280150042	406	2.4	0280150827	232	2.4
0280150043	485	2.4	0280150828	218	2.4
0280150044	338	2.4	0280150829	211	2.4
0280150045	406	2.4	0280150830	200	2.4
0280150051	672	6.7	0280150831	200	2.4
0280150052	586	6.7	0280150834	321	3.0
0280150053	931	1.3	0280150835	321	3.0
0280150055	1110	1.3	0280150837	1606	4.6
0280150057	855	1.3	0280150838	1606	4.6

Figura 4-3: Caudal y Resistencia de inyectores Bosch

Fuente: ClubG40

Otra forma de confirmar que se selecciona un inyector que cumpla con la especificación del motor es usando la tabla dada en el manual de Megasquirt. En donde se puede observar que para motores que alcancen menos de 100 hp y que sea de 4 cilindros, un inyector con un flujo de 158 cc/min es óptimo, así se trabaja con un amplio margen de mejora de potencia disponible.

Horsepower	Injectors Rating Required in cc/min (lbs/hr)					
	Number of Injectors					
	1	2	4	5	6	8
100	620 (59)	305 (29)	158 (15)	126 (12)	105 (10)	-
150	924 (88)	462 (44)	231 (22)	189 (18)	158 (15)	116 (11)
200	-	620 (59)	305 (29)	252 (24)	210 (20)	158 (15)
250	-	777 (74)	389 (37)	305 (29)	263 (25)	189 (18)
300	-	924 (88)	462 (44)	368 (35)	305 (29)	231 (22)
350	-	-	524 (51)	431 (41)	357 (34)	273 (26)
400	-	-	620 (59)	494 (47)	410 (39)	305 (29)
500	-	-	777 (74)	620 (59)	515 (49)	389 (37)
600	-	-	924 (88)	746 (71)	620 (59)	462 (44)
800	-	-	1239 (118)	987 (94)	819 (78)	620 (59)
1000	-	-	1544 (147)	1240 (118)	1030 (98)	777 (74)
1500	-	-	-	-	1575 (150)	1187 (113)
2000	-	-	-	-	-	1554 (148)

Based on 0.50 BSFC and 85% duty cycle
Turbo/supercharged engines should add 10% to listed minimum injector size

Figura 5-3: Caudal de inyectores en función de su cantidad y potencia máxima del motor

Fuente: (Manual Megasquirt Hardware 3.4, 2016, p. 51)

3.3. Selección de la Bomba

Para obtener el cálculo del caudal mínimo necesario que debe suministrar nuestra bomba de combustible realizamos las siguientes operaciones.

$$\text{Suministro total de combustible} = \# \text{ inyectores} * \text{flujo inyector} \quad (11)$$

$$\text{Suministro total de combustible} = 4 * 7.17 = 28.68 \frac{\text{lbs}}{\text{hr}}$$

Conociendo que la densidad de la gasolina es de 6 lb/galón tenemos que:

$$\text{Flujo minimo de combustible} = \frac{28.68 \frac{\text{lbs}}{\text{hr}}}{6 \frac{\text{lb}}{\text{galón}}} = 4.78 \frac{\text{galones}}{\text{hora}} = 18.09 \frac{\text{litros}}{\text{hora}}$$

3.4. Desmontaje de elementos

3.4.1. Múltiple de admisión

Se sustituyó el sistema de admisión por uno hecho a medida, en el cual van a estar acoplados el cuerpo de aceleración, sensor TPS, sensor IAT y el riel de inyectores. Se muestra una representación gráfica del desmontaje y estado del elemento conocido como admisión en el vehículo que se utilizará para la adaptación del nuevo sistema sin antes hacer una observación minuciosa del estado de los elementos extraídos.



Figura 6-3: Desmontaje del múltiple de admisión del sistema carburador

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Como principal observación se tomará en cuenta el estado de los apoyos al block motor así mismo se muestra un desgaste por cavitación, además de deterioro natural, para el proceso de acople del nuevo cuerpo de admisión se tomará correctivos además la construcción de una tapa para cubrir el orificio en donde se localizaba la bomba de alimentación mecánica.



Figura 7-3: Conductos de entrada de la mezcla hacia los cilindros

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.4.2. Bujías

Tabla 2-3: Diagnóstico de bujías

Observación	Gráfica	Descripción
Bujía con desgaste normal		Pie del aislador amarillento, gris o marrón, motor en buen estado.

Carbonilla existente		Capa de hollín en el pie del aislador, mezcla rica, filtro sucio, toma de tiempo retrasado, arranque en frío con problemas.
Bujía con aceite		Exceso de aceite en cámara de combustión, Guías de válvulas, cilindros y anillos desgastados
Existencia de impurezas		Capa gris gruesa en la cámara de aspiración además de existencia de escoria en el electrodo, provocado por existencia de aditivos tanto en el aceite como en el combustible.
Sobrecalentamiento		Electrodo central fundido, se provoca por una excesiva temperatura en la cámara de combustión. Provocada por tiempo adelantado, mezcla muy pobre.
Electrodo central con desgaste		La bujía no fue cambiada a tiempo, la falla en el encendido provocada por largos arranques del vehículo.

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

En cuanto al desmontaje de las bujías se observó un deterioro de las mismas, los daños visibles se notaron en los electrodos principales que están con una clara muestra de carbonilla provocada por mezclas demasiado ricas, la existencia de baja aceleración o funcionamiento irregular en mínima además de la existencia de contra explosiones ocasionadas por el mismo sistema de alimentación por carburador.



Figura 8-3: Desmontaje y estado de bujías en sistema por carburador

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.4.3. *Bobina de encendido*

Para el desmontaje de la bobina de encendida del sistema de alimentación por carburador debemos tomar en cuenta que se trata de una bobina clásica la cual se encarga de dar tensión suficiente para cada una de las bujías la misma que es repartida de manera consecutiva por el distribuidor, a continuación, se retira los conectores tanto positivo como negativo además del cable de alta tensión.

Como observación de la bobina utilizada en el sistema de alimentación por carburador, el vehículo no mostraba ningún tipo de problemas de encendido lo confirmamos al realizar el desmontaje de la bobina y observar ciertos parámetros presentados en la Tabla3-3.

Tabla 3-3: Valores de comparación entre bobina nueva y bobina desmontada

Parámetro	Real	Con uso
Contactos de bobina (sulfatación)	Inexistente	Inexistente
Voltaje del bobinado primario	300 – 400 (V)	350 (V)
Voltaje del bobinado secundario	40 KV	30 KV
Resistencia del bobinado primario	5 - 20 K Ω	8000 Ω
Resistencia del bobinado secundario	0.3 – 3.0 Ω	2.1 Ω

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.4.4. *Depósito de combustible.*

El desmontaje del depósito de combustible se realizó con el fin de realizar un chequeo minucioso en cuanto a las cañerías, filtros, bomba de combustible la cual será sustituida, mangueras de alta presión, limpieza general del depósito de combustible, verificación de líneas de alimentación y retorno de combustible lo cual es de mayor importancia ya que el sistema de alimentación nuevo va a mantener una presión de alimentación mucho mayor a la que está acostumbrada el sistema. A continuación, se muestra el desmontaje del depósito de combustible y su estado físico.



Figura 9-3: Desmontaje y estado del depósito de combustible

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.5. **Adaptación de los elementos**

3.5.1. *Rueda fónica y sensor CKP*

La rueda fónica o rueda dentada le da información a la ECU de la posición de los cilindros y esta mediante algoritmos internos gestiona la entrega de pulsos de ignición e inyección de combustible. Al tener un sistema de chispa perdida no hace falta saber en qué carrera se encuentra cada pistón, nos basta saber cuándo el pistón 1 – 4 y 2 -3 se encuentran en PMS para en ese momento entregar chispa y combustible, a este sistema se le conoce como semi secuencial, si bien no es tan eficiente como en un sistema secuencial, mejorará el consumo de combustible y entrega de potencia que un sistema carburado.



Figura 10-3: Rueda fónica 60-2

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

En el mercado existen varios tipos de ruedas fónicas, las más comunes son 36-1 de Ford y 60-2 de Bosch, el primer valor hace referencia a la cantidad de dientes mientras que el segundo a los dientes faltantes, de forma general los dientes faltantes se encuentran en un solo grupo, en el caso de que la rueda tenga varios grupos se necesitará un decodificador de rueda especial. En este proyecto se utilizará una rueda fónica de 60-2.



Figura 11-3: Acople de rueda fónica con la polea del cigüeñal

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Esta rueda dentada se ubicará en la polea del cigüeñal, por lo que se extrajo la polea original del vehículo y se hizo un trabajo en el torno para que se encuentren centradas y balanceadas, ya que en caso de que no lo estén el GAP entre el sensor CKP y le rueda variará dando como resultado

una lectura errónea en las revoluciones del motor, este es un grave problema ya que si se pierden las rpm el motor fallara o no encenderá.



Figura 12-3: Rueda fónica instalada en el motor

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

El sensor CKP debe estar perpendicular a la rueda dentada a una distancia muy pequeña, esta varía según el fabricante, pero puede rondar desde los 0.6 a 1.5 mm, para ello vamos a usar una base de aluminio ya que en algunos casos las bases de fierro pueden causar interferencia con la señal (Guachamin, 2016).



Figura 13-3: Base de aluminio para el sensor CKP

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

La base fue instalada usando los orificios roscados en el block motor, y se fue calibrando el GAP con galgas milimétricas hasta conseguir una señal limpia y constante, en nuestro caso es de 1mm.



Figura 14-3: GAP entre el CKP y la Rueda Fónica

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Para la calibración de la rueda dentada y el ckp se coloca el pistón #1 en PMS o TDC, se coloca el sensor en el lugar más adecuado, después en el sentido de giro del motor se cuenta los dientes hasta llegar al conjunto de dientes perdidos, este valor se indicará en la programación, pero se suele recomendar una separación de entre 10 y 19 dientes para las ruedas 60-2. Existen también diámetros mínimos en caso de que se fabrique una rueda fónica, si es de 60-2 se recomienda un mínimo de 125 mm de diámetro. (FuelTech, 2015)

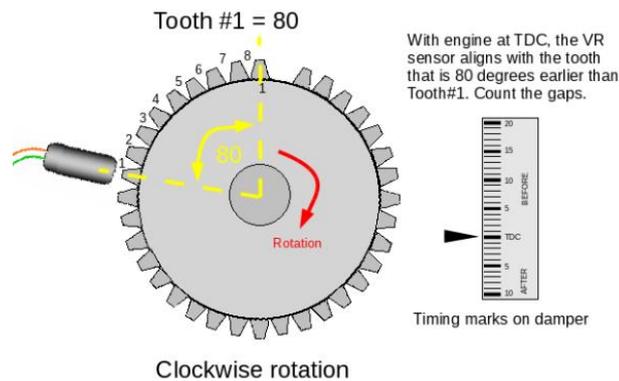


Figura 15-3: Esquema calibración ckp y rueda fónica

Fuente: (Manual Megasquirt Hardware 3.4, 2016, p. 126)

3.5.2. *Múltiple de admisión y riel de inyectoros*

Al acoplar el múltiple con el motor se usó empaque de asbesto y silicona para sellarlo completamente y evitar fugas de aire o vacío, ya que si estas aparecen el motor se puede acelerar y presentar diversos problemas.

Para el montaje de los inyectoros se coloca una fina capa de grasa alrededor de los orines para que ingresen sin problemas, se da apriete a los pernos del riel de inyección de forma pareja en cada extremo para evitar que ingresen de forma incorrecta y haya fugas de combustible



Figura 16-3: Instalación del múltiple de admisión junto con el riel de inyección

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.5.3. *Sistema de combustible*

Al optar por una bomba de combustible externa no es necesario realizar ninguna modificación en el tanque, por lo que se instala la bomba en el chasis con la ayuda de una base, para evitar que ingrese impurezas en los inyectores y controlar la presión en el riel usamos un filtro regulador de 4 bares, el mismo va instalado luego de la bomba y posee un retorno directo hacia el tanque usando las cañerías originales del sistema.



Figura 17-3: Instalación bomba de combustible

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021



Figura 18-3: Instalación de filtro regulador

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.5.4. *ECU y accesorios*

La ECU se ubicó dentro del habitáculo por la pared de fuego del asiento del copiloto, se ocuparon pernos originales para que con la ayuda de una base de metal dejarla fija y protegida.

Como complementos para la instalación se usó una fusilera para proteger los diferentes consumidores del sistema y un conjunto de relés para activar de forma óptima los mismos, estos se encuentran ubicados en el compartimento motor y de igual forma tratamos de aprovechar los pernos y orificios ya existentes para fijar todos los componentes.



Figura 19-3: Ubicación ECU

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021



Figura 20-3: Conjunto de fusibles y relés

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Dentro de la página de Megasquirt se puede encontrar diferentes manuales sobre Hardware y Software, nos ayudamos de estos para realizar la instalación eléctrica

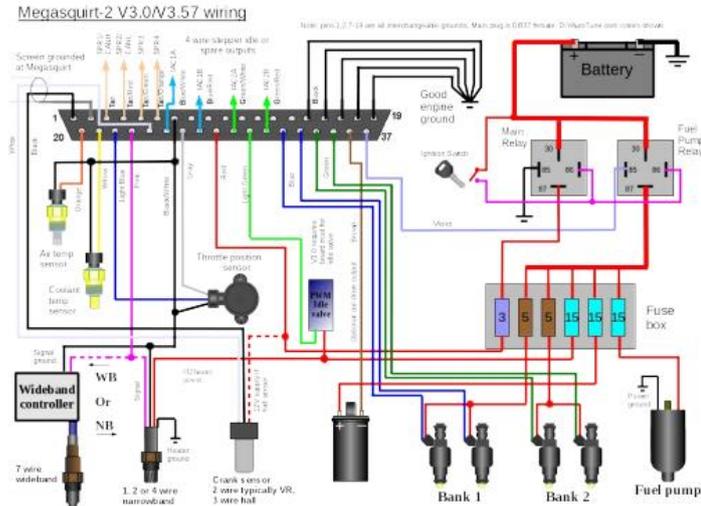


Figura 21-3: Esquema eléctrico de instalación

Fuente: (Manual Megasquirt Hardware 3.4, 2016, p. 14)

Como se puede observar en el diagrama, la bobina con la que se trabaja no es de chispa perdida, sin embargo, una de las ventajas de este tipo de computadoras es que cuentan con varios accesorios que mejoran el desempeño de la misma, en este caso el mismo manual da una serie de indicaciones para poder obtener las dos señales necesarias para que trabaje una bobina DIS, una vez que se haya trabajado dentro de la ECU tendremos lo necesario para que el sistema funcione correctamente. Otra de las mejoras que se le hizo a la ECU original fue la posibilidad de trabajar con dos mapas de ignición y de entrega de combustible, para esto usamos los puertos que tiene libres.

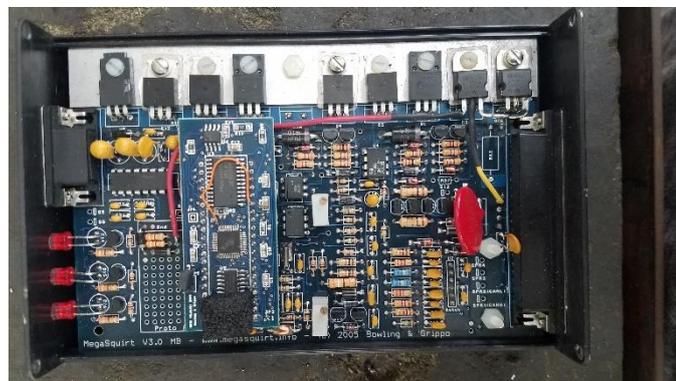


Figura 22-3: Circuito interno de la ECU

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

A continuación, presentamos una tabla con los pines que salen del arnés de la ECU con su función y su color de cable tanto del cableado original como de las extensiones que se ocupó para llegar a todos los componentes del vehículo.

Tabla 4-3: Cableado eléctrico

# PIN	Función	Color Original	Color Extensión
1	CKP	Negro	Negro
7	GND sensores	Negro/Blanco	Negro
15	Tierra de ECU	Negro	Negro
16	Tierra de ECU	Negro	Negro
17	Tierra de ECU	Negro	Negro
18	Tierra de ECU	Negro	Negro
19	Tierra de ECU	Negro	Negro
20	Señal IAT	Naranja	Naranja
21	Señal ECT	Amarillo	Amarillo
22	Señal TPS	Celeste	Celeste
24	CKP	Blanco	Rojo
26	+5V TPS	Plomo	Plomo
28	+12 V Alimentación ECU	Rojo	Rojo
31	Bobina 2	Verde/Rojo	Verde claro
32	Inyectores 1	Azul	Azul
34	Inyectores 2	Verde	Verde
36	Bobina 1	Café	Café
37	Bomba Combustible	Violeta	Violeta

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Es importante recalcar que la señal que sale de la ECU para la bomba de combustible es negativa o tierra, para no tener problemas dentro de la ECU por el alto amperaje que pueden necesitar los consumidores utilizamos los relés. Usaremos relés para alimentar de +12 V a la bomba, inyectores, bobina y ECU, todas las corrientes positivas pasarán por medio de un fusible individual para proteger todos los componentes en caso de algún corto.

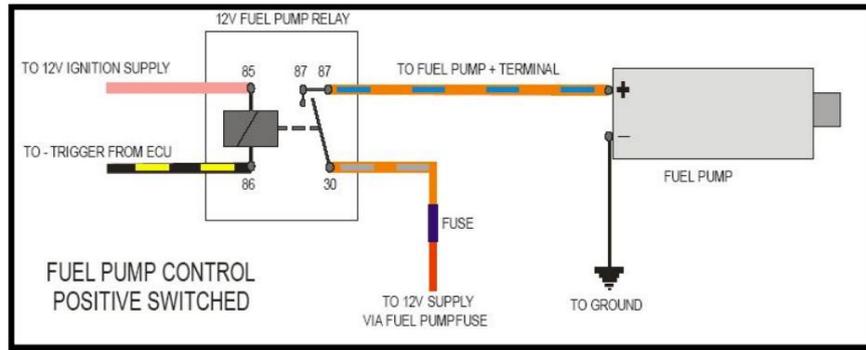


Figura 23-3: Esquema de la conexión de un Relé

Fuente: Garzón, 2011

3.6. Programación

3.6.1. Creación de un nuevo proyecto

Los softwares que se utilizaron para la programación y puesta a punto del motor son el TunerStudio Ms y el MegaLogViewer, con el primero se podrá modificar todos los parámetros de la computadora programable para adaptarse a las necesidades individuales de cada motor, mientras que con el segundo programa se puede tener todos los datos guardados y representados en gráficas para un posterior estudio y ver cómo se comportan los diversos sensores y parámetros de la gestión del motor.

Como primer paso se debe asegurar que la PC cuente con los drivers necesarios para reconocer tanto el cable como a la ECU, en caso de no tenerlos, se tiene que descargar los drivers para el cable Rs232 e instalarlos en el computador.

Luego tenemos que abrir el software de TunerStudio y crear un nuevo proyecto.

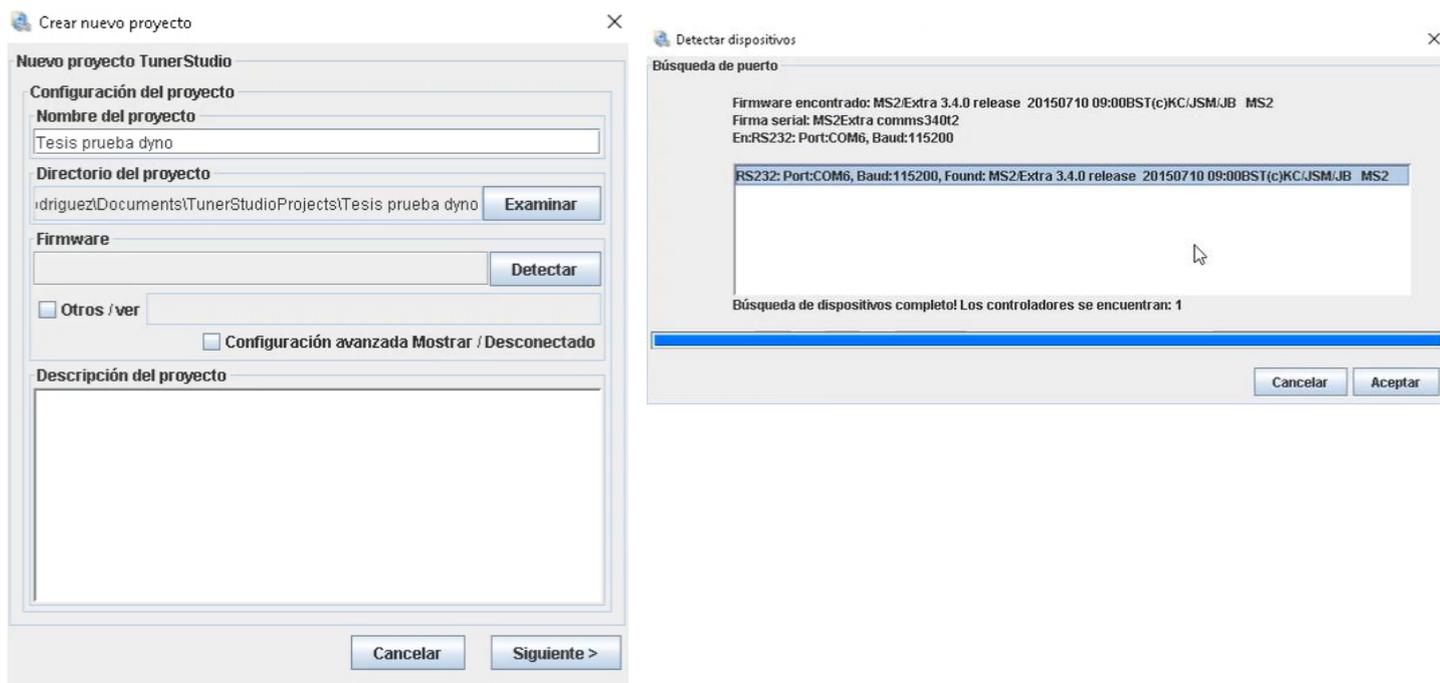


Figura 24-3: Ventana Nuevo Proyecto

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Una vez se haya reconocido nuestra ECU se da aceptar y se deja las opciones por default, en nuestro caso cambiamos la unidad de temperatura por la escala Celsius ya que se nos hace más familiar.

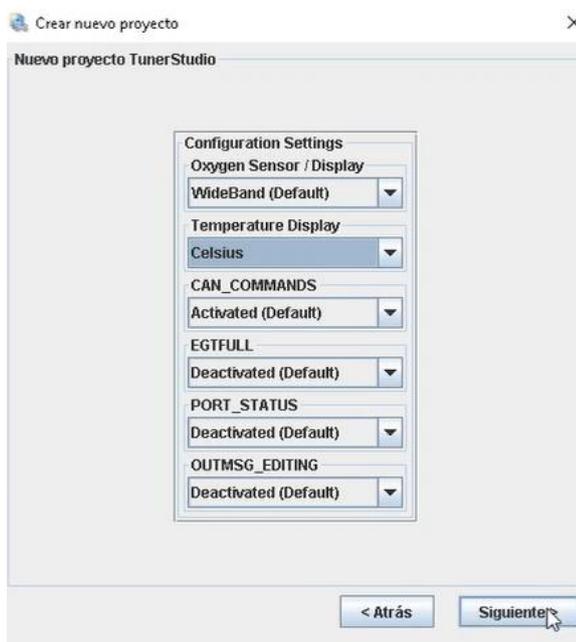


Figura 25-3: Ventana 2 Nuevo Proyecto

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

A continuación, aparecerá la pantalla principal con algunos indicadores, estos se pueden modificar para que nos muestren los valores que queramos o necesitemos en ese momento.

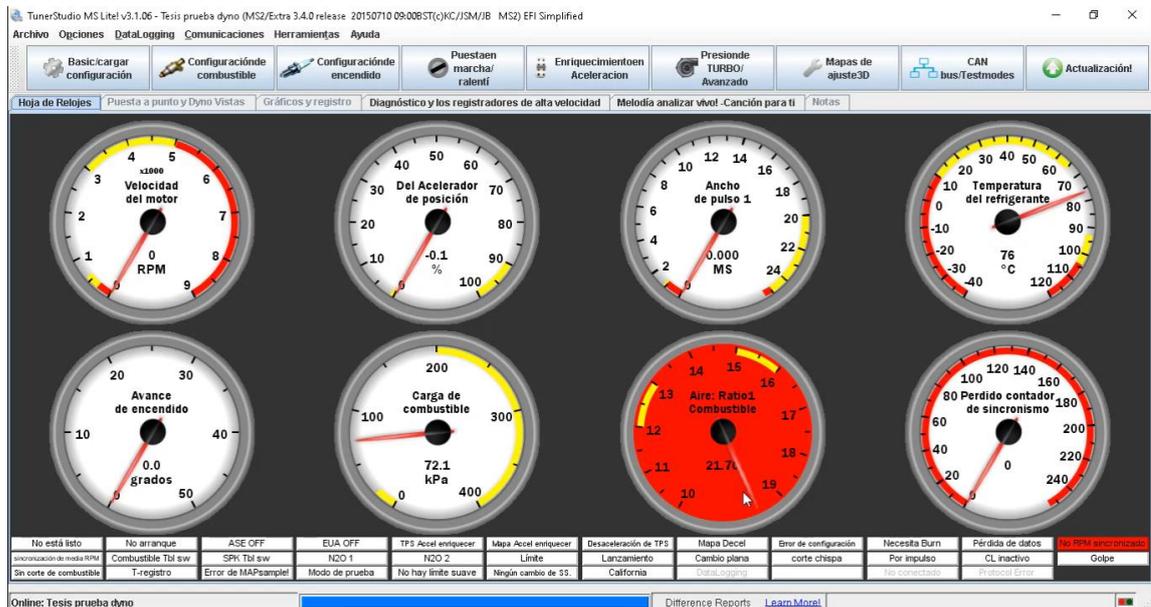


Figura 26-3: Ventana Principal

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Existen varios métodos o estrategias para programar, afinar o tunear un motor, estas estrategias buscan poder estimar el flujo de aire que ingresa en los cilindros del motor, para ello ocupamos sensores como el TPS, MAP, MAF, CKP, ECT, IAT, entre otros.

Dependiendo de las necesidades y de los sensores que tengamos a disposición se puede optar por una estrategia u otra.

Entre las estrategias o algoritmos más usados tenemos la que estima el flujo de aire mediante el MAF o la estrategia de Speed Density que usa los datos que da el MAP y el CKP, dando tablas con ejes de revoluciones y presión en el múltiple de admisión.

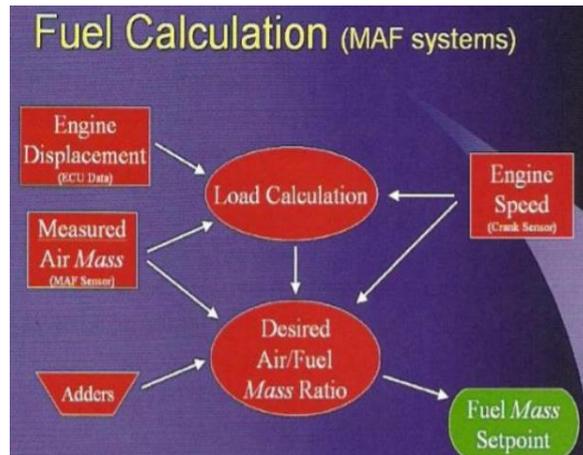


Figura 27-3: Esquema Estrategia por MAF

Fuente: (Banish, 2007, p.49)

Se usará la estrategia de speed density, en este método se usa las tablas de eficiencia volumétrica o VE en función de las rpm, la mayoría de estas tablas son de 16*16 o 32*32, uno de los problemas más importantes es que esta tabla permanece constante, por lo que si se cambia el árbol de levas, múltiple de admisión, sistema de escape, estos valores cambiarán drásticamente.

Este algoritmo utiliza el sensor de presión absoluta de la admisión para determinar la carga, por lo que en el eje X de la tabla VE tendremos unidades en KiloPascales (KPa)

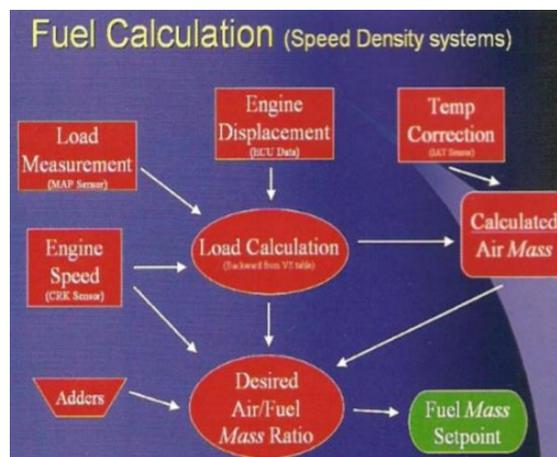


Figura 28-3: Esquema Estrategia Speed Density

Fuente: (Banish, 2007, p. 50)

Otra estrategia usada es la denominada Alpha-N la cual usa el TPS para estimar el flujo de aire que ingresa al motor, esta es la que peor estima, pero puede ser útil en casos de que la señal del MAP/MAF sea poco fiable o no esté disponible.

Una vez decidamos que estrategia nos conviene más para nuestros requerimientos empezamos a insertar los parámetros del motor.

Como la cilindrada del motor, el número de cilindros, el flujo o caudal de los inyectores, la relación aire-combustible o AFR por sus siglas en inglés, etc.

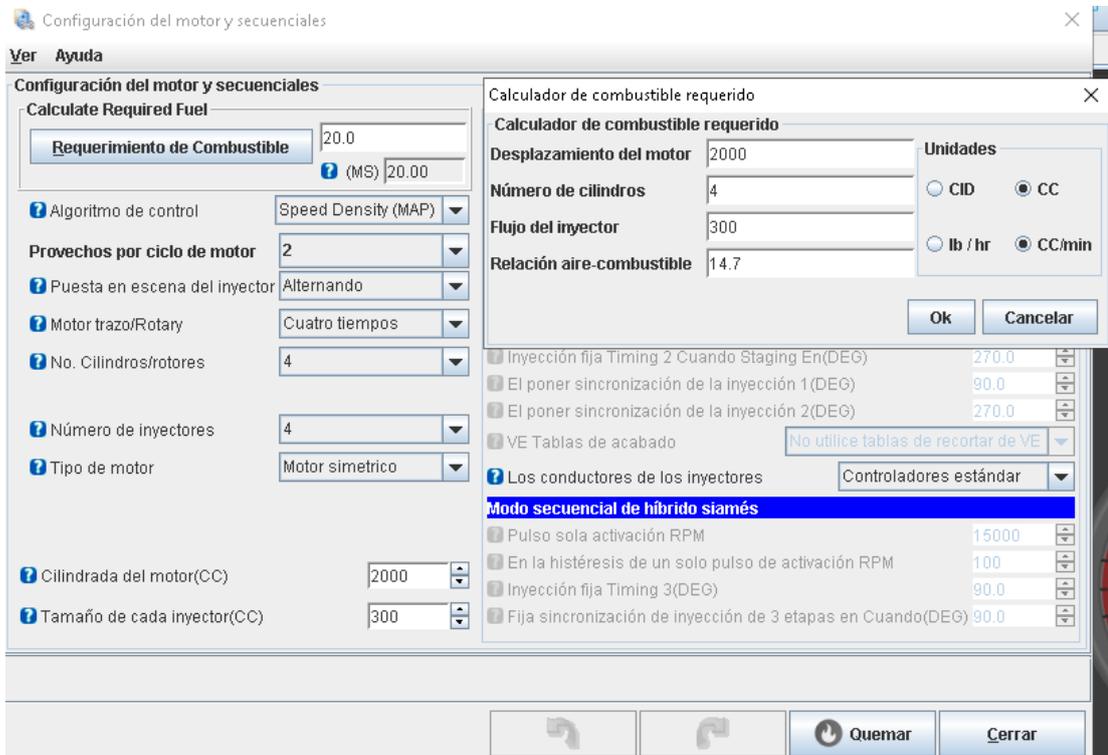


Figura 29-3: Ventana Configuración del motor

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Una vez se tenga listo la parte de entrega de combustible se pasa a la configuración para la ignición. Aquí se debe tener en cuenta el tipo de bobina que se está usando, ya que una señal incorrecta puede sobresaturar la bobina y quemarla, también se debe tener en cuenta como inicia la señal del CKP al empezar a contar las revoluciones, un síntoma de que está mal seleccionado este parámetro es que el motor no quiere encender o que tenga problemas al momento de que el vehículo va rodando y esta sufra atrancones.

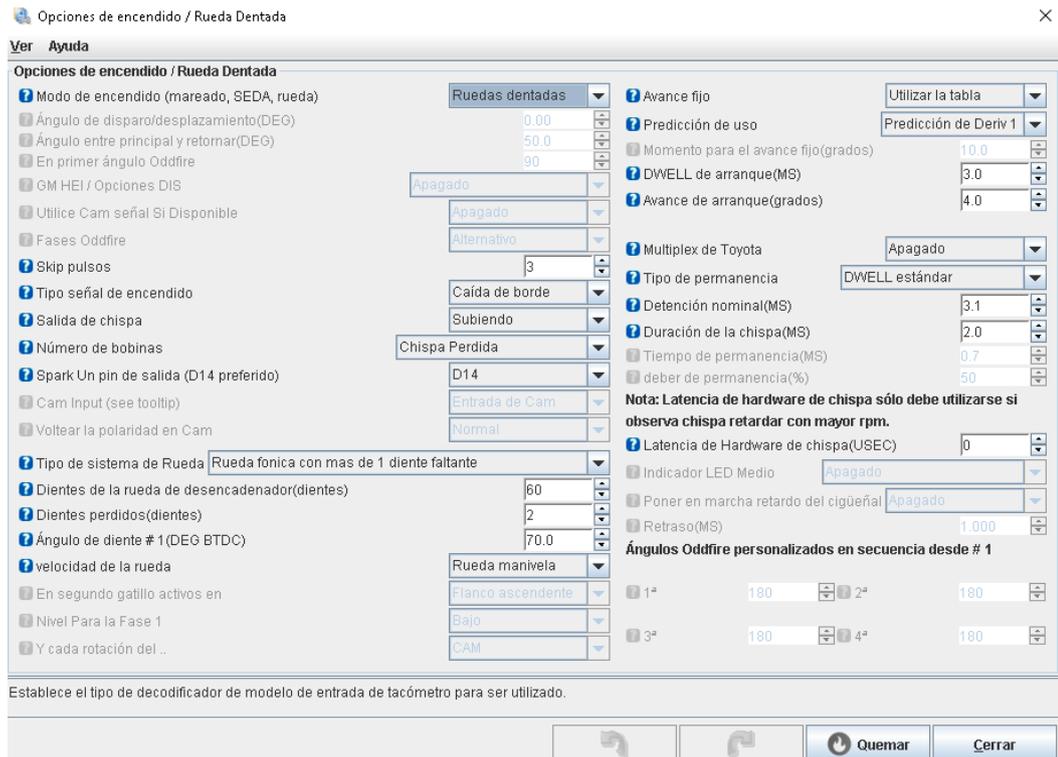


Figura 30-3: Ventana Configuración de encendido

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.6.2. Calibración de sensores

Ya configurado los parámetros básicos del motor se procede a calibrar los sensores.

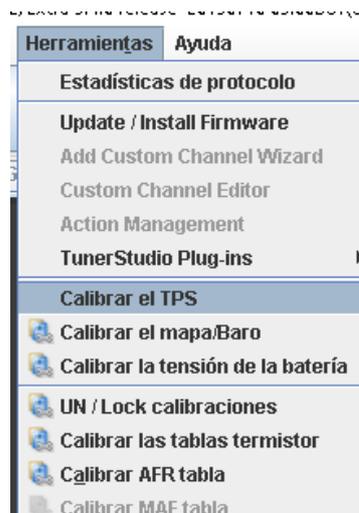


Figura 31-3: Ventana Calibración Sensores

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Para calibrar el TPS se toma la medida cuando la mariposa de aceleración está cerrada y la segunda medida cuando está totalmente abierta.

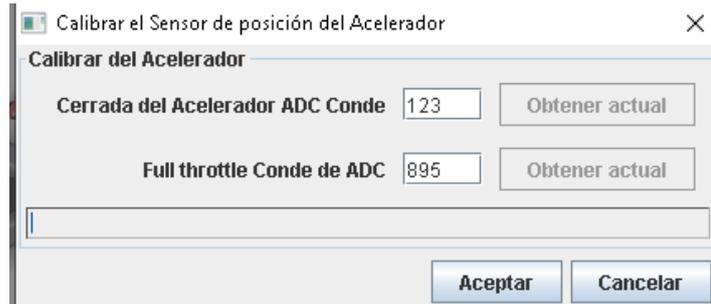


Figura 32-3: Ventana Calibración TPS

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

El Software de Megasquirt ya viene cargado por defecto con las calibraciones correctas para sensores de temperatura de General Motors, solo se calibra si no corresponden a esta marca. Para calibrar los sensores de temperatura del refrigerante y del aire de admisión tenemos la opción de escoger alguna marca de las que proporciona el software por defecto, en el caso de que los valores indicados varíen de los reales, podemos calibrar mediante la opción de 3 puntos, para ello se calienta el sensor y con un pirómetro laser y un multímetro observar como varia la resistencia del termistor en función de su temperatura.

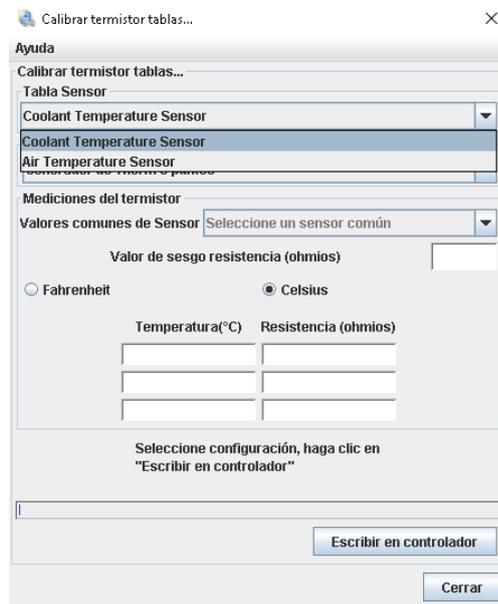


Figura 33-3: Ventana Calibración Termistores

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.6.3. Caracterización de los inyectores

El tiempo muerto del inyector representa la diferencia entre el retraso de apertura y el cierre del inyector, este delta varía en función del voltaje en el que se encuentra, los tiempos pueden venir dados por el fabricante o se puede tomar valores generales para el tipo de inyector que se esté usando.

Valores típicos a 13.2 voltios.

Inyectores de alta impedancia: 0.8 – 1 ms

Inyectores de baja impedancia: 0.8-0.9 ms

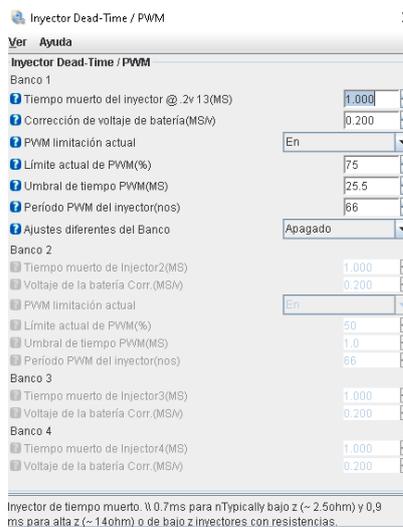


Figura 34-3: Caracterización del inyector

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.6.4. *Modificación en los circuitos integrados de la ECU*

Una de las características de las computadoras megasquirt es que se puede ir modificando la placa para añadir nuevas aplicaciones, diferentes salidas como electro ventilador, control de largada, bluetooth, etc. Además de modificar ciertos parámetros como el tipo de sensor ckp que se utilizara en el proyecto, si es de efecto hall o inductivo, es por ello que se recomienda realizar una investigación a profundidad en los manuales y foros y en el caso de ser necesario a un experto en este tipo de ecus programables para no quemar ningún componente en la placa.

La placa electrónica cuenta con dos potenciómetros R52 y R56, los cuales sirven para afinar el motor, estos actúan directamente sobre la cantidad de voltaje que produce el sensor inductivo y los potenciómetros amplifican o reducen la señal del sensor. (José Hidrovo, 2011)

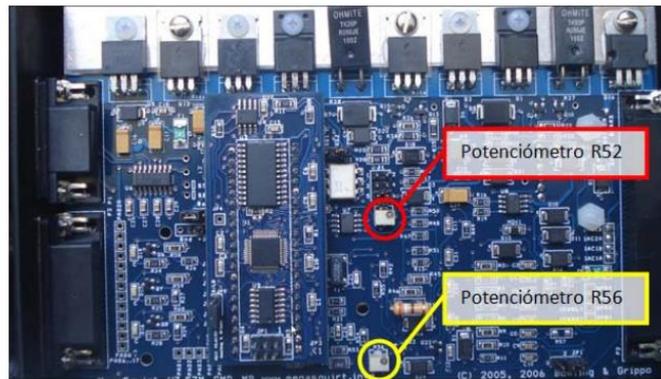


Figura 35-3: Potenciómetros para calibración del CKP

Fuente: (Hidrovo, Pérez, Puma, 2011, p.178)

Esta calibración es útil cuando se tiene una pérdida de revoluciones y estamos seguros de que el gap del ckp con la rueda fónica es correcto y se mantiene fijo. Girando ambos potenciómetros se consigue una lectura fluida y fija de las revoluciones del motor.

3.6.5. *Tabla VE*

Esta tabla será la encargada de gestionar la entrega de combustible, es una tabla fija cuyos valores son un porcentaje de la ecuación de combustible que toma el ancho de pulso base del combustible requerido, previamente calculado en la ventana de Configuración del Motor, lo escala por el porcentaje de la tabla VE y luego se aplica una serie de correcciones por temperatura, enriquecimientos, etc.

Para crear una tabla base desde cero podemos usar la siguiente fórmula para obtener valores genéricos de eficiencias volumétricas usando las ecuaciones de gases ideales.

$$VE = \frac{P}{R * T * \delta} \quad (12)$$

En donde:

P: Presión Absoluta en kPa

R: Constante Universal de los gases, 0.28705 kPa*m³/Kg*K

T: Temperatura Absoluta del aire de admisión en K

δ: Densidad del aire en Kg/m³

La presión será la indicada por el sensor MAP y variará desde los 20 hasta los 101 kPa.

La temperatura será el promedio cuando el motor ya alcanzó su temperatura normal de funcionamiento, el IAT nos indica un valor de 45 C, que equivale a 318.15 K.

La densidad del aire a presión atmosférica y a una temperatura de 45 C es de 1.109 Kg/m³ (Cengel, 2006).

Aplicando la formula tenemos la siguiente tabla.

Tabla 5-3: Cálculos de valores VE en función del MAP

VE	MAP
21,6	20
27,4	25,3
33,1	30,6
38,8	35,9
44,6	41,2
50,3	46,5
56,0	51,8
61,8	57,1
67,5	62,4
73,2	67,7
79,0	73
84,7	78,3
90,4	83,6
96,2	88,9
101,9	94,2
107,6	99,5

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Ingresamos estos valores en el software Tunerstudio y con la herramienta de interpolación generamos nuestra tabla base de inyección.

101.0	99	96	96	96	97	97	97	97	98	98	98	98	98	99	99	99
94.2	92	90	90	90	90	90	91	91	91	91	91	92	92	92	92	92
88.9	87	85	85	85	85	85	86	86	86	86	86	86	87	87	87	87
83.6	82	80	80	80	80	80	81	81	81	81	81	81	82	82	82	82
78.3	77	75	75	75	75	75	75	76	76	76	76	76	76	77	77	77
73.0	72	70	70	70	70	70	70	71	71	71	71	71	71	71	72	72
67.7	67	65	65	65	65	65	65	66	66	66	66	66	66	66	66	67
62.4	61	60	60	60	60	60	60	60	61	61	61	61	61	61	61	61
57.1	56	55	55	55	55	55	55	55	56	56	56	56	56	56	56	56
51.8	51	50	50	50	50	50	50	50	50	51	51	51	51	51	51	51
46.5	46	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	46	46	46	46	46
41.2	41	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	41	41	41	41
35.0	35	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	35	35	35	35
30.6	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
25.3	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
20.0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	325	650	975	1300	1625	1950	2275	2600	2925	3250	3575	3900	4225	4550	4875	5200

Figura 36-3: Tabla base VE en 2D

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Es de gran ayuda dividir los ejes de rpm y de la carga del motor de forma equitativa que abarque todo el rango de trabajo del motor.

También se puede visualizar el mapa en forma de 3D

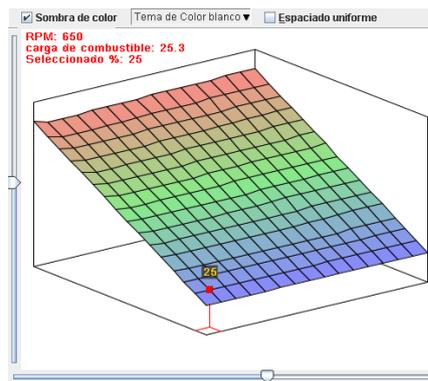


Figura 37-3: Tabla base VE en 3D

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Ya que la eficiencia volumétrica varía en cada motor y está también en función de muchos otros parámetros como válvulas, diseño de admisión, escape, etc. Se debe realizar las calibraciones pertinentes para un correcto desempeño del motor, se tiene que contar con un sensor de oxígeno de banda ancha para comprobar como varía la mezcla mientras aumentamos o disminuimos los valores de la tabla hasta obtener la relación de aire combustible deseada.

Un buen punto de partida es conseguir una mezcla estequiométrica y desde ahí ir enriqueciendo la mezcla según queramos ir ganando más potencia.

En motores de combustión interna se obtiene el máximo de potencia y torque alrededor de un AFR de 12.6. (Banish, 2009).

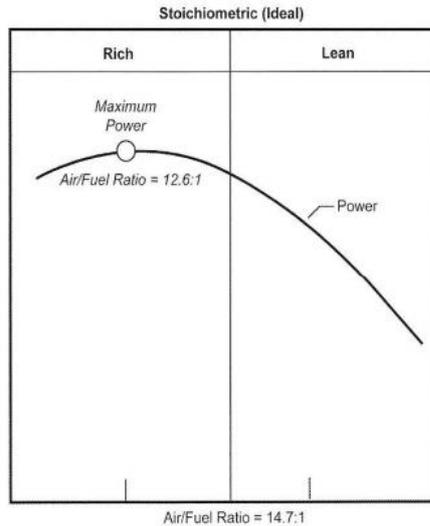


Figura 38-3: AFR en función de la potencia

Fuente: (Banish, 2007, p. 16)

Los gases contaminantes también varían en función del AFR, en la Figura 60-3 se puede observar como el punto de menos emisiones de gases es con la relación estequiométrica, a medida que la mezcla se enriquece, los valores de hidrocarburos aumentan, sin embargo, en mezclas muy pobres los gases de monóxido de carbono, hidrocarburos y NO_x aumentan exponencialmente, es por esto que mezclas pobres contaminan mucho más que la mezcla estequiométrica o ligeramente ricas.

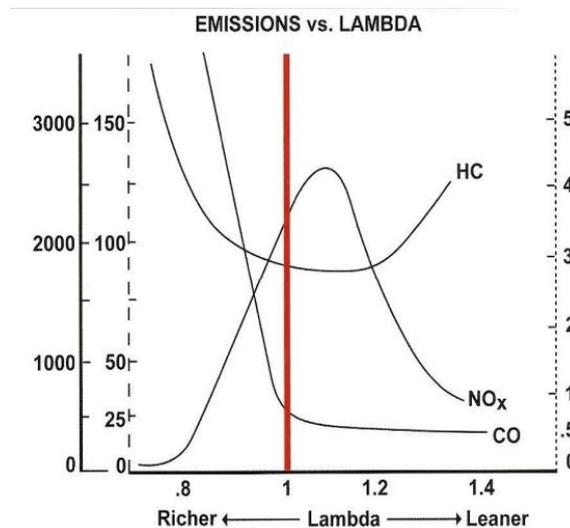


Figura 39-3: Emisiones vs Lambda

Fuente: (Banish, 2007, p. 15)

La eficiencia en el consumo de combustible viene representada por la Figura 61-3, en donde se observa que mezclas ricas consumen más combustibles que una mezcla pobre de 15.4:1; después

de este punto se observa que el consumo vuelve a aumentar a medida que las mezclas se empobrecen más.

La mezcla ligeramente pobre desarrolla un frente de llama de alta temperatura, lo que aumenta la eficiencia térmica del ciclo. Si bien esto es técnicamente cierto, las ganancias reales son menos que revolucionarias. La mayoría de los motores ven una disminución de menos del 5% en el consumo de combustible en estado estable con condiciones de combustión pobre. Al igual que con el par motor, existe un punto para el ahorro de combustible en el que uno puede acercarse al óptimo al correr dentro de una determinada ventana de AFR. (Banish, 2009)

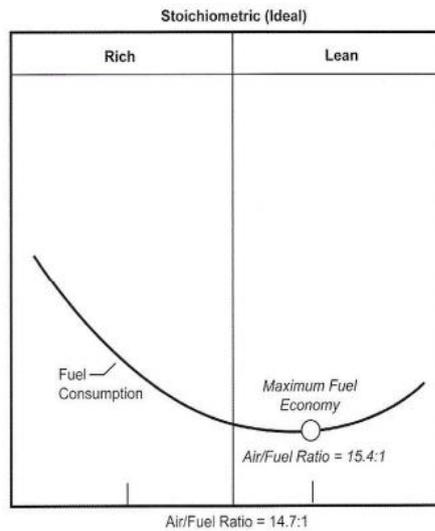


Figura 40-3: Eficiencia de consumo de combustible vs AFR

Fuente: (Banish, 2007, p. 16)

3.6.6. *Tabla de Ignición*

Esta tabla especifica el avance del salto de chispa en grados BTDC (antes del punto muerto superior) en función de las rpm y la carga del motor dada por el sensor MAP o TPS. Lo que buscamos con esta tabla es encontrar el punto donde se obtiene la máxima presión en el cilindro en la carrera de compresión para así obtener la máxima potencia en la carrera de trabajo, este punto suele rondar entre los 7 y 15 ATDC. Sin embargo, el proceso de la quema del combustible no sucede de forma espontánea, por lo que se requiere cierto tiempo para quemar toda la mezcla, es por esto que el salto de chispa sucede varios grados antes del PMS.

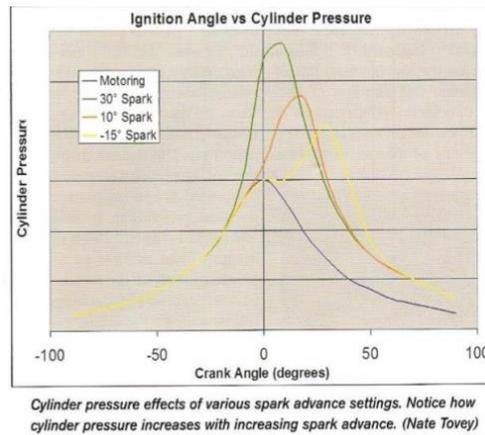


Figura 41-3: Gráfica de presión del cilindro vs ángulo de ignición

Fuente: (Banish, 2007, p. 17)

El tiempo en el ciclo de combustión varía en función de la temperatura del motor, temperatura del aire de admisión, carga y velocidad del motor, tipo de combustible, etc.

La mayoría de los motores de encendido por chispa tienen un efecto de velocidad de propagación de la llama de 18 a 25 m/s. Teniendo en cuenta este valor podemos realizar los siguientes cálculos para tener una idea de cómo varía el timing.

Radio del cilindro: 0.0425 m

Velocidad promedio de propagación de la llama (Vf): 21.5 m/s

RPM: 800

Se calcula "Tfc", que representa el tiempo que demora la flama en llegar a las paredes del cilindro

$$T_{fc} = \frac{\text{Radio del cilindro}}{V_F} \quad (13)$$

$$T_{fc} = \frac{0.0425 \text{ m}}{21.5 \text{ m/s}} = 2.093023 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Se transforma las rpm a grados por segundo

$$800 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{360^\circ}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 4800^\circ/\text{s}$$

Se calcula el grado de avance para esta velocidad del motor (α).

$$\alpha = \text{Velocidad angular del motor} * Tfc \quad (14)$$

$$\alpha = 4800 \frac{\circ}{s} * 2.093023 * 10^{-3} s = 10.05^{\circ}$$

Ahora se calcula el avance para 3000 rpm. (β)

$$3000 \frac{rev}{min} * \frac{360^{\circ}}{1 rev} * \frac{1 min}{60 s} = 18000^{\circ}/s$$

$$\beta = 18000 \frac{\circ}{s} * 2.093023 * 10^{-3} s = 37.67^{\circ}$$

Se observa como el avance en el salto de chispa varia de forma considerable al aumentar las revoluciones del motor, es debido a esto que se debe calibrar la tabla de ignición.

Algunos puntos que podemos usar para generar nuestra tabla son los siguientes:

El avance aumenta mientras la velocidad del motor aumenta.

El avance disminuye a medida que la carga del motor aumenta

Siguiente estas recomendaciones y los cálculos hechos previamente obtenemos nuestra tabla base.

100.0	12.8	14.8	17.0	17.4	21.2	26.5	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
90.0	13.1	15.2	17.5	17.4	22.5	27.3	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
80.0	13.5	15.5	18.0	17.9	22.9	27.8	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
70.0	14.0	16.3	18.3	18.4	23.8	28.3	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
60.0	14.0	16.5	18.5	18.9	24.7	28.8	29.0	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2
50.0	13.8	16.8	18.8	19.4	25.0	29.0	29.5	29.5	29.5	30.0	30.0	30.0
45.0	13.7	16.6	18.7	19.8	25.1	29.0	29.6	30.2	30.1	30.5	30.5	30.5
40.0	13.5	16.4	19.2	20.2	25.2	29.0	29.8	30.4	30.4	30.6	30.6	31.0
35.0	13.5	16.1	19.3	20.4	25.3	29.4	30.0	30.0	30.5	30.5	31.0	31.0
30.0	13.8	16.5	19.5	20.8	25.4	29.8	30.0	30.5	30.5	31.0	31.0	31.0
25.0	14.3	16.8	19.4	21.2	25.4	29.8	30.0	30.0	30.5	31.0	31.0	31.0
20.1	15.2	17.9	20.2	21.4	25.7	29.7	30.0	30.5	31.0	31.0	31.0	31.0
↕	701	900	1200	1500	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000

Figura 42-3: Tabla base ignición en 2D

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Esta tabla es quizá la más complicada de programar ya que si no contamos con un dinamómetro para realizar todas las calibraciones necesarias, al programar en carretera no tenemos una retroalimentación objetiva de que si nuestras modificaciones han mejorado o empeorado la potencia del motor. Lo principal es que no ocurran eventos de knock, que consiste en una detonación descontrolada por el avance excesivo en el salto de chispa, estos eventos pueden dañar

gravemente el motor, por lo que una vez que empiece el sonido característico de cascabeleo o pistoneo se debe retrasar el salto de chispa hasta que desaparezca en su totalidad.

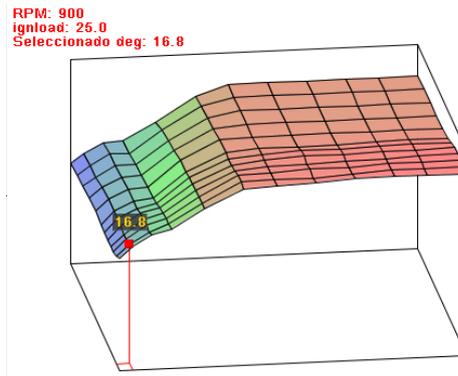


Figura 43-3: Tabla base ignición en 3D

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.6.7. *Compensación de combustible en arranque y calentamiento.*

Debido a las bajas temperaturas en las que se encuentra un motor cuando ha estado parado por algún tiempo prolongado, se debe inyectar un extra de gasolina ya que necesitamos que el motor alcance su temperatura óptima de funcionamiento en el menor tiempo posible, una vez el motor este caliente se corta este extra de combustible y trabaja con la tabla VE calibrada previamente. El primer pulso de inyección al abrir el switch de encendido viene dado por la tabla de pulso de cebado, el cual humedecerá la admisión para limpiar el aire de las líneas, el tiempo promedio es de 2 segundos. Esta tabla especifica el ancho de pulso inicial en milisegundos en función de la temperatura del refrigerante.

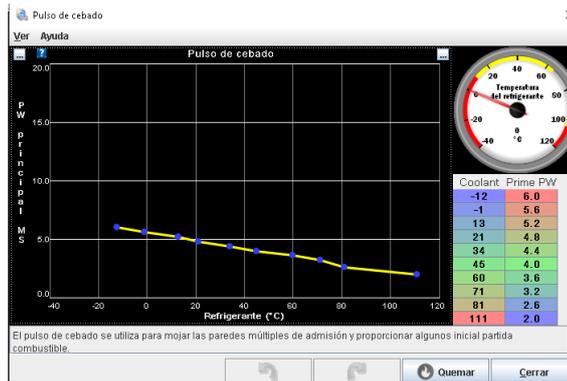


Figura 44-3: Tabla pulso de cebado

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.6.8. Pulso de arranque

Esta curva especifica el pulso inicial en milisegundos el cual se dispara durante el arranque. Hay un pulso por evento de cilindro y está en función del sensor ECT. La mayoría de los motores necesitan entre un 200 y 400% extra cuando están fríos (-12 °C) y un 100% cuando está caliente (+100 °C).

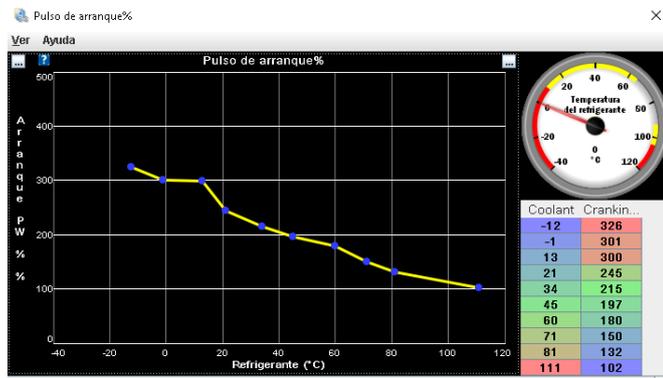


Figura 45-3: Tabla pulso de arranque

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.6.9. Enriquecimiento post arranque (ASE)

Se añade un porcentaje extra de combustible después de que se supere las rpm de arranque y luego disminuye linealmente a través del tiempo de puesta a punto, este número se agrega a los valores WUE (Enriquecimiento por calentamiento) y luego el número combinado se multiplica por el número que calcula la entrega de combustible principal, estos valores varían entre un 5 y 50%

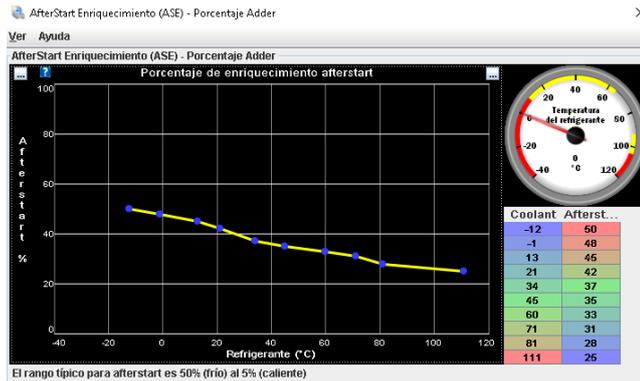


Figura 46-3: Tabla Enriquecimiento post arranque (ASE)

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.6.10. Enriquecimiento post arranque (ASE) Taper

Especifica cuantos ciclos del motor se aplicará el enriquecimiento post arranque.

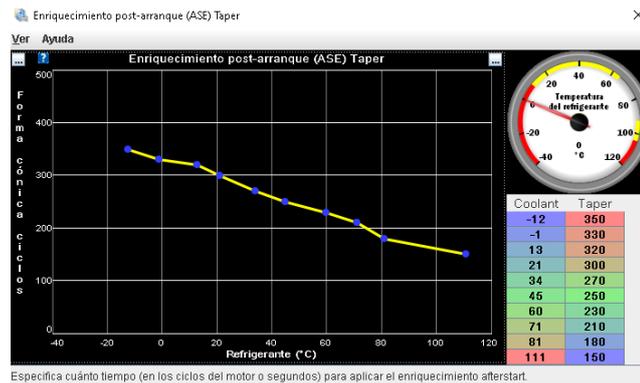


Figura 47-3: Tabla Enriquecimiento post arranque (ASE) Taper

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.6.11. Multiplicador de porcentaje de enriquecimiento de calentamiento. (EUA - WUE)

Indica el porcentaje a multiplicar de combustible durante el calentamiento, a temperaturas frías puede necesitar entre un 200 y 300%. Cuando el motor alcanza su temperatura óptima de funcionamiento no necesita un extra por lo que se debe especificar un 100%

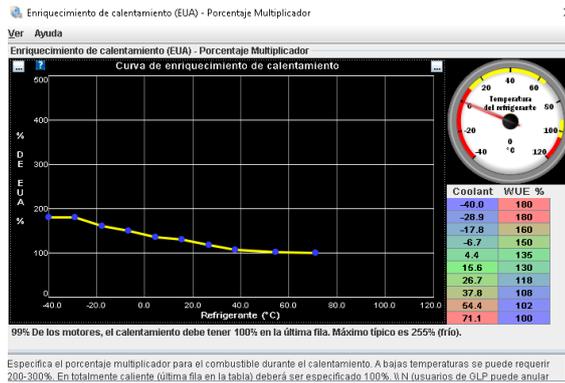


Figura 48-3: Tabla Multiplicador de porcentaje de enriquecimiento de calentamiento

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.6.12. Enriquecimiento por aceleración (AE)

Este enriquecimiento puede estar en función del TPS o del MAP, en ambos existe una notación de calculo que indica la tasa de cambio con respecto al tiempo, viene expresado por un porcentaje en donde un 100% significaría que la mariposa de aceleración se abre desde estar totalmente cerrada a totalmente abierta en un segundo o la velocidad equivalente como pasar de 25 a 75% en 0.5 segundos

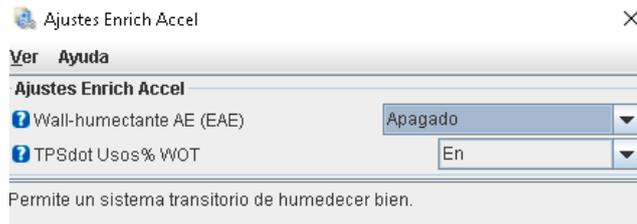


Figura 49-3: Selección del tipo de enriquecimiento por aceleración

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

El objetivo de estas tablas es proporcionar un extra de combustible para compensar la entrada masiva de aire al abrir la mariposa de aceleración de forma abrupta para luego seguir trabajando con el ancho de pulso comandado por la tabla VE.

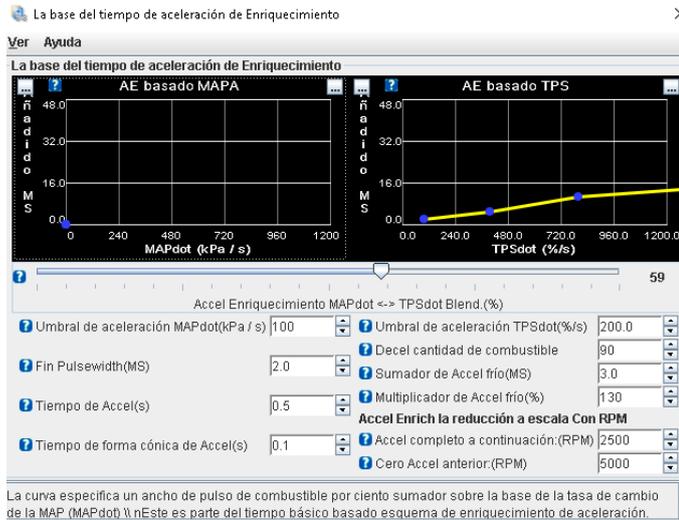


Figura 50-3: Enriquecimiento por aceleración

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.6.13. Corte de combustible por desaceleración.

Esta opción es útil para mejorar el consumo de combustible y por ende reducir los gases contaminantes emitidos por el escape, consiste en un corte en el ancho de pulso de inyección cuando la mariposa de aceleración se encuentra cerrada y el motor se encuentra en ciertas revoluciones, el software también toma en cuenta la carga del motor y la temperatura del refrigerante para así evitar que se active el corte en una situación de conducción normal.

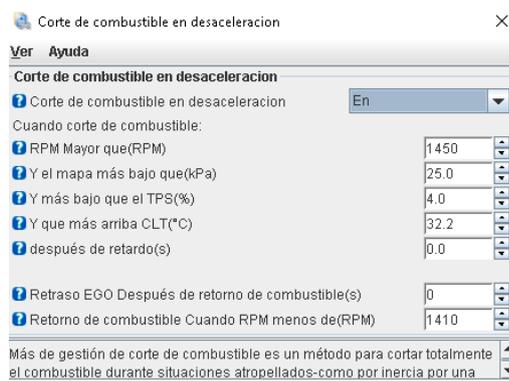


Figura 51-3: Corte de combustible en desaceleración

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.6.14. Limitador de revoluciones del motor

El límite de revoluciones del motor con el sistema de carburador fue de 4800 rpm, se subió hasta las 5200, sin embargo, desde las 5000 rpm se va ir reduciendo progresivamente el avance para que cuando llegue al corte el cambio no sea tan brusco (Histéresis=200), el corte va ser de combustible y chispa.

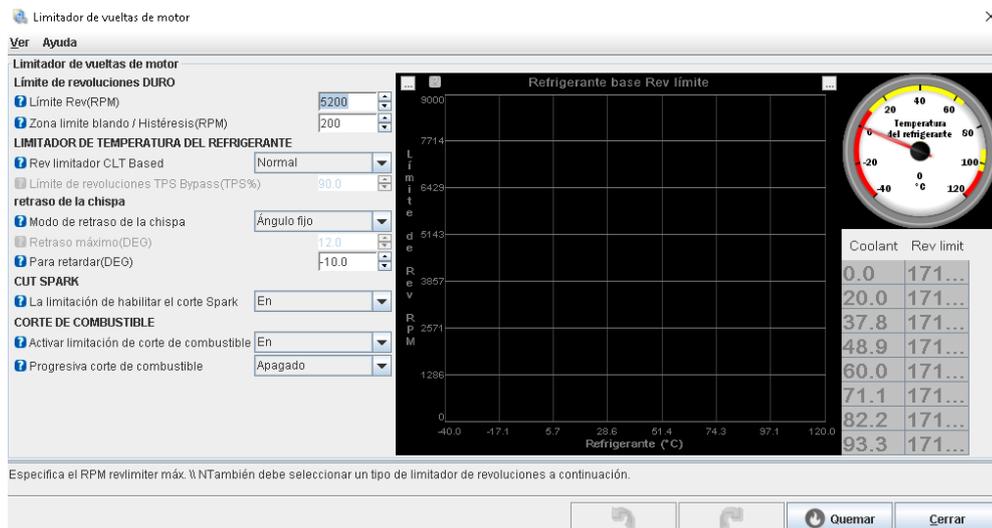


Figura 52-3: Limitador de revoluciones

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.7. Pruebas

3.7.1. Compresión del motor

Mediante la lectura de valores de torque y potencia en el dinamómetro, se tomó la decisión de realizar una leve calibración a las válvulas del motor con el fin llegar a obtener valores de compresión mejorados con respecto a las primeras tomas de compresión (Psi) sin su respectiva regulación.

Se observa en la siguiente figura la forma en la que se realiza la medición de compresión en cada uno de los cilindros con el fin de descartar algún tipo de fuga de compresión interna.



Figura 53-3: Medición de compresión en cada uno de los cilindros del motor

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

En la siguiente tabla referencial se muestran valores de compresión obtenidos de cada uno de los cilindros, esta prueba se la realizo antes de la calibración de válvulas y la previa adaptación del sistema de inyección.

Tabla 6-3: Valores de compresión obtenidos antes de la calibración

# Pruebas	Cilindro 1 (Psi)	Cilindro 2 (Psi)	Cilindro 3 (Psi)	Cilindro 4 (Psi)
01	122	119	120	111
02	125	130	121	120
03	123	124	120	115
Promedio	123.3	124.3	120.3	115.3

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Los valores que muestran a continuación fueron obtenidos mediante la calibración de válvulas con una lámina de numeración 12mm, además si se quieren unos valores de compresión aún más altos la solución sería realizar un cepillado del cabezote.

Tabla 7-3: Valores de compresión obtenidos después de la calibración

# Pruebas	Cilindro 1 (Psi)	Cilindro 2 (Psi)	Cilindro 3 (Psi)	Cilindro 4 (Psi)
01	130	125	120	120
02	130	130	125	123
03	130	128	123	122
Promedio	130	127.7	122.7	121.7

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.7.2. Pruebas con el sistema de carburador

3.7.2.1. Pruebas de torque y potencia en el dinamómetro.

El dinamómetro que se utilizará es un DYNOCOM AWD-5000FX, es un dinamómetro de chasis de rodillos, el cual puede medir hasta 2000 HP y 5000 Lb.pie, este tipo de dinamómetro puede medir la potencia de autos de tracción con eje delantero, trasero y tracción a las 4 ruedas. (Industries, 2020)

Condiciones de prueba realizadas en la ciudad de Riobamba

- Temperatura Ambiente: 18.33 °C
- Presión: 21.46 in hg
- Humedad: 33%

Tabla 8-3: Valores obtenidos de prueba en dinamómetro sin factor de corrección

Prueba en dinamómetro sin factor de corrección		
Rpm	Torque Max (Lb.ft)	Potencia Max (hp)
1725	32.2	--
4550	--	18.9

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Tabla 9-3: Valores obtenidos de prueba en dinamómetro con factor de corrección

Prueba en dinamómetro con factor de corrección Según SAEJ1349		
Rpm	Torque Max (Lb.ft)	Potencia Max (hp)
1725	46.0	--
4550	--	27.00

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

A continuación, se muestra la gráfica de torque y potencia.

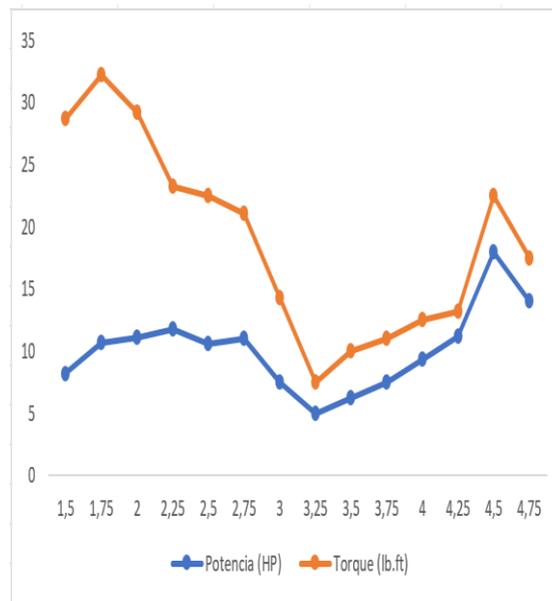


Gráfico 1-3: Curvas torque y potencia con sistema a carburador

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

En la gráfica dada por el dinamómetro se observa que entre 2500 y 3300 rpm el motor tiene una caída de potencia y torque que alcanzan valores 5 hp y 8 lb.ft respectivamente. Esto puede ser a una falla en la calibración de válvulas, problemas con el carburador, problemas mecánicos del motor, etc., esta pérdida se ve mayormente reflejada en la conducción en la sierra ecuatoriana, ya que el auto pierde potencia sobre todo en las cuestas, esto es un problema recurrente en los motores con sistema de carburador, ya que, al estar calibrado para la costa con condiciones atmosféricas a nivel del mar, a estar a una mayor altitud el auto empieza a trabajar con un desempeño pobre, se puede comprobar esto con la medición del AFR o relación de la mezcla aire/combustible, el carburador no puede ajustar de forma correcta la mezcla para que se encuentre lo más cerca de la relación estequiométrica, en ralentí se obtienen mezclas demasiado pobres con $AFR=16$, esto provoca un ralentí inestable y el motor demora en llegar a su temperatura óptima de funcionamiento



Figura 54-3: AFR medido en el dinamómetro en ralentí con sistema carburado

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Cuando se acelera la mezcla se vuelve demasiado rica, llegando a alcanzar valores de AFR=9, ahogando así al motor y cubriendo de carbonilla las bujías, esto afecta también a la potencia y torque entregados, con el nuevo sistema de inyección electrónica se corregirá todas estas fallas ya que con la ayuda de los sensores tomara en cuenta los valores de presión atmosférica y temperatura tanto del aire de admisión como del motor para gestionar la entrega de combustible y salto de chispa de una forma más precisa.



Figura 55-3: AFR medido en el dinamómetro a 1000 RPM con sistema carburado

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.7.2.2. Prueba de emisiones de gases contaminantes

El equipo que se utiliza es un analizador de gases de escape GASBOX AUTOPOWER, útil para motores a gasolina, GLP y metano.

La prueba de emisión de gases contaminantes se realizó en la ciudad de Riobamba bajo la norma NTE INEN 2204 - GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES QUE EMPLEAN GASOLINA y con el equipo GASBOX AUTOPOWER.

La toma de datos empieza cuando el vehículo se encuentra en la temperatura óptima de funcionamiento y con la transmisión en neutro. Se realizan tres mediciones en bajas rpm (ralentí

de 510 rpm) y en altas revoluciones (aproximadamente 2400 rpm), el tiempo de medición es de aproximadamente 30 segundos por toma para asegurar que el motor se encuentre estable.

La medición estática de gases se realizó para obtener valores de HC, CO y CO₂. Estos valores se comparan con los de la norma, la cual indica los valores máximos permisibles en ralentí, para él %CO es de 6.5 y para HC es de 1200 ppm. (INEN, 2017)

Tabla 10-3: Valores comparativos de INEN 2017 y Valores permisibles Ecuador

Gas Contaminante	% Permissible según (INEN 2017)	% Permissible Quito-Ecuador (Ordenanza metropolitana)
% CO	6.5	4.5
%HC	1200 ppm	750 ppm
%CO ₂	-	-

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

A continuación, se muestra los valores de referencia obtenidos en la prueba de emisión de gases, para ello se realizó una prueba estática a 510 rpm (ralentí) además incrementando la aceleración hasta 2400 rpm, de cada una de las pruebas se realizarán 3 tomas diferentes.

Tabla 11-3: Valores obtenidos en prueba de gases contaminantes

	# Pruebas	CO % vol.	CO ₂ % vol.	HC ppm vol.
Ralentí @510 rpm	1	6.08	4.9	292
	2	5.53	4.6	262
	3	7.42	5.7	323
A media carga @2400 rpm	1	10	7.5	203
	2	10	7.9	215
	3	10	8	220

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Los valores a 2400 rpm indican una mezcla rica, validando así el resultado de AFR dado en el dinamómetro, en un rango de mezcla rica los valores de CO aumentan mientras los de HC disminuyen hasta cierto punto. (Banish, 2007).

Con la adaptación de la electrónica se espera reducir estos gases contaminantes y así volver al motor más amigable con el medio ambiente.

Para las siguientes ilustraciones gráficas se muestran los datos recolectados en forma gráfica con el fin del análisis y comportamiento de cada uno de los parámetros a tomar en cuenta CO, CO₂ y HC, de la misma manera tomar en cuenta que se realizó 3 pruebas tanto con el motor en ralentí y

el motor con 2400 rpm, las gráficas corresponden a los valores de CO, CO₂ y HC respectivamente, estos valores tomados en ralentí se los compara con los datos obtenidos con el motor a 2400 rpm además se encuentra representado con las columnas color naranja.

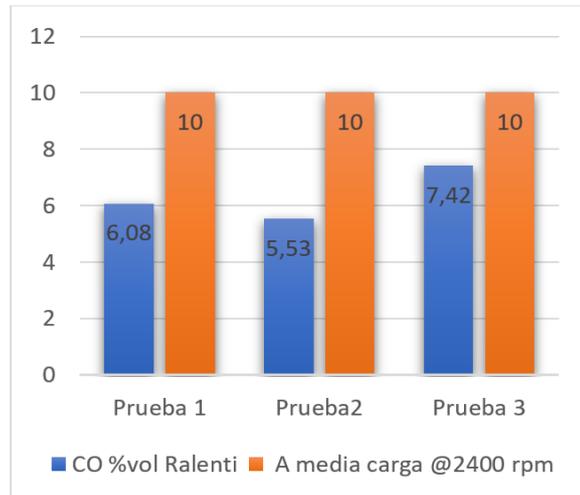


Gráfico 2-3: Representación % CO, ralentí, 2400 rpm

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

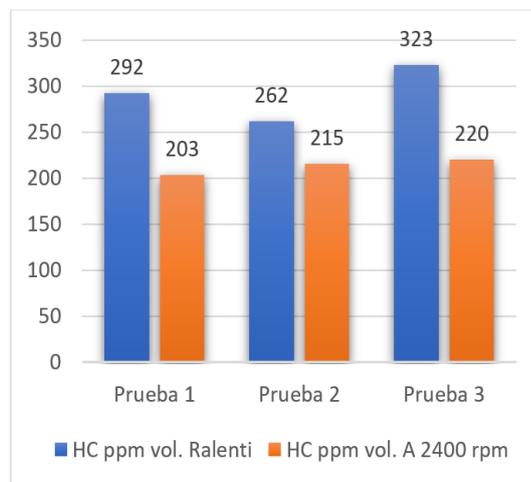


Gráfico 3-3: Representación HC, ralentí, 2400 rpm

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

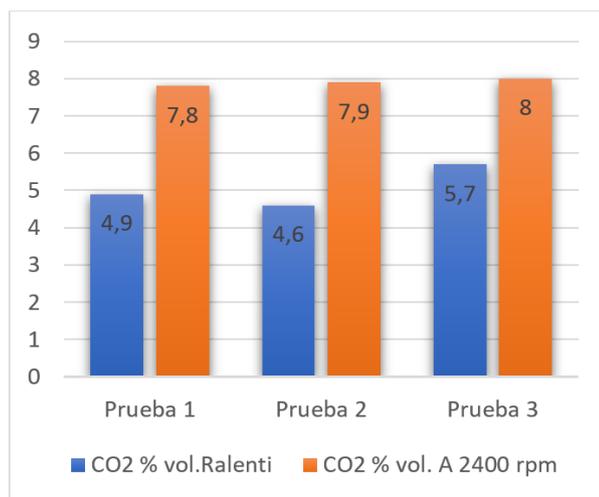


Gráfico 4-3: Representación % CO2, ralentí, 2400 rpm

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.7.2.3. Consumo de combustible

La prueba se realizó en carretera para tener un mayor control de la velocidad del vehículo, se llena el tanque y se recorre durante una cierta cantidad de kilómetros, en este caso se recorrió varios tramos sumando una distancia total de 155 kilómetros, finalizado el recorrido se vuelve a llenar el tanque y se observa cuantos galones de combustible entran hasta que vuelva a quedar lleno. Se realizó pruebas a nivel del mar (Machala) y a una altitud aproximada de 2754 metros sobre el nivel del mar (Riobamba) para comparar el consumo tanto en la costa como en la sierra.

Tabla 12-3: Valores obtenidos de la prueba de consumo de combustible Carburador

Altitud	Km/gal
A nivel del mar (Machala)	25
A 2754 msnm (Riobamba)	18

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.7.3. Pruebas con el sistema de inyección programable

3.7.3.1. Prueba de torque y potencia en el dinamómetro

En la gráfica torque vs potencia del motor de combustión interna con un sistema de inyección adaptado, como característica principal en las curvas existe una notable estabilidad tanto a regímenes bajos como a regímenes altos, como resultado de la calibración de válvulas, el control de la mezcla aire combustible mediante un sensor de banda ancha tomando en cuenta el AFR y el avance del salto de chispa, en consecuencia se denota los valores más altos tanto en potencia con 48.4 HP a 3600 Rpm y el valor máximo de torque con 75,95 lb.ft a 2600 Rpm, estos resultados son a las ruedas y sin factor de corrección, es decir la potencia real dada a las ruedas con las condiciones climáticas en ese instante.

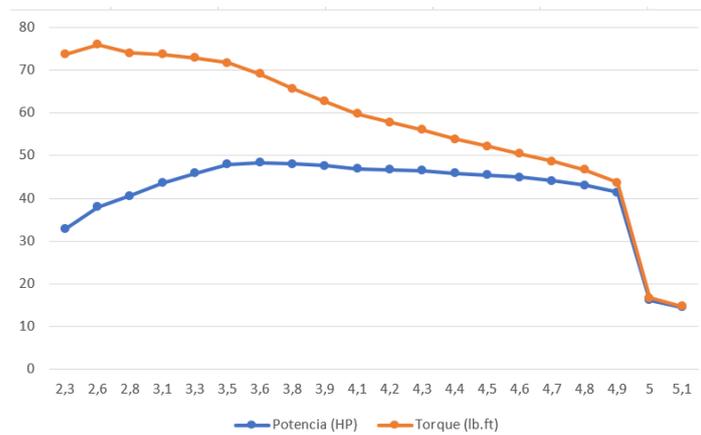


Gráfico 5-3: Torque y potencia con sistema de inyección

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.7.3.2. Prueba de emisiones de gases contaminantes

Para la siguiente tabla se ha realizado la recolección de datos pertinentes a los porcentajes de HC, CO y CO₂, esta prueba se la realizó después de la adaptación del sistema de inyección, además se realizó la puesta a punto en cuanto a la alimentación de combustible aproximándonos a la mezcla correcta que es 14:7, se logró ajustar la entrega de combustible mediante la utilización de una sonda lambda.

Tabla 13-3: Valores obtenidos en prueba de gases contaminantes con sistema de inyección

RPM	# Pruebas	CO %vol.	CO2 % vol.	HC ppm vol.
Ralentí	1	3.49	7.8	277
	2	3.82	6.2	275
	3	3.41	5.8	274
A media carga @2400 rpm	1	1.89	9.4	133
	2	1.91	9.5	106
	3	1.91	9.3	106

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.7.3.3. Prueba de consumo de combustible

Se realizó las mismas pruebas realizadas con el sistema de carburador, utilizando las mismas rutas y siguiendo la misma metodología

Tabla 14-3: Valores obtenidos de la prueba de consumo de combustible con sistema de inyección

Ciudad	Km/gal
Machala	40
Riobamba	29

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.8. Análisis y comparativa de resultados

Con las gráficas dadas por el dinamómetro de torque y potencia se observa que existe un aumento de la potencia máxima de un 256% (de 18.9 a 48.4 HP) y de un 235% en el torque máximo (de 32.2 a 75.95 lb.pie), si bien es una ganancia considerable en los picos máximos, a medio régimen la ganancia es aún más considerable ya que a 3500 rpm tenemos una caída de potencia en donde el pico inferior alcanzó los 3 hp con el sistema de carburador mientras que con el sistema de inyección se obtiene una curva de potencia ideal dando 43.6 hp, lo cual es un aumento de 1453% de potencia. Estos aumentos tan grandes de potencia pueden significar que existía falla en el sistema de entrega de combustible o salto de chispa, ya que al modificar estos la potencia aumento de forma exponencial.

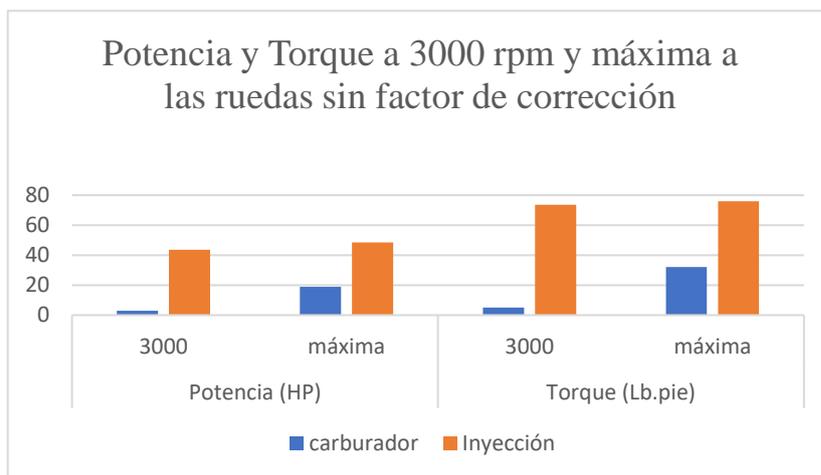


Gráfico 6-3: Comparativa del torque y potencia entre el sistema de carburador e inyección

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

En cuanto a la reducción de emisiones de gases contaminantes la Gráfica 7-3, muestra la comparación entre un sistema de alimentación de combustible por Carburador y una adaptación de un sistema de inyección programable, los porcentajes de CO(Azul), CO₂(Naranja), HC(Gris) mostrados fueron extraídos con el motor sin carga (Ralentí), de la misma forma se muestra una disminución de un 43% en cuanto al porcentaje CO se trata, así mismo se observa el incremento del parámetro CO₂ mostrándose con un 30,43% lo cual representa una combustión de una mejor calidad, al final con un color gris se representa la comparación los hidrocarburos no quemados, los mismos que son desechados al medio ambiente lo cual amerita una disminución de los mismos, así se observa una disminución de dicho parámetro en un 5,81%.

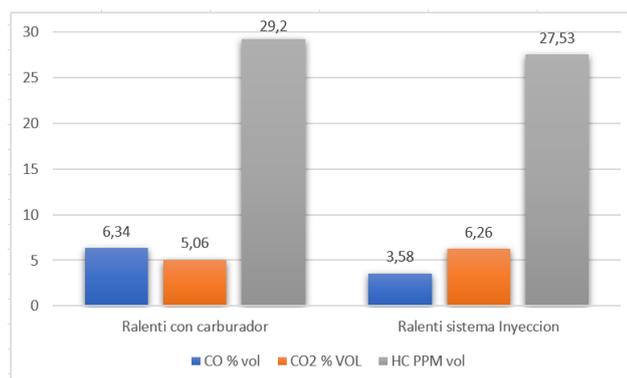


Gráfico 7-3: Análisis de gases contaminantes Carburador vs Inyección en ralentí

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

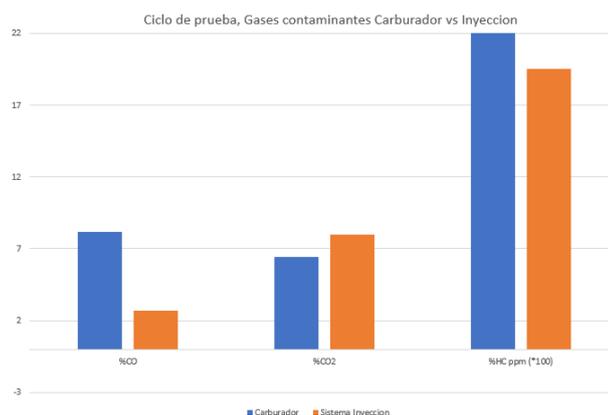


Gráfico 8-3: Análisis de gases contaminantes ciclo de prueba Carburador vs Inyección

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

Mediante la observación de la Gráfica 8-3, se denota el promedio de sus lecturas en un ciclo de prueba, la misma muestra una disminución del porcentaje de CO en un 67 % con lectura de (8,17 a 2,73) %CO, lo cual es provocado por una mejor mezcla al momento de la detonación, en cuanto al porcentaje de CO₂ se muestra un claro incremento de un 24,41% con una lectura de (6,43 a 8)%CO₂, este incremento es provocado por una mejor combustión de la mezcla, al final se muestra un decremento de un 22,70% con un lectura de (252,5 a 195,16)%HC, la disminución en los HC es provocado por una mejor combustión la misma disminuyendo el porcentaje de hidrocarburos sin quemar, los valores que se han obtenido se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes, para el proyecto se tomó en cuenta a un vehículo del año 1996, para estos modelos de vehículos existe tablas de referencia.(INEN 2017)

Tabla 15-3: Límites máximo permisibles para pruebas estáticas

Año Modelo	% CO	HC ppm
2000 y posteriores	1	200
1990 - 1999	4,5	750
1989 y anteriores	6,5	1200

Fuente: INEN, 2017

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

La comparación de los porcentajes tanto de CO, CO₂ y HC están normados para delimitar los factores a tomar en cuenta, de la misma forma en la Tabla 18-3 nos da una referencia de 4,5% en porcentaje de CO además de 750 ppm de HC, en consecuencia al momento de la adaptación del sistema de inyección se logró disminuir los factores a tomar en cuenta para un análisis de gases contaminantes que obligan los Gobiernos Autónomos Descentralizados, el límite del porcentaje permisible del CO se muestra en 4,5%, con la adaptación del sistema de inyección se logró una

disminución de un 67% ya que la lectura del %CO, con carburador fue de 8,17 %CO con una diferencia en la medición de dicho parámetro igual a 2,73% de tal forma queda en el rango de aprobación a una revisión futura, de la misma manera al momento de la comparación entre los HC ppm con el sistema de alimentación por carburador y con la adaptación del sistema de inyección se obtuvo la siguiente lectura de 252,5 ppm disminuyendo hasta 195ppm respectivamente lo cual se muestra favorable para el proyecto en proceso.

En cuanto al consumo de combustible se puede observar en la Gráfica 9-3 la comparativa de consumo de combustible en diferentes alturas y con sistemas de alimentación diferentes, para la ciudad de Machala se muestra un incremento de un 60% en cuanto a los kilómetros por galón recorrido, además se muestra el consumo de combustible en la ciudad de Riobamba, de la misma forma el incremento de los kilómetros por galón se aproxima a un 61.1%

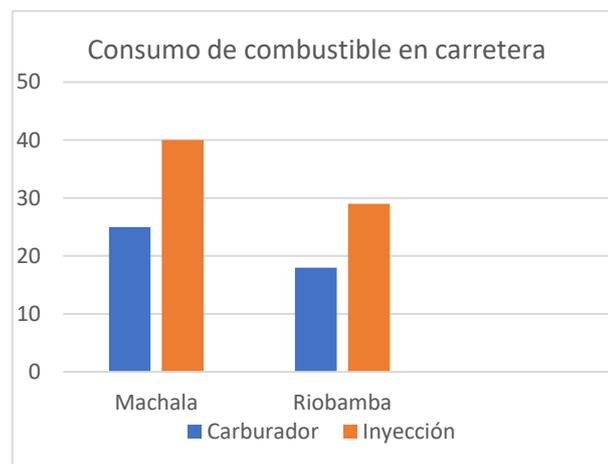


Gráfico 9-3: Comparativa de consumos Carburador vs Inyección

Fuente: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

3.9. Análisis Económico

Se compara el costo en consumo de combustible de la camioneta con sistema a carburación y los costos de consumo con el sistema a inyección.

Datos:

Kilometraje recorrido promedio en un mes = 2975.31 Km

Promedio del consumo de combustible con carburador = 21.5 km/galón

Promedio del consumo de combustible a inyección = 34.5 km/galón

Precio de la gasolina extra actual = 2.09 dólares americanos / galón

Sistema de carburación

Consumo de combustible promedio en un mes (Cc)

$$C_c = 2975.31 \frac{Km}{mes} * \frac{1 galón}{21.5 km} = 138.39 \frac{Galones}{mes}$$

Precio gasolina por mes de recorrido (Pc)

$$P_c = 138.39 \frac{galón}{mes} * 2.09 \frac{dolares}{galón} = 289.24 \frac{dólares}{mes}$$

Sistema a inyección

Consumo de combustible promedio en un mes (Ci)

$$C_i = 2975.31 \frac{Km}{mes} * \frac{1 galón}{34.5 km} = 86.24 \frac{Galones}{mes}$$

Precio gasolina por mes de recorrido (Pi)

$$P_i = 86.24 \frac{galón}{mes} * 2.09 \frac{dólares}{galón} = 180.24 \frac{dólares}{mes}$$

Ahorro de dinero por mes en combustible

$$A_h = 289.24 \frac{dólares}{mes} - 180.24 \frac{dólares}{mes} = 109 \frac{dólares}{mes}$$

CAPÍTULO IV

4. GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1. Cronograma de actividades

Tabla 1-4: Cronograma de actividades

<i>ACTIVIDADES</i>	<i>TIEMPO ESTIMADO (EN SEMANAS)</i>	<i>OBSERVACIONES</i>
Revisión Bibliográfica acerca de sistemas de inyección e instalación ecus programables	2	Revisión de sensores y actuadores necesarios para la elaboración del proyecto
Obtención de valores iniciales de torque, potencia y consumo de combustible.	1	Obtener los valores iniciales de torque y potencia mediante un dinamómetro y un aproximado experimental del consumo de combustible.
Toma de medidas del múltiple de admisión y escape para la adaptación de sensores	1	Acotar bases de los múltiples de admisión y escape y comparar con múltiples ya fabricados
Selección y compra de sensores, actuadores y ecu programable	3	Comprar los elementos necesarios para el desarrollo del proyecto
Implementación del sistema de inyección en el vehículo.	3	Instalar sensores y actuadores del sistema de inyección en el vehículo
Pruebas de potencia, torque, emisiones contaminantes y consumo de combustible, validación del proyecto	2	Realizar pruebas de ruta para conocer el comportamiento del sistema de inyección adaptado en el vehículo.
Elaboración y revisión de la memoria	3	
Defensa	1	

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

4.2. Presupuesto

Tabla 2-4: Lista de materiales con su respectivo costo y modelo

Descripción	Modelo	Precio Total
Ecu Programable	MegaSquirt 2 Extra	800
Cable Serial - USB		10
Inyectores	Aveo 1,6 2006	110
Socket Inyectores		17,5
Bomba Combustible	Externa alta presión	110
Filtro Regulador	Externo de 4 bares	38
Base Bomba		5
Mangueras Combustible y abrazaderas		50
Cuerpo de aceleración con TPS	Aveo 1,6 2006	60
Múltiple de admisión y riel de combustible		350
Filtro de aire y codo de acople		118
Base CKP		50
Polea y rueda dentada	Aveo 1,6	100
Acople polea y rueda dentada		40
Sensor CKP	Hyundai Elantra 2012	35
Sensor ECT	Corsa, Aveo INYSNS0031	9
Sensor IAT	Aveo GM96183228	11,75
Sensor de Oxígeno de Banda Ancha con Reloj indicador	AEM X SERIES	220
Sockets de sensores		12
Bobina DIS	3 pines Corsa	55
Base Bobina		5
Socket bobina		4
Cables Bujías		38
Bujías		13
Material Instalación Eléctrica (relés, cables, cinta, tuboflex, etc.)		120
Material Instalación Mecánica (tuercas, espárragos, advesto)		70
Prueba Emisión de Gases		90
Prueba Dinamómetro		150
Desengrasante		15
Limpieza Radiador		50
Termostato		50
Prueba Inyectores		10
Gastos Varios		100
	Suma Total Tesis	2916,25

Realizado por: Rodríguez, S; Plasencia, W, 2021

CONCLUSIONES

- Con un análisis bibliográfico se logró conocer las distintas metodologías que usaron otros autores con proyectos similares y a los problemas que dieron frente, además de una forma de comparar los resultados alcanzados en otros proyectos.
- Se realizaron los cálculos pertinentes para el diseño del múltiple de admisión y la selección de los inyectores y bomba de combustible, de esta forma se logró instalar los componentes ocupando el menor espacio y peso posible, además del ahorro de dinero ya que se compró los componentes necesarios a las necesidades del vehículo.
- Para programar la entrega de combustible y chispa nos basamos en la bibliografía para conocer cómo funcionan los procesos de combustión y con la ayuda de un sensor de oxígeno de banda ancha y un dinamómetro seleccionar el AFR y el avance de chispa ideal para obtener la mayor potencia con el menor consumo de combustible y por ende con menos gases contaminantes emitidos al ambiente.
- Se realizó pruebas de torque y potencia en un dinamómetro de rodillos para conocer con exactitud cómo se entrega la potencia a las ruedas y que valores alcanzan, para el estudio de los gases de escape se utilizó un analizador de gases para motores de gasolina, tomando datos en ralentí y a medio régimen, en cuanto al consumo de combustible se realizaron pruebas en carretera para obtener valores en el uso real del automóvil.
- Como resultados finales se obtuvo que el motor aumentó su potencia máxima en un 156% y su torque máximo en un 135%, es decir un incremento superior al doble de sus prestaciones base.
La emisión de HC disminuyó en un 5.78% en ralentí y un 45% a 2400 rpm, mientras que el CO disminuyó en un 43% en ralentí y un 81% a 2400 rpm.
El consumo de combustible dado en kilómetros recorridos por galones consumidos aumentó en un 60.4%, es decir para el mismo combustible se logra recorrer más kilómetros.

RECOMENDACIONES

- Como trabajos previos es recomendable medir la compresión del motor para comprobar que este se encuentra en buenas condiciones, de ser necesario calibrar válvulas y volver a realizar la prueba de compresión, se debe también verificar el estado del radiador y del sistema de refrigeración en general para evitar sobrecalentamientos, se debe lavar el tanque de combustible para evitar que impurezas dañen a la bomba eléctrica, filtro regulador e inyectores posteriormente instalados.
- Se recomienda realizar los cálculos pertinentes para el diseño del múltiple para así obtener una curva de potencia suave y progresiva; se debe seleccionar los inyectores adecuados a las necesidades del vehículo ya que estos no deben tener un ciclo de trabajo superior al 80% para evitar sobrecalentamientos de la bobina y la posible quema del inyector, de igual forma la bomba debe entregar el combustible necesario para no tener problemas de pérdida de potencia a altas revoluciones; al ser un motor con poca potencia, no es necesario inyectores ni bomba de alto flujo.
- Para obtener una puesta a punto de forma más precisa es necesario un sensor de banda ancha para conocer con exactitud cómo está la mezcla y de un dinamómetro para conocer la curva de torque y potencia del motor y saber si el avance de chispa que se le está dando da como resultado más potencia, se debe tener cuidado con el knock del motor ya que este es altamente destructivo.
- Para las pruebas en el dinamómetro se debe vigilar la temperatura del refrigerante del motor, ya que si el motor se sobrecalienta corre peligro de soplar empaques o dañar varios componentes internos, además de que a mayor temperatura la potencia entregada va a ir disminuyendo, por esto se debe trabajar siempre con la temperatura óptima de funcionamiento y en caso de ser necesario dejar enfriar el motor para luego seguir con las pruebas.
- Cuando se esté realizando el análisis en los gases de escape, se debe comprobar que no existan fugas en el múltiple y tubo de escape, ya que estas darán lecturas erróneas, para el consumo de combustible se recomienda llenar personalmente el tanque de combustible mediante algún recipiente de al menos un galón, así evitamos cualquier fallo de llenado que pueda dar las bombas en las gasolineras.

BIBLIOGRAFÍA

Banish, Greg. *Designing and tuning high performance fuel injection systems.* s.l. : CarTech, 2009.

Banish, Greg. *Engine management advanced tuning.* s.l. : CarTech, 2007.

BOSCH. *Bosch autopartes.* [en línea]. 2010. [Consulta: 11 de mayo de 2021]. Disponible en: http://www.boschautopartes.com/media/la/aa_sites_la/products_and_services/automotive_parts/gasoline_1/download_5/HIRES_PDF_59963.pdf.

Candela, Tony. *EFI Conversions how to swap your carb for electronic fuel injection .* North Branch : CarTech, 2014.

Cengel & Yunus. *Mecánica de fluidos: Fundamentos.* New York : McGraw-Hill, 2006.

Corozo Alexander & Siavichay Kevin. Implementación de un sistema de un sistema de inyección programable con distribución variable y encendido semisecuencial en el motor fiat evo fire 1400 cc del laboratorio de inyección electrónica de la carrera de ingeniería automotriz. [en línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Riobamba, Ecuador : s.n., 2017. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7703>

Dante, Giacosa. *Motores endotérmicos.* s.l. : DOSSAT S.A, 1979.

Diagnosis, T. I. *Texaiberica.com.* Obtenido de Gasbox y opabox autopower - Analizadores gases. [en línea]. 2018. [Consulta: 17 de enero de 2021]. Obtenido de: <https://www.texaiberica.com/productos/gasbox-opabox-autopower>

Erazo, German. Gestión energética de rendimiento y ambiental en la adaptación de un sistema de inyección electrónica de combustible a un motor de combustión convencional para una producción más limpia. [en línea]. 2012. [Consulta: 11 de febrero de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/299484928_Gestion_energetica_de_rendimiento_y_a_mrbional_en_la_adaptacion_de_un_sistema_de_inyeccion_electronica_de_combustible_a_un_motor_de_combustion_convencional_para_una_produccion_mas_limpia

FuelTech. 2015. Issuu. [en línea] 2015. [Consulta: 17 de febrero de 2021]. Disponible en: https://issuu.com/fueltechargentina/docs/rueda_f_nica_construcci_n_e_insta.

Funes, C.A. *Diseño de motores para competencia.* Cordoba : s.n., 2008.

Guachamin, Nelson. Implementación del sistema de inyección electrónica a gasolina a un vehículo Mazda 323. [en línea]. 2016. [Consulta: 11 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/5894>

INDUSTRIES, I. D. *Dynocom industries chassis dynamometer systems product catalog*. [en línea].2016.[Consulta: 17 de enero de 2021] Obtenido de Dynocom.net: <https://www.dynocom.net/catalog/detail.asp?iPro=130&iType=31>

ANT.GOB.EC. *Emisiones contaminantes y ruido - Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002 - Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador - ANT* [en línea]. 2016. [Consulta: 12 de abril de 2021]. Disponible en: <https://www.ant.gob.ec/index.php/regulacion/normas-y-reglamentos-inen/emisiones-contaminantes-y-ruido/file/161-norma-tecnica-ecuatoriana-nte-inen-2-204-2002>

José Hidrovo; et al. Implementación de un sistema de inyección multipunto controlado por computadora programable en un vehículo Datsun 1000. [en línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Cuenca, Ecuador : s.n., [en línea]. 2011. [Consulta: 11 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1536>

Joya, Luís. *Efecto de la altura en el desempeño de un vehículo a gasolina*. [en línea] (Trabajo de Titulación) (Maestría). Bogota, Colombia : s.n., 2013. [Consulta: 11 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/12139/u670892.pdf?sequence=1>

Mauricio Tonato & Darío Pumarica. 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. [en línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Latacunga,Ecuador : s.n., 2018. [Consulta: 11 de febrero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14026/1/T-ESPEL-MAI-0616.pdf>.

Murray, James. Megasquirt. [en línea] 2019. [Consulta: 11 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.msextra.com/manuals/ms2manuals/>.

Picoscope. [en línea] 2015. [Consulta: 11 de marzo de 2021]. Disponible en: http://localhost:8311/auto/hta/es/AT022_zirconia.htm.

Ramirez García; et al. *Manual de sistema de inyección electrónica de combustible para motores de combustion interna*. Santiago de Cali : s.n., 1996.

Ulivarria, Jahaziel. *La ciencia del diagnóstico.2015* [Consulta: 22 de abril de 2021]. Disponible en: <https://1library.co/document/z3jvoxmy-manual-la-ciencia-del-diagnostico-pdf.html>

Villamarín, Diego. *Diseño e implementación de un sistema de inyección multipunto indirecta en una camioneta toyota 1000, para determinar la eficiencia del motor.* [en línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Quito, Ecuador : s.n., 2016. [Consulta: 13 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/14171>

Viteri, Luis. *Estudio para la construcción y adaptación de un sistema de inyección electrónica para un motor volvo b21.* [en línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Quito : s.n., 2011. [Consulta: 13 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/662>



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA EL
APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 30/11/2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
STEEVEN EFRAÍN RODRÍGUEZ TAPIA/ WILLIAM GERMÁNICO PLASENCIA CAIZA
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
FACULTAD: MECÁNICA
CARRERA: INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
TÍTULO A OPTAR: INGENIERO AUTOMOTRIZ
f. Analista de bibliotecas responsable: