



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“REDISEÑO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN Y OPTIMIZACIÓN
DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE MEDIANTE LA
UTILIZACIÓN DE UNA UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICO
PROGRAMABLE PARA UN PROTOTIPO DISEÑADO PARA LA
SHELL ECO-MARATHON 2019”**

TRABAJO DE TITULACIÓN:

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: JORDY ALEXANDER HERNÁNDEZ VIVANCO

JORGE LUIS REYES ROBALINO

DIRECTOR: ING. VICENTE ROMERO

Riobamba – Ecuador

2019

© 2019, **Jordy Alexander Hernández Vivanco y Jorge Luis Reyes Robalino**

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, Jordy Hernández y Jorge Reyes declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes 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, diciembre 9 de 2019



Jordy Alexander Hernández Vivanco

070627245-7



Jorge Luis Reyes Robalino

060367411-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: propuesta tecnológica, **REDISEÑO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UNA UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICO PROGRAMABLE PARA UN PROTOTIPO DISEÑADO PARA LA SHELL ECO-MARATHON 2019**, realizado por los señores: **JORDY ALEXANDER HERNÁNDEZ VIVANCO Y JORGE LUIS REYES ROBALINO**, 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 DEL TRIBUNAL	 _____	<u>2019-12-09</u>
Ing. Vicente Javier Romero Hidalgo DIRECTOR/A DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 _____	<u>2019-12-09</u>
Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos MIEMBRO DE TRIBUNAL	 _____	<u>2019-12-09</u>

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres gracias a su esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de coraje, de no temer a las adversidades

A todos mis amigos que me apoyaron siempre en mis decisiones y nunca dejaron que el porvenir de los días nos atemorizase.

Jordy Alexander Hernández Vivanco

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres por haberme apoyado en el transcurso de estos años de estudio que me han permitido lograr cumplir una meta más en mi vida, gracias por confiar en mí y darme la libertad para seguir la carrera que me apasione.

A mi hermana un pilar fundamental en mi vida, mi novia fiel compañera y las personas que nos abrieron las puertas y nos apoyaron con sus conocimientos, permitiendo que este trabajo tenga éxito.

Jorge Luis Reyes Robalino

AGRADECIMIENTO

A mis padres por ser un ejemplo a la perseverancia, lo cual guio mi camino para terminar con éxito mi proyecto académico.

Agradezco al equipo Eco-Kuntur por nunca rendirse antes las difíciles etapas que nos hemos enfrentado.

Jordy Alexander Hernández Vivanco

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de estar presentando mi trabajo de titulación y convertirme en un profesional, a mis padres por forjar mi carácter desde pequeño y dejarme tomar mis decisiones, y por su paciencia y amor incondicional a lo largo de todos estos años.

Agradezco a mis profesores y mis compañeros miembros del equipo por la ayuda y el apoyo brindado en este gran trabajo de investigación

Jorge Luis Reyes Robalino

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I	
1. MARCO REFERENCIAL	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación del proyecto	3
1.4. Objetivo general	4
1.5. Objetivos específicos	4
1.6. Alcance	4
CAPITULO II	
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes	5
2.1.1. <i>Shell Eco-Marathon</i>	5
2.2. Motor de combustión interna.....	7
2.2.1. <i>Clasificación de los MCI</i>	7
2.3. Sistema de Inyección	10
2.3.1. <i>Unidad de control electrónico programable</i>	11
CAPITULO III	
3. METODOLOGÍA	12
3.1. Parámetros para la selección del motor a modificar.....	13
3.1.1. <i>Selección de motor</i>	13
3.2. Modificaciones en el Motor	21
3.2.1. <i>Aumento de la relación de compresión</i>	24
3.3. Instalación de la unidad de control.....	41
3.3.1. <i>Selección de unidad de control</i>	41
3.3.2. <i>Adaptación del sistema de inyección al motor Honda GX35</i>	42
3.3.3. <i>Conexión de sensores y actuadores</i>	55
CAPITULO IV	
4. GESTIÓN DEL PROYECTO	75
4.1. Cronograma.....	75

4.2.	Recursos y materiales.....	76
4.2.1.	<i>Presupuesto.....</i>	76
4.2.2.	<i>Talento humano</i>	77
4.2.3.	<i>Recursos materiales.....</i>	77
	CONCLUSIONES.....	78
	RECOMENDACIONES.....	79
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Características del motor Honda GX25	15
Tabla 2-3: Características del motor Honda GX35	17
Tabla 3-3: Características del motor Honda GY6-QMB	18
Tabla 4-3: Calificación de los motores	19
Tabla 5-3: Calificación de las modificaciones	22
Tabla 6-3: Características de los motores	28
Tabla 7-3: eficiencia del motor según su relación de compresión	31
Tabla 8-3: eficiencia del motor según su relación de compresión.	36
Tabla 9-3: eficiencia del motor según su relación de compresión 12:1.	40
Tabla 10-3: eficiencia del motor según su relación de compresión 8:1.	41
Tabla 11-3: Unidades de control programables	41
Tabla 12-3: Pin data de la unidad de control ECOEFI.....	47
Tabla 13-3: Pin data de la unidad de control MICROSQUIRT	48
Tabla 14-3: Pin data bobina	56
Tabla 15-3: Pin data sensor IAT	57
Tabla 16-3: Pin data sensor ECT	58
Tabla 17-3: Pin data sensor MAP	59
Tabla 18-3: Pin data sensor TPS	60
Tabla 19-3: Inyector.....	61
Tabla 20-3: Sensor CKP.....	62
Tabla 21-3: Pin data sonda lambda.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Studebaker modificado de Greenshields	5
Figura 2-2: Esquema de combustión de los motores MEP.	8
Figura 3-2: Esquema del funcionamiento del motor de cuatro tiempos.	9
Figura 4-2: Diagrama de distribución de un motor de 4 tiempos	10
Figura 5-3: Resumen del trabajo realizado.	12
Figura 6-3: Motor Honda GX25.	14
Figura 7-3: Cámara de combustión tipo BATHTUB.	15
Figura 8-3: Curvas de rendimiento del motor Hoda GX 25.....	16
Figura 9-3: Motor Honda GX 35	16
Figura 10-3: Curvas de rendimiento del motor Hoda GX 35.....	17
Figura 11-3: Motor Honda GY6-QMB.....	18
Figura 12-3: Holgura entre válvula y pistón	26
Figura 13-3: Material a ser eliminado	27
Figura 14-3: comparación entre los pistones GX31-GX35	27
Figura 15-3: Squish de un pistón	29
Figura 16-3: Ciclo Otto.	32
Figura 17-3: Unidad de control electrónico MICROQUIRT.....	42
Figura 18-3: Kit de inyección	43
Figura 19-3: Nuevo cuerpo de aceleración	44
Figura 20-3: Sensor CKP.....	44
Figura 21-3: Sensor ECT	45
Figura 22-3: Sensor O2.....	45
Figura 23-3: Arnés de cables.....	46
Figura 24-3: Sensor CKP inductivo	52
Figura 25-3: Rueda fónica	52
Figura 26-3: Diseño CAD de la rueda fonica.....	53
Figura 27-3: Sensor lambda AEM	53
Figura 28-3: MOSFET 30115	54
Figura 29-3: Bobina MSD DISCOP	54
Figura 30-3: Bobina MSD DISCOP	55
Figura 31-3: Conexión de transistor y bobina.....	56
Figura 32-3: Sensor IAT	57
Figura 33-3: Sensor ECT	58
Figura 34-3: Sensor MAP	59

Figura 35-3: Sensor TPS	60
Figura 36-3: inyector	61
Figura 37-3: Sensor ckp	62
Figura 38-3: CKP	62
Figura 39-3: sensor lambda AEM.....	63
Figura 40-3: Conectores del sensor lambda AEM	64
Figura 41-3: Diagrama sistema de inyección.....	65
Figura 42-3: TunerStudio MS	66
Figura 43-3: Engine and sequential settings	67
Figura 44-3: Ignition options/ Wheel decoder	68
Figura 45-3: Priming pulse	69
Figura 46-3: Cranking pulse	70
Figura 47-3: Cold advance.....	70
Figura 48-3: AFR Table 1	71
Figura 49-3: Fuel VE Table 1	72
Figura 50-3: Fuel VE Table 1	72
Figura 51-3: Diagrama eléctrico	74

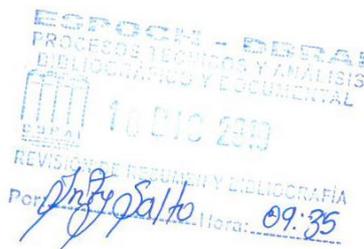
ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE LOS GASES
ANEXO B:	PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES
ANEXO C:	FACTORES DE CONVERSIÓN PARA PARÁMETROS DE MOTOR
ANEXO D:	PROTOTIPOS SELECCIONADOS PARA LA FOTO OFICIAL
ANEXO E:	PARTICIPANTES DEL EVENTO
ANEXO F:	TRABAJO DEL EQUIPO EN EL ÁREA DE PADDOCKS DEL EVENTO

RESUMEN

Al aumentar la relación de compresión del motor Honda GX 35 e implementando la unidad de control electrónico, con la finalidad de obtener una mayor eficiencia energética ya que en eso se basa la competencia. Esta propuesta tecnológica tuvo como bases la revisión bibliográfica y resultados de los equipos participantes en competencias anteriores. Para seleccionar el método adecuado de como aumentar la relación de compresión del motor se realizaron matrices de decisión, del mismo modo para seleccionar la unidad de control se tomó en cuenta las unidades de control electrónico que se pueden adquirir en nuestro medio, para después ser sometidos a un matriz de decisión. El método para aumentar la relación de compresión fue colocar un pistón del mismo diámetro, pero de una altura mayor específicamente del motor Honda GX 31. El pistón fue sometido a un proceso de mecanizado para evitar que el mismo tenga desgaste con el cabezote, la bujía y las válvulas. Como resultado se obtuvo un aumento en la relación de compresión de 12:1 mejorando su eficiencia energética. La unidad de control seleccionada fue MicroSquirt que cumplía con las condiciones necesarias para el funcionamiento del motor GX 35, la misma que fue acoplada a los sensores y actuadores del sistema de inyección electrónica EcoCal, exceptuando el sensor CKP, la bobina y el módulo de control de esta. Con la ayuda del software TunerStudio MS, que permita modificar los parámetros de funcionamiento de los actuadores para lograr el menor consumo de combustible. Como resultado se obtuvo un prototipo que recorre 400 km/L, que supero sin ninguna dificultad la revisión técnica de la competencia. Se recomienda sustituir el motor de 4 tiempos de inyección electrónica GX35 por un motor más robusto para que tenga un mejor desempeño y evitar posibles fracturas en sus partes internas.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LA INGENIERÍA>, <UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICO>, <RELACIÓN DE COMPRESIÓN>, <EFICIENCIA ENERGÉTICA>, <TUNERSTUDIO MS (SOFTWARE)>, <MICROSQUIRT>, <INYECCIÓN ELECTRÓNICA>



ABSTRACT

By increasing the compression ratio of the Honda GX 35 engine and implementing the electronic control unit to obtain greater energy efficiency since that is the basis of competition. This technological proposal was based on the literature review and the results of the teams participating in previous competitions. To select the appropriate method for increasing of the compression ratio of the engine, decision matrices were made. In the same way, to select the control unit, the electronic control units that can be acquired in our environment were taken into account, and then submitted to a decision matrix. The method to increase the compression ratio was to place a piston of the same diameter, but of a greater height specifically for the Honda GX 31 engine. The piston was subjected to a machining process to prevent it from wearing the head, the spark plug and the valves. As a result, an increase in the compression ratio of 12: 1 improving its energy efficiency. The selected control unit was MicroSquirt that met the necessary conditions for the operation of the GX 35 engine, which was coupled to the sensors and actuators of the EcoCal electronic injection system, except for the CKP sensor, the coil and the control module, using the TunerStudio MS software, which allows modifying the operating parameters of the actuators to achieve the lowest fuel consumption. As a result, a prototype covering 400 km / L was obtained, which passed without any difficulty the technical review of the competition. It is recommended to replace the 4-stroke GX35 electronic injection engine with a more robust engine so that it performs better and prevents possible fractures in its internal parts.

Keywords: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCE>, <ELECTRONIC CONTROL UNIT>, <COMPRESSION CONNECTION>, <ENERGY EFFICIENCY>, <MS TUNERSTUDIO (SOFTWARE)>, <MICROSQUIRT>, <ELECTRONIC INJECTION>



INTRODUCCIÓN

El prototipo actual tiene la deficiencia que la unidad de control no permite realizar una programación óptima para disminuir el consumo de combustible del motor por lo tanto se repotenciara y se implementará una nueva unidad de control al motor; la misma que nos permitirá realizar varios mapas de programación con lo cual se obtendrá un óptimo consumo de combustible para la competencia Shell Eco-marathon Brasil.

Shell Eco-Marathon una competencia que incentiva a estudiantes de todo el mundo a crear vehículos más eficientes.

Shell Eco-Marathon, al ser una competencia de carácter ecologista y debido a que gran parte de la población mundial utiliza vehículos de combustión interna para movilizarse, hay que tener presente el impacto ambiental que estos provocan, por lo tanto, se repotenciará el motor y se utilizará una nueva unidad de control para conseguir un vehículo amigable con el medio ambiente que consuma la menor cantidad de combustible.

Con el presente trabajo se mostrará nuevas posibilidades de mejora en el campo automotriz aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra formación académica en la carrera de ingeniería Automotriz interviniendo en uno de los problemas fundamentales que se tiene a nivel mundial que es el consumo de combustibles fósiles y la contaminación que estos provocan. A pesar de ser solo un prototipo se beneficiará a la sociedad al brindarles ideas para una movilidad sustentable y eficiente tanto ambiental como automovilística, las mismas que contribuyan a disminuir los gases contaminantes generados por los vehículos y se pueda mejorar la calidad de vida de cada uno de nosotros.

Finalmente, al ser un prototipo innovador tanto en eficiencia como sostenibilidad, se trabajará con una tecnología que permita alcanzar el objetivo planteado y que además quede como una referencia para futuros proyectos o investigaciones a nivel nacional e internacional en el campo automotriz.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

La Shell Eco Marathon es una competencia que se realiza desde 1939 en los Estados Unidos, los obreros de Shell Oil Company apostaron quién sería capaz de alcanzar la mayor distancia de recorrido, utilizando la misma cantidad de combustible. Desde ese entonces, la competencia a tomado sede en Europa y Asia, incluye muchos tipos de energía en los cuales pueden participar instituciones de educación superior de cada continente, abriéndose paso a una competencia de innovación tecnológica y movilidad. (Royal Dutch Shell, 2019)

Por la razón que en la actualidad se diseñan vehículos enfocados en la optimización del consumo energético, empleando materiales cada vez más ligeros que posean todas las propiedades mecánicas para cumplir con los requerimientos de diseño y un módulo de control electrónica mucho más preciso enfocado en la región en la cual van a transitar para ser más eficiente.

Se ha trabajado principalmente en la optimización del consumo de combustible del motor aumentando la relación de compresión e implementado una unidad de control electrónica, con lo cual nos permite tener un control más eficiente del sistema de inyección del motor.

1.2. Planteamiento del problema

El prototipo con el que se cuenta no tiene una unidad de control que permita realizar una programación óptima para disminuir el consumo de combustible.

Por lo que se ha decidido rediseñar el sistema de propulsión e implementar una nueva unidad de control electrónico que permita realizar los mapas idóneos para reducir el consumo de combustible del prototipo.

1.3. Justificación del proyecto

Shell Eco-marathon una competencia que incentiva a estudiantes de todo el mundo a crear vehículos más eficientes.

Shell Eco-marathon, al ser una competencia de carácter ecologista y debido a que gran parte de la población mundial utiliza vehículos de combustión interna para moverse, hay que tener presente el impacto ambiental que estos provocan, por lo tanto, se ve la necesidad de realizar modificaciones al prototipo que participó en la pasada Shell Eco-marathon 2018.

En el prototipo que participará en la Shell Eco-marathon 2019 se aplica un rediseño en el sistema de propulsión; con la implementación de un motor Honda Gx35 original y modificando la relación de compresión para conseguir que su ciclo de funcionamiento sea más eficiente que permite tener un menor consumo de combustible, ya que el motor que se utilizó en la competencia 2018 se usó un motor de 35cc de origen chino con una relación de compresión estándar lo que impide que el ciclo de eficiencia sea óptimo.

Otro aspecto es la implementación de la MicroSquirt, una unidad de control electrónica programable cuyas características de funcionamiento permite la aplicación de diferentes programaciones para determinar un funcionamiento ideal del motor y reducir el consumo de combustible a diferencia de la EcoCal, computadora usada en la participación 2018 la cual limita a tan solo una programación de mapa cartográfico y un lento proceso de respuesta de la misma.

Con el presente trabajo se mostrará nuevas posibilidades de mejora en el campo automotriz aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra formación académica en la CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ, interviniendo en uno de los problemas que más preocupan, como es el consumo de combustibles fósiles y la contaminación que estos provocan.

Al mejorar este prototipo innovador en eficiencia en el consumo de combustible, se trabajará con una tecnología que permita alcanzar el objetivo planteado y que además quede como una referencia para futuros proyectos o investigaciones a nivel nacional e internacional en el campo automotriz.

1.4. Objetivo general

Rediseñar el sistema de propulsión y optimizar el consumo de combustible mediante la utilización de una unidad de control electrónico programable para el sistema de inyección del motor de combustión interna de un prototipo diseñado para la competencia Shell Eco-marathon 2019.

1.5. Objetivos específicos

- Examinar los antecedentes de la competencia Shell Eco-marathon por medio del uso de normas y bibliografía para realizar cambios sin incumplir la normativa vigente.
- Aumentar la relación de compresión del motor para obtener un mejor consumo de combustible de un prototipo diseñado para la Shell Eco-marathon.
- Programar la unidad de control electrónica para optimizar el consumo de combustible del motor de combustión interna.

1.6. Alcance

Se Al respetar la normativa vigente de la competencia, se realizará cambios con los cuales no pondrá en riesgo la aprobación de la inspección técnica.

Al aumentar la relación de compresión del motor el consumo de combustible disminuirá.

Se utilizará el software TunerStudio MS para realizar los diferentes mapas de programación, mediante los cuales se cambia parámetros de funcionamiento del motor obteniendo un bajo consumo de combustible.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. *Shell Eco-Marathon*

Según los registros. (Shell Oil Company, 2017) la competición data de 1939 cuando los empleados de la compañía en Estados Unidos hicieron una competencia amistosa donde el ganador era definido por quien recorría la mayor distancia utilizando todos los participantes la misma cantidad de combustible.

2.1.1.1. *Historia*

Los registros de la primera competición (Affleck, y otros, 1977), la primera persona en ganarlo fue R. J. Greenshields quien alcanzó la marca de 149.95 millas/galón (4.73 l/100 km), corriendo un Studebaker y diez años más tarde el mismo Greenshields mejoró su registro a 149.95 millas/galón (1.57 l/100km). En 1968 un Fiat 600 cuyos dueños, J. M. Jones, R. C. Trokey y D. C. Carlson alcanzaron la marca de 244.35 millas/galón (0.964 l/100 km).



Figura 1-2: Studebaker modificado de Greenshields

Fuente: Affleck, y otros, 1977)

La competencia con el pasar de los años ha tomado más popularidad hasta convertirse en la carrera más importante a nivel universitario, dando como resultado un mejor desempeño de los prototipos, según el organizador (Royal Dutch Shell, 2019), el campeón del último año en la Sem Americas fue el equipo BYU SMV, de Brigham Young University, obteniendo un resultado de 1985.4 millas/galón.

2.1.1.2. *Categorías*

No cabe duda que el nivel de dificultad es el mismo sin importar si es un Challenger Event o una de las tres grandes competencias Shell Eco-Marathon, se debe cumplir con el mismo reglamento y existen las mismas categorías.

Existen dos grandes categorías normadas por el organizador. (Shell Oil Company, 2017), las cuales son:

- Prototipos, la carrocería de estos vehículos es diseñada con la mejor forma aerodinámica para vencer la resistencia del aire que por lo general poseen tres ruedas, pero necesitan menos elementos para poder pasar las pruebas técnicas.
- UrbanConcept, esta categoría realiza referencia a los vehículos que circulan en las urbes, su diseño necesita luces de diferente intensidad, limpia parabrisas, entre otros para poder pasar las pruebas técnicas.

Acotando, que en estas dos grandes categorías existen subdivisiones que se distinguen según el tipo de energía que utilizan, siendo estas:

- Motores de combustión interna: impulsados: Gasolina, Etanol, GLP
- Baterías eléctricas
- Hidrógeno

2.1.1.3. *Normativa Aplicable*

Los equipos participantes tienen la libertad de diseñar y fabricar los prototipos según su criterio, por otro lado, existe una normativa que se debe cumplir a cabalidad para poder aprobar las pruebas técnicas para cualquier evento organizado por Shell, con el pasar de los años éstas varían definiendo dimensiones, peso, sistema de frenada y principalmente seguridad. La normativa vigente para este año es Shell Eco-Marathon 2019 Official Rules Chapter 1, la misma se la encuentra de forma abierta en el website del organizador.

2.1.1.4. *Equipos participantes en Latinoamérica*

La mayoría de los equipos participantes son estadounidenses o canadienses, pero con el pasar de los años equipos de Brasil, Perú, México, Paraguay, Chile, Ecuador, Colombia, Argentina, Uruguay se han sumado en la participación. El equipo con mejor desempeño pertenece a la Universidad Tecnológica Federal do Paraná, denominados Pato a Jato, con un registro de 1230 millas/galón (Royal Dutch Shell, 2019).

2.1.1.5. *Equipos participantes en Ecuador*

Ecuador hasta la actualidad cuenta con tres participaciones en total, una de las tres participaciones fue realizada orgullosamente por el equipo Eco-Kuntur conformado por estudiantes e ingenieros de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la pasada Shell Eco Marathon Brasil 2018 categoría prototipos. Las otras dos participaciones fueron realizadas por el equipo E-Team, equipo que representa a la Universidad del Azuay, su participación fue en la categoría prototipos eléctricos en la competencia Shell Eco Marathon Américas, en el año 2016 y 2018 siendo este último el año en que mejor resultado obtuvieron con un consumo energético de 63 millas/kWh (Royal Dutch Shell, 2019), logrando el quinceavo lugar de la competencia en sus categoría.

2.2. **Motor de combustión interna**

El motor de combustión interna (MCI) es un motor térmico que convierte la energía química en generalmente un combustible en energía mecánica, la cual está disponible a la salida de un eje giratorio. La energía química del combustible se convierte primero en energía térmica mediante la combustión u oxidación del aire al interior del motor. Esta energía térmica eleva la temperatura y presión de los gases al interior del motor, esta alta presión de gases se expande contra los mecanismos del motor. Esta expansión es transformada en movimiento giratorio a un cigüeñal a la salida del motor gracias a los mecanismos incorporados en el mismo. El cigüeñal, a su vez está conectado a una transmisión para enviar toda la fuerza a un final deseado. (Pulkrabek, 1997 pág. 2)

2.2.1. *Clasificación de los MCI*

Los motores de combustión interna pueden clasificarse de diferente manera:

2.2.1.1. Según el proceso de combustión

2.2.1.1.1. Motores de encendido provocado (MEP)

Conocido como motores de encendido por chispa o motores de ciclo Otto.

En el exterior de la cámara de combustión se prepara una mezcla de aire y gasolina, la cual se introduce a la cámara de combustión para detonada por medio de una chispa eléctrica que es proporcionada por un sistema de encendido externo. (SANZ, 2008 pág. 20)

Las presiones de trabajo de este motor son moderadas, esto permite que sus componentes sean ligeros y logren alcanzar un alto número de revoluciones. (SANZ, 2008 pág. 20)

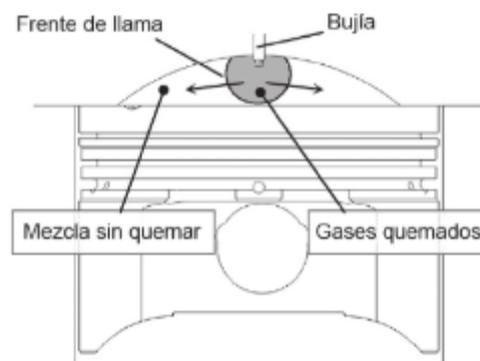


Figura 2-2: Esquema de combustión MEP.

Fuente: (Rovira, 2015 pág. 26)

2.2.1.2. Según el modo de realizar el ciclo

2.2.1.2.1. Motores de cuatro tiempos

Requieren de cuatro carreras del pistón (o dos giros del cigüeñal) para completar un ciclo. Las cuatro carreras se esquematizan en la figura 2-3.

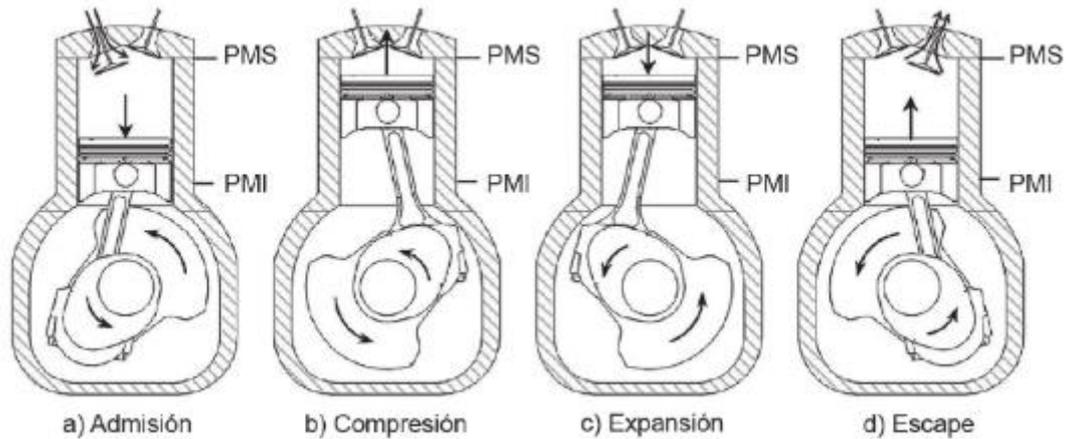


Figura 3-2: Esquema del funcionamiento del motor de cuatro tiempos.

Fuente: (Rovira, 2015 pág. 27)

A continuación, se describen los procesos que se realizan en cada una de las carreras:

Primer tiempo o admisión: El pistón realiza su carrera de descenso hacia el punto muerto Inferior (PMI). Esto genera una depresión en el interior del cilindro generando el ingreso de masa fresca, sin quemar. Las válvulas de admisión se encuentran abiertas y las de escape cerradas.

Segundo tiempo o compresión: El pistón asciende hacia el punto muerto superior (PMI), comprimiendo la mezcla en este punto se genera la chispa, lo cual provoca la combustión gracias a que las válvulas de admisión y explosión se encuentran cerradas.

Tercer tiempo o expansión: El pistón desciende hacia el PMI debido a la combustión que se generó en el tiempo de compresión, esto se traduce en trabajo. Las válvulas de admisión y escape se encuentran cerradas.

Cuarto tiempo o escape: El pistón asciende hacia el PMS. Las válvulas de escape se abren permitiendo expulsar los gases quemados hacia la atmosfera, esto permite la renovación de gases.

Como se puede observar, debe existir sincronización en la apertura y cierre de válvulas en función del giro del cigüeñal. (Rovira, 2015 pág. 28)



Figura 4-2: Diagrama de distribución de un motor de 4 tiempos

Fuente: (Rovira, 2015 pág. 28)

2.3. Sistema de Inyección

El sistema de alimentación de combustible es el encargado de proporcionar la cantidad adecuada de gasolina al motor para realizar un proceso de combustión lo más óptimo posible. (Rodríguez, 2012 pág. 175).

La principal ventaja de cualquier tipo de sistema de inyección de combustible es el control preciso de la cantidad de combustible que se inyecta en el motor. El funcionamiento del inyector se basa en la presión que se le suministre, dando como resultado una relación directamente proporcional entre la cantidad de combustible suministrada y el tiempo de apertura. (Rodríguez, 2012 pág. 176).

En la actualidad los sistemas de inyección son controlados electrónicamente, dando como resultado un control más óptimo en la cantidad de combustible inyectado dependiendo a las condiciones de trabajo del motor. (Rodríguez, 2012 pág. 176).

LA dosificación correcta de combustible mediante un sistema de inyección controlado electrónicamente genera las siguientes ventajas, al ser comparado con un sistema a carburador (Rodríguez, 2012 pág. 175):

- Menor consumo de combustible
- Menor emisión de gases contaminantes
- Mejor control en la dosificación de combustible
- Al generarse una mejor combustión se obtiene un mayor par de trabajo.
- La computadora ajusta automáticamente la relación aire-combustible según los requerimientos de operación.
- Menor mantenimiento

2.3.1. Unidad de control electrónico programable

Generalmente los vehículos están provistos de una unidad de control electrónico para la gestión de la inyección electrónica del motor, los parámetros de funcionamiento que controlan al motor no pueden ser modificados de ninguna manera. Por esa razón surgen las unidades de control electrónico programables, dichas unidades no poseen un comportamiento prefijado y pueden ser reprogramadas por el usuario.

Las unidades de control electrónico programables son requeridas en situaciones donde se ha realizado modificaciones al motor que influyan en el comportamiento del motor. Estas situaciones incluyen el aumento en la relación de compresión, tubo de escape, intercooler, instalación o cambio del turbocompresor o cambiar a otro tipo de combustible. Estas modificaciones no podrán ser controladas por la ECU que proviene de fábrica de una forma eficaz, por lo que la unidad de control electrónico programable es la solución.

La unidad de control electrónico programable permite modificar el pulso de inyección a cada cilindro variando esta cantidad según las RPM del motor y la posición del acelerador o la presión en el colector de aire. Esto es ajustado mediante una hoja de cálculo dada por una portátil la cual sirve como interfaz. Al modificar estos valores se emplea un sensor de banda ancha o wide band, el cual determina si el motor trabaja de una forma más eficiente o no. Existen otros parámetros de funcionamiento del motor los cuales son mapeados tales como: Ignición, límite de revoluciones, correcta temperatura del agua, modificador de baja presión en el combustible, sensor de oxígeno, sensor de temperatura en el motor.

Algunas unidades de control más avanzadas incluyen funcionalidades como: control de pérdidas del turbo mediante el control de la waste gate, limitación de la potencia del motor en primera para evitar la rotura de este, tiempo variable de levas, control de marchas.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

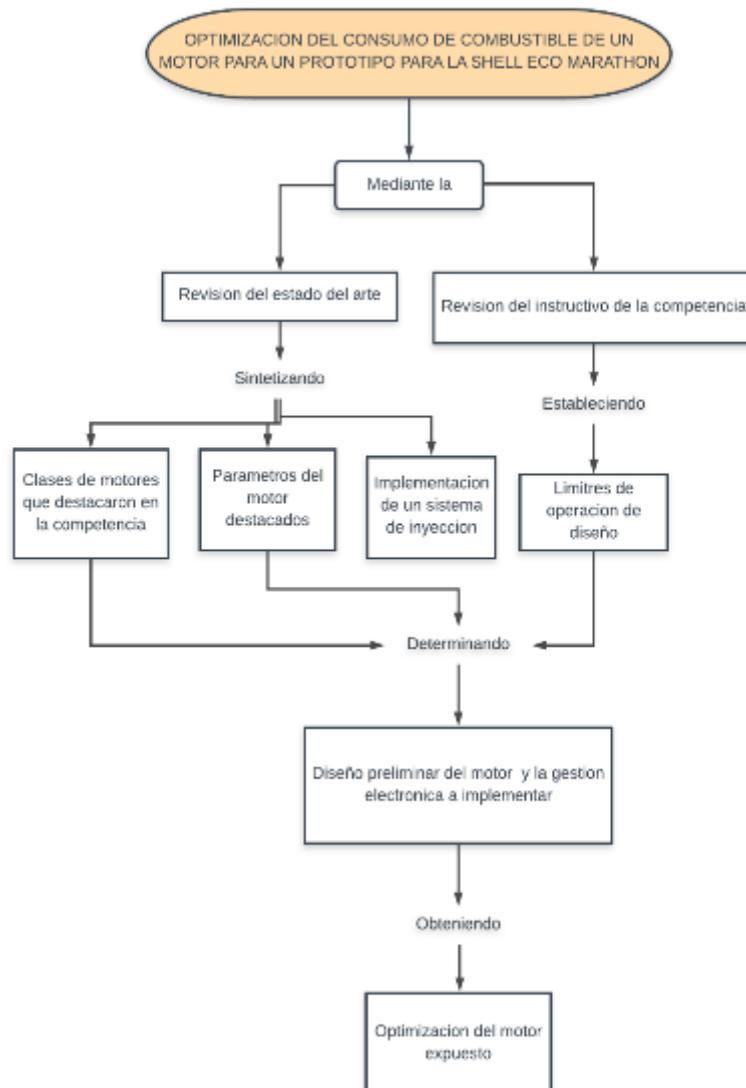


Figura 5-3: Resumen del trabajo realizado.

Fuente: Autores

3.1. Parámetros para la selección del motor a modificar

Para la selección del motor y modificación de este, se considera como principal guía el reglamento vigente de la competencia.

Como lo indica el artículo 43 (Royal Dutch Shell, 2019) realiza referencia a los requerimientos que debe cumplir el motor de combustión interna, los cuales son:

- Debe ser un motor con un ciclo de funcionamiento de 4 tiempos.
- El sistema de alimentación de combustible debe ser realizado por un sistema a inyección.
- EL uso de bombas eléctricas de combustible está prohibido, se puede emplear bombas mecánicas o utilizar un sistema de presurización de combustible.
- El sistema de alimentación de combustible debe ser netamente visible y debe ser de fácil acceso para realizar el llenado o drenado del mismo.
- El Arranque Manual para el motor está prohibido, solo se permite el uso de un arranque eléctrico y ese no debe proporcionar ningún tipo de propulsión al vehículo durante la competencia.

3.1.1. Selección de motor

La selección del motor para la competencia Shell Eco-Marathon es uno de los puntos más importantes a tomar en cuenta para el éxito del equipo, el objetivo es optimizar la eficiencia en el consumo de combustible, seleccionar un motor con la capacidad de proveer de movimiento al prototipo mientras consume la menor cantidad de combustible, es un factor sumamente importante.

La conducción durante la competencia se simula en función del ciclo de manejo permitido, los equipos tienen prohibido empezar la competencia con el motor caliente, por lo tanto, el efecto de consumo de combustible durante el arranque en frío es un factor que debe estar presente al momento de realizar los mapas de programación. También, las reglas permiten a los equipos realizar mejoras en los motores, por lo que la utilización de un motor Honda original significa mayor rendimiento. El aumento en rendimiento se mide por un aumento de par y menor consumo de combustible, por esa razón se decide aumentar la relación de compresión del motor. (Royal Dutch Shell, 2019)

Los modelos Honda a considerar fueron los siguientes: GX25 25cc, GX35 35cc, GXH50 50cc.

3.1.1.1. Características de los motores

Las características de los motores Honda GX25 y GX35 son prácticamente iguales, varía solo la cilindrada. Son motores de 4 tiempos con un solo cilindro vertical, la refrigeración es realizada por aire y la disposición del árbol de levas en cabeza (OHC) es decir el árbol de levas están colocados en la culata sobre la cámara de combustión.

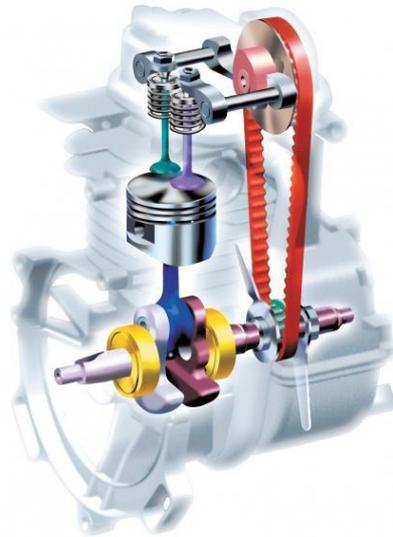


Figura 6-3: Motor Honda GX25.

Fuente: (Honda, 2019)

La ventaja de la disposición del árbol de levas en la parte de la culata del motor permite reducir el número de elementos del tren de válvulas logrando que sean más resistentes y ligeros, de tal manera que el motor es más compacto y ligero.

Con la implementación de un balancín en forma de L y un árbol de levas de una sola leva es posible colocar la polea de distribución a un lado de la culata, reduciendo de manera notoria la altura del motor a comparación de uno con árbol de levas convencional.

La lubricación a la periferia de las válvulas y las levas se realiza por medio del aceite que gira con la correa.

Los dos motores mencionados anteriormente incorporan en el carburador una bomba de aceleración. Gracias a que existe un corte en la válvula rotativa de aceleración, la bomba inyectora gasolina en el giclé principal del carburador.

Combinado con la reducción de peso de los elementos rotativos del motor como es el plato magnético, y la inyección extra de gasolina durante la aceleración, el motor desempeña una respuesta rápida comparándolo como un motor de 2 tiempos.

3.1.1.2. Motor Honda GX25

Tabla 1-3: Características del motor Honda GX25

TIPO MOTOR	UNIDAD	GX25
Cámara de combustión		Tipo Bathhtub
Desplazamiento	cm ³	25.0
Calibre por carrera	mm	35 x 26
Potencia máxima	kW/rpm	0.72 / 7000
Par máximo	Nm/ rpm	1.0 / 5500
Consumo	g/kWh	340
Ratio de compresión		8.0
Ajuste de válvula Admisión	mm	0.08+-0.02
Ajuste válvula (escape)	mm	0.11 ± 0.02
Ralentí	min-1	3100 ± 200
Máxima velocidad	min-1	10000
Nivel sonoro	dBA7 1m	85

Fuente: (Honda, 2019)

Realizado por: Autores

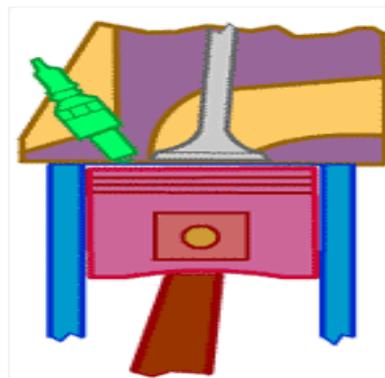


Figura 7-3: Cámara de combustión.

Fuente: (Honda, 2019)

Este tipo de cámara de combustión significa que las válvulas se mueven en línea con el pistón.

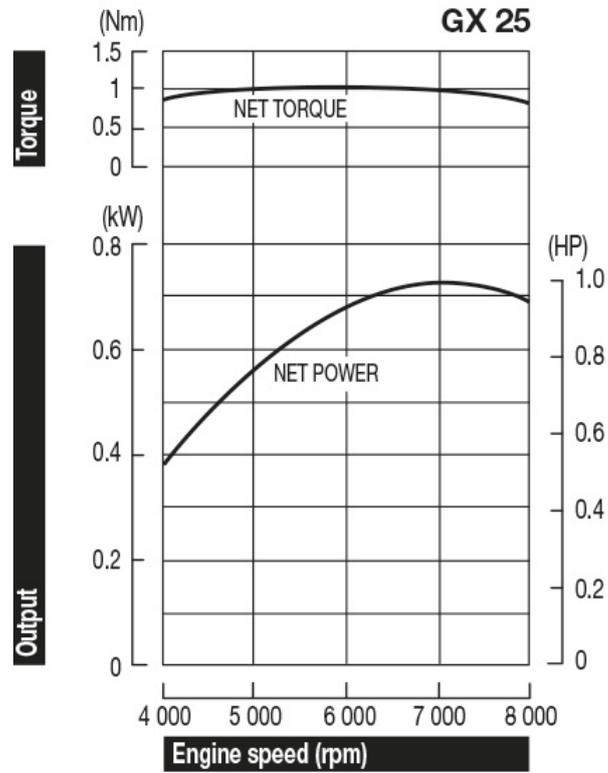


Figura 8-3: Curvas de rendimiento del motor Hoda GX 25.

Fuente: (Honda, 2019)

3.1.1.3. Motor Honda GX35



Figura 9-3: Motor Honda GX 35

Fuente: (Honda, 2019)

Tabla 2-3: Características del motor Honda GX35

TIPO MOTOR	UNIDAD	GX25
Cámara de combustión		Tipo Bathtub
Desplazamiento	Cm ³	35.8
Calibre por carrera	mm	39 x 30
Potencia máxima	kW/rpm	1.0/7000
Par máximo	Nm/rpm	1.6/5500
Consumo	g/kWh	360
Ratio de compresión		8.0
Ajuste de válvula Admisión	mm	0.08 ± 0.02
Ajuste válvula (escape)	mm	0.11 ± 0.02
Ralentí	Min-1	3100 ± 200
Máxima velocidad	Min-1	10000
Nivel sonoro	dBA7 1m	89

Fuente: (Honda, 2019)

Realizado por: Autores

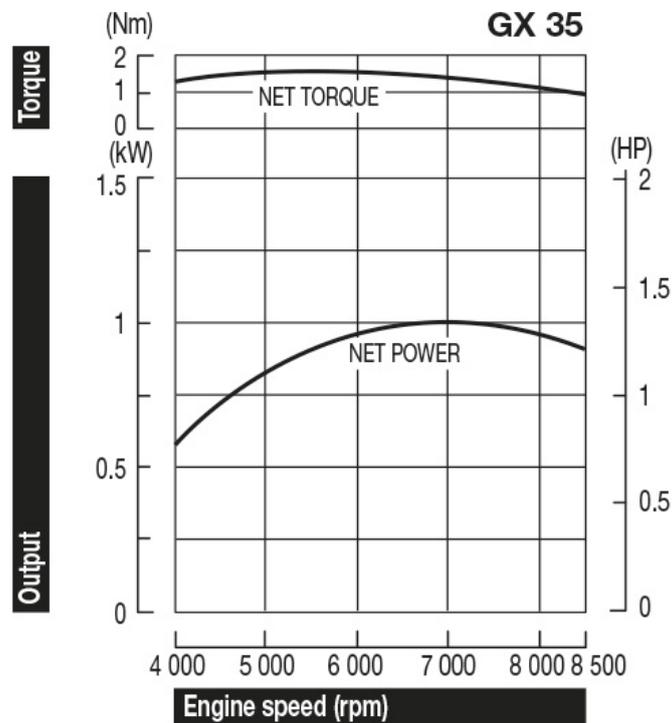


Figura 10-3: Curvas de rendimiento del motor Hoda GX 35.

Fuente: (Honda, 2019)

3.1.1.4. Motor Honda GY6-QMB

En un motor cuya disposición del cilindro es de forma horizontal, posee un ciclo termodinámico de cuatro tiempos, refrigerado por aire incluye una transmisión automática CVT y es usado en algunos scooters, ATVs, buggies, go karst y monopatines.



Figura 11-3: Motor Honda GY6-QMB

Fuente: (Honda, 2019)

Tabla 3-3: Características del motor Honda GY6-QMB

TIPO MOTOR	UNIDAD	GY6-QMB
Cámara de combustión		Tipo Bathtub
Desplazamiento	cm ³	49
Calibre por carrera	mm	41.5 x 39
Potencia máxima	kW/rpm	2.1/ 6500
Par máximo	Nm/ rpm	3.1/ 5500
Consumo	g/kWh	1040
Ratio de compresión		10.5:1
Ajuste de válvula Admisión	mm	0.08+-0.02
Ajuste válvula (escape)	mm	0.11 ± 0.02
Ralentí	Min-1	3100 ± 200
Máxima velocidad	Min-1	10000
Nivel sonoro	dBA7 1m	85

Fuente: (Honda, 2019)

Realizado por: Autores

Los motores fueron comparados en términos de potencia, torque, relación de compresión, facilidad de repuestos en el mercado local, arranque del motor, tipo de embrague, consumo inicial de combustible, costo. Los motores serán calificados con valores de 1 a 10, donde 1 será la peor y 10 la máxima calificación, como se indica en la tabla 4-3.

Tabla 4-3: Calificación de los motores

	Porcentaje	Honda GX25	Honda GX35	Honda GY6QM
Potencia y torque	5%	10	5	1
Relación de compresión	25%	1	1	10
Facilidad de Repuestos	20%	1	10	1
Tipo de arranque	10%	1	1	10
Consumo de combustible	20%	10	5	1
Costo	20%	5	10	1
Total	100% (10 puntos)	4.05	5.6	4.15

Fuente: (Honda, 2019)

Realizado por: Autores

Los motores fueron comparados en términos de potencia, torque, relación de compresión, facilidad de repuestos en el mercado local, arranque del motor, tipo de embrague, consumo inicial de combustible, costo. Los motores serán calificados con valores de 1 a 10, donde 1 será la peor y 10 la máxima calificación, como se indica en la tabla 1-3.

En la sección de potencia y torque, a menor par es mejor. El prototipo debe ser ligero, de tal manera que no se necesita un motor de grandes prestaciones ya que no se requiere alcanzar altas velocidades. El motor Honda GY6-QMB genera 2.1 kW a 6500 rpm y posee un par de 3.1 Nm a 5500 rpm (Honda, 2019), el motor GX25 genera 0.72 kW a 700 rpm y 1 Nm a 5500 rpm (Honda, 2019) y finalmente, el motor GX35 genera 1 kW a 7000 rpm y 1.6 Nm a 5500 rpm (Honda, 2019)

Le eficiencia del motor será mayor a medida que la relación de compresión aumente. En esta sección, el motor Honda GY6-QMB es quien tiene un relación de compresión más alta, siendo está de 10,5:1 (Honda, 2019) siendo este calificado con 10 puntos, mientras que los otros dos comparten relación de 8:1 (Honda, 2019) teniendo una calificación acorde.

El motor Honda GY6-QMB es un motor utilizado en Scooter, mientras que los motores de serie GX son utilizados en maquinaria de jardinería. Por otro lado, los motores GX25 y GY6-QMB son muy poco utilizados en el país, en contraste como el motor GX35 el cual ha sido casi estándar para bombas fumigadoras a nivel nacional, actualmente se cuenta en el país con una gama de repuestos para este motor, por esa razón el motor GX35 será quien tenga los 10 puntos.

Bajo norma de la competencia, el motor debe poseer un motor de arranque, por lo que el motor Honda GY6-QMB es el único que posee (Honda, 2019) por lo que tiene una calificación de 10.

El consumo inicial de los motores (sin modificaciones), fueron tomadas con referencias a sus fichas técnicas, donde el motor GX25 consume 0.54 l/hr a 7000 rpm (Honda, 2019) el GX35 consume 0.71 l/hr a 7000 rpm (Honda, 2019) y el GY6-QMB utiliza 1.04 l/hr a 6500 rpm (Honda, 2019). El motor va a sufrir modificaciones, pero un buen punto de partida es un bajo consumo, por lo que se le asigna al GX25 una calificación de 10.

En la sección de costos, el costo no fue lo único que se tomó como referencia, también la facilidad de adquisición, los motores GY6-QMB y GX25 son relativamente costosos al no encontrarse una gama de repuesto en el país, por lo tanto, el motor GX35 es quien gana esta categoría.

En fin, el motor con la calificación más alta es el motor Honda GX35 con una valoración de 5.6 puntos.

3.2. Modificaciones en el Motor

El motor de combustión interna puede incrementar su par motor al modificar ciertos parámetros sin cambiar sus principios de funcionamiento.

Las innovaciones que se realizan van desde la estructura básica hasta mejoras electrónicas. Todas esas variaciones que buscan mejor el desempeño del motor han sido logradas por el ingenio de técnicos e ingenieros muy enfocados en obtener el mayor par motor posible con el menor consumo de combustible; realizando innovaciones en la estructura, empleando materiales con mejores propiedades mecánicas, formas mejor diseñadas, utilizando como referencia tecnología cada vez más sofisticada.

El laboratorio donde se prueban generalmente todas las modificaciones realizadas son las competencias automovilísticas, las cuales son empleadas posteriormente en automóviles de serie. En fin, cuando se ha tomado la decisión de mejorar las características originales de un motor de combustión interna, hay que tener en claro el objetivo de estas, sin dejar a un lado las ventajas y desventajas que éstas puedan presentar. En general, toda modificación debe ser planificada con suma rigurosidad, visto que el diseño original del motor posee un estudio riguroso de todas y cada una de sus partes, para obtener un resultado positivo se deben emplear partes de mejor calidad con el mayor de los cuidados para no poner en riesgo la vida del motor.

Por tal motivo, se emplea una matriz de decisión para escoger las modificaciones idóneas para el motor Honda GX35. Las cuáles serán calificadas por parámetros como: Costo, consumo de combustible, aumento del par motor, afecta la vida útil del motor, dificultad en la implementación. Las modificaciones serán calificadas con valores de 1 a 10, donde 1 será la peor y 10 la máxima calificación, como se indica en a la siguiente tabla.

Tabla 5-3: Calificación de las modificaciones

	Porcentaje asignado	Kit de admisión directa y líneas de escape	Bujías de alto rendimiento y aditivos	Aumentar la relación de compresión	Sobrealimentar	Implementación en unidad de control	Modificaciones en el cigüeñal
Costo	5%	5	5	5	1	1	1
Mejora en el consumo de combustible	20%	1	5	10	5	10	1
Aumento del par motor	20%	1	1	10	10	10	1
Afecta la vida útil del motor	20%	10	10	1	1	10	10
Dificultad en la implementación	10%	5	5	5	5	1	5
Disponibilidad en el mercado	5%	5	1	5	1	5	1
Total	100% (10 puntos)	1.35	1.35	1.80	1.15	1.85	0.95

Fuente: Autores

Realizado por: Autores

En la actualidad, el costo en los productos se convierte en un punto a tomar en cuenta en cualquier actividad que se realiza especialmente en la modificación de un motor, resulta económico implementar un kit de admisión directa y líneas de escape. Por otro lado, trucar la relación de compresión de un motor e implementar una computadora se tornan costosos, pero entregan grandes beneficios que se estudiarán a continuación. Pero en el caso de realizar modificaciones en el cigüeñal, el precio de esta actividad es demasiado elevado por lo que se decide descartar netamente esta modificación la cual solo entrega una ventaja que se mencionará en uno de los siguientes párrafos.

Mejorar el consumo de combustible es fundamental si se desea alcanzar una alta eficiencia en el motor, tanto así que implementar una nueva unidad de control electrónica para el motor y aumentar la relación de compresión de este se torna indispensable para alcanzar dicho fin. La unidad de control programable permite realizar mapas en los cuales se especifica como se desea que el motor trabaje, esto se resume en que el motor trabajara de mejor manera y consumiendo la menor cantidad de combustible. El aumento de la relación de compresión del motor incrementa la eficiencia en la combustión generando un mejor desempeño en el motor y aumentando su par motor. Por otro lado, sobrealimentar el motor e implementar bujías de alto rendimiento generalmente aumentan el par motor, pero a cambio genera un mayor consumo de combustible.

Como se menciona anteriormente, aumentar el par motor significa que el trabajo generado por el motor será mayor, esto se logra con una mayor eficiencia volumétrica en el interior del cilindro, para lograr esto es necesario la implementación de un turbo. Al existir una mayor relación de compresión el combustible trabajara a una mayor presión, lo cual generara un incremento en la energía. Lo anteriormente mencionado necesita una unidad de control, la cual es la encargada de manejar los diferentes parámetros de la inyección de combustible, avance de encendido, la presión del turbo, limitar las RPM y la velocidad para que el motor se encuentre en un óptimo desempeño.

La vida útil del motor es un tema que merece especial atención debido, al motor que se está utilizando está diseñado y fabricado para realizar un trabajo que no implica generar el desplazamiento de cargas muy elevadas como es la propulsión de un peso de aproximadamente 105 kg a una velocidad promedio de 20 km/h. La implementación de un turbo, aumentar la relación de compresión limitan aún más la vida útil de este motor. Por otro lado, adecuar un kit de admisión directa y líneas de escape, en cooperación con bujías de alto rendimiento y aditivos especiales no afectan en nada la vida del motor. Mecanizar un nuevo cigüeñal con propiedades

mecánicas superiores al que se dispone actualmente es una solución al problema que se tiene con la vida útil del motor.

Al momento de realizar la implementación de las diferentes modificaciones al motor existen varios problemas que deben ser solventados como lo es la instalación de la unidad de control, la cual amerita la mayor precaución posible debido a que trabaja con voltajes y amperajes muy bajos; debido a esto, la menor equivocación resultaría en el daño total de la unidad de control y debido al costo de esta la culminación del proyecto se compromete totalmente. Por esta razón la instalación de la computadora es la más complicada. Otro factor para tomar en cuenta es la prohibición de aditivos en el combustible normado por los organizadores de la competencia.

Ecuador al ser un país de tercer mundo, la adquisición de diferentes elementos se torna complicada por esa razón implementar bujías de alta desempeño, mecanizar un cigüeñal y encontrar un turbo que se adapten a las características de nuestro motor es sumamente complicado. Sin embargo, en los últimos años el deporte del automovilismo a ganado terreno en nuestro país, por esa razón encontrar una unidad de control programable es posible.

Con el análisis previamente realizado se puede determinar que las mejores modificaciones que se le pueden realizar al motor Honda GX35 es aumentar la relación de compresión e implementar una nueva unidad de control.

3.2.1. *Aumento de la relación de compresión*

La relación de compresión de un motor de combustión interna es la cantidad de veces que entra el volumen de la cámara de combustión en el volumen total del cilindro. En otras palabras, el pistón a descender desde el PMS hasta el PMI con la válvula de admisión abierta aspira la mezcla aire combustible al interior del cilindro, después el pistón realiza el ascenso comprimiendo la mezcla, la reducción de volumen que existe entre el PMI al PMS es la relación de compresión. Acotando que el volumen de la cámara de combustión es todo lo que queda sobre la superficie del pistón cuando este se encuentra en el punto muerto superior. (Rovira, 2015 pág. 29)

La principal ventaja de aumentar la relación de compresión es una de las formas más eficaz de aumentar el par motor, al modificar este parámetro el gas que existe sobre la cabeza del pistón se comprimirá más lo cual genera un aumento de presión y temperatura generando un combustión

más potente y rápida. Recordando que, al comprimir más el combustible, mayor es la energía que se obtiene.

Al tener una combustión más rápida esto obliga a que se tenga que retrasar el encendido llegando al beneficio de que el pistón podrá comprimir unos grados más la mezcla. Pero se debe tener mucho cuidado al aumentar en exceso la relación de compresión, generando la auto detonación o mejor conocida como picado, al existir un aumento de temperatura y presión de los gases en el ciclo de compresión del motor estos llegan a inflamarse antes de que se genere el frente de llama de la combustión, produciéndose dos combustiones, una generada por el salto de chispa y la otra por la auto detonación de los gases producido por el aumento de presión creando dos ondas que chocan entre sí, esto produce que dos fuerzas brutales golpeen el pistón, el sonido de este caso es muy particular, como si se estuviera golpeando con un martillo al motor. Algunas soluciones para evitar la auto detonación se explican a continuación.

- Enriquecer la mezcla, la gasolina genera un efecto refrigerante en el interior del cilindro especialmente sobre la cabeza del pistón, al enfriar estos elementos la temperatura de los gases no aumentara tan rápido antes de que se genere la combustión.
- Retrasar el encendido, al generarse la combustión más rápido, el motor necesita menos avance de encendido.
- Generar una buena ventilación especialmente de la culata, ayudara a que la temperatura de la mezcla no aumente descontroladamente.
- Utilizar gasolina de más octanaje.

Otro problema que se puede generar es no respetar la holgura que debe existir entre las válvulas cuando estén abiertas y el pistón al momento que se encuentre en el punto muerto superior. Debido a que, para poder aumentar la relación de compresión es necesario quitar material de la culata o poner pistones de cabeza más adelante, cualquier de estas opciones produce que el pistón se acerque más a las válvulas en PMS. Al no respetar la holgura entre estos elementos producirá que se golpeen, creando una avería, en la imagen que se presenta a continuación se observa muy buen la holgura entre válvula y pistón.



Figura 12-3: Holgura entre válvula y pistón

Fuente: (Rovira, 2015 pág. 29)

Existen dos formas de aumentar la relación de compresión de un motor de combustión interna como se mencionó anteriormente.

- Modificaciones de la culata, esta al ser el lugar donde se alojan casi la totalidad de los elementos que constituyen la distribución, tales como las válvulas y resortes, conductos de admisión y escape, árboles de levas en algunos motores. La modificación consiste en el rectificado del plano de la culata para rebajar su espesor y de esa manera disminuir el volumen que existe entre la culata y el pistón cuando este se encuentra en PMS.
- Reemplazar el pistón original por uno del mismo diámetro, pero de mayor altura, realizando esto el volumen que existe entre la culata y la parte superior del pistón cuando este se encuentre en el PMS disminuirá, generando un aumento en la relación de compresión.

Se optó por realizar solamente el reemplazo del pistón original por uno del mismo diámetro, pero de mayor altura. Debido a que el block del motor Honda GX35 está unido con la culata, siendo un solo elemento, hace imposible realizar el rectificado del plano de la culata para rebajar su espesor. Como se explicó anteriormente la estructura del motor Honda GX35 se divide en 3: Tapa válvulas, block, cárter. (Honda, 2019)

3.2.1.1. *Reemplazo del pistón*

Se reemplazo el pistón del motor GX35 por el del motor GX31, el cual tiene el mismo diámetro, pero una altura mayor, haciendo que la relación de compresión aumente.

Para el reemplazo del pistón debemos realizar un rebaje en la parte superior para que el pistón no choque con la culata, debido que en los motores de combustión interna hay que mantener una

determinada distancia entre la parte superior del pistón y el inicio de la cámara de combustión para que la combustión se lleve a cabo. (Payri Gonzales, 2015)

En la imagen que se presenta a continuación, se indica el material a ser eliminado a través de un proceso de torneado.



Figura 13-3: Material a eliminar

Fuente: (Sanchez, 2016)

En la siguiente figura se puede comparar el pistón GX31 a la izquierda y GX35 a la derecha.



Figura 14-3: comparación entre los pistones

Fuente: Autores

A continuación, se presenta la tabla con las características del motor Honda GX35 y GX31.

Tabla 6-3: Características de los motores

Motor Honda GX35	Motor Honda GX31
D: Diámetro del pistón (Bore) $D = 39$ mm	D: Diámetro del pistón (Bore) $D = 39$ mm
L: Carrera del pistón (Stroke) $L = 30$ mm	L: Carrera del pistón (Stroke) $L = 26$ mm
v_0 : Volumen de la hendidura de la cabeza del pistón Honda GX35: $v_0=0.8$ cc	h: Mayor altura del pistón del Honda GX31 respecto del GX35: $h = 1.53$ mm
SQUISH del pistón motor Honda GX35: SQUISH = 1.8 mm	Peso del pistón del motor Honda GX31: 42.2 gf
V: Cilindrada del motor Honda GX35: $V = 35.83$ cc	Peso del pistón del motor Honda GX35: 37.2 gf
R: Relación volumétrica del motor Honda GX35: $R = 8:1$	Peso del pistón del motor Honda GX31 con la cabeza recortada: 39.7 gf

Fuente: (Honda, 2019).

Realizado por: Autores

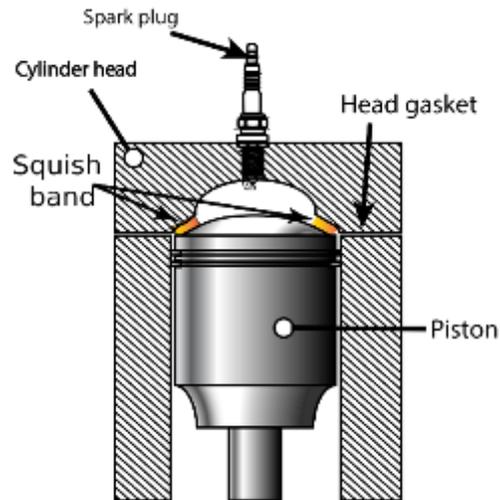


Figura 15-3: Squish de un pistón

Fuente: (Sanchez, 2016)

El termino Squish es un término técnico que proviene del Ingles que se utiliza para indicar la alta turbulencia provocada por la brusca variación de la compresión. Esto se produce cuando el pistón se aproxima al PMS en la fase de compresión, el cual se aproxima mucho a las paredes de la culata, generando poco espacio para que la mezcla alcance los espacios libres de la cámara de combustión a gran velocidad.

El motor Honda GX35 tiene un volumen de la cámara de combustión igual a la siguiente expresión (Pulkrabek, 1997 pág. 72):

$$v1 - v2 = V \quad (1)$$

Donde:

V : Cilindrada total del motor

$v1$: volumen unitario

$v2$: volumen de la cámara de combustión

R : relación de compresión

$$\frac{v1}{v2} = R \rightarrow v1 = v2 \cdot R \quad (2)$$

(2) reemplazamos en (1)

$$v2 \cdot R - v2 = V$$

$$R = \frac{V + v_2}{v_2}$$

$$R = \frac{V + v_2}{v_2} \rightarrow v_2 = \frac{V}{R - 1} = \frac{35.83}{8 - 1} = 5.12 \text{ cc (3)}$$

Al reemplazar el pistón del motor Honda GX35 por el del motor GX31, tomando en cuenta que este último es más alto que el primero, por lo tanto, la obtenemos una nueva expresión

Cilindrada total del motor Honda GX35 con pistón original = cilindrada total del motor Honda GX35 con pistón del motor GX31

$$v_1 - v_2 = v_1 - v_2$$

$$\pi(D/2)^2 h - v_2 = \pi(D/2)^2 \Delta h - v_2$$

$$-v_2 + \pi(D/2)^2 h - \pi(D/2)^2 \Delta h + v_2 = 0 \text{ multiplicamos por } (-1)$$

$$v_2 - \pi(D/2)^2 h + (D/2)^2 \Delta h = v_2 \text{ (4)}$$

Donde $v_1 = v_2$ por la razón en que si Δh toma el mismo valor de h no existiría ningún cambio en el volumen de la cámara de combustión.

La expresión (2) y (1) se igualan, pero cabe mencionar que el pistón GX31 no tiene la hendidura en su cabeza como la tiene el pistón GX35

$$v_2 - v_0 - \pi(D/2)^2 h + (D/2)^2 \Delta h = \frac{V}{R - 1} \rightarrow$$

$$v_2 - v_0 - \pi 10^{-3} (D/2)^2 (h - \Delta h) = \frac{V}{R - 1} \text{ (5)}$$

Teniendo Δh la distancia en mm a recortar el pistón GX31 para ajustar la relación de compresión (R) Del GX35 sustituyendo valores en la expresión 3, obtendremos:

$$5.12 - 0.8 - 10^{-3} \pi (39/2)^2 (1.53 - \Delta h) = \frac{35.38}{R - 1} \rightarrow$$

$$5.12 - 0.8 - 1.827 + 1.194\Delta h = \frac{35.38}{R - 1} \rightarrow$$

$$5.12 - 0.8 - 1.827 + 1.194\Delta h = \frac{35.38}{R - 1} \rightarrow$$

$$1.194\Delta h = \frac{35.83}{R - 1} - 2.493$$

$$\Delta h = \frac{30}{R - 1} - 2.1$$

Con esta expresión podemos obtener el incremento de altura a devastar según la relación de compresión deseada.

Reemplazando la variable R por el valor de relación de compresión deseada, obtenemos:

$$\Delta h = \frac{30}{12 - 1} - 2.1$$

$$\Delta h = 0.62mm$$

En la siguiente tabla se expresó la eficiencia del motor Honda GX35 en función de su compresión. Cabe mencionar que en este trabajo se aumentó la relación de compresión del motor a 12. Con lo que se gana un 6.41 % en eficiencia en el motor. (Sanchez, 2016)

Tabla 7-3: eficiencia del motor según su relación de compresión

COMPRESIÓN	EFICIENCIA
8	51.7%
9	53.65%
10	55.33%
11	56.79%
12	58.11%

Fuente: (Sanchez, 2016)

Realizado por: Autores

Datos: para calcular los diferentes parámetros del motor.

Condiciones atmosféricas ideales en la ciudad de Riobamba

Diámetro del pistón (Bore) $D = 39 \text{ mm} = 3.9 \text{ cm}$

L: Carrera del pistón (Stroke) $L = 30 \text{ mm}$

R: relación de compresión=12:1

$n = 4000 \text{ rpm}$

$V = 35.833 \text{ cc} = 3.583 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 0.03583 \text{ L}$

R=12:1

P_1 atmosférica=72Kpa

T_1 (ambiente)=20°C

Poder calorífico de la gasolina =43000 KJ/kg ANEXO B (Pulkrabek, 1997 pág. 380):

AF=14.7

Se asume que existe un 4% de gases residuales después de cada ciclo (Pulkrabek, 1997 pág. 72):

Eficiencia mecánica (η_e)= 80% (Pulkrabek, 1997 pág. 72):

Eficiencia de la combustión (η_c)

Desarrollo

Todas las ecuaciones que se emplearan a continuación son obtenidas de (Pulkrabek, 1997 pág. 71):

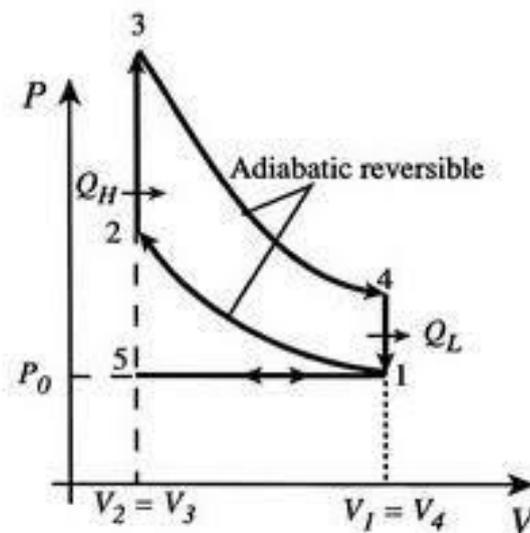


Figura 16-3: Ciclo Otto.

Fuente: (Pulkrabek, 1997 pág. 72):

Para encontrar el volumen de la cámara de compresión

$$v_1 - v_2 = V \quad (1)$$

Donde:

V : Cilindrada total del motor

v_1 : volumen unitario

v_2 : volumen de la cámara de combustión

R : relación de compresión

$$\frac{v_1}{v_2} = R \rightarrow v_1 = v_2 \cdot R \quad (2)$$

(2) reemplazamos en (1)

$$v_2 \cdot R - v_2 = V$$

$$R = \frac{V + v_2}{v_2}$$

$$R = \frac{V + v_2}{v_2} \rightarrow v_2 = \frac{V}{R - 1}$$

$$v_2 = \frac{35.83}{12 - 1} = 3.25cc$$

Punto 1 del ciclo termodinámico: admisión

$$T_1 = 20^\circ\text{C} \rightarrow T_1 = 273 + 20 = 293^\circ\text{K} \text{ temperatura ambiente de Riobamba}$$

$$P_1 = 72\text{Kpa} \text{ presión atmosférica de Riobamba}$$

$$V = v_1 + v_2$$

$$v_1 = 35.83cc + 3.25cc$$

$$v_1 = 39.08cc$$

Masa de la mezcla se calcula con la siguiente expresión:

$$Mm = \frac{P_1 v_1}{RT_1}$$

Donde:

R : constante universal de los gases = $0.287\text{KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{K}$ ANEXO A (Pulkrabek, 1997 pág. 379)

$$Mm = \frac{(72KPa)(39.08 \times 10^{-6} m^3)}{(0.287 KJ/Kg \cdot ^\circ K)(293^\circ K)}$$

$$Mm = 3.34 \times 10^{-5} Kg$$

Punto 2 del ciclo termodinámico: etapa de compresión, proceso isotrópico 1-2.

Utilizamos las siguientes ecuaciones para encontrar la presión y la temperatura en el punto 2

$$P2 = P1 \cdot R^k = (72KPa)(12^{1.4}) = 2334.45KPa$$

$$T2 = T1 \cdot R^{k-1} = (293^\circ K)(12^{0.4}) = 791.66^\circ K$$

Donde:

k: exponente adiabático=1.41 ANEXO A (Pulkrabek, 1997 pág. 379)

De la ecuación para el cálculo de la Masa de la mezcla obtenemos el volumen de la cámara de compresión, realizamos esto como comprobación:

$$Mm = \frac{P1v1}{RT1}$$

$$v2 = \frac{mRT2}{P2} = \frac{(3.34 \times 10^{-5} Kg)(0.287 KJ/Kg \cdot ^\circ K)(791.66^\circ K)}{2334.45KPa} = 3.2507 \times 10^{-6} m^3 = 3.25 cc$$

La masa de la mezcla de gases está compuesta por masa de aire (ma), masa de combustible (mf), y masa residual (mex):

$$ma = \left(\frac{15.7}{14.7}\right)(0.96)(0.000034) = 3.4245 \times 10^{-5} Kg$$

$$mf = \left(\frac{1}{14.7}\right)(0.96)(0.000034) = 2.181 \times 10^{-6} Kg$$

$$mex = (0.04)(0.000034) = 1.36 \times 10^{-6} Kg$$

$$Mm = 3.34 \times 10^{-5} Kg$$

Punto 3 del ciclo termodinámico: proceso de combustión a volumen constante, todas las válvulas cerradas.

Utilizamos la siguiente expresión para encontrar el Calor añadido durante un ciclo:

$$Q_{in} = m_f Q_{HV} n_c = m_m C_v (T_3 - T_2)$$

Donde:

Q_{in} : Calor añadido

Q_{HV} : Calor específico del combustible

n_c : eficiencia de la combustión

C_v : calor específico a volumen constante = $0.718 \text{ KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{K}$ ANEXO A (Pulkrabek, 1997 pág. 379)

$$Q_{in} = m_f Q_{HV} n_c = (2.181 \times 10^{-6} \text{ Kg})(43000 \text{ KJ/Kg})(1) = 0.0935 \text{ KJ}$$

$$Q_{in} = m_m C_v (T_3 - T_2) \rightarrow T_3 = \frac{Q_{in}}{m_m C_v} + T_2$$

$$T_3 = \frac{0.0935 \text{ KJ}}{(3.34 \times 10^{-5} \text{ Kg})(0.718 \text{ KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{K})} + 791.66^\circ\text{K}$$

$$T_3 = 4693.25^\circ\text{K} = T_{max}$$

$$v_3 = v_2 = 3.2507 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

A volumen constante:

$$P_3 = P_2 \left(\frac{T_3}{T_2} \right) = 2334.45 \text{ KPa} \left(\frac{4693.25^\circ\text{K}}{791.66^\circ\text{K}} \right)$$

$$P_3 = 13839 \text{ KPa} = P_{max}$$

Punto 4: donde se genera el trabajo, proceso isotrópico.

$$T_4 = T_3 \left(\frac{1}{R} \right)^{k-1} = 4693.25^\circ\text{K} \left(\frac{1}{12} \right)^{0.4} = 1737^\circ\text{K}$$

$$P_4 = P_3 \left(\frac{1}{R} \right)^k = 13839 \text{ KPa} \left(\frac{1}{12} \right)^{1.4} = 426.82 \text{ KPa}$$

$$v_4 = Mm. R. \frac{T_4}{P_4} = \frac{(3.34 \times 10^{-5} \text{ Kg})(0.287 \text{ KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{K})(1737^\circ\text{K})}{426.82 \text{ KPa}}$$

$$v_4 = 3.90 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = v_1 \text{ Este valor concuerda con } v_1$$

Tabla 8-3: eficiencia del motor según su relación de compresión.

Unidad	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
P (KPa)	72	2334.45	2334.45	426.82
V (m³)	3.90×10^{-5}	3.2507×10^{-6}	3.2507×10^{-6}	3.90×10^{-5}
T (°K)	293	791.66	4693.25	1737
Mm (Kg)	3.34×10^{-5}	3.34×10^{-5}	3.34×10^{-5}	3.34×10^{-5}

Fuente: Autores

Realizado por: Autores

El trabajo producido en el proceso isotrópico 3-4 durante un ciclo:

$$W_{3-4} = MmR(T4 - T3)/(1 - k)$$

$$W_{3-4} = \frac{(3.34 \times 10^{-5} \text{Kg})(0.287 \text{KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{K})(1737^\circ\text{K} - 4693.25^\circ\text{K})}{1 - 1.4}$$

$$W_{3-4} = \mathbf{0.0708KJ}$$

El trabajo absorbido durante el proceso isotrópico en el ciclo de compresión:

$$W_{1-2} = MmR(T2 - T1)/(1 - k)$$

$$W_{1-2} = \frac{(3.34 \times 10^{-5} \text{Kg})(0.287 \text{KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{K})(791.66^\circ\text{K} - 293^\circ\text{K})}{1 - 1.4}$$

$$W_{1-2} = \mathbf{-0.01195KJ}$$

El trabajo en el tiempo de admisión es cancelado por el trabajo que se genera en el tiempo de expulsión. A continuación, se presentará la ecuación para calcular el trabajo neto.

$$W_{neto} = W_{3-4} + W_{1-2} = (0.0708KJ) + (-0.01195KJ) = 0.05885KJ$$

La eficiencia térmica se calcula con la siguiente ecuación

$$n_t = \frac{W_{neto}}{Q_{in}} = \frac{0.05885KJ}{0.0935KJ} = 0.62 = \mathbf{62\%}$$

La Presión media efectiva se utiliza la siguiente ecuación:

$$imep = \frac{W_{neto}}{(v1 - v2)} = \frac{0.05885KJ}{3.90 \times 10^{-5} \text{m}^3 - 3.2507 \times 10^{-6} \text{m}^3} = \mathbf{1646.18KPa}$$

Potencia indicada.

$$W_i = \frac{WN}{n}$$

Donde:

W_i : potencia indicada

W: trabajo neto

N: revoluciones del motor

n: 2 rev/ciclo

$$W_i = \frac{(0.05885KJ) \left(\frac{4000rev}{60s}\right)}{\frac{2rev}{ciclo}}$$

$$W_{i4000} = 1.9616 Kw = 2.6305hp$$

$$W_{i5000} = 2.4520Kw = 3.2881hp$$

$$W_{i6000} = 2.9425 Kw = 3.9459hp$$

$$W_{i7000} = 3.4323 Kw = 4.6027hp$$

Velocidad media del pistón:

$$Up = 2SN = \left(2 \frac{carreras}{rev}\right) \left(0.03 \frac{m}{carrera}\right) \left(\frac{4000 rev}{60s}\right)$$

Donde:

S: Carrera

$$Up = 4m/s$$

Trabajo realizado por la transmisión durante un ciclo con la siguiente ecuación:

$$W_b = n_m W_i$$

$$W_{b4000} = (0.80)(0.05885KJ) = 0.04708KJ$$

Potencia transmitida a las ruedas:

$$W_b = \left(\frac{4000rev}{60s}\right) \left(0.5 \frac{ciclos}{rev}\right) \left(0.04708 \frac{KJ}{ciclo}\right)$$

$$W_{b4000} = 1.569Kw = 2.1040hp$$

$$W_{b5000} = 1.9616Kw = 2.63054hp$$

$$Wb_{6000} = 2.354Kw = 3.156766hp$$

$$Wb_{7000} = 2.7463Kw = 3.6828hp$$

El torque se calculó utilizando la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{Wb}{2\pi N}$$

$$\tau = \frac{\left(1.5669 \frac{Kw}{s}\right)}{\left(2\pi \frac{radianes}{rev}\right) \left(\frac{4000rev}{60s}\right)}$$

$$\tau_{4000} = 3.7406 * 10^{-3}KN.m = 3.7406N.m$$

$$\tau_{5000} = 2.9925 * 10^{-3}KN.m = 2.9925N.m$$

$$\tau_{6000} = 2.4937 * 10^{-3}KN.m = 2.4937N.m$$

$$\tau_{7000} = 2.1375 * 10^{-3}KN.m = 2.1375N.m$$

Potencia perdida por la fricción se calcula con la siguiente expresión:

$$Wf = 1.9616 Kw - 1.569Kw$$

$$Wf = 0.3926Kw = 0.526485272hp$$

Presión media efectiva generada por la transmisión

$$bmep = n_m(imep)$$

$$bmep = (0.80)(1646.18KPa) = 1316.94KPa$$

Otra ecuación de encontrar el torque del motor es:

$$\tau = \frac{(bmep)V}{4\pi}$$

$$\tau = \frac{(1316.94KPa)(3.583 \times 10^{-5}m^3)}{4\pi}$$

$$\tau = 4.0 \times 10^{-3}KNm = 4.02KNm$$

Potencia específica a las ruedas

$$BSP = \frac{Wb}{Ap}$$

Donde:

Wb: Potencia a las ruedas

Ap=Área de trabajo

$$BSP = \frac{1.569Kw}{\left(\frac{\pi}{4}\right)(3.9cm)^2}$$

$$BSP = 0.1313KW/cm^2$$

Potencia generada a las ruedas por el desplazamiento, se calcula usando la siguiente ecuación:

$$OPD = \frac{Wb}{Vd} = \frac{(1.569Kw)}{0.03583L}$$

$$OPD = 43.7901KW/L$$

Consumo específico por la transmisión se calcula usando la siguiente ecuación:

$$bsfc = \frac{m_f}{W_b}$$

$$bsfc = \frac{\left(2.181 \times 10^{-6} \frac{Kg}{ciclo}\right) \left(4000 \frac{rev}{min}\right) \left(1 \frac{min}{60s}\right) \left(0.5 \frac{ciclo}{rev}\right)}{1.569Kw}$$

$$bsfc = \left(4.6335 \times 10^{-5} \frac{Kg}{s.Kw}\right) * \left(\frac{1000g}{Kg}\right) * \left(\frac{3600s}{1h}\right) = 166.80 \frac{g}{Kw.h}$$

$$bsfc = \left(166.80 \frac{g}{Kw.h}\right) \left(\frac{1L}{1000g}\right)$$

$$bsfc_{4000} = 0.1668 \frac{L}{Kw.h}$$

$$bsfc_{5000} = 0.16677 \frac{L}{Kw.h}$$

$$bsfc_{6000} = 0.1667714 \frac{L}{Kw.h}$$

$$bsfc_{7000} = 0.1667734 \frac{L}{Kw.h}$$

Este valor indica que el motor consume 0.1668 L a un régimen de trabajo de 4000 rpm durante 1 hora.

El cálculo de consumo de combustible realizado por la Shell eco Marathon consiste en medir que cantidad de combustible se consume en una distancia preestablecida por los organizadores de la

Shell, por esa razón se decide emplear la misma metodología para medir el consumo de combustible en Ecuador, el método se describe a continuación:

La pista tiene una longitud total de 940 m. por lo cual los organizadores establecen que cada participante debe realizar 7 vueltas en 20 minutos dando como resultado un recorrido total de 6.58 km. Nuestro vehículo utilizando una programación estándar, consumo en 20 minutos 0.05560 L.

Empleando la siguiente regla de 3 simple: 0.05560 L recorre 6.58 km, con un litro de combustible cuanto consumirá.

$$x = \frac{1L * 6.58km}{0.05560L} = \mathbf{118.34 Km}$$

El prototipo tiene una eficiencia de 118.34 km con un litro de combustible. Con una relación estequiométrica ideal de 14.7 y sin ninguna programación.

Con la siguiente ecuación se utiliza para encontrar la eficiencia volumétrica.

Donde:

pa: densidad del aire = $1.181 \frac{Kg}{m^3}$ (Pulkrabek, 1997 pág. 71)

$$n_v = \frac{ma}{paV} = \frac{3.4245 \times 10^{-5} Kg}{\left(1.181 \frac{Kg}{m^3}\right) (3.583 \times 10^{-5} m^3)} = 0.8092 = \mathbf{80.92\%}$$

Comparación según la relación de compresión:

Nuevos valores de potencia, torque y consumo del motor Honda GX35 con una relación de compresión de 12:1

Tabla 9-3: eficiencia del motor según su relación de compresión 12:1.

	Potencia (hp)	Torque (Nm)	Consumo ($\frac{L}{Kw.h}$)
4000 rpm	2.1040	3.7406	0.1668
5000 rpm	2.63054	2.9925	0.16677
6000 rpm	3.1567	2.4937	0.1667714
7000 rpm	3.6828	2.13	0.1667734

Fuente: Autores

Realizado por: Autores

Valores de potencia, torque y consumo del motor Honda GX35 con una relación de compresión de 8:1.

Tabla 10-3: eficiencia del motor según su relación de compresión 8:1.

	Potencia (hp)	Torque (Nm)	Consumo ($\frac{L}{Kw.h}$)
4000 rpm	0.766	1.10	0.360
5000 rpm	1.10	1.5	0.352
6000 rpm	1.42	1.4	0.350
7000 rpm	1.48	1.10	0.400

Fuente: (Honda, 2019)

Realizado por: Autores

Con el aumento de la relación de compresión a 12:1 del motor Honda GX35 su eficiencia energética aumenta 6.41%, lo cual es comprobado en las tablas 9-3 y 10-3

3.3. Instalación de la unidad de control

3.3.1. Selección de unidad de control

Para nuestro prototipo tenemos varias opciones para la unidad de control que pueden ser adaptadas utilizando los componentes que poseemos del sistema de inyección electrónico anterior. Antes que nada, debemos tener en cuenta que la unidad de control no debe ser muy robusta y que será utilizada en un motor de 4 tiempos, un cilindro de 35cc.

Para la selección de la unidad de control hemos realizado una matriz de decisión tomado en cuenta las características principales y las más comerciales en nuestro mercado. La matriz de decisión empleada, valores entre 1 y 5, donde 5 es considerado como la mejor calificación, y 1 es la peor.

Tabla 11 3: Unidades de control programables

	Porcentaje asignado	PANDOO PRO INJECT	MEGASQUI RT2	MICROSQUI RT	HALTE CH FX10
Tamaño	25%	3	1	5	1
Mantenimiento	10%	5	5	5	4
Asesoría técnica	20%	4	5	5	3
Instalación	10%	5	5	5	5

Usos aplicados al motor GX35	20%	5	4	5	4
Costo	15%	2	3	4	3
Total	100% (5 puntos)	4	3.83	4.83	3.33

Fuente: Autores

Realizado por: Autores

“Tamaño” se refiere a las dimensiones y el peso de la unidad de control, que lo tomamos en cuenta debido a que no queremos aumentar demasiado el peso del prototipo. “Mantenimiento” hace referencia a la facilidad de reparación en caso de cualquier daño causado, por ejemplo, la sustitución de un elemento electrónico interno que se queme. “Asesoría técnica” está basado en la catedra que nos brinda el proveedor tanto para la instalación como para la programación de la unidad de control. “Instalación” nos referimos a la facilidad de acoplar la nueva unidad de control con los sensores y actuadores de la antigua unidad de control. “Usos aplicados al motor GX35” hace referencia al poder utilizar la mayor cantidad de usos que brinda la unidad de control para no desperdiciar la capacidad de esta. “Costo” nos referimos a el precio de adquisición en el mercado.

Podemos concluir que la mejor unidad de control electrónico que encontramos en nuestro medio es MICROSQUIRT (4.83 DE 5), que satisface con las necesidades electrónicas del prototipo al igual que es ligera.



Figura 17-3: Unidad de control MICROSQUIRT

Fuente: (Megasquirt, 2019)

3.3.2. *Adaptación del sistema de inyección al motor Honda GX35*

El reglamento exige que el motor debe funcionar con un sistema de inyección electrónica, para lo cual se adquirió anteriormente un kit de inyección EcoCal.



Figura 18-3: Kit de inyección

Fuente: Autores

Para la instalación del sistema de inyección es necesario retirar el sistema de carburador que viene con el motor, para luego proceder a colocar cada uno de los siguientes sensores y actuadores:

- Unidad de control electrónico
- Sensor MAP
- Sensor ECT
- Sensor IAT
- Sensor de oxígeno
- Sensor TPS
- Inyector
- Sensor CKP (efecto hall)
- Bobina de encendido
- Modulo CDI

A pesar de que no está permitido el uso de bomba de combustible en la competencia se procedió a instalar por motivos de pruebas.

3.3.2.1. Procedimiento

Se retiro el carburador del motor y se procedió a instalar el nuevo cuerpo de aceleración en el cual vienen montados los sensores TPS, IAT, MAP y el actuador (inyector), como se ve en la siguiente figura. En el lugar donde estaba sujeto el carburador con los mismos pernos.



Figura 19-3: Nuevo cuerpo de aceleración

Fuente: Autores

Se retiró la bobina de encendido, en donde se procedió a instalar el sensor CKP en los orificios en donde estaba sujeta la bobina con los pernos de nuevo kit, debemos tener en cuenta que el sensor requiere de mucha precisión para su correcto funcionamiento, este debe tener una distancia entre 3-5 mm respecto al magneto ubicado en la rueda fónica, como se ve en la Figura 20-3.



Figura 20-3: Sensor CKP

Fuente: Autores

Por otro lado, el sensor ECT se colocó en sobre el motor fijado con un perno a la tapa válvulas, como se muestra en la siguiente figura 21-3.

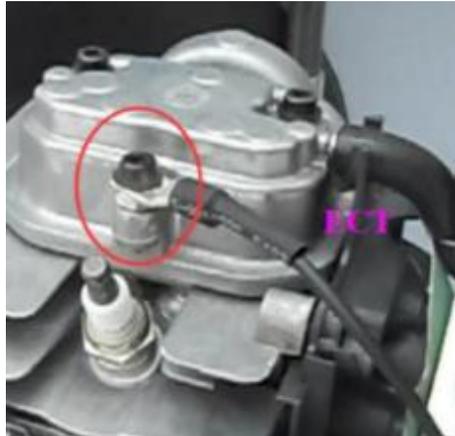


Figura 21-3: Sensor ECT

Fuente: Autores

Para instalar el sensor de oxígeno se sustituyó el escape por un tubo en donde se ubicó el sensor a una distancia de 15 cm de la salida del motor que es lo recomendado por el fabricante, como se ve en la Figura 22-3.



Figura 22-3: Sensor O2

Fuente: Autores

La instalación de la bobina y modulo CDI se realizó de manera convencional como en cualquier motocicleta, teniendo en cuenta que la bobina debe estar lo más alejada posible de la ECU debido a la estática que genera esta y puede afectar el funcionamiento de elementos electrónicos cercanos.

Para finalizar se instaló la bomba de combustible con una línea de retorno respectiva después de la válvula reguladora de presión, que permite tener una línea de combustible presurizada constantemente a 3.5 bar.

Todos estos componentes están conectados cuidadosamente entre sí y a la vez a la unidad de control ECU mediante un arnés de cables, como se muestra en la Figura 23-3. El voltaje permisible de toda la red es de 12V.

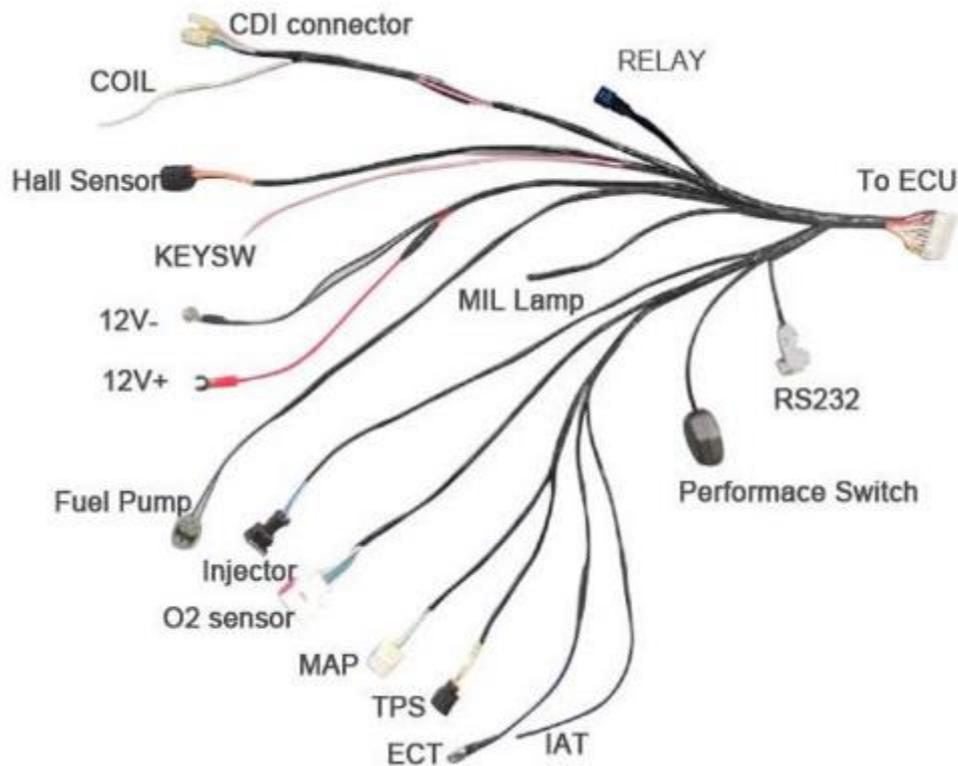


Figura 23-3: Arnés de cables

Fuente: Autores

Esta conexión se realizó en el nuevo motor una vez ya modificado su compresión, con el fin de conocer el funcionamiento, es decir cómo se desenvuelve el motor modificado y si no existe el riesgo de tener un a compresión muy elevada que pueda afectar mecánicamente los elementos internos y externos del motor, además extraer información necesaria para saber si son compatibles los componentes de este kit de inyección con la nueva unidad de control. En caso de encontrar que alguno de estos sensores o actuadores no es compatible con la nueva unidad de control por motivo de que su funcionamiento sea diferente a la que admite la nueva unidad de control, deberá ser cambiado por otro que sea compatible y apto.

Tabla 12-3: Pin data de la unidad de control ECOCAL

Pin No.	Componente	Color 1	Color 2	Descripción
P1	CKP	Amarillo	Negro	Sensor de posición del cigüeñal
P2	Luz MIL	Naranja	Negro	Luz de mal funcionamiento del sistema
P3	MAP	Blanco	Azul	Sensor de presión de aire en el colector de admisión
P4	IAT	Blanco	Blanco	Sensor de temperatura del aire
P5	RXD	Rojo	Blanco	Emisor de información del puerto de conexión RS232
P6	TXD	Azul	Rojo	Receptor de información del puerto de conexión RS232
P7	ROUT	Celeste	Celeste	Accionador del relevador de potencia del sistema
P8	CDI	Gris	Gris	Control de la señal del módulo CDI
P9	INJ1	Morado	Blanco	Señal de accionamiento del inyector
P10	GND	Negro	Negro	Señal de tierra del sistema

P11	O2HOUT1	Amarillo	Azul	Señal del calefactor del sensor O2
P12	KEYSW	Morado	Morado	Switch de encendido del sistema
P13	12V+	Rojo	Rojo	Suministro de corriente del sistema
P14	GND	Negro	Negro	Señal de tierra del sistema
P15	VCC	Amarillo	Amarillo	Suministro de voltaje de 5V para el sistema
P16	ECT	Azul	Azul	Sensor de temperatura del bloque del motor
P17	TPS	Blanco	Verde	Señal de posición de la aleta de aceleración
P18	O2in	Negro	Gris	Señal del sensor de oxígeno
P19	Per-SW	Naranja	Naranja	Switch de rendimiento del sistema
P20	GND-A	Verde	Verde	Señal analógica de tierra del sistema

Fuente: (ECOTRONS)

Realizado por: Autores

Tabla 13-3: Pin data de la unidad de control MICROSQUIRT

Pin No.	Componente	Color 1	Color 2	Descripción
P1	+12V IN	Rojo	Rojo	Alimentación principal
P2	CANH	Azul	Amarillo	Comunicación

				CAN
P3	CANL	Azul	Rojo	Comunicación CAN
P4	VR2+	Gris (Amarillo)	Gris (Verde)	Sensor CMP
P5	MAF	Rosa	Negro	Sensor MAF
P6	FLEX	Morado	Blanco	Entrada analógica de repuesto
P7	FIDLE	Verde	Verde	Señal de la válvula IAC
P8	PUMP	Morado	Morado	Relé de bomba de combustible
P9	INJ1	Verde oscuro	Verde oscuro	Banco de inyectores 1
P10	INJ2	Azul oscuro	Azul oscuro	Banco de inyectores 2
P11	SPK B (IGN2)	Blanco	Rojo	Señal lógica de chispa B
P12	SPK A (IGN1)	Blanco	Blanco	Señal lógica de chispa A
P13	RX	-	-	Comunicación RS232
P14	TX	-	-	Comunicación RS232
P15	BOOT LOAD	Morado	Negro	Cargador de arranque de ECU
P16	ALED	Amarillo	Negro	Salida de relé de repuesto
P17	WLED	Amarillo	Blanco	Salida de relé de repuesto
P18	SENSOR GROUND	Negro	Negro	No instalado
P19	SENSOR GROUND	Negro	Negro	GND compartida

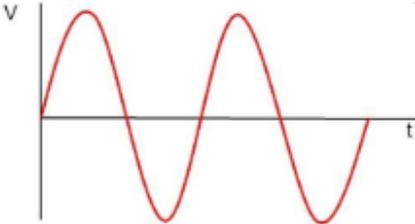
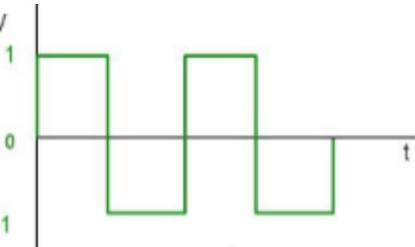
P20	SENSOR GROUND	Blanco	Negro	GND compartida de sensores
P21	VR2-	Gris (Amarillo)	Gris (Verde)	Sensor CMP
P22	POWER GROUND	Negro	Negro	GND de encendido
P23	POWER GROUND	Negro	Negro	GND de encendido
P24	MAP	Verde	Rojo	Sensor MAP
P25	CLT	Amarillo	Amarillo	Sensor CLT
P26	MAT	Anaranjado	Anaranjado	Sensor MAT
P27	TPS	Azul	Azul	Sensor TPS
P28	TPS VREF (5V)	Gris	Gris	5V sensor TPS
P29	SPAREADC	Anaranjado	Verde	Entrada analógica de repuesto
P30	OPTO+	Gris	Rojo	Señal de bobina
P31	OPTO-	Gris	Negro	Señal de bobina
P32	VR1+	Gris (Amarillo)	Gris (Verde)	Sensor CKP
P33	VR1-	Gris (Amarillo)	Gris (Verde)	Sensor CKP
P34	O2	Rosado	Rosado	Sensor de oxígeno
P35	TACHO	Verde	Amarillo	Sensor VSS

Fuente: (efisource, 2015)

Realizado por: Autores

Luego de haber identificado el pin data de la unidad de control ECOCAL y de cada uno de sus sensores y actuadores, se los comparó con el pin data de la nueva unidad de control MICROSQUIRT. Encontramos una incompatibilidad con el sensor CKP, con el módulo CDI y con la bobina del kit de inyección ECOCAL, por lo que nos vemos obligados a sustituir dichos elementos por otros elementos que sean aptos para el funcionamiento de la unidad de control nueva.

Tabla 14-3: Tipos de diferencia de señal efecto hall e inductivo

Tipo de señal	Gráfica
Señal analógica (inductivo)	
Señal digital (Efecto hall)	

Fuente: (efisource, 2015)

Realizado por: Autores

El problema se basa en que poseemos un sensor CKP de efecto hall (señal digital) y la unidad de control solo acepta sensores inductivos (señal analógica). Por lo que nos vimos en la obligación de sustituir dicho sensor por uno que es muy comercial y recomendado por el técnico de MEGASQUIRT Y MICROSQUIRT, se utilizó un sensor inductivo del vehículo Hyundai Getz. Figura 24-3.



Figura 24-3: Sensor CKP inductivo

Fuente: Autores

De modo que para que este sensor sea funcional en nuestro motor y con la nueva unidad de control electrónico se mecanizó una rueda fónica dentada con 36 dientes con la particularidad que debe tener un diente cortado, con dimensiones de 11 cm de diámetro por 0.1 cm de espesor, y los dientes con una altura de 0.1 cm y 0.1 cm de espesor. Teniendo en cuenta que esta será fijada al cigüeñal y también será el soporte de embrague centrífugo. Como se muestra en la Figura 25-3. Teniendo en cuenta que el diente perdido debe estar ubicado 9 dientes antes, cuando el pistón se encuentra en PMS, para asegurar que la rueda fónica no se desplace mientras el motor gira se lo aseguró con una chaveta.



Figura 25-3: Rueda fónica

Fuente: Autores

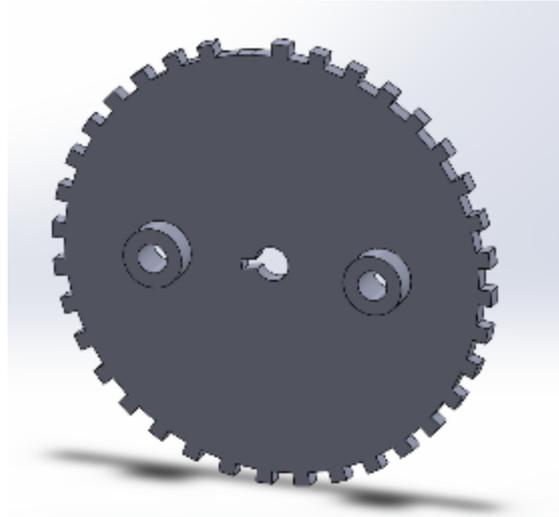


Figura 26-3 Diseño CAD de la rueda fonica

Fuente: Autores

De la misma manera con el módulo CDI genera señales de alto voltaje para la activación del primario de la bobina y la unidad de control nueva solo admite señales digitales, esto puede provocar que se quemen ciertos circuitos internos de la unidad de control nueva. Esta fue sustituida por un transistor de efecto de campo conocido como MOSFET 30115 (BIP373), en este caso este transistor tendrá la función del módulo CDI.

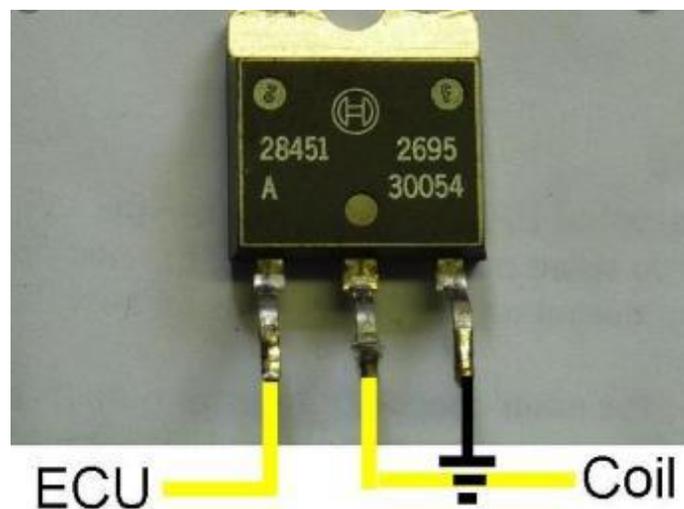


Figura 27-3: Sensor lambda AEM

Fuente: Autores



Figura 28-3: MOSFET 30115

Fuente: Autores

La bobina que poseemos no es apta para trabajar con la nueva unidad debido a que es una muy básica y genera un campo magnético demasiado elevado impidiendo así que la unidad de control se mantenga encendida y funcione correctamente, corriendo el riesgo de quemar la unidad de control. Por lo que se optó hacer una adaptación de una bobina con transistor externo (de dos pines) MSD (bobina multiplicadora de voltaje), con el fin de tener una mejor chispa.



Figura 29-3: Bobina MSD DISCOP

Fuente: Autores

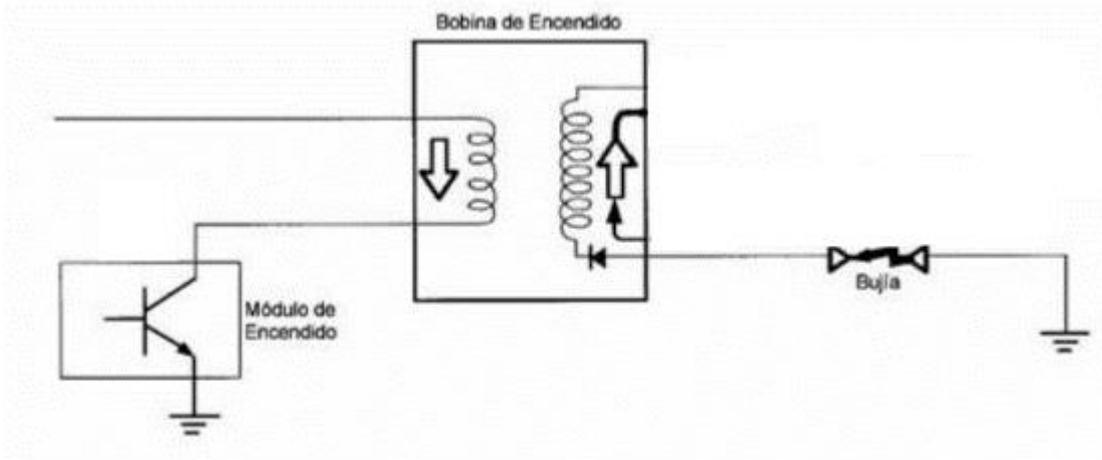


Figura 30-3: Bobina MSD DISCOP

Fuente: Autores

3.3.3. *Conexión de sensores y actuadores*

Una vez detectado cuales son las señales, GND y alimentaciones de cada sensor y actuador procedemos hacer la conexión de la nueva unidad de control electrónico, utilizando el arnés de cables que vienen con el conector de esta. Al ser un motor pequeño no se utilizarán todos los pines de la unidad de control.

3.3.3.1. *Bobina y modulo CDI*

Son los encargados de generar la ignición para poder llevar a cabo el encendido de la mezcla homogénea aire-combustible para el funcionamiento del motor.



Figura 31-3: Conexión de transistor y bobina

Fuente: Autores

Tabla 14-3: Pin data bobina

Pin	Color	Descripción
1	Naranja	Señal
2	Negro	12V

Fuente: (efisource, 2015)

Realizado por: Autores

La conexión del transistor como se muestra en la Figura 31-3. Es la siguiente:

- El pin izquierdo conocido como base se conecta mediante una resistencia de 330 ohmios 1/4 w al pin número 12 de la unidad de control electrónico.
- El pin derecho conocido como emisor se conecta directo a GND pin número 20 de la unidad de control.
- El pin de la mitad conocido como colector va conectado directo al pin número 1 de la bobina.
- El pin número 2 de la bobina va conectado al relé principal 12V.

3.3.3.2. *Sensor IAT*

Este sensor se encarga de medir la temperatura del aire que ingresa al cuerpo de aceleración.



Figura 32-3: Sensor IAT

Fuente: (ECOTRONS)

Tabla 15-3: Pin data sensor IAT

Pin	Color	Descripción
1	Blanco	Señal
2	Verde	GND

Fuente: (ECOTRONS)

Realizado por: Autores

- El pin número 1 va conectado al pin número 26 de la unidad de control electrónico.
- El pin número 2 va conectado al pin número 20 de la unidad de control electrónico.

3.3.3.3. *Sensor ECT*

Este sensor se encarga de medir la temperatura de funcionamiento del motor.



Figura 33-3: Sensor ECT

Fuente: (ECOTRONS)

Tabla 16-3: Pin data sensor ECT

Pin	Color	Descripción
1	Azul	Señal
2	Verde	GND

Fuente: (ECOTRONS)

Realizado por: Autores

- El pin número 1 va conectado al pin número 25 de la unidad de control electrónico.
- El pin número 2 va conectado al pin número 20 de la unidad de control electrónico.

3.3.3.4. *Sensor MAP*

Este sensor se encarga de medir la presión absoluta del colector de admisión del motor.



Figura 34-3: Sensor MAP

Fuente: Autores

Tabla 17-3: Pin data sensor MAP

Pin	Color	Descripción
1	Blanco/Azul	Señal
2	Verde	GND
3	Amarillo	5V

Fuente: (ECOTRONS)

Realizado por: Autores

- El pin número 1 va conectado al pin número 24 de la unidad de control electrónico.
- El pin número 2 va conectado al pin número 20 de la unidad de control electrónico.
- El pin número 2 va conectado al pin número 28 de la unidad de control electrónico.

3.3.3.5. Sensor TPS

Este sensor se encarga de medir la posición del acelerador.



Figura 35-3: Sensor TPS

Fuente: Autores

Tabla 18 3: Pin data sensor TPS

Pin	Color	Descripción
1	Blanco/Verde	Señal
2	Verde	GND
3	Amarillo	5V

Fuente: (ECOTRONS)

Realizado por: Autores

- El pin número 1 va conectado al pin número 24 de la unidad de control electrónico.
- El pin número 2 va conectado al pin número 20 de la unidad de control electrónico.
- El pin número 2 va conectado al pin número 27 de la unidad de control electrónico.

3.3.3.6. *Inyector*

Es el actuador encargado de suministrar combustible dentro del cilindro.



Figura 36-3: inyector

Fuente: Autores

Tabla 19-3: Inyector

Pin	Color	Descripción
1	Morado/Blanco	Señal
2	Café	12V

Fuente: (ECOTRONS)

Realizado por: Autores

- El pin número 1 va conectado al pin número 9 de la unidad de control electrónico.
- El pin numero 2 va conectado al relé de activación de la bomba de combustible 12V.

3.3.3.7. *Sensor Ckp*

El sensor de posición del cigüeñal (Crankshaft Position Sensor) es un sensor magnético que genera voltaje. Es el encargado de controlar el giro del motor controlando el momento de la inyección e ignición.



Figura 37-3: Sensor ckp

Fuente: Autores

Tabla 20-3: Sensor CKP

Pin	Color	Descripción
1	Blanco	VR1-
2	Amarillo	VR1+

Fuente: (ECOTRONS)

Realizado por: Autores

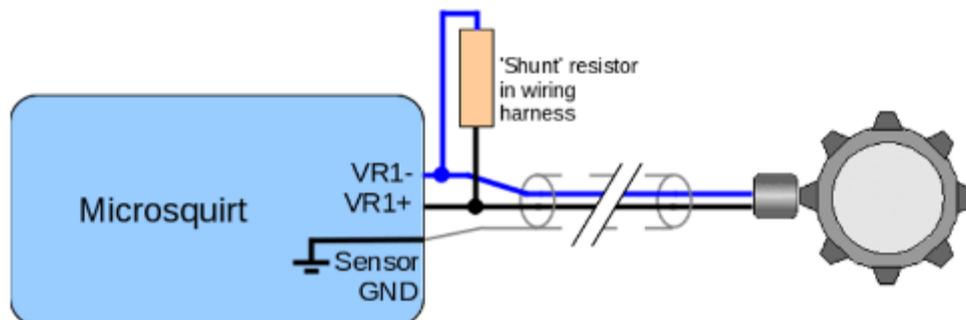


Figura 38-3: CKP

Fuente: (Murray, 2014)

Los dos cables van conectados al pin número 32 (dos cables) con una resistencia de $10K\Omega$ en paralelo, este debido a que la señal del inducido es demasiado alta y genera inestabilidad en la señal. La polaridad se la puede cambiar directamente desde el programa TunnerStudio MS.

3.3.3.8. *Instalación de sensor de oxígeno banda ancha*

Este tipo de sensor es utilizado en vehículos a gasolina con la finalidad de poder regular el funcionamiento del motor con una mezcla pobre, en nuestro caso como buscamos la eficiencia energética es indispensable la utilización de este tipo de sensor, además es necesario para poder realizar la programación, teniendo en cuenta que la relación aire combustible ideal para un motor de gasolina es de 14.7:1, es decir 14.7 gramos de oxígeno por 1 gramo de combustible. La sonda lambda de banda ancha es utilizada para poder determinar un rango de trabajo amplio, que oscilan entre 11:1(mezcla rica) a 22:1 (mezcla pobre).



Figura 39-3: sensor lambda AEM

Fuente: Autores

Utilizamos un sensor de oxígeno de la marca AEM debido a que es el más comercial y se lo encuentra en nuestro medio. Figura 39-3.

Tabla 21-3: Pin data sonda lambda.

Pin	Color	Descripción
1	Rojo	12V (5A)
2	Negro	GND
3	Verde/Blanco	CANL
4	Blanco/Negro	CANH

5	Azul	Opcional
6-8	-	-
9	Blanco	0-5V salida análoga +
10	Café	0-5V salida análoga -

Fuente: (AEM, 2014)

Realizado por: Autores

El reloj digital va conectado de la siguiente manera:

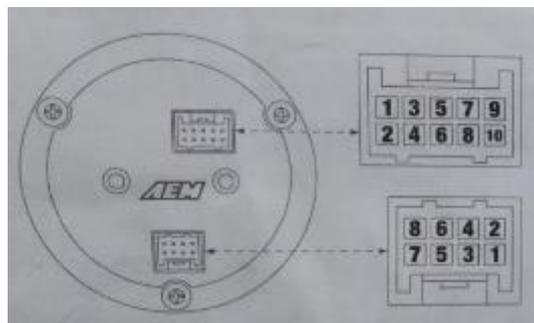


Figura 40-3: Conectores del sensor lambda AEM

Fuente: (AEM, 2014)

El conector de 10 pines:

- El pin número 1 va conectado directo a la batería con un fusible de 5A para seguridad de del reloj digital.
- El pin número 2 va conectado a GND.
- El pin número 9 va conectado a la unidad de control electrónico al pin número 34.
- El pin número 10 va conectado a GND de la unidad de control pin numero 22

El conector de 8 pines:

- La zona lambda ubicada en el tubo de escape va conectada directamente al reloj digital. En donde se visualiza la relación aire-combustible.

El reloj es ubicado en el volante del vehículo a manera de una técnica de conducción para que el piloto siempre este informado de la relación aire-combustible, así podrá tomar decisiones fundamentales para un buen desarrollo energético.

Microsquirt V3.0 wiring

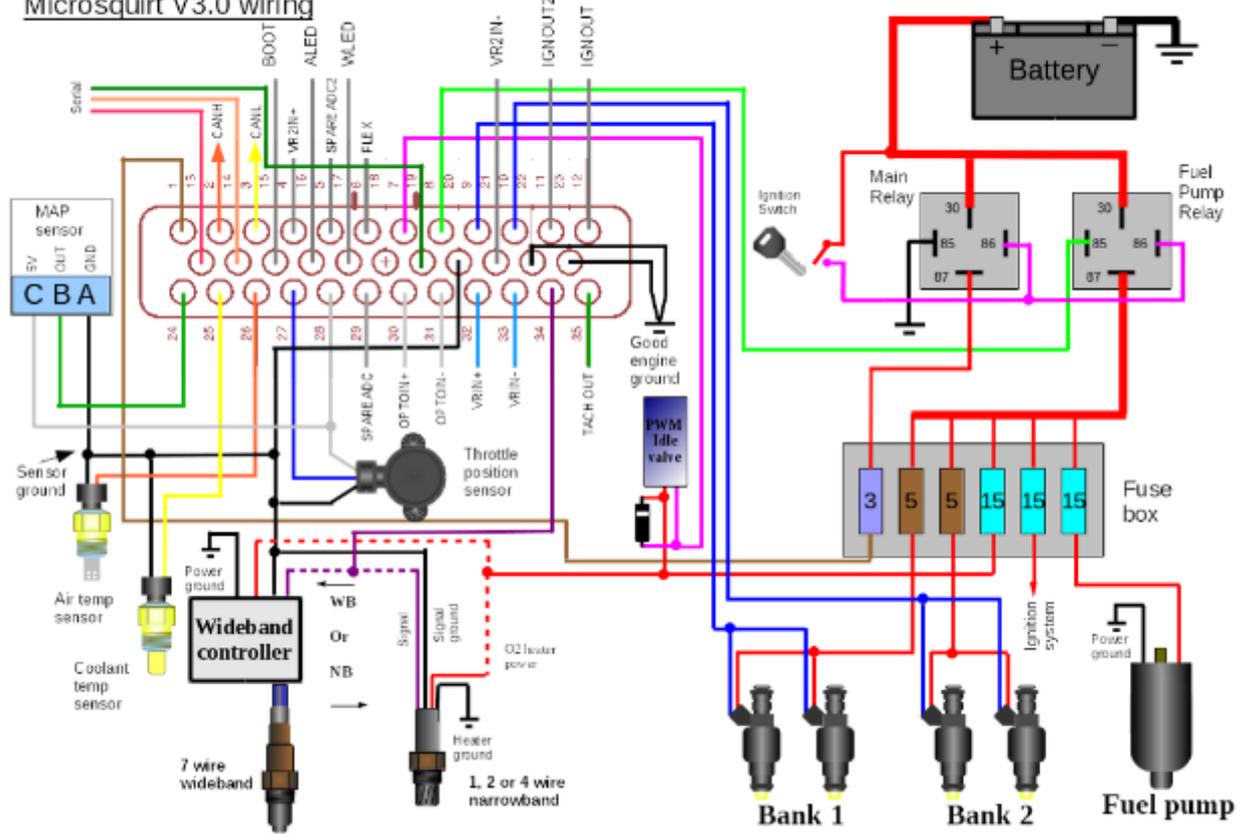


Figura 41-3: Diagrama sistema de inyección

Fuente: (Murray, 2014)

3.3.3.9. Parámetros para programar

El programa que se va a utilizar para programar la unidad de control es TUNERSTUDIO MS. Es una interfaz de conexión que nos permite editar distintos parámetros geométricos para el funcionamiento del motor.

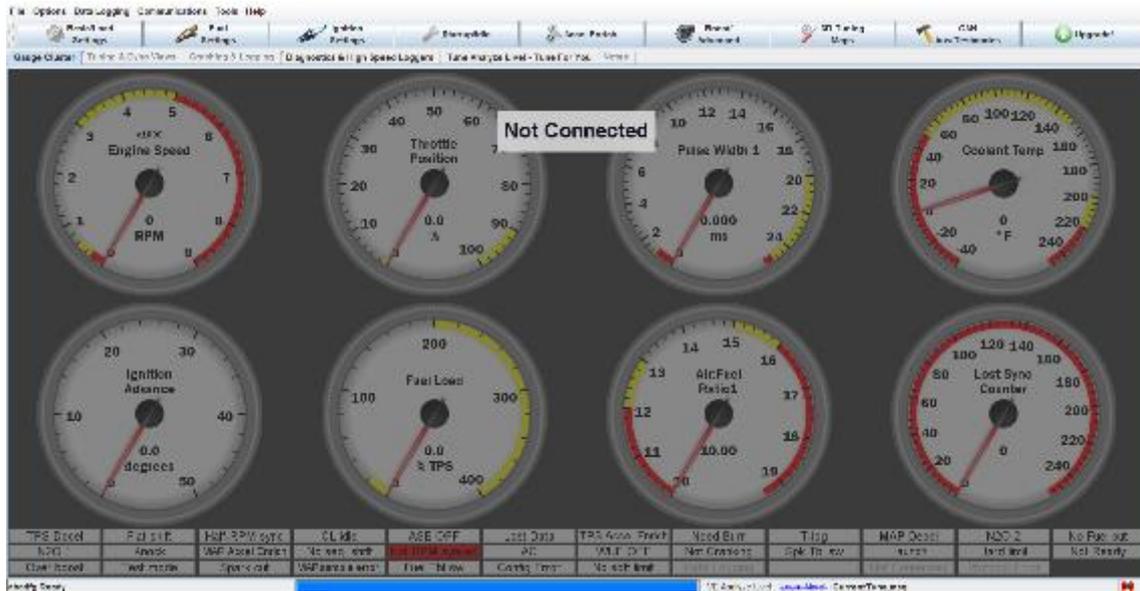


Figura 42-3: TunerStudio MS

Fuente: Autores

Para poder encender el motor debemos dar a conocer a la computadora los parámetros en los que va a trabajar y también las especificaciones del motor. Estos parámetros los podemos modificar en basic/load settings, engine and sequential settings, fuel settings, 3D tuning/ maps, startup/idle. En donde ingresamos valores como:

3.3.3.9.1. Engine and sequential settings

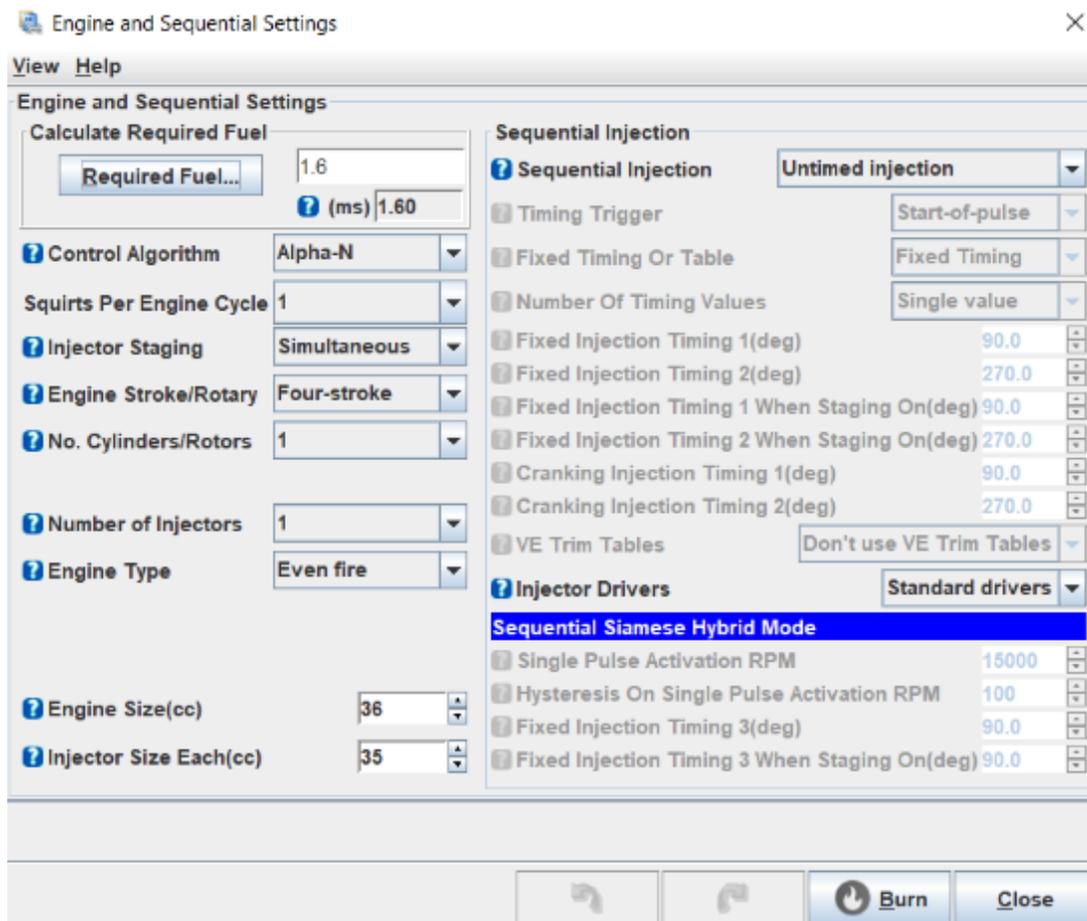


Figura 43-3: Engine and sequential settings

Fuente: Autores

- **Required fuel:** 1.6ms. Es el tiempo de activación del inyector.
- **Control Algorithm:** Alpha-N. Es el algrítmico de control de la unidad.
- **Squirts Per Engine Cycle:** 1. Hace referencia al número de inyecciones por ciclo.
- **Injector Staging:** Simultaneo. Es el tipo de inyección según la sincronización de la inyección.
- **Engine Stroke/Rotary:** 4 tiempos. Es el ciclo de trabajo del motor (OTTO).
- **No. Cylinders/Rotors:** 1. Es el número de cilindros del motor.
- **Number of Injectors:** 1. Es el número de inyectores.
- **Engine Type:** Even frire. Tipo de ignición (provocado).
- **Engine Size de 35cc.** Es la cilindrada del motor.
- **Injector Size Each: 128cc.** Es el tamaño del inyector.
- **Sequential Injection:** Inyección no programada.

3.3.3.9.2. Ignition options/Wheel decoder

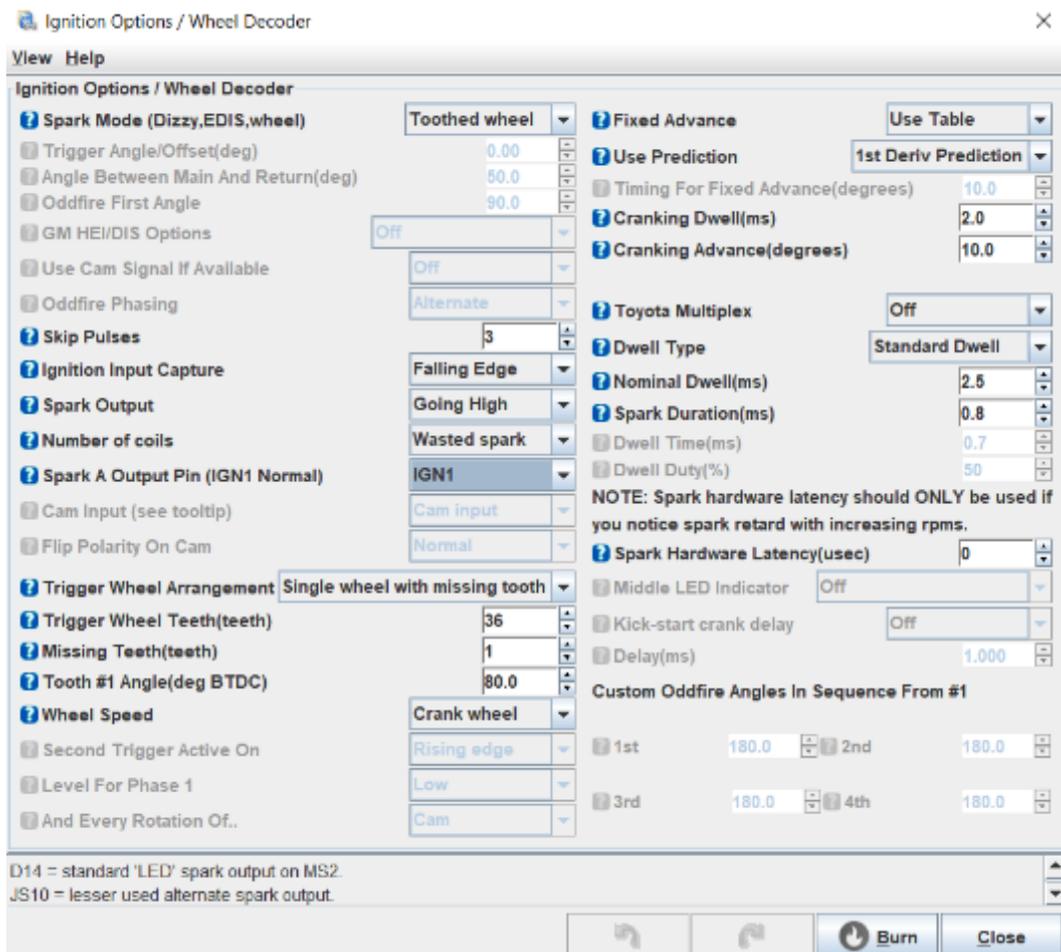


Figura 44-3: Ignition options/ Wheel decoder

Fuente: Autores

- **Spark mode: Toothed Wheel.** Es el modo en el que la unidad de control sabrá que debe dar el salto de chispa, en este caso se basa en la rueda fónica (diente perdido) mediante el sensor CKP.
- **Skip pulses:** 3. Es el número de saltos de chispa que va a realizar la bujía en cada cilindro.
- **Ignition input capture:** Falling Edge. Esto se debe que al usar un sensor CKP inductivo y el diente perdido para por el sensor se debe efectuar el salto de chispa en ese instante.
- **Number of coils:** Wasted spark. Es el número de bobinas que se posee en caso de utilizar un sistema DISCOP, (chispa perdida).
- **Spark a output pin:** IGN1. Es el Pin de conexión del sensor CKP a la unidad de control, debido a que existe más de una manera de conexión.
- **Trigger wheel arrangement:** Single wheel wiht missing tooth. Es la disposición de la rueda fónica (su estructura) en este caso utilizamos una rueda de 36 dientes menos un diente.

- **Trigger wheel teeth:** 36. Es el número de diente totales de la rueda.
- **Missing teeth:** 1. Es el número de diente perdidos.
- **Tooth #1 angle:** 80.0. Ángulo de adelanto al salto de chispa.
- **Wheel speed:** Crank wheel. Velocidad de la rueda (rueda fónica), son las rpms a las que gira el motor.

3.3.3.9.3. Priming Pulse/ Cranking Pulse/ Cold Advance

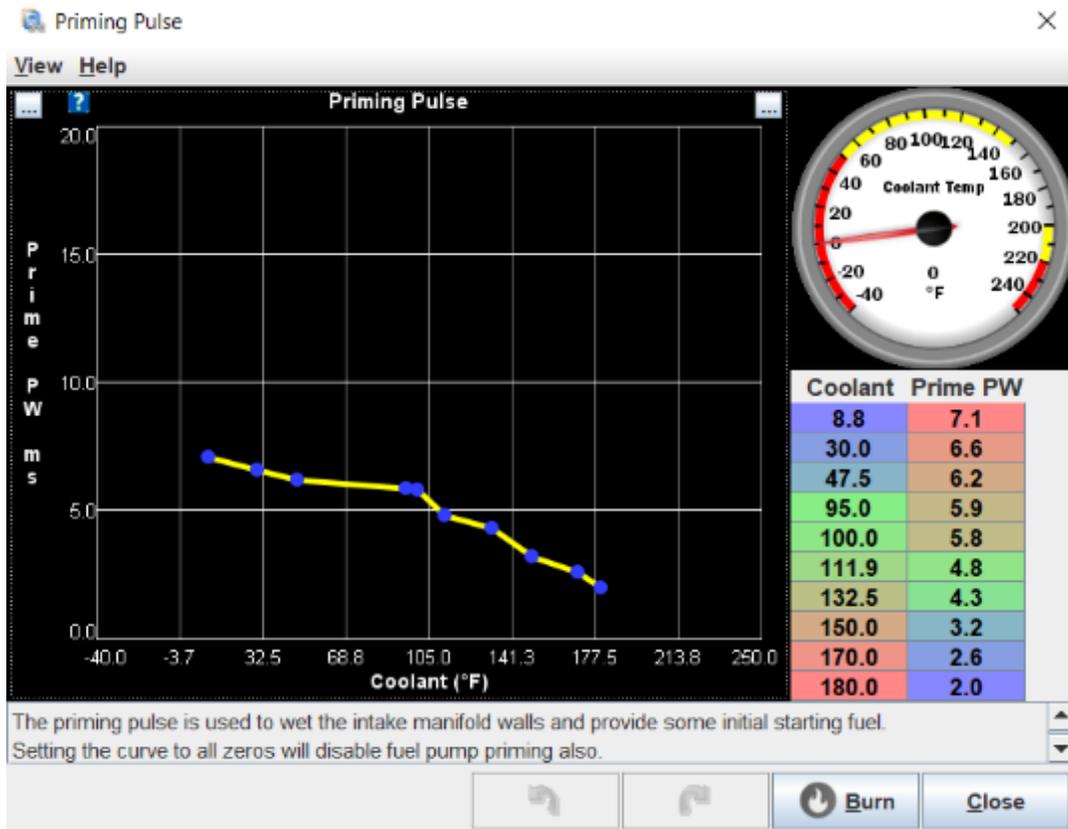


Figura 45-3: Priming pulse

Fuente: Autores

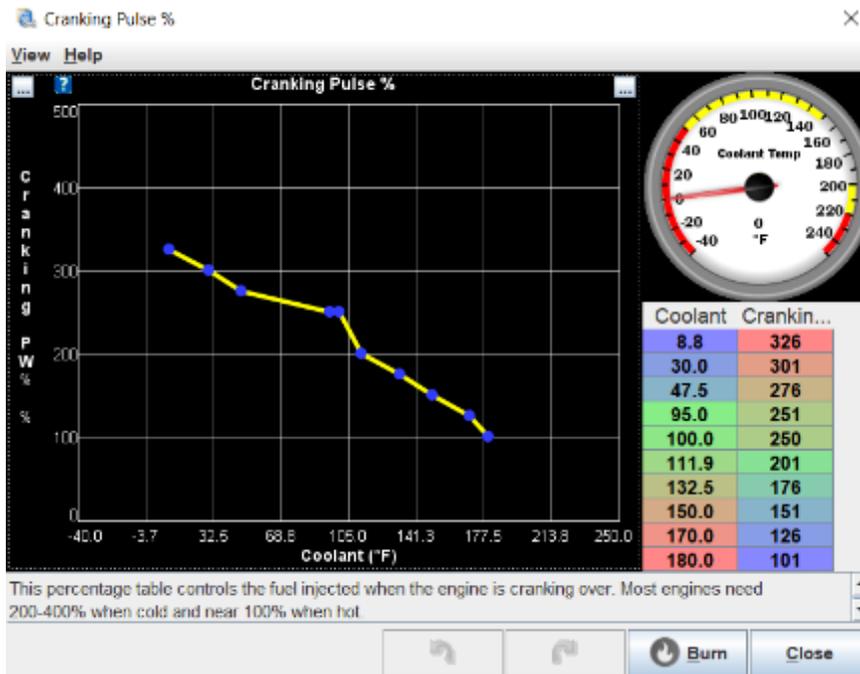


Figura 46-3: Cranking pulse

Fuente: Autores

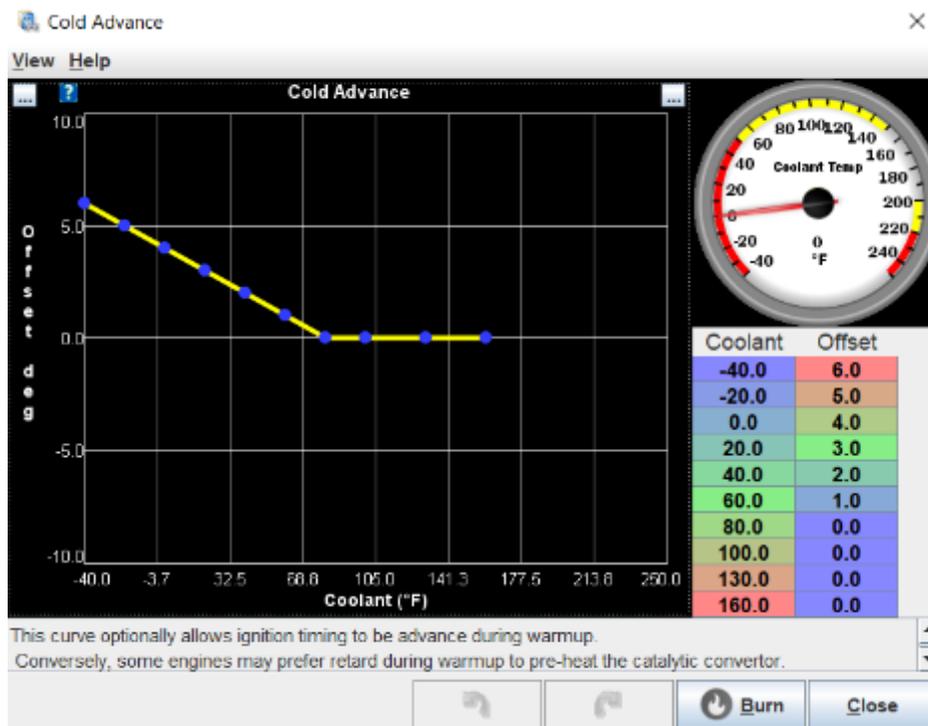


Figura 47-3: Cold advance

Fuente: Autores

En esta sección podemos modificar el pulso y el adelanto de inyección según la temperatura del motor, con el fin de que el motor pueda encender en frío o en caliente y este no tengo los

inconvenientes de la participación en el año 2018. Cuando el motor se encuentra frío básicamente esta a temperatura ambiente (70°F) por lo que se modifica la tabla con valores mínimos y máximos, para tener un control mas específico del pulso de inyección.

3.3.3.9.4. AFR Table 1

The screenshot shows a software window titled "AFR Table 1" with a menu bar (View, Tools, Help) and a toolbar with various icons. The main area is a table with throttle position on the y-axis and RPM on the x-axis. The values represent the air-fuel ratio.

	500	800	1100	1400	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000
100.0	17.0	16.9	16.9	16.8	16.8	16.7	16.6	16.5	16.5	16.2	16.2	16.2
90.0	17.0	16.9	16.9	16.8	16.8	16.7	16.6	16.5	16.5	16.5	16.3	16.3
80.0	17.0	16.9	16.9	16.8	16.8	16.7	16.6	16.5	16.5	16.5	16.5	16.4
70.0	17.0	17.0	17.1	17.0	17.0	16.9	17.0	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5
60.0	17.2	17.2	17.5	17.3	17.3	17.2	17.0	16.6	16.5	16.5	16.5	16.5
50.0	17.4	17.4	17.9	17.7	17.6	17.6	17.1	16.7	16.6	16.6	16.6	16.6
40.0	17.5	17.8	19.0	18.3	18.1	18.1	17.5	16.8	16.7	16.6	16.6	16.6
30.0	17.6	18.1	19.0	18.9	18.7	18.7	18.0	16.9	16.8	16.7	16.6	16.6
20.0	17.5	18.0	19.2	19.2	19.0	18.7	18.0	17.0	16.9	16.8	16.7	16.6
10.0	17.4	17.9	19.5	19.5	19.4	18.9	18.1	17.0	16.9	16.8	16.7	16.7
5.0	17.4	17.7	19.7	19.7	19.5	18.9	18.2	17.2	17.0	16.9	16.8	16.7
0.0	16.0	16.5	19.0	19.0	19.0	17.9	17.3	16.2	16.1	16.2	16.1	16.0
rpm	500	800	1100	1400	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000

Figura 48-3: AFR Table 1

Fuente: Autores

Como tenemos un motor pequeño y este genera una depresión muy baja en la cámara de compresión no es factible realizar la programación mediante sensor MAP, debido a que tenemos muy pocos valores en la tabla para ser modificados. Mientras que al utilizar la tabla sel sensor TPS tenemos una tabla mas amplia para modificar valores, tomando en cuenta las revoluciones del motor en ralenti y las revoluciones antes del corte del motor.

3.3.3.9.5. Fuel VE Table 1

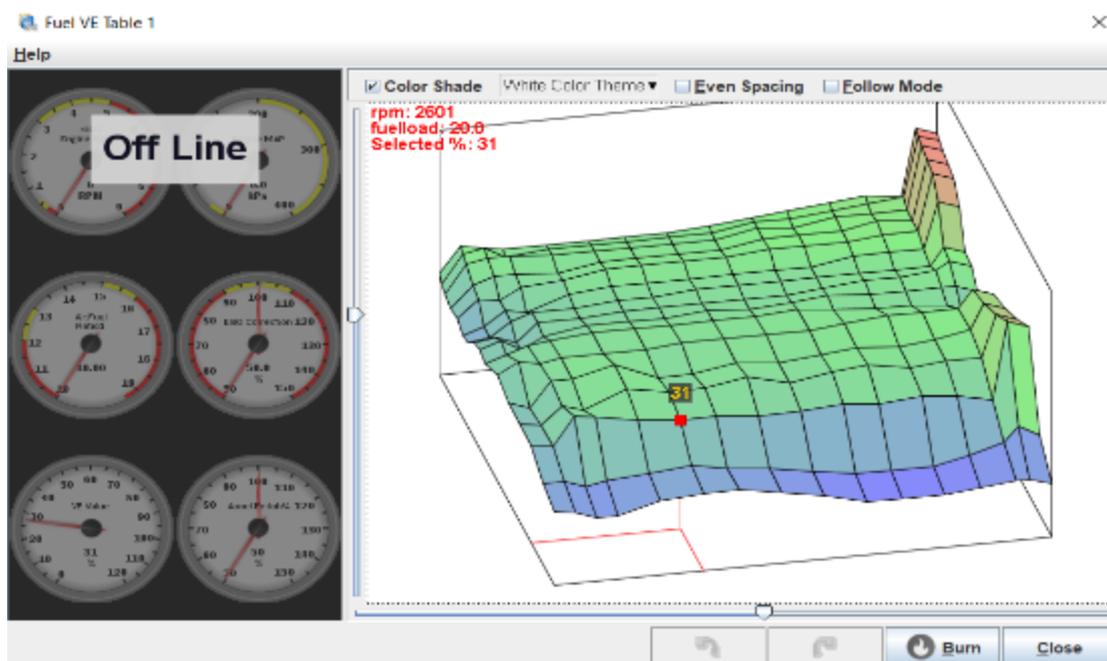


Figura 49-3: Fuel VE Table 1

Fuente: Autores

Finalmente, con ayuda del sensor de oxígeno de banda ancha procedemos a modificar la tabla de consumo de combustible dejando lo más homogénea posible a distintas revoluciones, para así tener un mínimo consumo de combustible, también delimitando al motor para que este no se sobre revolucione y genere más consumo de combustible.

El mapa obtenido Figura 49-3. Con pulso de inyección para este mapa es de 1.2 ms, un ángulo de avance en el encendido de 10 grados, un ángulo Dwell de 2.2 ms y un ángulo en el avance de encendido de 85 grados referente al primer diente de la rueda dentada que se utiliza para la lectura del sensor CKP. Se realizó una prueba de consumo en una pista que tenía 940 m de perímetro con el cual se obtuvo un consumo de 0.01645 L en 7 vueltas en 20 minutos, dando como resultado un recorrido total de 6.58 km. A continuación, se indica el trazado de la pista. Figura50-3.

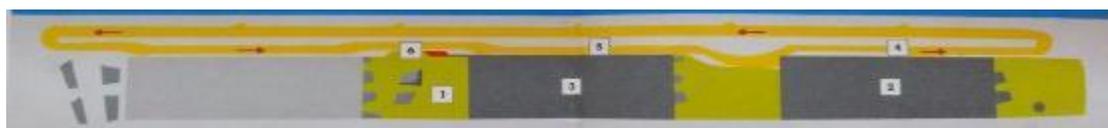


Figura 50-3: Fuel VE Table 1

Fuente: (Royal Dutch Shell, 2019)

Las pruebas se realizan con un tanque de combustible de 0.25 L de capacidad total el cual es otorgado y normado por los organizadores de la competencia para obtener el equivalente de la distancia recorrida total con 1 L de combustible. Para calcular estos los técnicos de la Shell realizan el siguiente calculo para obtener una equivalencia de consumo.

Ecuación de la distancia recorrida en función del consumo de combustible:

$$\textit{distancia resultante/litro} = \frac{\mathbf{1Lt \times 6.58km}}{\mathbf{combustible consumido(L)}}$$

Con los datos obtenidos anteriormente se puede calcular la distancia recorrida con 1 litro de combustible.

$$\textit{distancia resultante/litro} = \frac{1L \times 6.58Km}{0.01645L}$$

$$\textit{distancia resultante/litro} = 400km/Lt$$

Teniendo como resultado que con 1 litro de combustible el prototipo recorre 400 km.

3.3.3.10. *Diseño del diagrama eléctrico*

El reglamento nos exige que el vehículo debe contar con ciertas medidas de seguridad en caso de cualquier accidente que pueda darse no solo en la pista sino también en la zona de paddocks, el vehículo debe constar de un botón de apagado de emergencia interno y externo, bocina, luz posterior de arranque, batería de 12V, unidad de control, sistema electrónico de piloto muerto, diferentes elementos como fusibles y relés. Además, en esta ocasión hemos adaptado un sistema de telemetría que no es exigido por el reglamento.

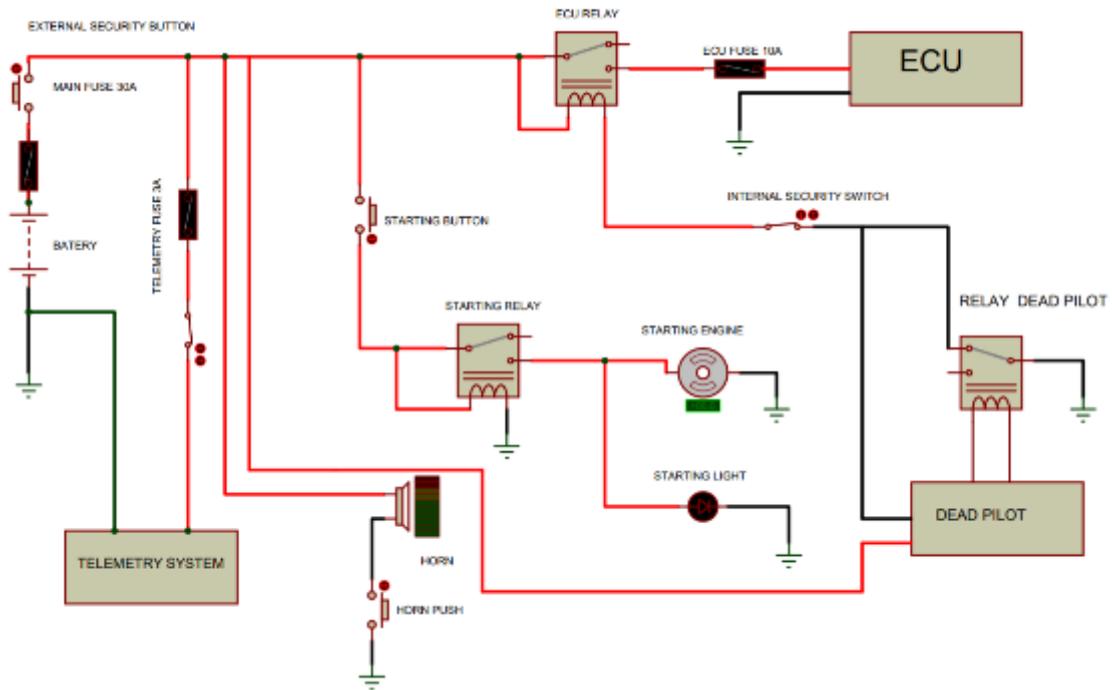


Figura 51-3: Diagrama eléctrico

Fuente: Autores

La Figura 51-3. Representa el diagrama eléctrico del prototipo en donde se puede ver como esta hecha la conexión eléctrica cabe mencionar que no está representado la conexión de la nueva unidad de control con los sensores y actuadores, sino la conexión para energizar la unidad de control.

CAPITULO IV

4. GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1. Cronograma

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin	Costo
• A Inicio	17/04/19	17/04/19	0
• B Selección de sensores	17/04/19	23/04/19	27,45
• D Selección de actuadores	17/04/19	23/04/19	27,45
• J Selección de motor	17/04/19	23/04/19	55,4
• S Selección de neumático	17/04/19	24/04/19	32,94
• C Adquisición de proformas	24/04/19	25/04/19	19,06
• E Adquisición de proformas	24/04/19	25/04/19	13,78
• K Selección de marca	24/04/19	26/04/19	27,24
• T Selección de proveedores	25/04/19	26/04/19	11,78
• F Compra del equipo de inyección	26/04/19	14/05/19	1.032,6
• L Adquisición de catálogos	29/04/19	30/04/19	16,78
• U Adquisición de neumáticos	29/04/19	2/05/19	278,815
• M Selección de cilindraje	2/05/19	7/05/19	21,96
• N Adquisición de proformas	8/05/19	9/05/19	41,56
• O Adquisición del motor	10/05/19	17/05/19	399,75
• G Selección de ECU	15/05/19	21/05/19	45,4
• H Selección de proveedores	22/05/19	23/05/19	16,56
• I Adquisición de ECU	27/05/19	7/06/19	1.358,9
• P Selección de embragues	10/06/19	12/06/19	27,24
• Q Selección de proveedores	13/06/19	14/06/19	11,78
• R Adaptación al motor	17/06/19	27/06/19	0
• V Programación de ECU	28/06/19	18/07/19	136,2
• W Datos de fabrica	19/07/19	19/07/19	11,08
• X Corrección de señal de sensores	22/07/19	31/07/19	66,24
• Y Respuesta sobre actuadores	22/07/19	23/07/19	10,98
• Z Eficiencia del motor	1/08/19	1/08/19	5,89
• AA Datos modificados	2/08/19	6/08/19	27,24
• AB Modificar los valores censados	7/08/19	12/08/19	44,32
• AC Crear mapas de inyección	13/08/19	3/09/19	192,48
• AD Verificación de consumo	4/09/19	4/09/19	5,49
• AE Pruebas en dinamómetro	5/09/19	6/09/19	111,78
• AF Consumo a velocidad máxima	9/09/19	9/09/19	8,28
• AG Consumo a velocidad mínima	9/09/19	9/09/19	5,49
• AH Análisis de datos	10/09/19	16/09/19	55,4
• AI Ajuste de mapa de inyección	17/09/19	27/09/19	81,72
• AJ Consumo a velocidad máxima	30/09/19	30/09/19	8,28
• AK Consumo a velocidad mínima	30/09/19	30/09/19	5,49
• AL Análisis de datos	1/10/19	4/10/19	44,32
• AM Obtención de datos esperados	7/10/19	15/10/19	563,71
• AN Fin	16/10/19	16/10/19	0

Figura 52-4: Actividades programa GANTT PROJECT

Fuente: Autores

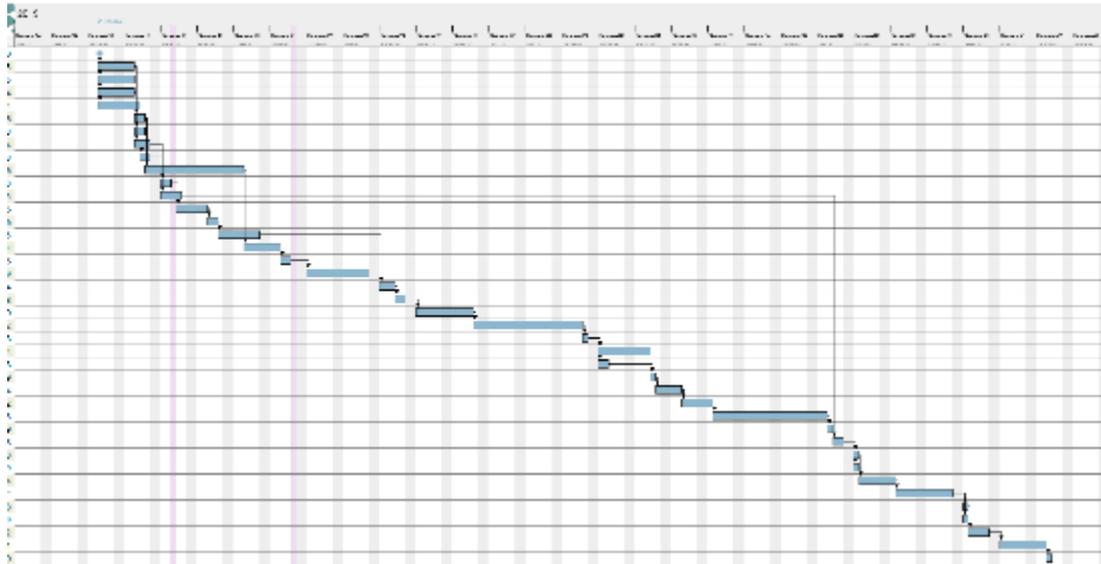


Figura 53-4: Diagrama de actividades en GANTT PROJECT

Fuente: Autores

4.2. Recursos y materiales

4.2.1. Presupuesto

CANTIDAD	MATERIALES	VALOR UNITARIO	IVA	VALOR TOTAL
2	Computadora Microsquirt	1108,8	151,2	2520
1	Arnés de computadora	44	6	50
24	Arandelas de presión de acero inoxidable 1/2	0,04	0,00	0,86
20	Arandelas de presión 1/2	0,06	0,01	1,26
20	Arandelas de presión 3/8	0,03	0,00	0,54
20	Arandelas planas 3/8	0,04	0,00	0,70
3	Pistón del motor honda GX31	48,4	6,6	165
1	Motor Honda GX35	528	72	600
1	Inyector EFIJ-128	105,6	14,4	120
2	Sensor ckp inductivo del Hyundai Gets	26,4	3,6	60
2	Rueda fónica para el sensor ckp	44	6	100
1	Batería de litio de 14A	220	30	250
1	Cargador de Batería	44	6	50
1	Aceite SAE 10W30	17,6	2,4	20
1	Motor de arranque	35,20	4,8	40
			TOTAL	3978,36
2	Viáticos	2000		4000
1	Gastos extras	300		300
			VALOR TOTAL	8278,36

Fuente: Autores

4.2.2. *Talento humano*

TALENTO HUMANO	ACTIVIDADES
Ing. Vicente Romero	Director de tesis
Ing. Johnny Pancha	Miembro de tesis
Ing. Javier Cifuentes	Ayuda en TunerStudio MS
Ing. Álvaro Espinosa	Ayuda en TunerStudio MS
Jordy Hernández	Repotenciación y programación de la unidad de control Microsquirt
Jorge Reyes	Repotenciación y programación de la unidad de control Microsquirt

Fuente: Autores

4.2.3. *Recursos materiales*

CANTIDAD	EQUIPOS
1	Amoladora
1	Calibrador pie de rey
2	Computadoras
1	Entenalla
1	Esmeril
	Llaves inglesas
1	Metro
1	Sierra
1	Soldadora
1	Taladro
1	Taladro de banco
1	Pintura Morada
1	Torno
1	Troquel

Fuente: Autores

CONCLUSIONES

- Al modificar los parámetros geométricos del motor se logró aumentar la relación de compresión y con la implementación de una unidad de control electrónico programable MicroSquirt se logró optimizar el consumo de combustible del prototipo a 400 km/L, con una velocidad promedio de 20km/h.
- Rigiéndonos a las normas implementadas por la Shell eco Marathon 2019, todas las modificaciones realizadas estuvieron dentro del reglamento por lo cual el prototipo no tuvo problemas para completar las pruebas técnicas y poder salir a pista.
- Luego de aumentar la relación de compresión del motor a 12:1 la eficiencia del motor mejoro en 6.41%, gracias a que el torque y la potencia incrementaron.
- La programación de la unidad de control electrónico (MicroSquirt) nos permitió modificar parámetros esenciales y con ayuda de la información de la zona lambda de banda ancha se procedió a dejar el vehículo con una relación estequiométrica pobre (mayor cantidad de aire y menor cantidad de combustible), permitiendo disminuir el consumo de combustible.
- Debido a que la unidad de control electrónica programable (MicroSquirt) es lo suficientemente apta para modificar los parámetros de funcionamiento, proporcionándonos la ventaja de variar los mapas ignición y pulso de inyección según la temperatura a que se encuentre el motor. Por lo tanto, no se tuvo ningún problema al momento de realizar el arranque en frio.
- MicroSquirt al ser un módulo electrónico compacto no ocupa mucho espacio y es liviana se torna ideal para la competencia Shell eco Marathon debido a que el peso es un factor fundamental para el éxito en la competencia.

RECOMENDACIONES

- Cambiar el motor por uno más robusto debido a que al aumentar la relación de compresión la temperatura del motor aumenta, lo cual disminuye la vida útil de los elementos. Ocasionando fallas mecánicas inesperadas en el motor.
- Realizar la programación en base a parámetros del TPS y no al MAP debido a que el motor GX35 al ser un motor de baja cilindrada, la depresión generada por el mismo es demasiado pequeña, lo cual no permite realizar una programación óptima ya que el rango para modificar el pulso de inyección es reducido.
- Mecanizar totalmente un sistema de arranque para evitar futuras rupturas del motor por el acoplamiento al mismo.

GLOSARIO

SAE: Sociedad de Ingenieros Automotrices

MCI: Motor de combustión interna

PMI: Punto muerto inferior

PMS: Punto muerto superior

Proceso adiabático: Proceso termodinámico donde no existe transferencia de energía.

Proceso Isotérmico: Proceso termodinámico donde la temperatura se mantiene constante.

Proceso Isobárico: Proceso termodinámico que ocurre a presión constante.

Proceso Isocóro: Proceso termodinámico a volumen constante,

Numero de octanaje: es una escala que mida la capacidad antidetonante del combustible.

Potencia indicada: potencia desarrollada por el fluido de trabajo en el interior del cilindro.

Potencia efectiva: es el rendimiento real obtenido tomando en cuenta las pérdidas por rozamiento de elementos.

TunerStudioMS: Software empleado para el mateo de computadores programables.

Wideband: Sensor O2 de banda ancha.

AEM: Diseñado para superar.

Ecotrons: Empresa dedicada a la manufactura de controladores electrónicos para la automoción.

BIBLIOGRAFÍA

AEM. 2014. AEM Performance electronics. [Cited: 11 16, 2019.] <https://www.aemelectronics.com/files/instructions/304110%20Digital%20Wideband%20UEGO%20Gauge.pdf>.

Affleck, W. S. and Toft, G. B. 1977. Mileages Marathons. *A. Fuel Economy of the Gasoline Engine : Fuel, Lubricants and other Effects*. Londres : THE MACMILLAN PRESS LTD, 1977, pp. 221-223.

ECOTRONS. ecotrons. *ecotrons*. [Online] [Cited: 11 15, 2019.] https://www.ecotrons.com/components/small_engine_ecu/.

efisource. 2015. Microsquirt Hardware Manual. [Online] 3 14, 2015. [Cited: 11 15, 2019.] www.msextra.com.

Honda. 2019. Honda small engines. [Online] 10 7, 2019. <https://engines.honda.com/models/model-detail/gx35>.

—Honda small engines. [Online] 10 5, 2019. <https://engines.honda.com/models/model-detail/mini-4>.

—Honda Small Engines. *Honda Small Engines*. [Online] 2019. [Cited: 10 29, 2019.] <http://www.scooterpartsexpress.com/standard-parts/gy6-50-4-stroke-139qmb-1p39qmb>.

Megasquirt. 2019. MegaSquirt. [Online] 2019. <http://megasquirt.info/products/pro-controllers/microsquirt/>.

Payri Gonzales, Francisco. 2015. *Motores de combustion interna*. Valencia : 5ta, 2015.

Pulkrabek, Willard W. 1997. Engineering Fundamentals of the internal combustion engine. *Engineering Fundamentals of the internal combustion engine*. Wisconsin : Prentice hall, 1997, p. 2.

Rodríguez, M. J. C. Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto. *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto*. Malaga : IC Editorial, 2012, p. 175.

Rovira, D. A. A., & Muñoz. 2015. Motores de combustión interna. *Motores de combustión interna*. Madrid : UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2015, p. 28.

Royal Dutch Shell.. SHELL ECO-MARATHON 2018 OFFICIAL RULES CHAPTER I. 2019.

—www.shell.com. [Online] 2019. [Cited: 10 5, 2019.] <https://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon/about.html>.

Sanchez, Dabid Bocanegra. 2016. *Modificacion de un motor de baja cilindrada para mejorar la eficiencia utilizado en la Shell Eco-Marathon.* Valencia : Universidad politecnica de Valencia, 2016.

SANZ, S. MANTENIMIENTO DE VEHÍCULOS AUTOPROPULSADOS. *MANTENIMIENTO DE VEHÍCULOS AUTOPROPULSADOS.* Madrid : Editex, S. A., 2008, p. 20.

Shell Oil Company.. About Shell Eco-marathon. [Online] 2017. [Cited: 10 18, 2019.] <https://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon/about.html>.

ANEXOS

Anexo A: PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE LOS GASES

Sustancia	Fórmula	Masa Molar (kg/kmol)	R' (kJ/kgK)	T _c (K)	P _c (kPa)	C _p (kJ/kgK)	C _v (kJ/kgK)	γ
Aire		28,97	0,287	133	3,95	1,005	0,718	1,4
Amoniaco	NH ₃	17	0,52	403	11,65	2,19	1,67	1,31
Argon	Ar	40	0,208	151	4,86	0,5207	0,3124	1,667
Dioxido de Carbono	CO ₂	44	0,189	304	7,39	0,827	0,632	1,31
Monoxido Carbono	CO	28	0,297	133	3,5	1,04	0,744	1,399
Helio	He	4	2,077	5,2	0,23	5,19	3,11	1,667
Hidrogeno	H ₂	2	4,16	33,2	1,3	14,24	10,08	1,4
Neon	Ne	20,2	0,412			1,03	0,618	1,667
Nitrogeno	N ₂	28	0,297	126,2	3,39	1,034	0,737	1,4
Oxigeno	O ₂	32	0,26	154,4	5	0,917	0,656	1,4
Dioxido de azufre	SO ₂	64	0,13	431	7,87	0,65	0,515	1,25
Agua	H ₂ O	18	0,461	647,3	22,1	1,865	1,403	1,329
Benceno	C ₆ H ₆	78,11	0,106	562	4,93			
n-butano	C ₄ H ₁₀	58	0,143	425,2	3,8	1,716	1,573	1,09
Etano	C ₂ H ₆	30	0,276	305,4	4,88	1,766	1,49	1,186
Etileno	C ₂ H ₄	28	0,296	282,4	5,12	1,548	1,252	1,237
Metano	CH ₄	16	0,518	191	4,64	2,254	1,735	1,299
Propano	C ₃ H ₈	44	0,1885	370	4,26	1,679	1,49	1,126

Anexo B: PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES

Característica	Unidad	Gasolina	Etanol anhidro	Etanol hidratado	ETBE
Densidad	kg/l	0,75	0,79	0,81	0,74
Volatilidad	kg/cm ²	0,75	1,52	1,18	0,34
Relación estequiometrica máxima	aire/combust	15,2	--	8,3	--
Calor latente de vaporización	kJ/kg	376	903	1.141	--
Indice de octano	IOM	85	89	92	102
Indice de octano	IOR	95	106	110	118
Auto ignición	°C	367	550	560	570
Poder calorifico inferior PCI	kJ/kg	42.900	26.800	24.900	36.000

Anexo C: FACTORES DE CONVERSIÓN PARA PARÁMETROS DE MOTOR

Conversion Factors

Metric system The International System of Units (*Système international d'unités*), abbreviated SI, is a decimal system of measurement. The seven fundamental SI units ("base units") are the meter (length), kilogram (mass), second (time), ampere (electric current), kelvin (temperature), mole (amount of substance), and candela (intensity of a light source).

LENGTH

1 in = 2.54 cm
 1 cm = 0.394 in
 1 ft = 30.5 cm
 1 m = 39.4 in = 3.281 ft
 1 km = 0.621 mi
 1 mi = 5280 ft = 1.609 km
 1 light-year = 9.461×10^{15} m

MASS AND WEIGHT

1 lb \Rightarrow 0.4536 kg (where $g = 9.80 \text{ m/sec}^2$)
 1 kg \Rightarrow 2.205 lb (where $g = 9.80 \text{ m/sec}^2$)
 1 atomic mass unit (u) = 1.66061×10^{-27} kg

VOLUME

1 liter = 1.057 quarts = 0.2643 gallons
 1 in³ = 16.4 cm³
 1 gallon = 3.786 liter
 1 ft³ = 2.832×10^{-2} m³

ENERGY AND POWER

Power The rate of doing work, found by dividing the amount of work done by the time, $P = W/t$.

1 cal = 4.186 J
 1 J = 0.239 cal
 1 kWhr = 3.60×10^6 J = 860 cal
 1 hp = 746 W
 1 J = 6.24×10^{18} eV
 1 eV = 1.6022×10^{-19} J

TEMPERATURE

Absolute zero (0 K) = -273.15°C

SPEED

1 km/hr = 0.278 m/sec = 0.621 MPH
 1 m/sec = 3.60 km/hr = 2.237 MPH = 3.281 ft/sec
 1 MPH = 1.609 km/hr = 0.447 m/sec = 1.47 ft/sec
 1 ft/sec = 0.305 m/sec = 0.682 MPH

FORCE

Newton The metric unit of force: mass times acceleration, or kilograms times meters per second squared.

1 N = 0.2248 lb
 1 lb = 4.448 N

PRESSURE

1 atm = 1.013 bar = $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 14.7 \text{ lb/in}^2$
 1 lb/in² = $6.90 \times 10^3 \text{ N/m}^2$
 1 Pa = 1 N/m²

Pressure The ratio of a force to the area over which it is applied, or force per unit

Radian A unit of angular measurement found by dividing the distance traveled along an arc length s by the radius of the circle r , or s/r .

ANGLE

1 rad = 57.30°
 $1^\circ = 0.01745 \text{ rad}$
 1 rev = $360^\circ = 2\pi \text{ rad}$

METRIC PREFIXES

Prefix	Symbol	Meaning
Giga-	G	1 000 000 000 times the unit
Mega-	M	1 000 000 times the unit
Kilo-	k	1 000 times the unit
Hecto-	h	100 times the unit
Deka-	da	10 times the unit

Base Unit

Deci-	d	0.1 of the unit
Centi-	c	0.01 of the unit
Milli-	m	0.001 of the unit
Micro-	μ	0.000 001 of the unit
Nano-	n	0.000 000 001 of the unit

PHYSICAL CONSTANTS AND DATA

Quantity	Approximate Value
Acceleration of gravity (near the earth's surface)	$g = 9.80 \text{ m/sec}^2$
Gravitational law constant	$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
Earth radius (mean)	$6.38 \times 10^6 \text{ m}$
Earth mass	$5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$
Earth-sun distance (mean)	$1.50 \times 10^{11} \text{ m}$
Earth-moon distance (mean)	$3.84 \times 10^8 \text{ m}$
Fundamental charge	$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$
Coulomb law constant	$k = 9.00 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$
Electron rest mass	$9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Proton rest mass	$1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Neutron rest mass	$1.6750 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Bohr radius	$5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$
Avogadro's number	$6.02 \times 10^{23}/\text{mole}$
Boltzmann's constant	$1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Planck's constant	$6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Speed of light (vacuum)	$3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$

MATHEMATICAL CONSTANTS AND FORMULAS

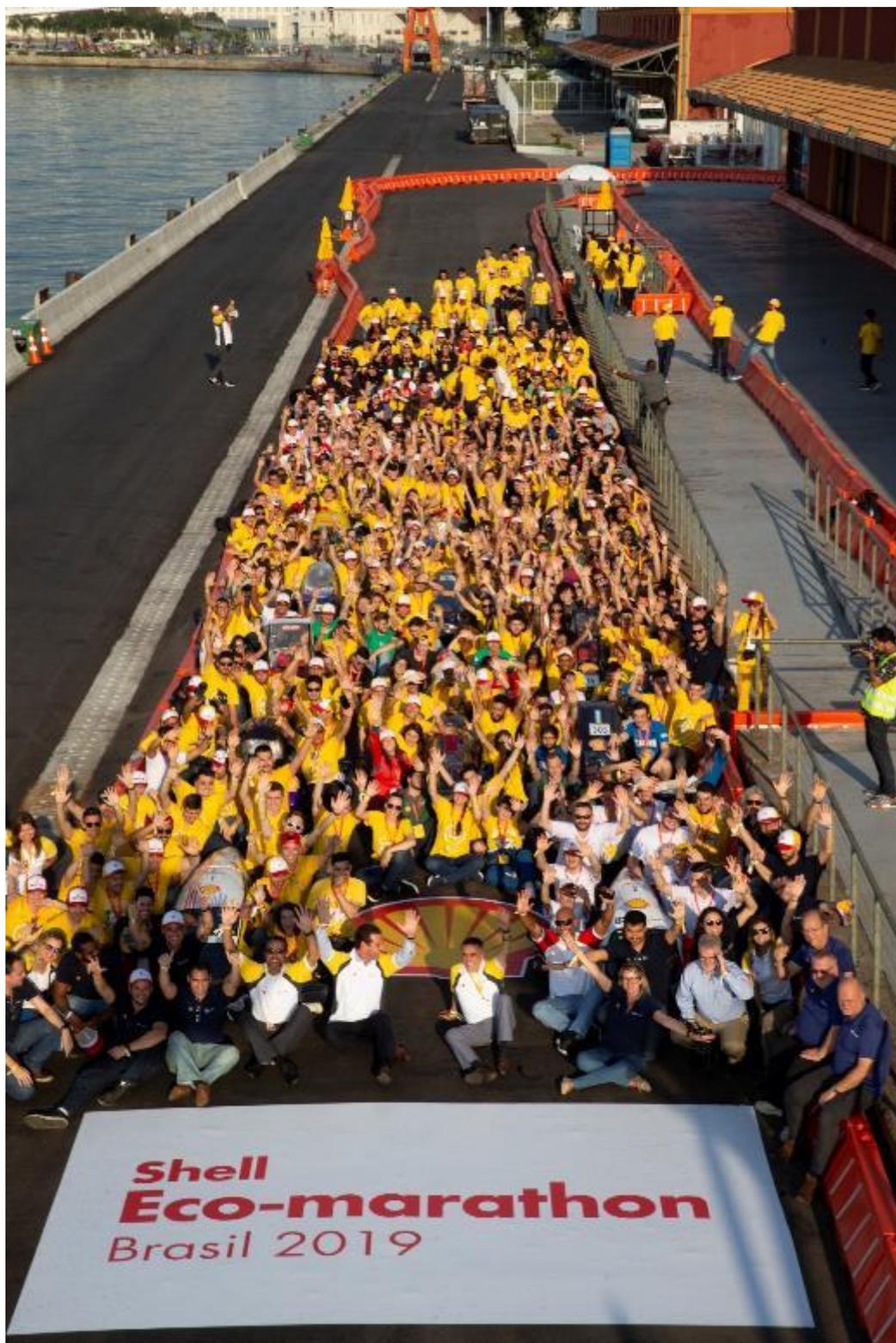
Pi	3.1416
Area of circle	πr^2
Circumference of circle	$2\pi r$
Area of sphere	$4\pi r^2$
Volume of sphere	$4/3 \pi r^3$

Exponent The superscript indicating what power a number or variable has been raised to, for example, x^2 or 10^6 .

Anexo D: **PROTOTIPOS SELECCIONADOS PARA LA FOTO OFICIAL**



Anexo E: PARTICIPANTES DEL EVENTO



Anexo F: TRABAJO DEL EQUIPO EN EL ÁREA DE PADDOCKS DEL EVENTO

