

**CARACTERIZACIÓN Y MODIFICACIONES DEL
MOTOR HONDA GX – 35 Y DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO
DEL VEHÍCULO TIPO PROTOTIPO SHELL ECO – MARATHON**

María Camila Benítez Álvarez
Miguel Ángel Santana Díaz

Trabajo de Grado
Presentado como requisito para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

Asesor
Ing. Luis Guillermo Gaviria Arboleda
Co – Asesor
Dr. José Luis Trisancho Reyes

Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad De Ingeniería Mecánica

2020

Nota de aceptación

Pereira, agosto de 2020

Asesor
Ing. Luis Guillermo Gaviria Arboleda
Universidad Tecnológica de Pereira

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a nuestros padres, por su amor, paciencia, apoyo y trabajo a lo largo de toda nuestra carrera universitaria y a lo largo de la vida, gracias a ustedes hemos logrado culminar esta gran etapa y convertirnos en lo que somos.

El presente proyecto de grado es fruto del esfuerzo y trabajo conjunto con varios docentes de la facultad de Ingeniería Mecánica, agradecemos el apoyo tanto de la Universidad Tecnológica de Pereira para la consecución de los recursos, como de la rama docente de la facultad que siempre estuvo presente para colaborarnos en la ejecución de pruebas, modificaciones en el taller y explicaciones pertinentes, de manera muy especial, a José Luis Tristancho Reyes y a Luis Guillermo Gaviria Arboleda, quienes nos han guiado en todo el proyecto con su paciencia y conocimiento.

RESUMEN

En el presente proyecto se realiza la selección, caracterización y modificaciones del motor Honda GX-35 para su funcionamiento con etanol, biocombustible derivado de la caña de azúcar. Se diseña también los sistemas eléctricos y sistemas de emergencia para el vehículo Supermileage, basados en el reglamento de la competencia Shell Eco – marathon 2018.

Se realiza una revisión bibliográfica del uso de los biocombustibles a nivel mundial, prestando especial importancia al etanol y la incidencia de su uso en la disminución de gases de efecto invernadero (GEI), mostrando una tendencia favorable cuando se mezcla en bajas concentraciones con gasolina, teniendo poca información con mezclas mayores al 50%, dado que su utilización exige modificaciones en los motores de combustión interna (MCI). Con este panorama se decide participar en la SEM, en la categoría de etanol.

Inicialmente, se realizan los cálculos pertinentes para determinar las exigencias de carga del vehículo Supermileage y así seleccionar el MCI que satisfaga las necesidades, después de una comparación entre tres mini-motores de marca Honda se selecciona el modelo GX-35, se procede a realizar su caracterización para tener referencia del estado inicial del motor y poder realizar comparaciones una vez se apliquen las modificaciones. Analizadas las características geométricas del MCI, se realiza una selección y aplicación de las modificaciones necesarias para aumentar la eficiencia energética.

Efectuadas estas modificaciones, se procede a diseñar el circuito electrónico del sistema de emergencia, de acuerdo con el reglamento de la SEM, a continuación, se realizan las conexiones eléctricas de todo el sistema, incluyendo la implementación de una ECU para controlar el funcionamiento del MCI con inyección electrónica. Finalmente se pone en operación el MCI y se utiliza la ECU para ponerlo a punto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de rodadura de un neumático.	8
Figura 2. Motor Honda GX - 35.....	13
Figura 3. Vista lateral Honda GX - 35.	13
Figura 4. Vista frontal Honda GX -35.	13
Figura 5. Partes básicas de un dinamómetro eléctrico.	15
Figura 6. Dinamómetro eléctrico, configuración prueba 1.	17
Figura 7. Dinamómetro eléctrico, configuración prueba 2.	18
Figura 8. Parámetros geométricos de la cámara de combustión.	25
Figura 9. Dimensiones generales del pistón a construir con R.C. = 9.5.	28
Figura 10. Pistón original el MCI Honda GX – 35.	29
Figura 11. Interior de la cámara de combustión.....	29
Figura 12. Montaje del motor Honda GX-35.....	30
Figura 13. Circuito eléctrico de conexión - ECU.....	31
Figura 14. Cuerpo de aceleración instalado en el motor Honda GX - 35.	32
Figura 15. Posicionamiento preliminar de las piezas involucradas para ilustrar los requerimientos de la pieza a diseñar.	33
Figura 16. Vista isométrica de la pieza diseñada para el acople entre el motor y el cuerpo de aceleración. Ver Anexo E yF.	33
Figura 17. Filtro de aire del cuerpo de aceleración.	34
Figura 18. Bobina de inducción magnética.....	34
Figura 19. Motor de arranque FZ - 16.....	35
Figura 20. Bendix para el motor de arranque de una moto.	36
Figura 21. Sistema de embrague del motor de arranque.	36
Figura 22. Código para programación Arduino Uno. Sistema de hombre muerto.	37
Figura 23. Esquema del circuito electrónico del sistema de hombre muerto.....	38
Figura 24. Planos de la batería de plomo ácido.	40
Figura 25. Constantes del motor, configuración Tuner Studio	41
Figura 26. Configuración rueda dentada.....	42
Figura 27. Tabla factor Lambda (AFR)	43
Figura 28. Tabla de eficiencia volumétrica.....	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones de las ruedas del vehículo. (Pulgarín & Zabala Guisado, 2013)	7
Tabla 2. Tabulación necesidad de potencia.....	10
Tabla 3. Comparación de mini motores 4T.....	12
Tabla 4. Datos técnicos MCI Honda GX - 35.....	14
Tabla 5. Datos prueba 1 - gasolina.....	19
Tabla 6. Datos obtenidos por el método de prueba 2, para gasolina.....	20
Tabla 7. Datos obtenidos de Motor Honda GX - 35 con etanol.....	21
Tabla 8. Aumento del volumen del pistón con respecto a la relación de compresión	28

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Necesidad de potencia vehículo Supermileage.	10
Gráfica 2. Caracterización del motor Honda GX – 35 trabajando con gasolina sin modificaciones.	19
Gráfica 3. Prueba 2. Caracterización del motor Honda GX – 35 trabajando con gasolina sin modificaciones.	20
Gráfica 4. Caracterización del motor Honda GX – 35 trabajando con etanol sin modificaciones.	22
Gráfica 5. Curva característica catálogo Honda GX - 35.....	23

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Peso del vehículo.....	8
Ecuación 2. Resistencia por rodadura.	8
Ecuación 3. Resistencia por pendiente.	8
Ecuación 4. Resistencia aerodinámica.	9
Ecuación 5. Cálculo de la potencia total requerida.	9
Ecuación 6. Torque del MCI Honda GX – 35 funcionando con etanol 100%.....	23
Ecuación 7. Potencia del MCI Honda GX - 35 con etanol 100%.	23
Ecuación 8. Área del pistón.....	25
Ecuación 9. Volumen desplazado.	25
Ecuación 10. Relación de compresión.	25
Ecuación 11. Volumen total.	25
Ecuación 12. Diferencia de volumen de la cámara de combustión.....	27
Ecuación 13. Longitud del pistón.....	27
Ecuación 14. Ecuación resistencia del transistor.....	38

LISTA DE SÍMBOLOS

% V/V	Porcentaje volumen – volumen
C ₂ H ₅ OH	Etanol
CO ₂	Dióxido de carbono
A _p	Área del pistón
V _C	Volumen de la cámara de combustión
V _D	Volumen desplazado
V _T	Cilindrada del motor
2T	Motor de combustión interna de dos tiempos
4T	Motor de combustión interna de cuatro tiempos
ACPM	Aceite combustible para motores – diesel
AFR	Air fuel ratio
CKP	Crankshaft position sensor
CO	Monóxido de carbono
D	Diámetro del pistón
E	Mezclas de gasolina - etanol anhidro
E100	Etanol al 100%
EA	Etanol anhidro
ECU	Engine control unit (Unidad de control del motor)
EGR	Recirculación de gases de escape
FFV	Flue flex vehicle
GEI	Gases de efecto invernadero
HC	Hidrocarburos no quemados
L	Longitud biela
MCI	Motor de combustión interna
MEC	Motor de encendido por compresión o Diesel
MEP	Motor de encendido provocado u Otto
NCV	Net calorific value
NO _x	Óxidos de nitrógeno
O ₃	Ozono troposférico
OHC	Over head camshaft (Árbol de levas de cabeza)
PME	Presión media efectiva
PMI	Punto muerto inferior ($\alpha = 180^\circ$)
PMS	Punto muerto superior ($\alpha = 0^\circ$)
R	Radio muñequilla
RPM	Revoluciones por minuto
S	Carrera
SEM	Shell Eco Marathon
SO ₂	Dióxido de azufre
TCH	Hidrocarburos totales sin quemar
TPS	Throttle position sensor
UPME	Unidad de planeación minero energética
X	Desplazamiento del pistón

ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3. Metodología	3
1.4. Estructura del documento	4
CAPÍTULO II	5
2.1. Antecedentes	5
2.2. Conversión del MCI a etanol	5
CAPÍTULO III	7
3.1. Definición de necesidad de potencia.....	7
3.1.1 Cálculo de Resistencia por Rodadura R_r :.....	7
3.1.2 Cálculo de Resistencia por pendiente	8
3.1.3. Cálculo de Resistencia por inercia R_j	8
3.1.4. Cálculo de Resistencia aerodinámica R_a :	9
3.1.5. Cálculo de la potencia total requerida por el motor:.....	9
3.2. Elección del motor adecuado	11
3.2.1. Mini motor de 4 tiempos – Honda	11
3.2.2. Motor Honda GX – 35	13
CAPÍTULO IV	15
4.1. Caracterización del MCI Honda GX – 35.....	15
4.1.1. Equipo utilizado	15
4.1.2. Procedimiento realizado.....	16
4.2. Datos obtenidos.....	18
4.2.1. Caracterización gasolina.	18
4.2.2. Caracterización etanol.....	21
4.3. Análisis de resultados obtenidos.....	22
CAPÍTULO V	25
5.1. Aumento de la relación de compresión.....	25
5.2. Inyección electrónica.	30

5.2.1.	ECU.....	30
5.3.	Cuerpo de aceleración.....	32
5.3.1.	Pieza de conexión entre el cuerpo de aceleración y el motor.....	32
5.3.2.	Filtro de aire.	33
5.4.	Tanque de combustible.	34
5.5.	Bobina magnética.....	34
CAPÍTULO VI		35
6.1.	Motor de arranque.....	35
6.2.	Sistemas de emergencia.	36
6.2.1.	Dead man’s switch	36
6.2.2.	Emergency shutdown	39
6.3.	Batería	39
CAPÍTULO VII.....		41
7.1.	Tuner Studio.....	41
7.1.1.	Configuración de las variables de operación.....	41
7.2.	Resultados Obtenidos.....	42
CONCLUSIONES.....		44
RECOMENDACIONES.....		45
BIBLIOGRAFÍA.....		46
ANEXOS		49

CAPÍTULO I

1.1. Introducción

El aumento del consumo de combustibles fósiles por parte de la industria automotriz es directamente proporcional al aumento tanto de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos como de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) en los motores Diesel, provocando así grandes problemas tanto de índole ambiental como problemas sanitarios. En Colombia el sector transporte es el responsable del 44% del consumo energético y el principal consumidor de combustibles derivados del petróleo. Según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) este sector consume casi el 47% del ACPM (diesel) de todo el país y un 29% de las gasolinas. (Cadena, Gonzáles, & Baéz, 2014)

Considerando el escenario mundial, hay una creciente búsqueda de fuentes alternativas de energía para reemplazar el petróleo y reducir progresivamente la dependencia de combustibles fósiles. El etanol juega un papel destacado en este sentido y es conocido mundialmente como un biocombustible que no afecta el ciclo neutral del carbono, teniendo así un potencial de éxito.

El sector azucarero colombiano se encuentra ubicado en el valle geográfico del río Cauca, que abarca 47 municipios desde el norte del departamento del Cauca, la franja central del Valle del Cauca, hasta el sur del departamento de Risaralda. En esta región hay 225.560 hectáreas sembradas en caña para azúcar, de las cuales, el 25% corresponde a tierras propias de los ingenios y el restante 75% a más de 2.750 cultivadores de caña. Dichos cultivadores abastecen a 13 ingenios de la región (Cabaña, Carmelita, Manuelita, María Luisa, Mayagüez, Pichichí, Risaralda, Sancarlos, Tumaco, Ríopaila-Castilla, Incauca y Providencia). Desde 2005, cinco de los trece ingenios tienen destilerías anexas para la producción de alcohol carburante (Incauca, Manuelita, Providencia, Mayagüez y Risaralda). Gracias al clima privilegiado de la región, y al contrario de lo que sucede en el resto del mundo (con excepción de Hawai y el norte de Perú), se puede sembrar y cosechar caña durante todos los meses del año. En Colombia, en el año 2013 se produjeron 2,12 millones de toneladas de azúcar a partir de 21,56 millones de toneladas de caña. De alcohol carburante se produjeron 387 millones de litros, destinados a la mezcla con gasolina en una proporción E8 (8% etanol, 92% gasolina), de acuerdo con el mandato de oxigenación establecido por el gobierno desde noviembre de 2005. En la actualidad se da cubrimiento a todo el territorio nacional. (Sector agroindustrial de la caña, 2019)

Teniendo en cuenta los factores ambientales y siendo el parque automotriz la forma más representativa del consumo energético en el país, se han ido desarrollando distintas estrategias e investigaciones en el uso de biocombustibles buscando el aumento de eficiencia en los vehículos y la mitigación de los GEI (gases de efecto invernadero). Un claro ejemplo de esto, son los estudios que se han desarrollado en el país, donde se experimenta con diferentes mezclas de etanol-gasolina, por encima de la mezcla usada actualmente (E10), obteniendo en muchos casos buenos resultados, de tal forma que se corroboró que al aumentar la cantidad de etanol hasta en un 20% en la mezcla, es decir E20, la potencia del vehículo registró un leve cambio en comparación a una mezcla E0 o E10 y una disminución de las emisiones de CO y HC (Ospina, 2014). Pero cabe recordar que la mayoría de estas investigaciones han sido realizadas sin tener en cuenta las posibles modificaciones que se le pueden realizar tanto al motor de combustión interna tanto de gasolina como Diesel.

Países como: Estados Unidos, China, México, Brasil, Chile y algunos de la Unión Europea, tienen trascendencia en estudios donde evalúan el consumo energético del sector transporte y aportan soluciones y normativas para mejorar el rendimiento de combustible en los vehículos, promoviendo el uso de tecnologías, combustibles más limpios, conducción eficiente y el etiquetado energético, con la intención de concientizar de manera global a los usuarios desde la compra y la operación, así las personas particulares también pueden aportar hacia un transporte sustentable (México, CTS Embarq)

Diferentes organizaciones, compañías y universidades a nivel mundial han decidido apoyar a la investigación de las nuevas alternativas de combustibles, una de estas compañías es Shell, con la creación de la competencia Shell Eco - marathon (SEM), programa global único para que los estudiantes de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas diseñen y construyan autos ultra eficientes energéticamente, y luego los lleven a competencia (Shell, 2020). Realizada anualmente en Reino Unido, Francia, Holanda, Japón y Estados Unidos. La SEM es un lugar en el cual se ponen a prueba todos los conocimientos de ingeniería adquiridos durante la formación universitaria, contando con tres categorías dependiendo la fuente de energía del vehículo: MCI, batería eléctrica y celda de hidrógeno.

En la categoría de MCI, se puede participar con tres combustibles: gasolina, diesel y etanol. El principio de funcionamiento de un MCI es convertir la energía química que se genera cuando explota el combustible dentro de una cámara en energía mecánica, mediante el conjunto de elementos formados por el pistón, biela y manivela que la transmiten finalmente como movimiento al cigüeñal. Para buscar la mejor eficiencia posible se deben tener en cuenta factores como consumo específico, poder calorífico y relación de compresión del combustible, si se hablan de las mejoras en cuando al motor. Con el planteamiento anterior se pretende responder a la siguiente pregunta: ¿Qué modificaciones se deben realizar en un MCI monocilíndrico carburado para que su fuente de energía sea E100, buscando además de mejorar su eficiencia y disminuir el consumo de combustible, que sea apto para su posterior utilización en un vehículo monoplace Supermileage, y qué elementos eléctricos y electrónicos requeriría dicha adaptación?

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar las modificaciones necesarias a un MCI Honda GX – 35 para su funcionamiento con etanol como fuente de energía y diseñar los sistemas de emergencia para su utilización en un vehículo tipo prototipo Supermileage.

1.2.2 Objetivos específicos

- 1.** Analizar el uso de combustibles alternativos, en especial el etanol, en vehículos de transporte humano.
- 2.** Realizar las modificaciones necesarias a un MCI Honda GX – 35, buscando la mejor eficiencia posible cuando se utiliza etanol como fuente de energía.
- 3.** Diseñar los sistemas eléctricos del vehículo, motor de arranque, emergency shutdown, Dead man's switch y sistema general. De acuerdo con las especificaciones del reglamento de la competencia Shell Eco - marathon.

4. Verificar el funcionamiento del motor Honda GX – 35 trabajando con inyección electrónica y arranque eléctrico.

1.3. Metodología

Este proyecto va a ser una investigación documental cualitativa de tipo experimental encaminado a caracterizar y realizar las modificaciones necesarias a un MCI Honda GX – 35 que utiliza como fuente de energía el etanol y realizar el sistema eléctrico de un vehículo Shell tipo prototipo.

Las actividades a través de las cuales se pretende dar cumplimiento a los objetivos mencionados se enumeran a continuación:

Objetivo específico 1: Analizar el uso de combustibles alternativos, en especial el etanol, en vehículos de transporte humano.

1.1 Recolección de artículos científicos, páginas web, memorias de conferencias, tratados internacionales y cualquier otro documento de importancia que contenga información precisa del futuro uso de los combustibles alternativos como reemplazo de combustibles fósiles.

1.2 Estudio y contextualización del proceso para obtener etanol y su incidencia en el ciclo neutral de carbono.

Objetivo específico 2: Realizar las modificaciones necesarias a un MCI Honda GX – 35, buscando la mejor eficiencia posible cuando se utiliza etanol como fuente de energía.

2.1 Se realizará la caracterización del motor sobre un dinamómetro de banco, en el cual se pondrá el motor en diferentes puntos de velocidad y carga, para en estos obtener datos de desempeño, operación y consumo.

2.2 Realizar la revisión bibliográfica de la incidencia de la relación de compresión y contenido de la mezcla en la eficiencia del vehículo, así como el cambio de carburador a inyección electrónica.

2.3 Se harán las modificaciones pertinentes, basados en la bibliografía existente, para adaptar el motor a que funcione óptimamente con etanol a inyección electrónica.

Objetivo específico 3: Diseñar los sistemas eléctricos del vehículo, motor de arranque, emergency shutdown, Dead man's switch y sistema general. De acuerdo con las especificaciones del reglamento de la competencia Shell Eco - marathon.

3.1 Analizar el reglamento para definir las restricciones frente al diseño y construcción de cada sistema del vehículo, así como las restricciones al motor, realizando investigaciones sobre otros equipos.

3.2 Investigar sobre las baterías óptimas para la utilización en el vehículo Shell tipo prototipo, así como realizar el diseño de todo el circuito de seguridad requerido por la competencia.

3.3 Seleccionar el motor de arranque necesario para el MCI Honda GX – 35, especificando la manera de adaptación y accesorios requeridos para su instalación.

Objetivo específico 4: Verificar el funcionamiento del motor Honda GX – 35 trabajando con inyección electrónica y arranque eléctrico.

4.1 Luego de realizar las modificaciones, se va a encender el motor para verificar mediante la ECU parámetros de operación como velocidad, calidad de la mezcla y la potencia.

1.4. Estructura del documento

Este proyecto se ha estructurado en nueve capítulos que se describen a continuación. En el capítulo I se exponen los objetivos generales y específicos de la investigación, además de la metodología utilizada para cumplir con lo planteado. En el capítulo II se expone el estado del arte, revisando los antecedentes del motor de combustión interna y su conversión a etanol. En el capítulo III se presentan los cálculos realizados para hallar el motor para la competencia Shell Eco – marathon (SEM) y una revisión de las ofertas que se encuentran en el mercado de MCI que suplen dicha necesidad para al final, seleccionar el adecuado. En el capítulo IV se explican las pruebas realizadas al motor seleccionado y adquirido, con el fin de realizar su caracterización inicial y analizar los resultados obtenidos. En el capítulo V se presentan las modificaciones a realizar en el MCI y posibles problemas que ocurrirían en la cámara de combustión, se revisan los cambios y adecuaciones, en el aumento de la relación de compresión y montaje de la inyección electrónica. En el capítulo VI se expone todo el sistema eléctrico y electrónico configurado para el funcionamiento del motor y sistemas de emergencia requeridos en la SEM. En el capítulo VII se presentan los parámetros de funcionamiento del MCI con las modificaciones realizadas, con ayuda del software Tuner Studio. En el capítulo VIII se exponen las conclusiones que se obtienen del proyecto y finalmente, en el capítulo IX se presentan las recomendaciones a tomar en cuenta para futuros proyectos y adecuación del MCI en el vehículo Supermileage.

CAPÍTULO II

2.1. Antecedentes

El motor de combustión interna es un elemento que permite transformar energía térmica en energía mecánica sometiendo un fluido compresible a condiciones controladas de operación, utilizado mayormente en el transporte terrestre y pequeñas utilidades como motores estacionarios. Su ciclo de trabajo se realiza en cuatro tiempos, compresión, combustión, expansión y escape. Se pueden clasificar en dos tipos según el proceso de combustión, motores de encendido provocado o más conocido como motor Otto (MEP) y motor de encendido por compresión o Diesel (MEC).

En el motor de encendido provocado por lo general el combustible entra en el cilindro mezclado con el aire, al final de la compresión se dispone una mezcla de aire y combustible, de manera estequiométrica, que indica la proporción adecuada para una combustión eficiente, para generar la energía necesaria se provoca una chispa controlada que inicia la combustión.

Generalmente, los MEP utilizan gasolina como combustible, siendo ésta de gran facilidad para su adquisición y buen octanaje para realizar eficientemente el ciclo antes mencionado, las desventajas son el aumento de gases contaminantes o productos no quemados resultado de una combustión incompleta, dichos productos se evidencian en material volátil y gases como el monóxido de carbono CO, dióxido de azufre SO₂, óxido de nitrógeno NO_x, ozono troposférico O₃, quienes son los principales contribuyentes en la lista de GEI.

Una alternativa que surgió a principio de los años 70, fue el etanol C₂H₅OH, como combustible para los MEP, empezando con pequeñas mezclas que no interferían en la eficiencia, reducían los gases contaminantes y disminuían el consumo de combustibles fósiles, como la gasolina. Dicha tecnología evolucionó hasta construir motores E100, cuya fuente es etanol al 100%, utilizados en muy pocas partes del mundo, siendo Brasil el país pionero en esta tecnología.

2.2. Conversión del MCI a etanol

La búsqueda de nuevos combustibles, de origen biológico y renovable, biodegradables, capaces de aumentar el rendimiento de los motores de automóviles, y la necesidad de disminuir la emanación de los gases invernadero han contribuido a usar al etanol anhidro (EA) como combustible o aditivo para gasolinas comerciales, a nivel mundial. Brasil y EE.UU. tienen experiencias reconocidas de éxito, merced a políticas gubernamentales que legislan a favor de una “combustión limpia”, fomentando el consumo del EA en particular y priorizando las nuevas tecnologías para elaborarlo (Cerpa)

El etanol es alcohol anhidro desnaturalizado con una adición de gasolina al 2% v/v. Este producto se desarrolló en Colombia a partir de la iniciativa del Gobierno Nacional a través de la ley 693 de 2001, donde se decretó el uso de gasolina oxigenada (mezcla de 10% alcohol carburante y 90% gasolina), en las ciudades con más de 500.000 habitantes. El uso de alcohol carburante se considera necesario y benéfico para el medio ambiente, pues mejora la combustión en los motores de explosión interna y reduce las emisiones nocivas de gases contaminantes, ya que se produce a partir de biomasa mediante tecnologías limpias. El etanol de caña de azúcar reduce en 74% las emisiones de gases efecto invernadero. (Incauca S.A.S, 2020).

El primer vehículo E100 apareció en Brasil en Julio de 1979, creado por Fiat, llamado el Fiat 147 etanol, con un motor de 1297 cm³, una potencia de 65 HP y una R.C. de 11.2:1, gracias a su fuente combustible, el Fiat 147 no sólo contaminaba menos, sino que el carburante resultaba un 50% más barato respecto a la gasolina. Desde ese momento, Fiat Brasil no ha dejado de producir vehículos de combustible flexible (FFVs por sus siglas en inglés), diseñados para funcionar con gasolina o mezclas de gasolina-etanol de hasta un 85% de etanol (E85). De no ser por algunas modificaciones en la máquina y el sistema de combustión, son idénticos a los vehículos que funcionan solo con gasolina. Los FFVs no tienen ninguna pérdida en el rendimiento cuando funcionan con E85, y algunos hasta generan más rotación y caballos de potencia que con la gasolina. Sin embargo, como el etanol contiene menos energía por volumen que la gasolina, los FFVs dan del 15%-27% menos kilómetros por galón cuando funcionan con E85. (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, s.f.)

En cuanto al panorama de la investigación científica en Colombia, se han desarrollado varios proyectos en los que se realizan pruebas a un MCI de un automóvil para operar con diferentes mezclas de etanol, supervisando el comportamiento frente a eficiencia, torque, potencia y consumo específico de combustible, tanto en dinamómetros como en pruebas de ruta, uno de ellos realizado en la UTP, llamado Proyecto Protocolo E20, utilizando una metodología de “pruebas de vehículos gemelos” en la cual se operaron dos vehículos idénticos, uno usando la mezcla experimental E20, mientras que el otro vehículo se le suministró la mezcla de referencia E10. Los vehículos registraron una acumulación de 100 mil kilómetros de recorrido, después se desarmaron los motores de cada uno de los vehículos con el fin de comparar el efecto de la mezcla E20 con respecto a la mezcla E10 sobre las partes del motor que tuvieron contacto con el combustible. En las pruebas se analizó: el desempeño mecánico de los vehículos, las emisiones ambientales y el comportamiento de los materiales metálicos del vehículo; las cuales dieron como resultado, primero, que no se alteró la potencia de los vehículos de prueba; segundo, presentan un consumo de combustible similar respecto a la operación con mezcla E10; tercero, se presentó una disminución de los niveles de emisión de monóxido de carbono respecto a la operación con E10; cuarto, las partes metálicas mantuvieron un rango operatividad similar. (Gaviria, Ospina, & Quirama, 2017)

Cuando se pretende operar un motor con E100, se deben realizar cambios en la geometría del motor con el fin de aumentar su relación de compresión, cambiar el material con el que están construidos los elementos de la cámara de combustión (camisa, pistón, biela) a fin de que, al tener contacto con el etanol, el material no sufra cambios en su estructura, ya que el alcohol anhidrido tiene mayor octanaje y posibilidad de autoencendido que la gasolina convencional, con un NCV = 26900 kJ / kg. (Shell, 2020)

CAPÍTULO III

3.1. Definición de necesidad de potencia

Considerando que el principal motivo para realizar las modificaciones al motor es su posterior utilización en el vehículo tipo prototipo Supermileage para la SEM, se debe realizar el cálculo de la potencia que debe tener el mismo para superar las fuerzas resistivas e iniciar el movimiento.

Para realizar el análisis de las fuerzas resistivas presentes en el movimiento del vehículo, se hace el cálculo de la fuerza generada por la fricción de las llantas, la fuerza que ejerce el aire y la inercia relacionada con el peso del vehículo. Se calculará entonces, las resistencias que se oponen al avance de un vehículo tipo prototipo de las siguientes dimensiones:

- Altura (h) : 1000 mm
- Ancho (a) : 1000 mm
- Distancia entre ejes: 1000 mm
- Longitud : 2500 mm
- Peso : 100 kg .

Dichas dimensiones se eligen teniendo en cuenta el Reglamento para la competencia, vigente en el 2020, sección 3B – artículo 39 (Shell, 2018). De la misma manera, considerando la participación en octubre del año 2019 en Brasil, a una temperatura promedio de 26°C, se aproximan las siguientes propiedades en el aire:

- Densidad del aire δ : 1,18 kg/m³
- Gravedad: 9,7881312228638 m/s²
- C (Drag) : 0,15

Llantas:

	Rueda delantera	Rueda trasera
Diámetro nominal	24 in	26 in
Diámetro	23 in	25 in
Ancho interior	1,95 (5 cm)	1,95 (5 cm)

Tabla 1. Dimensiones de las ruedas del vehículo. (Pulgarín & Zabala Guisado, 2013)

3.1.1 Cálculo de Resistencia por Rodadura R_r

Tiene su origen en la deformación del neumático y el suelo. Representa el esfuerzo que realiza una rueda para poder desplazarse en contacto con el suelo. Debido al peso concentrado sobre las ruedas, los neumáticos ejercen presión sobre el terreno, esta presión hace que el neumático no se apoye solo sobre un punto, sino sobre una superficie plana como se muestra en la figura 1, que origina el rozamiento con el terreno y por lo tanto la resistencia a la rodadura. (Sánchez, 2010)

Para el coeficiente de rodadura se tomará un valor promedio de C_r 0,0055 para neumáticos de bicicletas de BMX (Roche, Schinkel, Storey, Humphris, & Guelden). Se supone una masa total de todo el carro con el piloto a bordo y abastecido de combustible de: 100 kg.

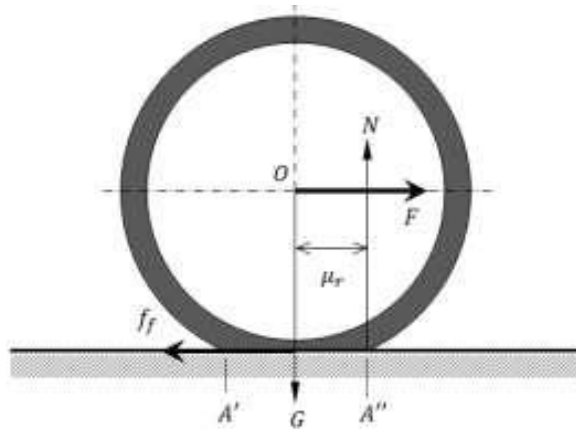


Figura 1. Esquema de rodadura de un neumático.

Ecuación 1. Peso del vehículo.

$$\therefore P = mg$$

$$P = 100 \text{ kg} \times 9.78 \text{ m/s}^2$$

$$P = 978 \text{ N}$$

Ecuación 2. Resistencia por rodadura.

$$R_r = PC_r$$

$$R_r = 978 \times 0,0055 = 5,4 \text{ N}$$

3.1.2 Cálculo de Resistencia por pendiente

Es la que se opone al avance del vehículo cuando sube una pendiente, pues necesita una mayor fuerza de propulsión para vencer la resistencia ejercida por la pendiente, de forma habitual la pendiente se expresa en x metros de subida por cada 100 metros recorridos horizontalmente. Considerando situaciones extremas, se toma un gradiente en la pista de 2%, aunque en la competencia se considera el terreno completamente plano:

Ecuación 3. Resistencia por pendiente.

$$R_p = P \times \% \text{Pendiente}$$

$$R_p = 978 \text{ N} \times 0,02 = 19,56 \text{ N}$$

3.1.3. Cálculo de Resistencia por inercia R_j

Está originada por un incremento de velocidad, por lo tanto se manifiesta solamente en el transcurso de las variaciones de velocidad y tiende siempre a oponerse a éstas variaciones, además viene determinada por la energía absorbida por el vehículo para producir el incremento de velocidad. Esta resistencia se puede despreciar, debido a que se piensa trabajar en un régimen de velocidad constante de 30 km/h.

$$R_j = 0$$

3.1.4. Cálculo de Resistencia aerodinámica R_a

Esta es la resistencia más estudiada, pues interviene directamente en el consumo del vehículo y en la estética del mismo. Se trata de disminuir cubriendo las ruedas y construyendo vehículos con perfiles más aerodinámicos.

Ecuación 4. Resistencia aerodinámica.

$$R_a = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times C \times V^2$$

Donde

C : 0,15 - Coeficiente aerodinámico de resistencia.

V : Velocidad en $30 \text{ km/h} = 8,33 \text{ m/s}$

ρ : $1,18 \text{ kg/m}^3$ - Densidad del aire.

A : Área frontal. Suponiendo un área frontal pesimista de 1 m^2 .

$$R_a = \frac{1}{2} \times 1,18 \times 1 \times 0,15 \times 8,33^2 = 6,14 \text{ N}$$

3.1.5. Cálculo de la potencia total requerida por el motor

Se procede entonces a determinar la potencia necesaria para superar cada una de las resistencias que impiden el movimiento del vehículo a una velocidad determinada.

Ecuación 5. Cálculo de la potencia total requerida.

$$W = (R_a + R_p + R_r + R_i) \times V$$

$$W = (5,4 \text{ N} + 19,56 \text{ N} + 6,14 \text{ N})(8,33 \text{ m/s})$$

$$W = 259 \text{ W} = 0,35 \text{ HP}$$

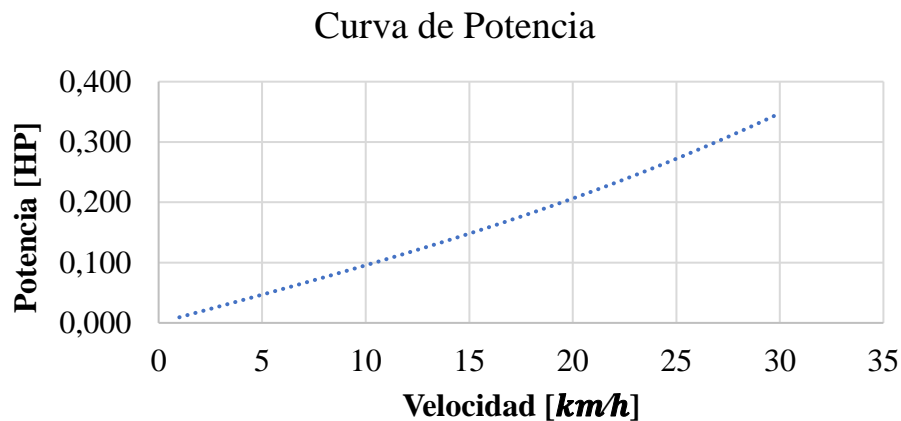
En la tabla 2, se realiza una tabulación de la necesidad de potencia de acuerdo con la velocidad que alcanzará el vehículo, se muestra a continuación:

$V \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$	$V \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$	$R_a \text{ [N]}$	$R_p \text{ [N]}$	$R_r \text{ [N]}$	$W \text{ [J.s]}$	$W \text{ [HP]}$
1	0,278	0,007	19,56	5,4	6,935	0,009
2	0,556	0,027	19,56	5,4	13,882	0,019
3	0,833	0,061	19,56	5,4	20,851	0,028
4	1,111	0,109	19,56	5,4	27,855	0,037
5	1,389	0,171	19,56	5,4	34,904	0,047
6	1,667	0,246	19,56	5,4	42,010	0,056
7	1,944	0,335	19,56	5,4	49,184	0,066
8	2,222	0,437	19,56	5,4	56,438	0,076
9	2,500	0,553	19,56	5,4	63,783	0,086
10	2,778	0,683	19,56	5,4	71,230	0,096

V [km/h]	V [m/s]	R_a [N]	R_p [N]	R_r [N]	W [$J.s$]	W [HP]
11	3,056	0,826	19,56	5,4	78,791	0,106
12	3,333	0,983	19,56	5,4	86,478	0,116
13	3,611	1,154	19,56	5,4	94,301	0,126
14	3,889	1,338	19,56	5,4	102,272	0,137
15	4,167	1,536	19,56	5,4	110,402	0,148
16	4,444	1,748	19,56	5,4	118,703	0,159
17	4,722	1,973	19,56	5,4	127,186	0,171
18	5,000	2,213	19,56	5,4	135,863	0,182
19	5,278	2,465	19,56	5,4	144,744	0,194
20	5,556	2,731	19,56	5,4	153,842	0,206
21	5,833	3,011	19,56	5,4	163,167	0,219
22	6,111	3,305	19,56	5,4	172,731	0,232
23	6,389	3,612	19,56	5,4	182,546	0,245
24	6,667	3,933	19,56	5,4	192,622	0,258
25	6,944	4,268	19,56	5,4	202,972	0,272
26	7,222	4,616	19,56	5,4	213,606	0,286
27	7,500	4,978	19,56	5,4	224,536	0,301
28	7,778	5,354	19,56	5,4	235,773	0,316
29	8,056	5,743	19,56	5,4	247,329	0,332
30	8,333	6,146	19,56	5,4	259,215	0,348

Tabla 2. Tabulación necesidad de potencia.

A partir de la tabla obtenida, se puede crear una curva que relacione la potencia vs. velocidad requerida en un MCI, se presenta en la gráfica 1, en donde a una velocidad de 30 km/h la potencia requerida son 0,35 HP, con esto se puede decir que es la potencia mínima que necesita el vehículo para funcionar, por lo que el motor elegido debe tener una potencia mínima de 0,35 HP o 0,26 kW.



Gráfica 1. Necesidad de potencia vehículo Supermileage.

Con la información obtenida se inicia la búsqueda de motores adecuados para satisfacer la necesidad de potencia, además de otros factores exigidos por la SEM como:

- ✓ Motor de 4T.
- ✓ Tanque de combustible presurizado.
- ✓ Mangueras flexibles para el suministro de combustible.

3.2. Elección del motor adecuado

La naturaleza de la competencia Shell Eco - marathon es buscar la mayor eficiencia posible de un motor operando con combustibles amigables, un parámetro que afecta fuertemente la eficiencia es el peso total del vehículo y uno de los componentes que incide en aumentar o disminuir este parámetro es el motor.

El motor deberá alcanzar velocidades de 30 km/h y ser lo suficientemente confiable como para encenderlo y apagarlo repetidamente durante la carrera contemplando una técnica de ahorro de combustible. Estas propiedades se encuentran típicamente en motores utilizados en guadañas, motobombas, motosierras, moto fumigadoras, los cuales son capaces de ofrecer un rendimiento confiable, fácil de arrancar y de bajo consumo de combustible.

Se realiza entonces una búsqueda del motor indicado que cumpla con la necesidad de potencia, peso y características antes mencionadas, encontrando la serie de mini motores Honda, utilizados en motobombas, guadañas y motosierras. En competencias anteriores, la marca Briggs & Stratton suministraba los motores a los participantes, desde el 2018 cambió esta praxis, se descartan de inmediato al ser de difícil adquisición en Colombia.

3.2.1. Mini motor de 4 tiempos – Honda

En 1997, Honda presentó el GX22 / 31, motor de 4 tiempos, a un mercado de equipos y maquinaria manuales de gasolina dominado por motores de 2 tiempos. Los motores de 2 tiempos, de estructura sencilla, eran altamente portátiles e inclinables en 360 grados, idóneos para usarse en equipos manuales de potencia, pero no eran eficientes en combustible ni respetuosos con el medio ambiente. Por esta razón, Honda desarrolló el motor GX22 / 31 de cuatro tiempos, compacto, ligero y capaz de trabajar a 360 grados. Estos equipos evolucionan en el 2002 como el motor GX25 y GX35 para convertirse en el corazón de las guadañas y motosierras Honda.

Los motores de la gama de GX 25 – GXV 50 , cumplen todas las características que se buscan, así que se realiza una evaluación que ayude a definir el más adecuado para su implementación en el vehículo Shell Supermileage. En la siguiente tabla, tabla 3, se realiza una comparación de algunos motores de la serie antes mencionada, con el fin de seleccionar el más adecuado, se estudia la factibilidad de la marca Honda, debido a que son de 4T, característica exigida por la competencia y de fácil adquisición en Colombia, otros fabricantes tienen motores de 2T y además de no estar permitidos en la SEM, son de difícil adquisición.

	GX - 35	GXV - 50	GXH - 50
Tipo de motor	Cuatro tiempos, árbol de levas en cabeza, monocilíndrico	Cuatro tiempos, árbol de levas en cabeza, monocilíndrico	Cuatro tiempos, árbol de levas en cabeza, monocilíndrico
Dia x carrera	39 x 30 mm	43 x 33 mm	41,8 x 36 mm

	GX - 35	GXV - 50	GXH - 50
Cilindrada	35,8 cm ³	47,9 cm ³	49 cm ³
Potencia neta [según sae j1349]	1 kW (1.43 HP) a 7000 rpm	1,47 kW (2 HP) a 7000 rpm	1,6 kW (2,1 HP) a 7000 rpm
Relación de compresión	8 : 1	8 : 1	8 : 1
Par máx. Neto [según sae j1349]	1,6 N.m a 5500 rpm	2,2 N.m a 5000 rpm	2,7 N.m a 4500 rpm
Largo x ancho x alto	205 x 234 x 240 mm	199 x 260 x 263 mm	225 x 276 x 353 mm
Masa en seco	3,46 kg	4,13 kg	5,5 kg
Capacidad del depósito de combustible	0,63 L	0,63 L	0,77 L
Capacidad de aceite del motor	0,1 L	0,13 L	0,25 L
Consumo específico a potencia neta	0,71 L/h – 7000 rpm	0,97 L/h – 7000 rpm	0,95 L/h – 7000 rpm
Sistema de refrigeración	Aire forzado	Aire forzado	Aire forzado
Eje	Horizontal	Vertical	Horizontal
Precio	351 US	400 US	415 US
Aplicación	Guadaña	Moto fumigadoras	Motobomba
Pros	Fácil adquisición, precio favorable, eje horizontal, potencia necesaria, peso adecuado, ha sido utilizado por otros equipos en la SEM, manual de mantenimiento y operación.	Precio favorable, peso adecuado, manual de mantenimiento y operación.	Precio favorable, manual de mantenimiento y operación, eje horizontal, mayor dimensión del pistón.
Contras	Relación de compresión, arranque tipo yoyo.	Relación de compresión, arranque tipo yoyo, eje vertical, exportación.	Relación de compresión, arranque tipo yoyo, exportación, peso.

Tabla 3. Comparación de mini motores 4T.

Características generales:

- ✓ El motor de 4 tiempos que puede inclinarse 360° para trabajar en cualquier posición
- ✓ Diseño OHC con correa de distribución silenciosa, hace que el motor requiera muy poco mantenimiento.
- ✓ Arranque fácil, bajo ruido y excelente aceleración
- ✓ Los motores cumplen con la legislación medioambiental más exigente del mundo

- ✓ Bajo consumo de combustible y aceite.

3.2.2. Motor Honda GX – 35

Después de analizar todas las opciones, se opta por el motor GX – 35, evidenciando primero potencia, torque y peso, características que inciden en la eficiencia del vehículo y segundo, la facilidad para adquirirlo en Colombia. Los desafíos que se presentan con la selección de este motor son principalmente dos:

1. La relación de compresión es de 8:1, trabajando con etanol se pueden utilizar R.C. hasta de 13: 1.
2. El motor tiene un sistema de carburador y arranque tipo recoil o yoyo, elementos prohibidos en las reglas de la competencia, descritos en el capítulo 4A, artículo 57.

Por lo tanto, se deben de realizar las siguientes conversiones:

1. Aumentar la relación de compresión.
2. Cambiar de carburador a inyección electrónica.
3. Cambiar el recoil started por un arranque eléctrico.



Figura 2. Motor Honda GX - 35

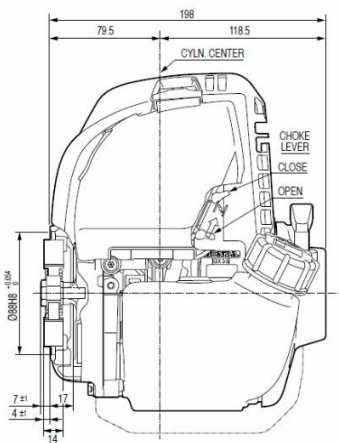


Figura 3. Vista lateral Honda GX - 35.

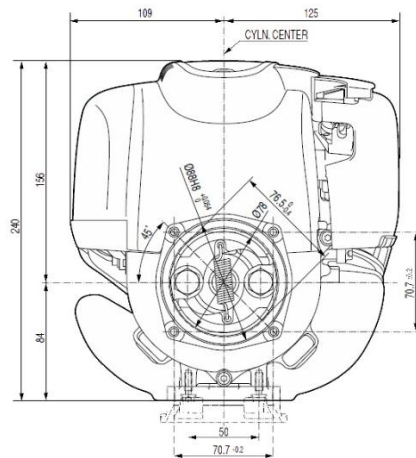


Figura 4. Vista frontal Honda GX -35.

En las anteriores figuras se presenta el motor seleccionado (figura 2) , Honda GX – 35, con las vistas lateral y frontal, figura 3 y 4, respectivamente. Los datos técnicos se presentan en la tabla 4. (HONDA)

Modelo GX – 35	
Tipo de motor	Cuatro tiempos, árbol de levas en cabeza, monocilíndrico
Diametro x carrera	39 x 30 mm
Cilindrada	35,8 cm ³
Potencia neta [según sae j1349]	1 kW (1.43 HP) a 7000 rpm
Relación de compresión	8 : 1
Par máx. Neto [según sae j1349]	1,6 N.m a 5500 rpm
Largo x ancho x alto	205 x 234 x 240 mm
Masa en seco	3,46 kg
Capacidad del depósito de combustible	0,63 L
Capacidad de aceite del motor	0,1 L
Consumo específico a potencia neta	0,71 L / h – 7000 rpm
Sistema de refrigeración	Aire forzado
Sistema de encendido	Arranque por magneto - transistor

Tabla 4. Datos técnicos MCI Honda GX - 35.

CAPÍTULO IV

4.1. Caracterización del MCI Honda GX – 35

Una forma habitual de mostrar las prestaciones, emisiones o parámetros de funcionamiento de interés de un motor es hacerlo de forma gráfica mediante lo que se conoce como curvas características. En general, las curvas características presentan uno o varios parámetros de interés (prestaciones, emisiones o parámetros de funcionamiento) en función de condiciones operativas del motor. Los parámetros de interés más habituales son la potencia, el par o la PME, el consumo o rendimiento y las emisiones específicas, aunque dependiendo del uso pueden encontrarse curvas características que representen el dosado, la tasa de EGR, los caudales y temperaturas de fluidos o, en general, cualquier otro parámetro que pueda tener interés para una determinada aplicación. (Universitat Politecnica de Valencia, 2015)

La curva característica a realizar del motor Honda GX – 35 es la curva de velocidad, en la cual, para un grado de carga constante, se muestra el parámetro de interés, en este caso torque, potencia y consumo específico de combustible, en función del régimen de giro. Dicha curva permite conocer de forma sencilla la potencia y el par máximos y a qué regímenes se dan. Se realizan en condiciones de accionamiento máximo del acelerador. Dicha curva se obtiene con ayuda de un dinamómetro eléctrico, propiedad del laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad Tecnológica de Pereira, en la prueba se utiliza como fuente de energía dos combustibles: gasolina y etanol, ambos en un porcentaje de 100%.

4.1.1. Equipo utilizado

El dinamómetro mide la potencia de salida de alguna fuente giratoria, actúa como una carga que es soportada por el generador de movimiento sometido a prueba. El equipo con el que cuenta la Universidad Tecnológica es un dinamómetro eléctrico donde la carga que se le impone al generador de movimiento es un motor eléctrico que varía su resistencia de acuerdo con unos elementos que se le conectan, en las pruebas realizadas, se utiliza, primero como carga una estufa eléctrica, la cual tiene dos niveles de resistencia y segundo, un banco de resistencias que varía su valor de acuerdo con la configuración utilizada. La capacidad o respuesta del motor Honda GX – 35 a las fuerzas aplicadas se registra en un instrumento de medición de marca Futek, referencia IHH500, conectado a un computador, obteniendo gráficas y una base de datos tabulados por velocidad, torque y potencia. En la figura 5 se muestra un esquema básico del dinamómetro eléctrico.

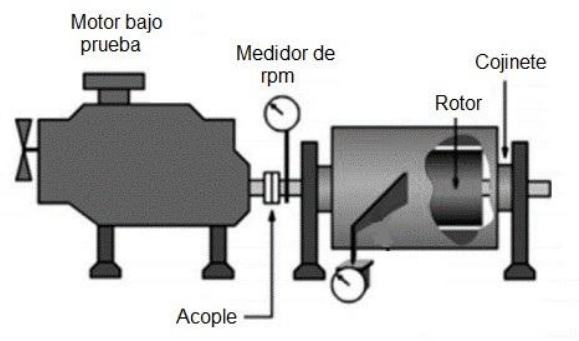


Figura 5. Partes básicas de un dinamómetro eléctrico.

4.1.2. Procedimiento realizado

Para realizar las pruebas, el motor Honda GX – 35 se debe conectar al rotor mediante un acople tipo araña, para esta unión se fabrica un eje en acero 1020, se instala el eje fabricado para transmitir el movimiento entre el motor eléctrico y el cigüeñal del MCI, sustituyendo el embrague. En el acople de estos dos, se encuentra una rueda dentada que es la encargada de medir la velocidad y posición del cigüeñal del motor. Al empezar a realizar las pruebas y debido al régimen de giro del MCI (4000 rpm a 7000 rpm) se hace necesario replantear la carga ejercida en el rotor o motor eléctrico, por lo que se realiza un circuito para poder graduar en un rango más amplio la resistencia ejercida por la estufa eléctrica, colocando un potenciómetro. Con los datos obtenidos de esta primera prueba se construye la gráfica 2, caracterizando la operación del MCI con 100% gasolina y sin modificaciones. La toma de datos se realiza capturando varios puntos en los que se logra estabilizar el motor y con ayuda del equipo IHH500, al cual se le toman fotografías y se construye la tabla 5, también se efectúa la medición del consumo específico de combustible, mediante un buretrol, conectado a la línea de alimentación de combustible y un cronómetro para medir el consumo en un minuto. El anterior método tiene un gran margen de incertidumbre.

En la segunda prueba, se emplea un banco de resistencias, la carga aplicada al MCI depende de la configuración este, se realizan 8 configuraciones diferentes, en cada una se toman los datos con ayuda del equipo IHH500 conectado al computador, lo que agrega mayor confiabilidad a la base de datos obtenida por este método. Se obtienen las curvas de caracterización de gasolina 100% y etanol 100%, mostradas en la gráfica 3 y 4, respectivamente.

4.1.2.1. Estufa eléctrica

Primera configuración utilizada para realizar las gráficas características del MCI Honda GX-35, en donde se realiza la evaluación de funcionamiento con gasolina y sin modificaciones. La prueba se realiza en 24 posiciones, tomando los datos con el equipo IHH500, mostrados en la figura 6, el cual mide la velocidad y asocia torque, ángulo y potencia a dicho régimen de giro. La toma de datos se realiza de manera manual, anotando cada parámetro en un archivo de Excel y construyendo una tabla de datos para realizar la gráfica. Para llegar a cada régimen de giro, se acelera el motor con una guaya instalada en el acelerador, se estabiliza el motor y se captura la información.

Después de la toma de datos, se realiza un análisis estadístico para eliminar los datos más dispersos, sin embargo, por el método utilizado es difícil tener una tendencia organizada de datos. Para esto, se realiza una regresión polinómica de grado 2, en cada variable (torque, potencia y consumo específico) para visualizar la línea de tendencia de cada una de ellas, lo que permitirá realizar el análisis de datos obtenidos.

En la figura 6, se muestra el esquema utilizado en la prueba 1, el equipo 5 es el IHH500, encargado de mostrar los parámetros antes indicados (torque, potencia, velocidad) y al que se le realiza el registro fotográfico.

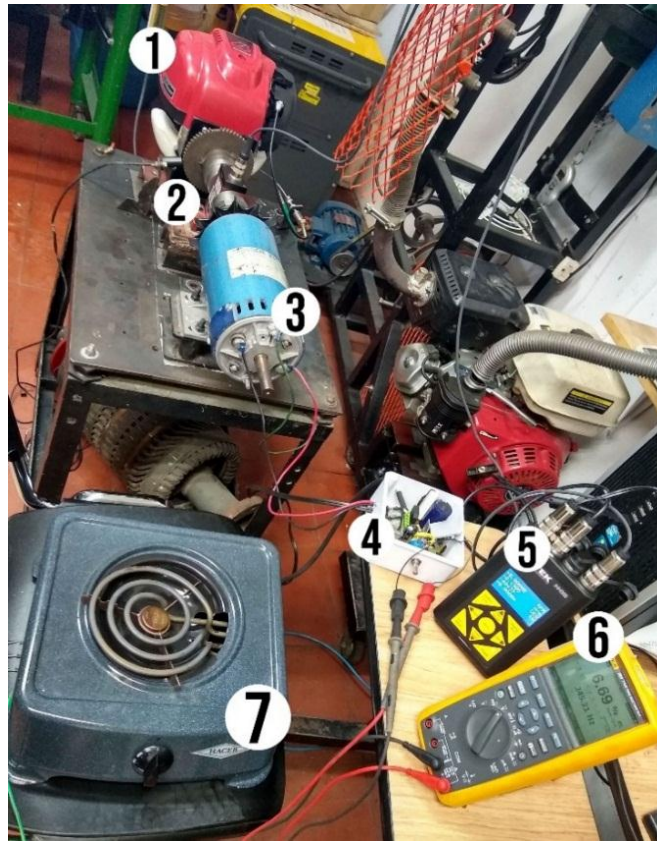


Figura 6. Dinamómetro eléctrico, configuración prueba 1.

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. MCI Honda GX – 35. 2. Acople tipo araña. 3. Motor eléctrico. 4. Circuito equipado con un potenciómetro para regular la resistencia. | <ol style="list-style-type: none"> 5. FUTEK IHH500 (indicador de proceso / de tensión / de presión / de par). 6. Voltímetro Fluke. 7. Estufa eléctrica. |
|---|--|

4.1.2.2. Banco de resistencias

Para realizar las pruebas con mayor precisión se conecta el dinamómetro a un computador que permite tener un rango de datos más amplio, con esta configuración se realizan las pruebas operando de nuevo con gasolina y con etanol. Los valores de las resistencias utilizadas son los siguientes:

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia 1 = 210 Ω • Resistencia 2 = 168 Ω • Resistencia 3 = 126 Ω • Resistencia 4 = 84 Ω | <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia 5 = 56 Ω • Resistencia 6 = 50.4 Ω • Resistencia 7 = 42 Ω • Resistencia 8 = 36 Ω |
|---|--|

En la figura 7, se presenta la configuración utilizada para realizar la prueba 2, en donde se conecta el computador para obtener una base de datos más amplia que permita una mayor precisión en la gráfica obtenida.



Figura 7. Dinamómetro eléctrico, configuración prueba 2.

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------|
| 1. Motor Honda GX – 35 | 4. Acople tipo araña. |
| 2. Rueda dentada con CKP. | 5. Motor eléctrico. |
| 3. Conector del equipo FUTEK IHH500. | 6. Banco de resistencias. |
| | 7. Computador. |

4.2. Datos obtenidos

4.2.1. Caracterización gasolina

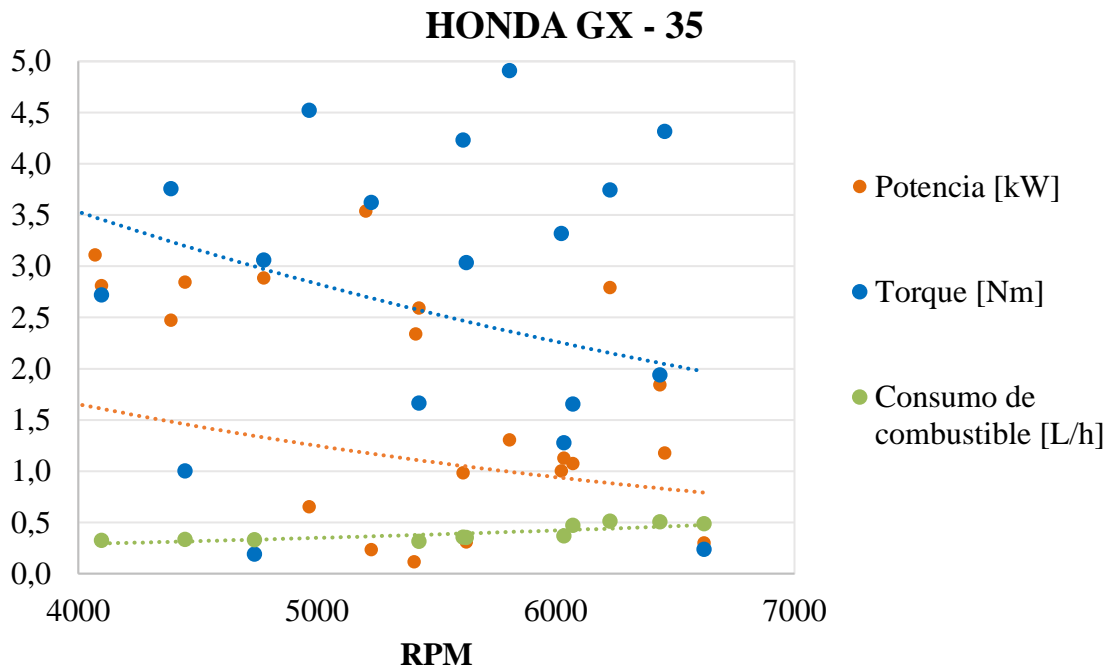
A partir del primer método utilizado, se obtiene la tabla 5, provista de 24 datos de los cuales se realiza la gráfica 2. Al hacer el análisis estadístico y eliminación de datos se encuentra que los datos obtenidos no tienen la tendencia esperada, situación que se analizará en el numeral 4.3.

Velocidad [rpm]	Torque [N.m]	Potencia [kW]
4070	6,0542	3,1117
4097	2,7189	2,8095
3949	7,1724	1,8775
3977	2,7219	0,7992
4387	3,7565	2,4730
4446	1,0027	2,8464
4737	0,1908	0,3257
4776	3,0602	2,8864
4967	4,5206	0,6524

Velocidad [rpm]	Torque [N.m]	Potencia [kW]
5203	7,3520	3,5381
5226	3,6239	0,2334
5413	5,7019	2,3396
5406	5,4932	0,1164
5426	1,6629	2,5911
5611	4,2320	0,9829
5625	3,0360	0,3079
5806	4,9104	1,3058
6033	1,2774	1,1264
6071	1,6554	1,0756
6022	3,3212	1,0014
6227	3,7452	2,7930
6436	1,9378	1,8410
6455	4,3164	1,1769
6621	0,2368	0,2986

Tabla 5. Datos prueba 1 - gasolina.

La siguiente gráfica es obtenida mediante los datos de la tabla anterior, en ella se muestran las curvas de caracterización del motor Honda GX – 35, funcionando con gasolina y sin modificaciones, son obtenidos por el método utilizado en la prueba 1.



Gráfica 2. Caracterización del motor Honda GX – 35 trabajando con gasolina sin modificaciones.

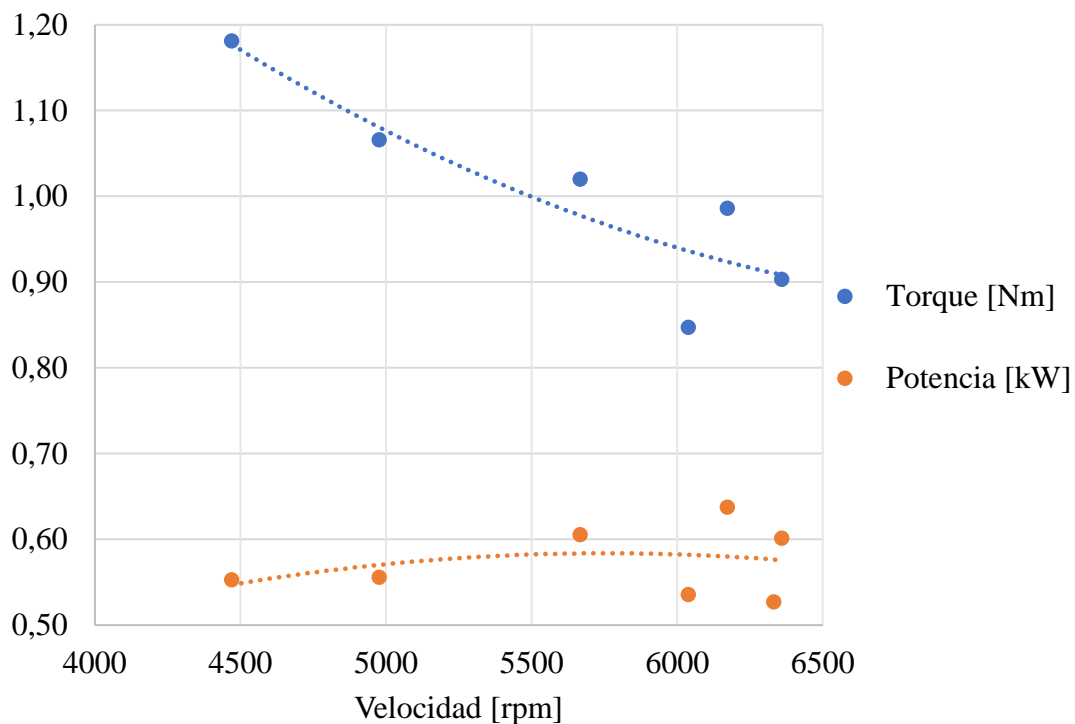
Con el montaje realizado para la segunda prueba se obtienen los datos de las tablas 6 y 7, con gasolina y etanol, respectivamente. Estas tablas son el resultado de una toma promedio de 600 datos en cada resistencia, con el que se tiene una mayor confiabilidad en las muestras. A continuación, se presenta la tabla obtenida con el MCI funcionando con gasolina.

GASOLINA			
Resistencia	Velocidad [rpm]	Torque [Nm]	Potencia [kW]
1	6360	0,90	0,60
2	6173	0,99	0,64
3	6039	0,85	0,54
4	5667	1,02	0,61
5	4977	1,07	0,56
6	4470	1,18	0,55
7	3757	1,58	0,62
VACÍO	6332	0,80	0,53

Tabla 6. Datos obtenidos por el método de prueba 2, para gasolina

A partir de los datos obtenidos en la anterior tabla, se realizan las curvas características presentadas en la gráfica 3. Dichas curvas son obtenidas por el método de prueba 2.

COMPORTAMIENTO CON GASOLINA



Gráfica 3. Prueba 2. Caracterización del motor Honda GX – 35 trabajando con gasolina sin modificaciones.

4.2.2. Caracterización etanol

Después de caracterizar el motor con gasolina, se realiza la misma prueba con etanol, biocombustible que sustituirá el uso del combustible fósil.

Al realizar la prueba se deben tener las siguientes precauciones:

- ✓ Cerrar la válvula de “choke”, encargada de la entrada de aire, para poder encender el motor.
- ✓ Limpiar completamente la gasolina que se encuentre en la manguera de suministro de combustible.
- ✓ Encenderlo y dejar que funcione 5 minutos con etanol, esto, con el fin de eliminar cualquier residuo de gasolina.
- ✓ Al finalizar la prueba, volver a suministrar gasolina, puesto que el etanol es altamente corrosivo y puede oxidar los elementos del motor.
- ✓ Tener la mariposa completamente abierta.
- ✓ Variar la carga hasta llegar a la máxima que soporte el motor antes de apagarse. .

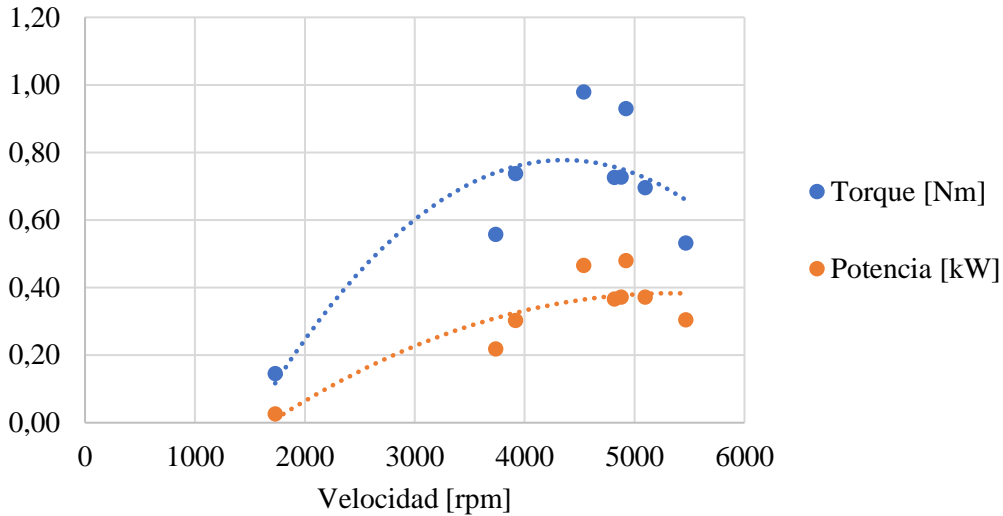
Se gradúa el nivel de resistencia ejercida en ocho puntos, luego se procede a calcular el promedio y recopilar los datos en la tabla 7, mostrada a continuación, con los parámetros de régimen de giro, potencia y torque.

ETANOL			
Resistencia	Velocidad [rpm]	Torque [N.m]	Potencia [kW]
1	5097	0,70	0,371
2	4879	0,73	0,371
3	4921	0,93	0,479
4	4817	0,73	0,366
5	4537	0,98	0,465
6	3918	0,74	0,302
7	3736	0,56	0,218
8	1730	0,15	0,026
VACÍO	5465	0,53	0,304

Tabla 7. Datos obtenidos de Motor Honda GX - 35 con etanol.

Con los datos obtenidos en la anterior tabla, se procede a realizar la gráfica 4, en donde se presentan las curvas características del MCI funcionando con etanol 100%.

COMPORTAMIENTO CON ETANOL

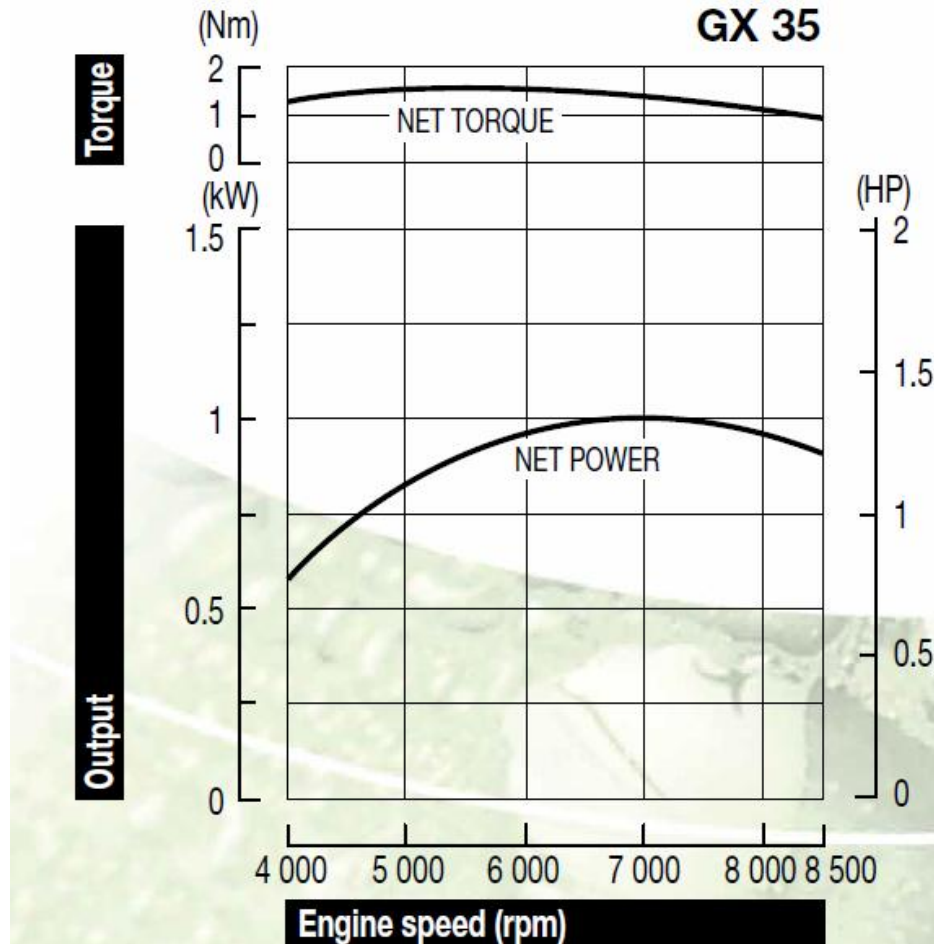


Gráfica 4. Caracterización del motor Honda GX – 35 trabajando con etanol sin modificaciones.

4.3. Análisis de resultados obtenidos.

Para empezar, se debe resaltar que para obtener los datos el motor debe estar funcionando por un régimen cercano a 4000 rpm, puesto que a menor velocidad se apaga inmediatamente, no es capaz con las cargas impuestas. Todas las gráficas muestran una buena respuesta en este rango, lo que no requerirá el trabajo en altos regímenes de giro, que pueden causar alto consumo de combustible, como se muestra en la gráfica 2, a mayores revoluciones, mayor es el consumo específico de combustible.

La primera prueba realizada, arroja como resultado datos demasiado dispersos, los cuales se evidencian en la gráfica 2, obteniendo una línea de tendencia de torque y potencia en constante decremento de ambas variables. Comparando con la gráfica 5, suministrada por el fabricante, se puede concluir que su comportamiento no es coherente, esto se debe en primera medida a la toma de datos, realizada mediante fotografías al equipo, en segunda medida, dichas fotografías se tomaban cuando se lograba estabilizar el MCI a cierto régimen de giro, susceptible al cambio de aceleración.



Gráfica 5. Curva característica catálogo Honda GX - 35

La gráfica 3 es obtenida mediante un método más preciso de toma de datos, en el cual, un software es el encargado de recolectar datos por régimen en el que se estabiliza el motor, de los cuales se obtiene un promedio, lo que haría a este método más confiable que el anterior. Sin embargo, al realizar la regresión polinómica a los datos obtenidos hay un decremento exponencial en el torque y una tendencia casi constante en la potencia.

El comportamiento del MCI con etanol se puede observar en la gráfica 4, donde se muestra una tendencia bastante coherente. Donde el torque y la potencia aumentan proporcionalmente con las revoluciones del MCI, experimentando un torque máximo de 0.7772 Nm @ 4350 rpm y una potencia máxima de 0.3829 kW @ 5350 rpm, comportamiento obtenido mediante las ecuaciones 6 y 7, respectivamente.

Ecuación 6. Torque del MCI Honda GX - 35 funcionando con etanol 100%.

$$T = -9,5765 * 10^{-8} x^2 + 0,00083437x - 1,040158226$$

Ecuación 7. Potencia del MCI Honda GX - 35 con etanol 100%.

$$P = -2,86786 * 10^{-8} x^2 + 0,000305937x - 0,43296435$$

Al comparar estos datos con la necesidad de potencia hallada en la ecuación 5, se evidencia que cumple perfectamente con los requerimientos del vehículo Supermileage, siendo un muy buen resultado inicial teniendo en cuenta que dicha prueba se realiza sin modificar la relación de compresión, lo que haría que mejoren los parámetros estudiados anteriormente. Pero teniendo en cuenta la gráfica 4 y la exigencia de potencia calculada en la ecuación 5, se requiere que el motor opere a un mayor régimen para que pueda lograr el empuje necesario para el vehículo. Aunque el consumo de combustible se verá afectado, con la ayuda de la inyección electrónica se puede ajustar para lograr la precisión de la mezcla requerida dado este régimen.

Realizando un análisis en general de las gráficas se evidencia que el comportamiento con etanol difiere completamente al obtenido con gasolina, siendo el primero el comportamiento esperado según las gráficas proporcionadas por el fabricante, en teoría, esto no debería ocurrir de manera tan drástica, pues se está variando sólo el combustible y no los parámetros geométricos del motor. No se encuentra una razón lógica para explicar el comportamiento anormal de las gráficas 2 y 3, pues se realizó la prueba de caracterización con equipos confiables y en compañía de personas competentes y con experiencia en el tema.

CAPÍTULO V

5.1. Aumento de la relación de compresión.

La relación de compresión representa las veces que el volumen final queda contenido en el volumen inicial. Cuanto mayor es el índice de la relación de compresión, mayor es el rendimiento del motor, es decir, mayor es el aprovechamiento energético del combustible y tanto mayor es la energía que se logra extraer de una misma cantidad de combustible. Sin embargo, también aumentan las tensiones que se forman en el interior de la culata, mayor temperatura en todo el conjunto y de igual manera los problemas con la mezcla inflamable. (Gavira, 2009)

Los principales inconvenientes que puede presentar una relación de compresión elevada son los siguientes:

- El autoencendido.
- La detonación o picado.
- Esfuerzos anormales para pistón y cigüeñal.

Los parámetros geométricos de la cámara de combustión son el punto de partida cuando se pretende modificar la relación de compresión de un MCI. Por esto, se presentan las ecuaciones 8, 9, 10 y 11, con ellas se decide y explica la incidencia de variar cada parámetro para ganar compresión dentro de la cámara.

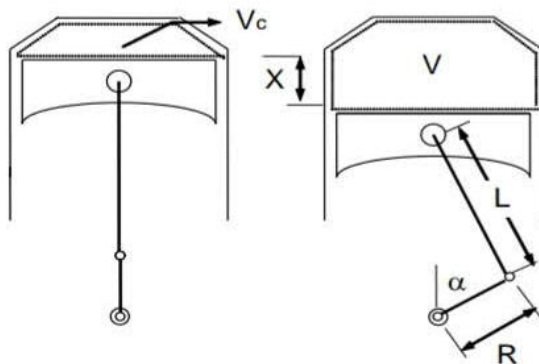
Ecuación 8. Área del pistón.

$$A_p = \frac{\pi D^2}{4}$$

Ecuación 9. Volumen desplazado.

$$V_D = S \frac{\pi D^2}{4}$$

PMS



Ecuación 10. Relación de compresión.

$$RC = \frac{V_D + V_C}{V_C}$$

Ecuación 11. Volumen total.

$$V_T = Z V_D$$

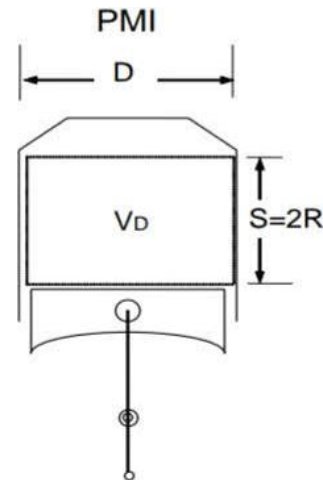


Figura 8. Parámetros geométricos de la cámara de combustión.

En la ecuación 9, se evidencia que el volumen desplazado es directamente proporcional a la carrera y el diámetro del pistón. En el caso del MCI Honda GX – 35 es más factible modificar la carrera que el diámetro, ya que incurriría en cambios al interior de la cámara, proceso que se dificulta por la manufactura requerida.

Recolectando información de diversas investigaciones sobre el desempeño de un MCI al operar con diferentes mezclas de etanol, donde se evalúan parámetros principales como torque de salida, consumo específico de combustible, eficiencia térmica y eficiencia volumétrica, se encuentra que para dichas pruebas y evaluaciones varían la relación de compresión y la mezcla de etanol – gasolina. En la tabla 7, se realiza una recolección de todos los autores consultados, con el porcentaje de mezcla, la relación de compresión inicial (RC1), la relación de compresión final (RC2) y el porcentaje que corresponde al aumento de esa relación de compresión.

Autor	%E	RC 1	RC 2	% Aumentado
(Costa & Sodré, 2011)	E22	10	12	20,00%
(Yücesu, Melih, Tolga, & Can, 2006)	E40 – E60	8	13	62,50%
(Wei - Dong, Rong - Hong, Tsung - Lim, & Ta - Hui, 2002)	E0 – E30	9,5		
(Bahattin, 2008)	E50	6	10	66,67%
(Eyidogan, Ozsezen, & Canakci, 2010)	E10		10,4	
(Park, y otros, 2010)			10	
(Topg�l & H�seyin, 2006)	E20	5	10	100,00%
(Wu, Chen, Pu, & Lin, 2004)	E0 – E50			
(Schifter, Gómez, & Gonzales, 2013)	E0 – E40		10,5	
(Wu, y otros, 2011)	E0 –E100		11,5	
(Kumar, Trivedi, Mahara, & Butola, 2013)	E5 – E20		9,2	
(ÇENGEL & BOLES, 2011)	E0 – E100	9,5	11	15,79%
(Gavira, 2009)	E10 – E85	12,5	14	12,00%
PROMEDIO				46,20%

Tabla 7. Listado porcentual del aumento de la R.C. según la bibliografía consultada.

Al promediar dichos porcentajes, se encuentra que un aumento de RC adecuado es del 46,20% en relación con el inicial que tenga el vehículo, en el caso del MCI Honda GX – 35 la RC1 es de 8:1, por lo cual la RC2 debería ser, aproximadamente, de 11.6:1, aumento que se dificulta al considerar el tamaño del motor y el material que se debe agregar al pistón o modificaciones a toda la cámara de combustión. Para esto, se realizan los siguientes cálculos, en donde se toma en cuenta el volumen de la cámara de combustión y la relación de compresión a la que se quiere llegar.

En la tabla 8, se tabulan los cambios de RC con las ecuaciones 8, 9 y 10 y los datos de la tabla 4, en donde se especifican los parámetros geométricos del motor: Con la ecuación 8, se encuentra el volumen de la cámara de combustión inicial, diferenciado con el subíndice i - V_{Ci} . Recordando que el inicial es con una RC1 = 8.

$$RC = \frac{V_D + V_{Ci}}{V_{Ci}}$$

$$\therefore 8 = \frac{V_{Ci} + 35,85}{V_{Ci}}$$

$$V_{Ci} = \frac{V_{Ci} + 35,85}{8}$$

$$V_{Ci} \left(1 - \frac{1}{8}\right) = \frac{35,85}{8}$$

$$V_{Ci} = \frac{\frac{35,85}{8}}{\left(1 - \frac{1}{8}\right)}$$

$$V_{Ci} = 5,12 \text{ cm}^3$$

Para hallar el volumen de la cámara con una relación de compresión x , se realiza el mismo procedimiento y de ese resultado se saca el volumen a ganar en la cámara, entendiendo como V_w el volumen con cualquier RC2 diferente a 8: 1, de la siguiente manera se realiza el cálculo:

Ecuación 12. Diferencia de volumen de la cámara de combustión.

$$V_w \cdot V_8 - V_x$$

Donde

V_t : Volumen total, Volumen desplazado.

V_w : Volumen a ganar, aumentando la carrera del pistón.

V_8 : Volumen inicial, con RC = 8.

L : Longitud a añadir a la superficie del pistón, calculada con la ecuación 13

V_c : Volumen de la cámara con la relación de compresión de la primera columna.

Ecuación 13. Longitud del pistón.

$$L = \frac{4V_w}{\pi D^2}$$

AUMENTO DEL VOLUMEN DEL PISTÓN CON RESPECTO A LA RELACIÓN DE COMPRESIÓN					
R.C	Vt [cm ³]	Vc [cm ³]	Vw [cm ³]	L [cm]	L [mm]
8	36,58	5,2257	0,0000	0,0000	0,0000

9,12	36,58	4,5049	0,7208	0,0603	0,6034
9,5	36,58	4,30353	0,9222	0,0772	0,7720
9	36,58	4,5725	0,6532	0,0547	0,5468
10	36,58	4,0644	1,1613	0,0972	0,9721
11	36,58	3,6580	1,5677	0,1312	1,3123
12	36,58	3,3255	1,9003	0,1591	1,5907
13	36,58	3,0483	2,1774	0,1823	1,8227
14	36,58	2,8138	2,4119	0,2019	2,0190
15	36,58	2,6129	2,6129	0,2187	2,1872
16	36,58	2,4387	2,7870	0,2333	2,3331
17	36,58	2,2863	2,9395	0,2461	2,4606

Tabla 8. Aumento del volumen del pistón con respecto a la relación de compresión

Con los datos anteriores se manda a construir un nuevo pistón, en Duraluminio 7075, con las siguientes dimensiones, para ver el plano completo ir al anexo A:

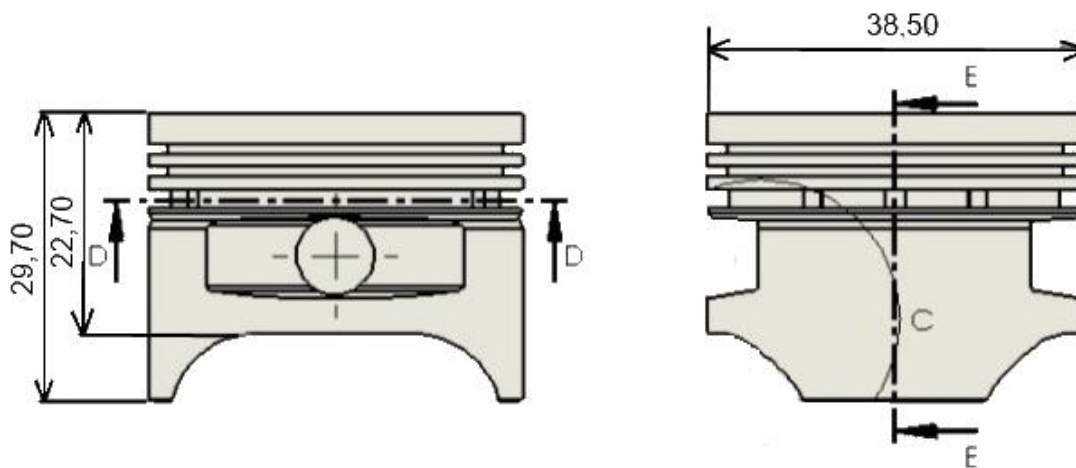


Figura 9. Dimensiones generales del pistón a construir con R.C. = 9.5.

Como se decía anteriormente el autoencendido del combustible es uno de los posibles problemas que se pueden presentar al aumentar la relación de compresión, este consiste en la inflamación espontánea de la mezcla sin necesidad de que intervenga la chispa eléctrica de la bujía. Su peor y más nocivo defecto consiste en que esta explosión se produce en cualquier momento, sin ninguna posibilidad de control y, por supuesto, sin que el pistón se halle en su PMS (punto muerto superior), como es necesario para hacer la combustión.

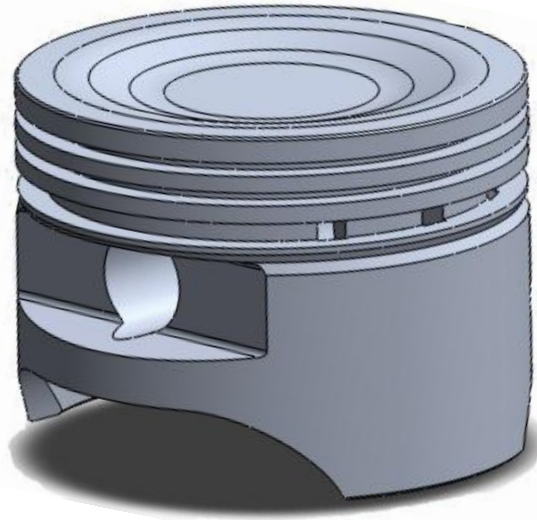


Figura 10. Pistón original el MCI Honda GX – 35.

Cuando se presenta la auto detonación o autoencendido el combustible, la cámara de combustión está sometida a esfuerzos bastante grandes que podrían ocasionar daños al interior de ella y en todos los componentes, como en el pistón, la biela y el cigüeñal. Sin embargo, el etanol tiene mucho más octanaje que la gasolina, por lo cual este problema no se debería presentar.

El mayor inconveniente al realizar un aumento de 1.31 mm al pistón para obtener una R.C 11:1, es la geometría de la cámara de combustión, pues al hacer un pistón tan grande, existiría una interferencia entre el pistón y las válvulas, por lo cual se fabrica un pistón que permita aumentar la R.C. a 10.5:1. El pistón inicial tiene una altura de 28.5 mm, mostrado en la figura 10 (para ver plano completo ir al anexo B), por lo cual se fabrica un nuevo pistón con altura de 29.65 mm. Dicha medida no es completamente exacta por el método de fabricación, que es en un torno convencional, por lo que el pistón queda con una altura final de 29.7 mm.



Figura 11. Interior de la cámara de combustión.

5.2. Inyección electrónica.

La segunda modificación que se le debe realizar al MCI, es pasar de carburador a inyección electrónica, proceso que se realiza con ayuda de una ECU, cuerpo de aceleración, tanque presurizado de combustible y varios sensores montados en el equipo.

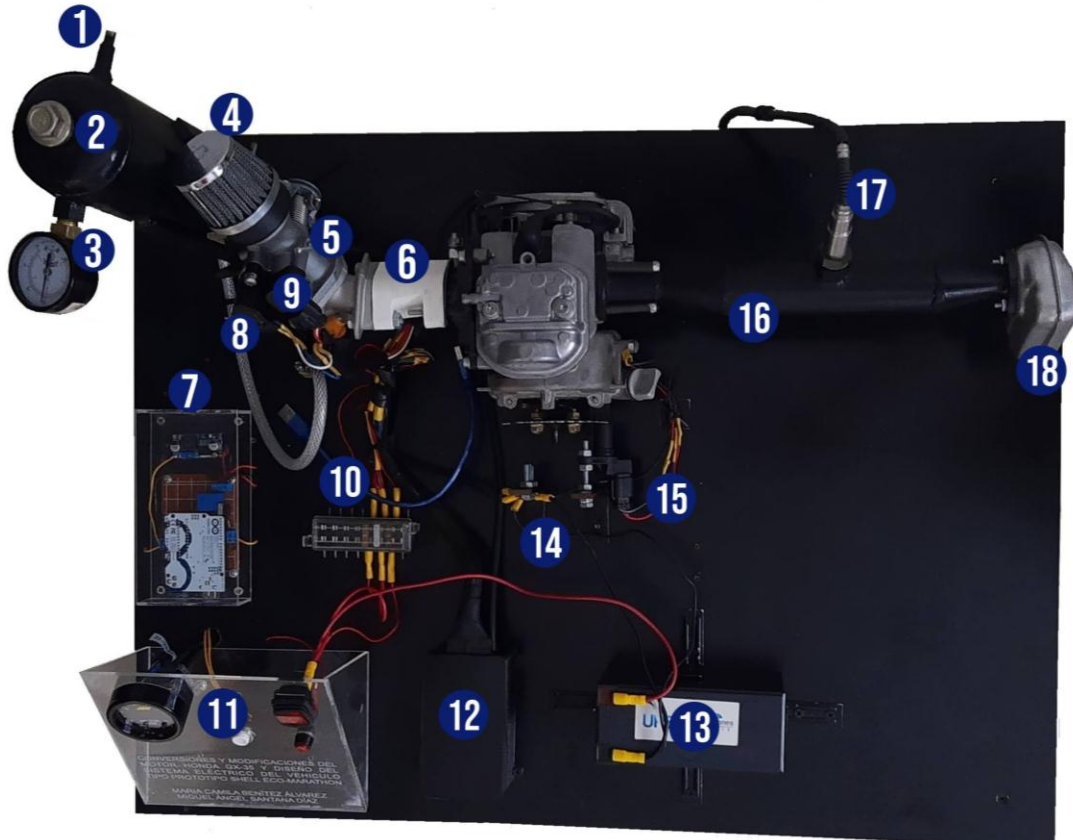


Figura 12. Montaje del motor Honda GX-35.

- | | |
|--|-------------------------|
| 1. Válvula sellomatic. | 10. Portafusibles. |
| 2. Tanque de combustible. | 11. Tablero de control. |
| 3. Manómetro seco. | 12. ECU. |
| 4. Filtro de aire. | 13. Batería. |
| 5. Cuerpo de aceleración. | 14. Barra de masas. |
| 6. Conector del cuerpo de aceleración y motor. | 15. CKP. |
| 7. Sistemas de emergencia. | 16. Exosto. |
| 8. Control de mínima. | 17. Sensor de oxígeno. |
| 9. TPS. | 18. Silenciador. |

5.2.1. ECU

La ECU (Engine control unit) es la unidad de control electrónico que regula el motor. Es el corazón del sistema electrónico compuesto por sensores y actuadores que informan a la unidad central y ésta envía la orden necesaria a los actuadores. La función de los sensores es la de registrar diversos parámetros sobre el funcionamiento del vehículo y el motor, tales como revoluciones del motor, temperatura de los sistemas, posición del acelerador, entre otras. La utilizada en el motor Honda

GX-35 es la GNV Performance EMS, que consiste en todo un sistema de gestión electrónica para aplicaciones especiales de bajo costo y completamente configurable. Elegida principalmente por la opción que brinda para conversión a inyección electrónica. Todo el manual de operación se encuentra en la bibliografía. (GNVPerformance). En la figura 13 se presenta el circuito electrónico de conexión del sistema (ver anexo C).

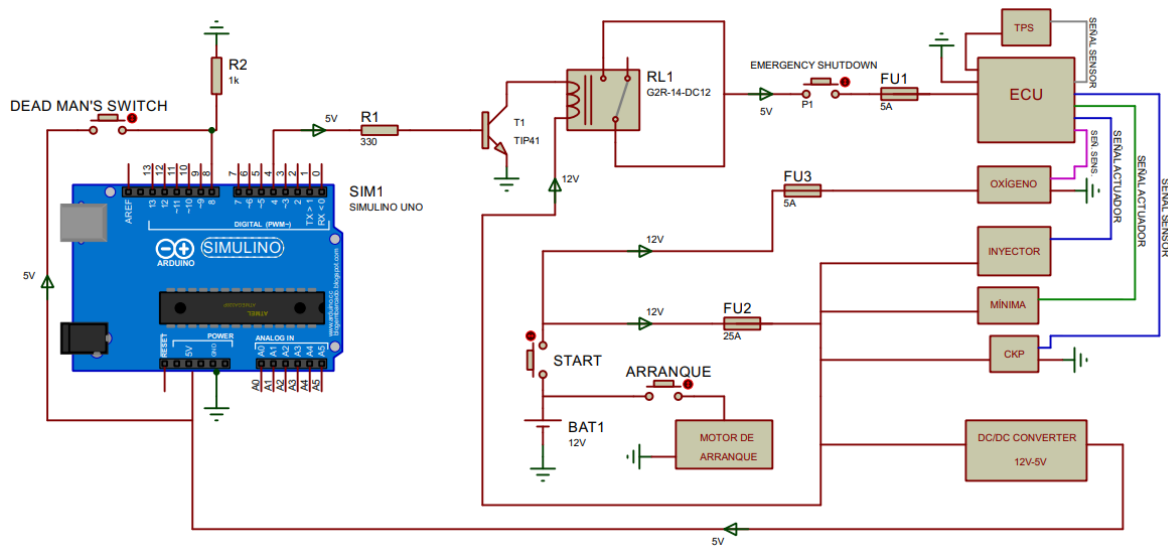


Figura 13. Circuito eléctrico de conexión - ECU.

Para controlar la operación de la ECU se utiliza un software llamado Tuner Studio MS. En el cual se pueden modificar los parámetros de acuerdo con la lectura de los sensores, además de visualizar en tiempo real el funcionamiento de todo el sistema.

5.2.2.1. CKP

Crankshaft position sensor.

Sensor de la velocidad de giro del motor y la posición del cigüeñal, sensa a través de una rueda dentada con dientes faltantes, ubicada en este caso, en el cigüeñal. Con el fin de enviar la señal a la computadora informándole la posición en la que se encuentran tanto las válvulas como los pistones, para garantizar la sincronización y enviar el pulso de inyección. La rueda dentada instalada en el proyecto consta de 30 dientes, con 2 faltantes, lo que lee el sensor es cada metal, hasta llegar a los dos dientes faltantes que le indican que ha pasado un giro del cigüeñal.

5.2.2.2. TPS

El sensor TPS ó Sensor de posición de aceleración (Throttle position sensor) se encarga de monitorear la posición de la mariposa del cuerpo de aceleración hacia el motor, entregando una señal a la ECU. El cual, informa al sistema de control el requerimiento del piloto.

5.2.2.3. Sensor de oxígeno

Es un sensor Lambda, componente sensible e importante en cualquier automóvil, fabricado en un tubo de circonio cerámico, cubierto por ambos lados con una capa de platino. Mide la concentración de oxígeno que hay en el tubo de escape; convierte la cantidad de oxígeno de los

gases que produce la combustión, en una señal eléctrica, luego la ECU lee la señal para comparar y evaluar si la mezcla Aire – Combustible es la adecuado, en caso de no estarlo, se puede corregir desde la ECU de la siguiente manera: si hay mucho oxígeno en los gases de escape aumenta el tiempo de inyección. (Electronics, 2019)

5.2.2.4. Inyector

Es un actuador que se encarga de inyectar combustible en el cuerpo de aceleración. Actúa de acuerdo con la señal enviada por la ECU.

5.3. Cuerpo de aceleración

El cuerpo de aceleración es el sistema encargado de controlar la entrada de aire hacia el múltiple de admisión a través de una mariposa que abre y cierra conforme se pisa el acelerador. La función es admitir la cantidad adecuada de aire en relación de lo que se inyecta de gasolina, el cuerpo seleccionado se presenta en la figura 14.

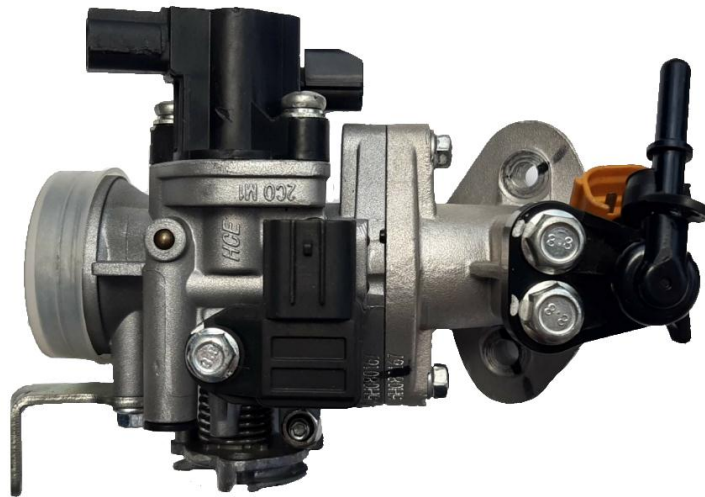


Figura 14. Cuerpo de aceleración instalado en el motor Honda GX - 35.

5.3.1. Pieza de conexión entre el cuerpo de aceleración y el motor.

Para poder realizar el acoplamiento del cuerpo de aceleración con el motor, se diseña una pieza conectora, puesto que realizar un acoplamiento directo entre ambas partes no es factible por la geometría de ambas partes. En la figura 15 se presenta la manera en la que se pretende acoplar el motor al cuerpo de aceleración, con esta disposición y con los siguientes requerimientos, se realiza un diseño en el programa Rhinoceros 5, el resultado se presenta en la figura 16.

1. Buscar el mejor posicionamiento del cuerpo de aceleración y del motor, para facilitar el diseño de la pieza y la conexión de estas.
2. Realizar una buena representación de las piezas involucradas para lograr un diseño muy cercano a lo real.
3. Funcionalidad estructural de la pieza con el fin de que soporte de la mejor manera las cargas a las que será sometida.

4. Facilidad a la hora de ensamblar la pieza en el montaje, teniendo en cuenta principalmente los elementos de sujeción que contiene el ensamble



Figura 15. Posicionamiento preliminar de las piezas involucradas para ilustrar los requerimientos de la pieza a diseñar.

La pieza diseñada, mostrada en la figura 16, se imprime en 3D y es fabricada en un material llamado PLA a base de almidón (Ver anexo D). Se refuerza con cuatro capas de material al 70% de relleno. Se eligió este material por sus características y por disponibilidad.

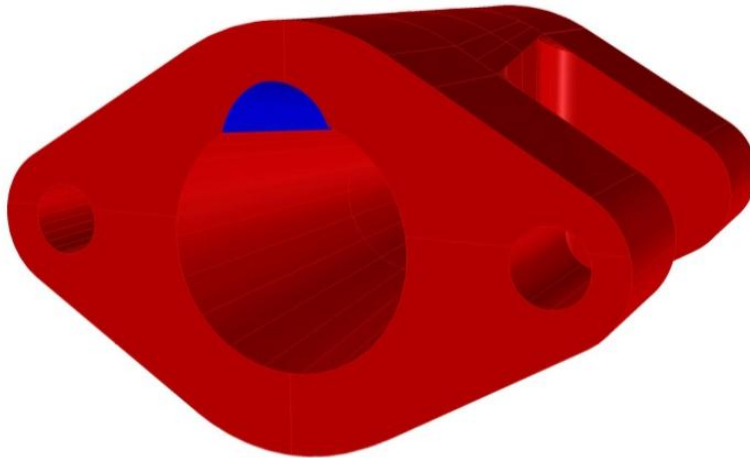


Figura 16. Vista isométrica de la pieza diseñada para el acople entre el motor y el cuerpo de aceleración. Ver Anexo E yF.

5.3.2. Filtro de aire.

Se utiliza un filtro de aire para evitar que partículas externas ingresen al cuerpo de aceleración, obstruyendo así el proceso de combustión. De acuerdo con la geometría del cuerpo de aceleración se seleccionó este filtro de aire, además de cumplir con las necesidades requeridas y ser de fácil adquisición, se presenta en la figura 17.



Figura 17. Filtro de aire del cuerpo de aceleración.

5.4. Tanque de combustible.

El tanque de combustible es un elemento fundamental para el suministro de combustible al motor, en el artículo 61 de las reglas de SEM, especifican que los organizadores aprueban y suministran los tanques a cada participante, pues deben cumplir con la certificación APAVE. Al no ir a la competencia, se buscan nuevas alternativas que cumplan igualmente el reglamento, en especial el artículo 62, que exige lo siguiente:

- ✓ Proporcionar una descripción y un dibujo técnico preciso del sistema de suministro de combustible del tanque al motor.
- ✓ Diseñado para que pueda drenarse y rellenarse completamente.
- ✓ Sistema de presurización debe estar equipado con un manómetro y la presión de funcionamiento normal debe estar claramente marcada en el manómetro.

Como alternativa, se encuentra un extintor que cumple con todas las características mencionadas anteriormente, se perfora en la base para instalar un racor que irá conectado a la manguera de suministro de combustible, la cual es de 5 mm de diámetro interno, un manómetro seco con rango de 0 – 60 psi es instalado en una pared del tanque, un racor rápido de 21 mm se utiliza como tapa, una válvula de neumático para inyectar aire al tanque y presurizarlo se instala en otra pared de éste.

5.5. Bobina magnética.

Funciona de acuerdo con las vueltas dadas por la volante inercia, la cual, posee en su estructura unos imanes que se encargan de generar un campo magnético que genera la corriente necesaria para encender la bobina y así producir la chispa que envía a la bujía para realizar la combustión, en la siguiente figura se presenta la bobina magnética.



Figura 18. Bobina de inducción magnética.

CAPÍTULO VI

6.1. Motor de arranque

El motor de guadaña Honda GX-35 está provisto de un arranque tipo recoil start o yoyo, el cual se hala de una cuerda para así vencer la inercia y arrancar el motor. En el artículo 64 de las reglas del SEM, se especifica claramente que se debe usar un arranque eléctrico, prohibiendo el inicio manual.

Por las dimensiones propuestas para el vehículo tipo prototipo, se contempla la posibilidad de utilizar un arranque de moto, se encuentra el de una moto FZ-16, del cual se pueden conseguir las siguientes especificaciones y se presenta en la figura 19:

- ✓ **Tensión de operación:** 12 V.
- ✓ **Rotación:** Sentido antihorario.
- ✓ **Número de dientes:** 9



Figura 19. Motor de arranque FZ - 16.

Al realizar las pruebas iniciales al MCI, se observa que el motor de arranque no tiene la suficiente capacidad para encenderlo y en consecuencia sobrecalienta el sistema. Experimentalmente, se realiza una prueba conectando dos baterías en serie para aumentar la potencia del motor de arranque, como resultado, el sistema vuelve a presentar un sobrecalentamiento y el corre el riesgo de dañarse por llevarlo a sus límites de operación, al igual que todos los componentes electrónicos del sistema, por lo que se desiste de realizar esta instalación. (ver anexo G).

Dicho lo anterior, se tiene completa certeza de que el motor de arranque por sí solo no realiza una buena transmisión de movimiento al eje del cigüeñal del MCI Honda GX – 35 para iniciar su funcionamiento, por lo que se hace necesario un bendix que permita aumentar el torque y transmitir el movimiento sin tener que estar acoplado en todo la operación del MCI. Esta instalación no se realiza en el trabajo debido a falta de presupuesto. En la figura 20, se muestra el Bendix que se debe adquirir para realizar la puesta a punto e instalación del motor de arranque, este elemento permitirá transmitir el movimiento de manera sencilla y así, encender el motor sin necesidad de intervenciones manuales, como la realizada en la prueba final, en donde se utilizó un taladro para simular el movimiento del arranque eléctrico.



Figura 20. Bendix para el motor de arranque de una moto.

La rueda que sale del motor de arranque le transmite el movimiento al piñón de mayor diámetro del Bendix, quien al girar expande un resorte que mueve toda la parte delantera para acoplarla y transmitir el movimiento al eje del cigüeñal, al que se le haría una adecuación con una rueda dentada, tal como se muestra en la figura 21.

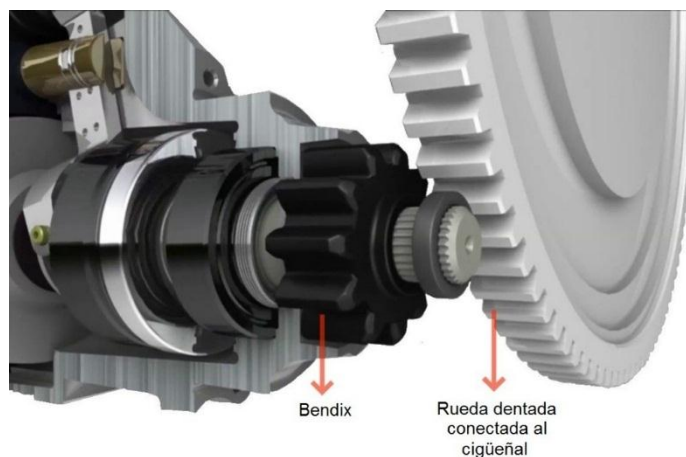


Figura 21. Sistema de embrague del motor de arranque.

Como sustituto del motor de arranque, se utiliza un taladro eléctrico que permite mover la volante de inercia a unas 3000 – 4000 rpm, velocidad suficiente para generar corriente en la bobina y mandar la chispa a la bujía, esta praxis se hace necesaria para solucionar los inconvenientes por no poder adquirir el bendix para el motor de arranque.

6.2. Sistemas de emergencia.

6.2.1. Dead man's switch

En los vehículos de competencia, se utiliza un sistema de emergencia que es necesario oprimir cada cierto tiempo o mantener pulsado, en caso contrario se activa una alarma que indica que ha ocurrido un accidente con el conductor, este interruptor puede apagar por completo el vehículo o alguno de sus sistemas. El sistema se ha extendido a todo tipo de maquinarias con riesgo de provocar accidentes si su controlador se desvaneciera o ausentara. De acuerdo con el reglamento de la SEM, en el artículo 37, numeral h, se especifica lo siguiente:

“Además de los dispositivos anteriores, todos los vehículos deben estar equipados con un "dispositivo de seguridad del hombre muerto" o a veces denominado "control de presencia del operador". El propósito de este dispositivo es garantizar que en caso de que el conductor quede incapacitado la potencia de propulsión del vehículo sea desconectada automáticamente (regresa a una condición inactiva). Este dispositivo puede consistir en un acelerador manual accionado por resorte o una palanca de pedal. Se permite un interruptor de hombre muerto eléctrico si el interruptor está ubicado en el volante. Si se utiliza un interruptor eléctrico, el conductor debe tener contacto directamente (por ejemplo, con el pulgar o el índice) durante la conducción”.

- i. Este dispositivo es un interruptor separado de los mecanismos necesarios de "parada de emergencia" identificados en el Artículo 37: a).
- ii. Si un vehículo con prototipo ICE está diseñado con una WOT (Mariposa totalmente abierta), el interruptor del hombre muerto debe apagar el sistema de ignición.

En base a esto, se diseña un sistema que le exige al piloto presionar un botón durante toda la carrera, para que el motor funcione. Con el fin de que sí el piloto se desmaya durante la carrera, se suspenda el suministro de combustible al motor y se apague. En caso de que se deje de pulsar el botón, se consideró un tiempo de 2 segundos para que se corte el suministro de corriente y se apague todo el sistema, quedando inhabilitado. Por ergonomía este pulsador va a estar ubicado en el volante, para facilidad de manejo del vehículo. Se utilizó una placa de microcontrolador Arduino Uno, con el fin de desarrollar el programa que permita cumplir las exigencias de seguridad del reglamento. Para ello, se realiza el código de la figura 22.

```
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(8, INPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  int estado = digitalRead(8);
  while(estado==HIGH)
  {
    digitalWrite(4, HIGH);
    estado = digitalRead(8);
  }
  estado= digitalRead(8);
  if(estado==LOW)
  {
    delay(2000);
    estado= digitalRead(8);
    if(estado==LOW)
    {
      digitalWrite(4, LOW);
    }
  }
}
```

Figura 22. Código para programación Arduino Uno. Sistema de hombre muerto.

Para el circuito electrónico se utilizará un transistor TP41 (ver anexo H) para controlar electrónicamente el paso de corriente hacia la ECU, además este transistor soporta 6A en la línea del colector. Para poder hallar el valor de la resistencia del transistor (R_1), se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 14. Ecuación resistencia del transistor.

$$R_1 = \frac{V_B - V_{BE}}{I_C} * \beta$$

En donde:

V_B : Voltaje de la base

I_C : Corriente del colector.

V_{BE} : Voltaje entre la base y el emisor.

β : Beta del transmisor

En este caso se utilizará:

- ✓ $V_B = 5V$, ya que ese es el valor que requiere de voltaje el Arduino.
- ✓ $V_{BE} = 0.7V$
- ✓ $I_C = 6A$, debido a que es el valor máximo de corriente que posee el componente.
- ✓ $\beta = 150$, ya que normalmente su valor puede oscilar entre 130 y 170, por lo que se utilizó un promedio.

$$R_1 = \frac{5V - 0.7V}{6A} * 150 = 107.5 \Omega$$

Por lo tanto, se utilizó una resistencia de 330Ω debido a que está por encima del límite requerido y fue de fácil adquisición. También se empleó un relé de 5 pines y 12 V para controlar y aislar la ECU del circuito (ver anexo I). Además, se usó una resistencia pull down para que el Arduino pudiera leer el estado lógico que le envía el pulsador. Finalmente se necesitó un módulo regulador conversor DC / DC para poder alimentar el Arduino con la batería de 12V , como muestra el esquema de la figura 23 (ver anexo J).

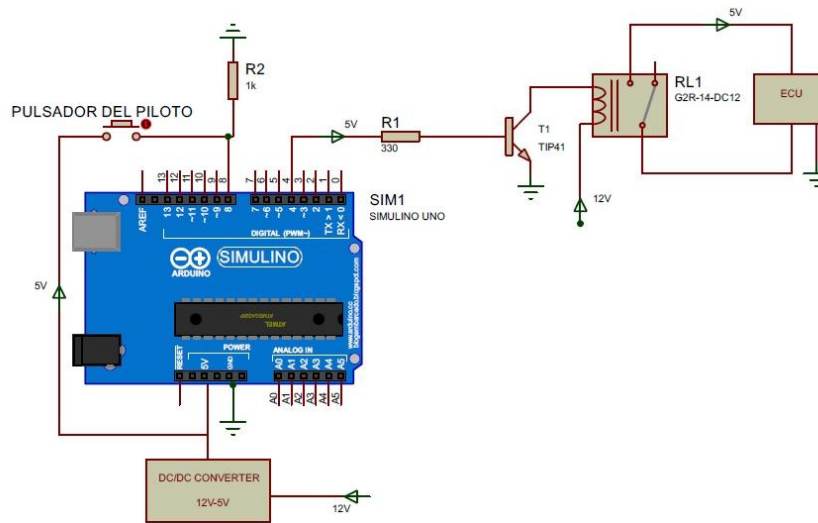


Figura 23. Esquema del circuito electrónico del sistema de hombre muerto.

6.2.2. Emergency shutdown

A la hora del diseño del sistema se tuvo en cuenta la información del artículo 37 del reglamento de la SEM, el cual dice lo siguiente:

- ✓ El propósito del sistema de apagado de emergencia es desactivar el sistema de propulsión del vehículo. Los diferentes tipos de sistemas de propulsión requieren diferentes medidas para lograr esto.
- ✓ Los motores de encendido por chispa (gasolina, etanol) requerirán que el mecanismo de apagado de emergencia apague la ignición. No es necesario aislar la batería accesoria.
- ✓ Debe haber un mecanismo de apagado interno y externo.
 - i. El mecanismo interno de apagado de emergencia es para el uso del conductor y puede diseñarse de manera efectiva.
 - ii. El mecanismo externo de apagado de emergencia debe estar en la parte trasera del vehículo y permanentemente instalado en una parte no desmontable de la carrocería.
 - iii. Una etiqueta estándar (triángulo azul con arco eléctrico rojo) proporcionada por el organizador debe colocarse en la carrocería del vehículo para indicar claramente la posición exterior del actuador de parada de emergencia.
- ✓ El mecanismo de apagado de emergencia externo debe lograrse mediante un botón pulsador rojo, que solo puede reactivarse girándolo. Las palancas de empuje/tracción no son aceptadas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se eligió un botón que exige pulsarlo dos veces para poder volver a su estado original, ya que no se encontró el exigido por el reglamento. Este pulsador se encarga de cortar el suministro de combustible para poder apagar el motor.

6.3. Batería

La batería se selecciona de acuerdo al artículo 57, en el cual dice lo siguiente:

Por razones de seguridad, la tensión máxima a bordo de cualquier vehículo en cualquier punto no debe exceder 48 Voltios nominales y 60 Voltios máx. (Esto incluye baterías a bordo, baterías externas, supercondensadores, etc).

- a) Para todos los vehículos, solo se permite una batería a bordo.
- b) La batería debe instalarse fuera del compartimento del conductor detrás del mamparo. (Ver Artículo 27 :) Las baterías montadas directamente debajo del asiento del conductor están prohibidas.
- c) Todas las baterías y supercondensadores deben estar protegidos contra cortocircuitos. La protección puede ser en forma de fusible, eslabón fusible o dispositivo de interrupción de corriente (disyuntor). No se permiten dispositivos de interrupción de la corriente de reenganche automático. Los dispositivos de protección contra cortocircuitos deben ubicarse en el conductor positivo y lo más cerca posible, o como máximo a 300 mm del terminal positivo de la batería o super capacitor. La clasificación del dispositivo de protección contra cortocircuitos debe ser tal que la batería o el Supercondensador puedan suministrar suficiente corriente de cortocircuito en todo momento para abrir el dispositivo. Para vehículos con un motor de arranque, NO es necesario que el cable del motor de arranque esté protegido.

- d) Por razones de seguridad, tanto los circuitos positivos como negativos de la batería de propulsión (para vehículos eléctricos de batería) o Supercondensadores deben aislarse eléctricamente de la carrocería y el chasis del vehículo o de cualquier componente metálico del vehículo.
- e) Todos los circuitos eléctricos del vehículo deben estar protegidos contra sobrecargas eléctricas. La protección de sobrecarga puede ser en forma de límites de corriente fijos dentro de controladores eléctricos o mediante la inserción de fusibles de circuito individuales.

Teniendo en cuenta lo anterior, se eligió una batería de plomo ácido con las siguientes características:

- ✓ **Voltaje por unidad: 12V**
- ✓ **Capacidad nominal: 9 Ah 460 W en 5 min a 1,6 V por celda a 25 °C.**
- ✓ **Peso: 2.5 kg**
- ✓ **Fabricante: CSB Hitachi.**
- ✓ **260 ciclos de 100% de descarga.**

Se seleccionó esta batería porque satisface la necesidad energética del sistema, es liviana y fue de fácil adquisición, los planos se presentan en la figura 24.

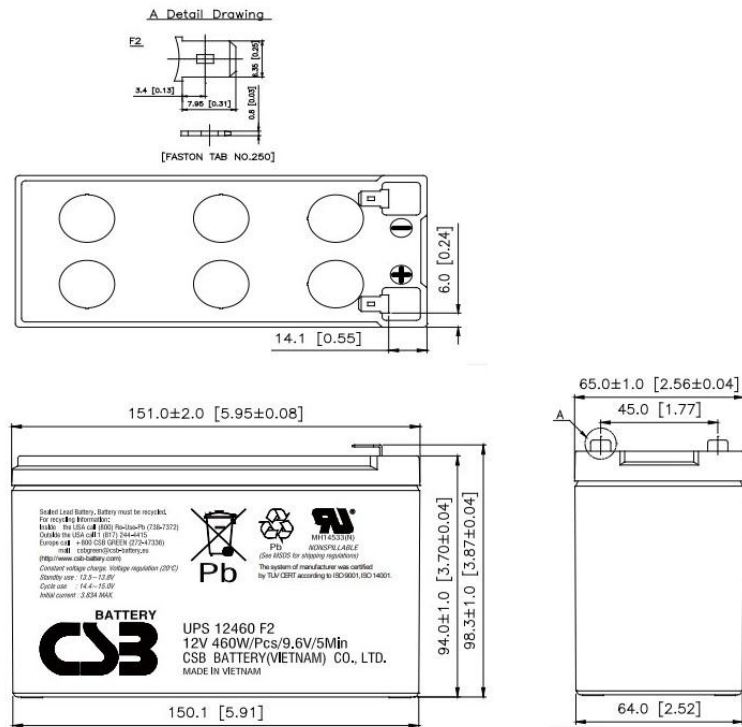


Figura 24. Planos de la batería de plomo ácido.

CAPÍTULO VII

7.1. Tuner Studio

La configuración de la ECU se realiza con el software Tuner Studio, desde el cual se puede programar el encendido, la inyección, la velocidad, la mezcla de aire - combustible, la apertura de la mariposa, entre otras variables que se consideren de importancia en las diferentes aplicaciones. Cuenta también con una interfaz que permite monitorear en tiempo real la operación del motor. (GNVPerformance)

7.1.1. Configuración de las variables de operación.

Para realizar la puesta a punto del MCI Honda GX – 35 trabajando con etanol, se utiliza la configuración mostrada en la figura 25, en donde se especifica el tipo de motor, tipo de sensor utilizado para controlar el acelerador, número de inyectores y número de cilindros.

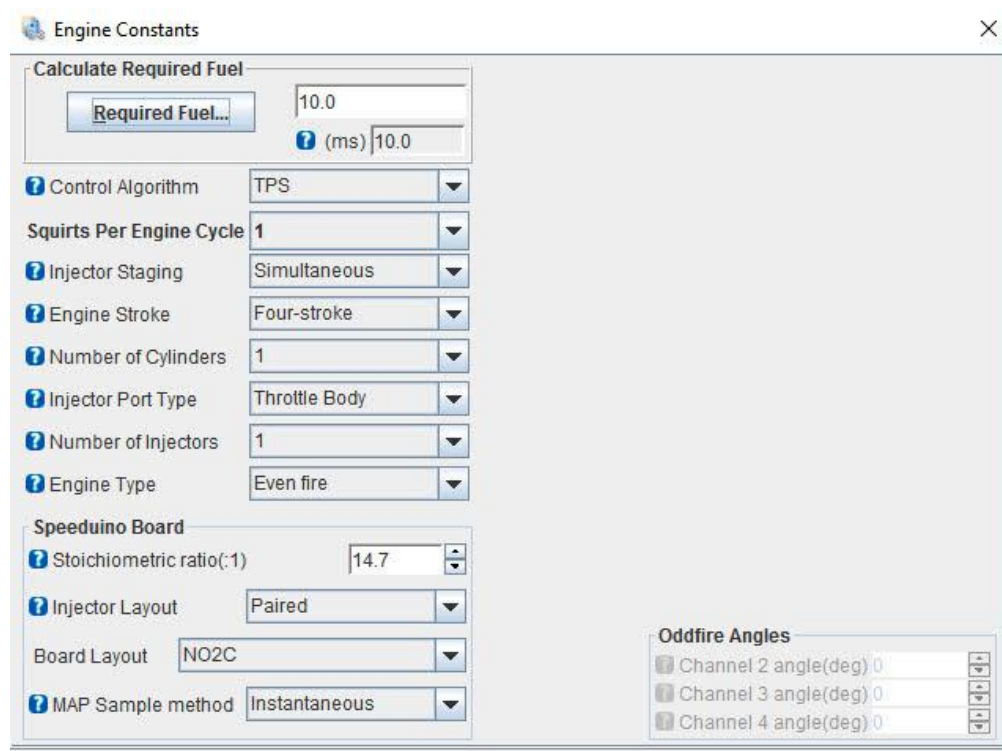


Figura 25. Constantes del motor, configuración Tuner Studio

Se utiliza una rueda dentada Missing Tooth, la cual cuenta con 30 dientes y 2 faltantes y está ubicada en el cigüeñal, esta configuración recibe el nombre de Crank Speed. El ángulo de referencia de la rueda dentada se toma desde el diente 0 hasta el diente en donde el pistón se ubique en el punto muerto superior (PMS), en este caso este ángulo es de 90°. Se utiliza la configuración de la figura 26.

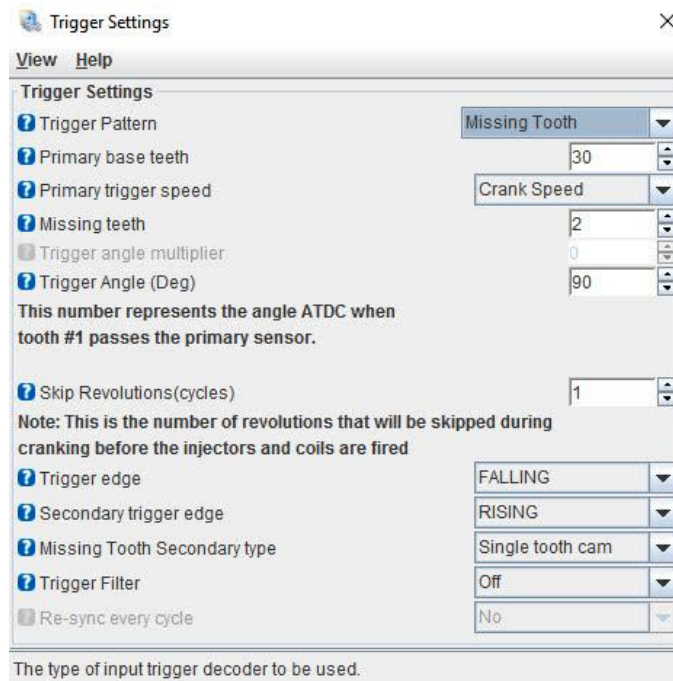


Figura 26. Configuración rueda dentada.

El MCI Honda GX – 35 se logra encender con la configuración inicial antes mostrada, sin embargo, las pruebas que se realizan son básicas, de funcionamiento sin carga, puesto que no fue posible acceder a los laboratorios de la Universidad Tecnológica de Pereira para montar el equipo en un banco de pruebas.

7.2. Resultados Obtenidos.

La configuración del MCI se realiza con los parámetros de operación que debería tener para gasolina, por lo que los datos obtenidos deben ser comparados con este combustible. En la figura 27, se muestra la tabla de AFR, es decir, de relación de aire – combustible, presente en el proceso de combustión. Se puede observar que en la mayoría del proceso está siendo estequiométrica de 14.7: 1, esta relación significa que por cada 14.7 partes de aire se inyecta 1 parte de combustible. Cuando hay más aire que combustible, se le domina una mezcla pobre, por lo que se hace necesario inyectar más combustible. Esta tabla se presenta conforme la apertura de la mariposa.

Dicha inyección de combustible se controla mediante la ECU, que recibe la información del sensor de oxígeno, ubicada en el exosto, y de acuerdo con esta medida, envía la señal al inyector para aumentar o disminuir el tiempo de inyección básico, además de evaluar condiciones de carga para saber qué apertura de la mariposa es la más adecuada.

En la figura 28, se encuentra el mapa de combustible principal o tabla de eficiencia volumétrica, que corresponde a la capacidad del motor para hacer fluir aire en el cilindro a esa apertura de la mariposa y a un régimen de giro específico. Se encuentra que, en la zona de ralentí, 2000 a 4500 rpm, y con una apertura de la mariposa del 50% se obtiene una VE = 34%, se espera que la mayor VE se encuentre en el régimen de par máximo.

AFR Table

View Tools

f u e l o a d %	250	11.0	11.0	10.9	10.9	10.9	10.8	10.8	10.8	10.7	10.7	10.7	10.6	10.6	10.6	10.5	10.5
	200	12.1	12.1	12.0	12.0	11.9	11.8	11.8	11.7	11.7	11.6	11.6	11.5	11.4	11.4	11.3	11.3
	150	13.2	13.1	13.0	13.0	12.9	12.8	12.7	12.6	12.6	12.6	12.4	12.3	12.2	12.1	12.0	11.9
	100	13.5	13.5	13.4	13.4	13.4	13.3	13.3	13.3	13.2	13.2	13.2	13.1	13.0	12.8	12.7	12.5
	96	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.6	13.6	13.6	13.5	13.5	13.5	13.4	13.3	13.2	13.0	12.9
	90	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	13.9	13.8	13.7	13.6	13.5
	86	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.2	14.0	13.9	13.7	13.5
	80	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.4	14.2	13.9	13.6
	70	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.5	14.2	14.0	13.7
	60	14.6	14.6	14.6	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.5	14.3	14.0	13.8
	50	14.6	14.6	14.6	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.5	14.3	14.0	13.8
	40	14.5	14.5	14.5	14.6	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.5	14.3	14.1	13.9
	36	14.5	14.5	14.5	14.6	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.5	14.4	14.2	14.0
	30	14.3	14.3	14.3	14.5	14.7	14.7	14.7	14.7	14.8	14.8	14.8	14.8	14.6	14.4	14.2	14.0
	26	14.2	14.2	14.2	14.5	14.7	14.7	14.7	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.9	14.9	14.9
20	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.8	14.8	14.8	14.8	14.9	14.9	14.9	14.9	15.0	15.0	
	↩	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000
		rpm															

Figura 27. Tabla factor Lambda (AFR)

VE Table

View Tools Help

VE Table

F u e l o a d :	100	45	47	48	50	51	53	54	55	57	58	60	66	68	67	63	60	
	96	46	47	49	50	51	53	54	54	55	56	58	62	64	63	59	56	
	90	45	48	50	50	52	52	53	53	54	55	57	59	58	54	50		
	86	45	48	49	50	51	51	52	52	51	51	52	53	54	52	48	44	
	80	45	46	47	48	49	49	50	50	50	49	50	50	50	48	43	38	
	70	43	44	44	45	46	46	46	47	47	47	47	47	47	46	41	36	
	60	40	41	42	42	43	43	43	44	44	44	43	44	44	43	39	35	
	50	37	38	39	39	39	40	40	40	40	40	40	40	40	41	40	37	35
	40	34	35	36	36	36	36	36	37	37	37	37	37	37	38	37	35	33
	30	33	34	35	35	35	35	36	37	37	37	37	37	37	38	37	35	34
	26	33	33	34	35	35	35	36	36	36	36	36	36	36	37	37	35	34
	20	32	33	33	35	35	35	36	36	36	36	36	36	36	37	37	36	35
	16	32	32	32	34	34	34	35	36	36	36	36	36	36	37	36	36	35
	10	31	31	32	34	34	34	35	36	36	36	36	36	36	37	36	36	35
	6	31	31	31	33	33	33	35	35	35	35	35	35	35	36	36	36	36
0	30	30	30	33	33	33	35	35	35	35	35	35	35	36	36	36	36	
	↩	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	
		RPM																

Figura 28. Tabla de eficiencia volumétrica.

CONCLUSIONES

- Se analizó el uso de etanol en vehículos de transporte humano, mostrando una tendencia creciente en el uso de dicho biocombustible, sin embargo, se evidencia que no sustituirá a los combustibles fósiles. En la actualidad Colombia es capaz de reemplazar el 8,6% de la gasolina del país por etanol, pero esto no lo hace un combustible en potencia por la capacidad de producción. Además, para llegar a utilizarlo como fuente única de combustible se requiere hacer cambios en los motores y la industria automotriz no apunta en esa dirección. Se está apostando más por alternativas como el GLP y vehículos eléctricos. Actualmente en Colombia, la gasolina contiene un 8% de etanol carburante, siendo una solución para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Al analizar los cálculos realizados, se requiere que el motor brinde una potencia de 0.259 kW y al analizar las gráficas de la caracterización del MCI con etanol, se observó que el motor brinda una potencia máxima de 0.3829 kW. Por lo tanto, el motor suple las necesidades, pero requiere una operación a mayor régimen para lograr el empuje requerido.
- Se desarrollaron las modificaciones necesarias en el MCI Honda GX-35 para su funcionamiento con etanol, luego de haber realizado una serie de cálculos y análisis determinando las modificaciones óptimas, teniendo en cuenta las características de este. No se pudieron realizar las pruebas al MCI después de las modificaciones realizadas, debido al difícil acceso a los laboratorios de la Universidad, por lo que se recomienda realizarlas en el futuro para verificar la eficiencia de las mejoras realizadas.
- Se diseñaron los sistemas eléctricos y de emergencia del vehículo tipo prototipo Supermilage, de acuerdo con las especificaciones del reglamento de la Shell Eco-marathon 2018. Se utilizó una placa de Arduino uno para controlar de manera óptima y confiable la ECU. Además, se verificó que el Sistema de Dead man's switch sí apagará la ECU después de dejar de pulsar el botón (ubicado en el panel de control) durante 2 segundos. También se realizó una buena instalación y distribución de todo el cableado del sistema para entender más claramente todas las conexiones realizadas.
- Se verificó el funcionamiento del MCI Honda GX – 35 con etanol e inyección electrónica. Utilizando la ECU para poder controlar perfectamente todo el sistema de inyección, modificando los tiempos de inyección de combustible y la relación de aire-combustible. Siendo esta la única prueba que se pudo realizar por los inconvenientes presentados.
- Se intentó utilizar el arranque eléctrico, pero este generaba un sobrecalentamiento en el sistema debido al torque que requiere para mover el MCI. Por lo tanto, se plantea utilizar un bendix que permita aumentar el torque brindado por el motor de arranque y evite su sobrecalentamiento.

RECOMENDACIONES

Considerando las dificultades presentadas para acceder a laboratorios, que impiden realizar puesta a punto y caracterización del MCI con las modificaciones realizadas, se recomienda continuar con el proyecto realizando pruebas en un dinamómetro, con diferentes estados de carga, mezclas de aire y combustible, tiempos de inyección y aceleración, para obtener unas gráficas confiables de potencia, par y consumo específico de combustible, con las que se puede llevar el motor al mejor punto de funcionamiento. En esta práctica también se puede realizar el mapeo de VE y AFR, puesto que los resultados expuestos en el presente trabajo se obtienen con el motor funcionando en vacío.

Por otra parte, se sugiere realizar el montaje planteado para el motor de arranque, lo que permitirá la adecuación del MCI en el vehículo Supermileage, para la adquisición de estos elementos se recomienda buscar en talleres especialistas en motos, es de suma importancia realizar esta instalación para cumplir con el reglamento de la SEM.

BIBLIOGRAFÍA

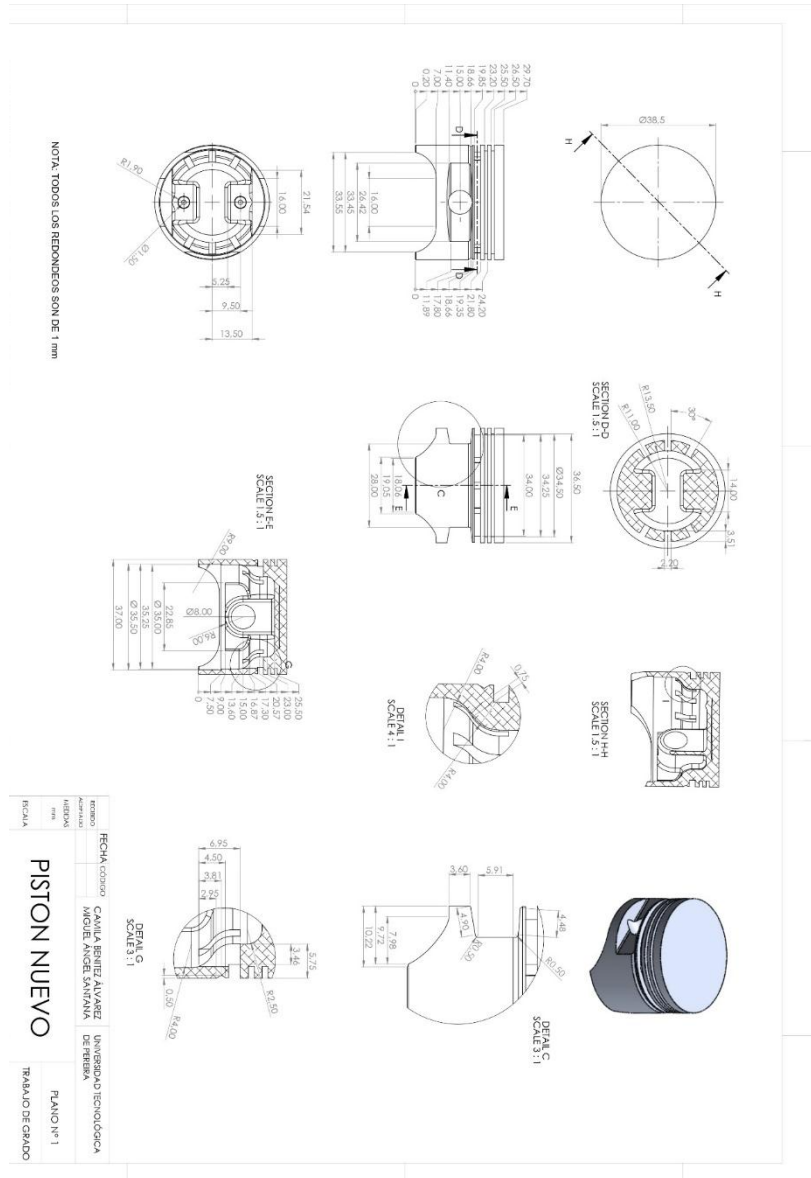
- Bahattin, C. (2008). Experimental determination of suitable ethanol–gasoline blend rate at high compression ratio for gasoline engine. *Applied Thermal Engineering*, 396 - 404.
- Cadena, Á. I., Gonzáles, O. V., & Baéz, O. (2014). Eficiencia energética en Colombia, estrategias y metas. *Eficiencia energética en Colombia*, (p. 34). Bogotá.
- ÇENGEL, Y. A., & BOLES, M. A. (2011). *Thermodynamics: An Engineering Approach*. (7ta. edición ed.). Ed. McGraw-Hill: Boston., doi:ISBN: 007352932
- Cerpa, M. G. (n.d.). Producción del etanol Anhidro como aditivo para la gasolina a partir de la caña de azúcar.
- Costa, R. C., & Sodré, J. R. (2011). Compression ratio effects on an ethanol / gasoline fuelled engine performance. *Applied Thermal Engineering*, 31.
- Electronics, A. P. (2019). Manual instructivo del P/N 30-0300 X-SERIES UEGO GAUGE Bosch LSU4.9. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/17Kth0AZFSZS3xTiRWVva8J3idqx5zyTC5/view?usp=sharing>
- Eyidogan, M., Ozsezen, A. N., & Canakci, M. (2010). Impact of alcohol–gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine. *Fuel*, 2713 - 2720.
- Gavira, L. G. (2009). Diseño, construcción y prueba de sistema flexfuel (E85) de alta eficiencia con turbocompresor implementado en un vehículo con motor de aspiración atmosférica. Colombia.
- Gaviria, L. G., Ospina, S., & Quirama, L. F. (2017). *Efecto de la mezcla combustible E-20 en el parque Automotor Colombiano*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira .
- GNVPerformance. (n.d.). Manual de instalación y programación para técnicos del Sistema de gestión del motor. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/15E0avLw4nh2qD5ezId9Evn1endDWPttv/view?usp=sharing>
- GNVPerformance. (n.d.). Sistema de gestión del motor. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/1AynV3RtfayQa64duI7dnlvGhQDnhnKz3/view?usp=sharing>
- HONDA. (n.d.). Manual del propietario. California, USA. Retrieved from <https://cdn.powerequipment.Honda.com/engines/pdf/manuals/00X37Z6J6130.pdf>
- Incauca S.A.S. (2020). *etanol Anhidro Combustible Desnaturalizado*. Retrieved from <https://www.incauca.com/es/producto/etanol-anhidro-combustible-desnaturalizado/>
- Kumar, J., Trivedi, D., Mahara, P., & Butola, R. (2013). Performance Study of Ethanol Blended Gasoline Fuel in Spark Ignition Engine. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 71 - 78.

- México, CTS Embarq. (n.d.). Documento base para la elaboración de la “Estrategia de Transición para promover el uso de Tecnologías y Combustibles mas limpios” en el tema de ahorro de energía en transporte.
- Ospina, S. (2014). Determinación de las emisiones en regimenes de estado estable de un vehículo liviano operando con mezcla de etanol y Gasolina, E20.
- Park, C., Choi, Y., Kim, C., Oh, S., Lim, G., & Moriyoshi, Y. (2010). Performance and exhaust emission characteristics of a spark ignition engine using ethanol and ethanol-reformed gas. *Fuel*, 2118 - 2125.
- Pulgarín, M. A., & Zabala Guisado, J. D. (2013, Junio). Diseño, construcción y pruebas de un vehículo prototipo supermileage. Pereira.
- Roche, Schinkel, Storey, Humphris, & Guelden. (n.d.). Speed of Light.
- Sánchez, J. M. (2010). Modelado y simulación de vehículos de competición. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Schifter, I., Gómez, J. P., & Gonzales, U. (2013). Combustion characterization in a single cylinder engine with mid-level hydrated ethanol–gasoline blended fuels. *Fuel*, 292 - 298.
- Sector agroindustrial de la caña. (2019). *El Sector Azucarero Colombiano En La Actualidad*. Retrieved from Asocaña: <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Shell. (2018). *Reglas Shell Eco - Marathon* .
- Shell. (2020). *Make the future*. Retrieved from <https://www.makethefuture.shell/en-gb/shell-ecomarathon/virtual-programme/sem-americas>
- Shell. (2020). *Shell Global*. Retrieved from https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/for-participants/_jcr_content/par/toptasks_1617110573.stream/1567474359680/33d5a727e8ca81d2eeced68039b9ff1d148a180/shell-eco-marathon-2020-official-rules-chapter-one.pdf
- Topgül, T., & Hüseyin, S. (2006). The effects of ethanol–unleaded gasoline blends and ignition timing on engine performance and exhaust emissions. *Renewable Energy*, 2534 - 2542.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. (n.d.). *Energy efficiency and renewable energy*. Retrieved from <https://www.fueleconomy.gov/feg/esflextech.shtml>
- Universitat Politecnica de Valencia. (2015). *Motores de combustión interna alternativos*. Barcelona: Reverté S.A.
- Wei - Dong, H., Rong - Hong, C., Tsung - Lim, W., & Ta - Hui, L. (2002). Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuels. *Atmospheric Environment*, 403 - 410.

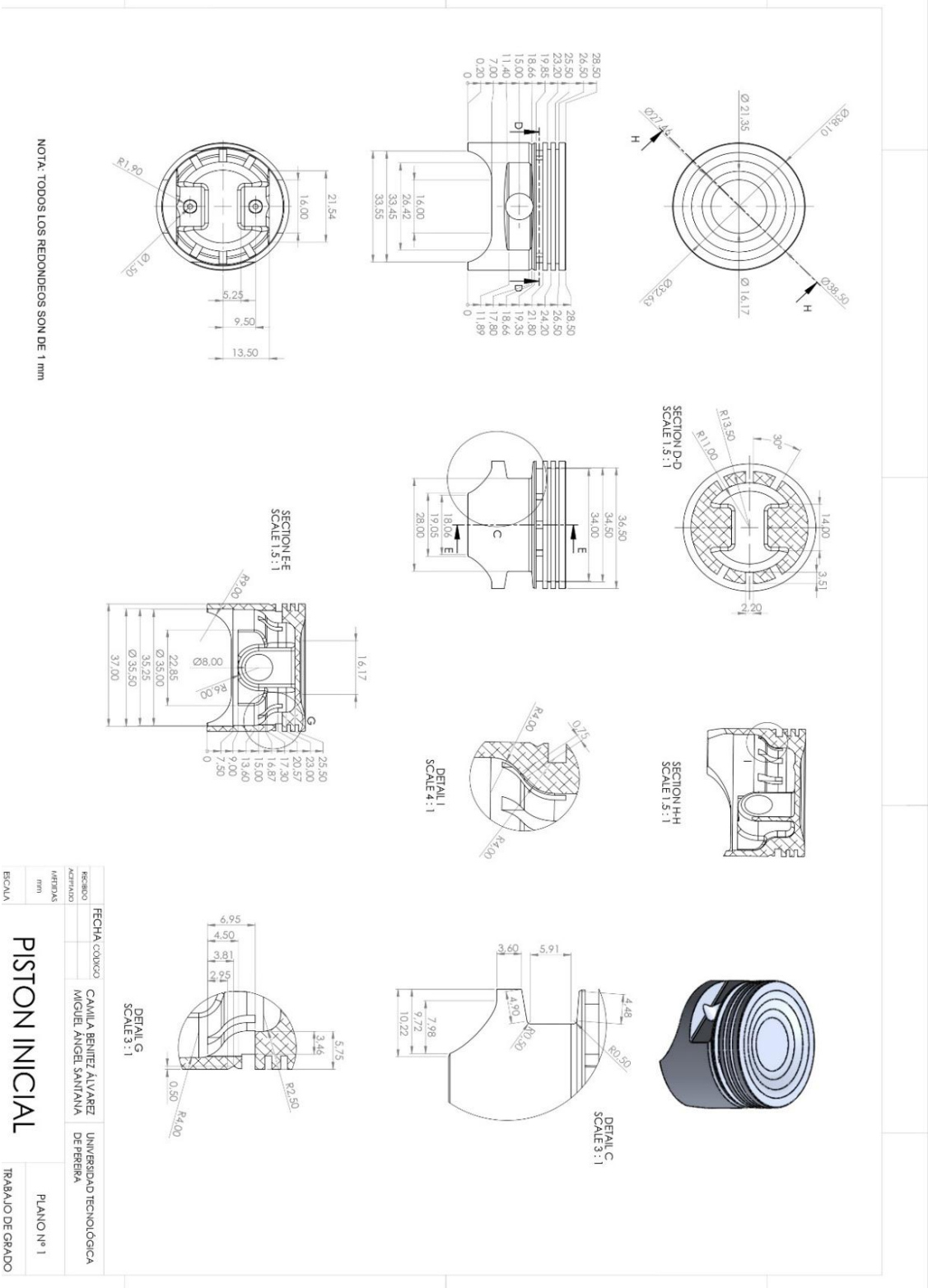
- Wu, C. -W., Chen, R. -H., Pu, J. -Y., & Lin, T. -H. (2004). The influence of air–fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline-blended fuels. *Atmospheric Environment*, 7093 - 7100.
- Wu, X., Daniel, R., Tian, G., Xu, H., Huang, Z., & Richardson, D. (2011). Dual-injection: The flexible, bi-fuel concept for spark-ignition engines fuelled with various gasoline and biofuel blends. *Applied Energy*, 2305 - 2314.
- Yücesu, H. S., Melih, O., Tolga, T., & Can, Ç. (2006). Effect of ethanol - gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios. *Applied Thermal Engineering*, 2272.

ANEXOS

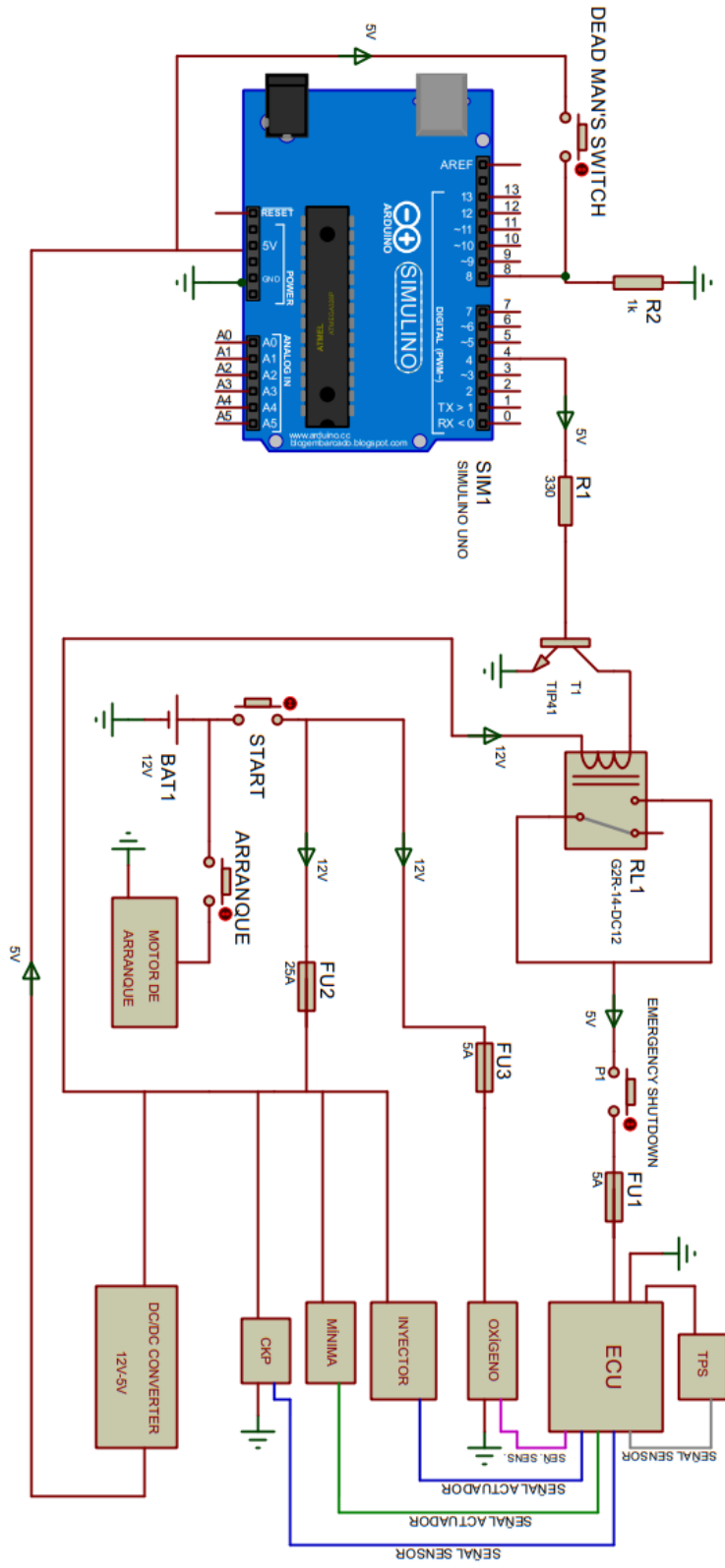
Anexo A. Planos del nuevo pistón del MCI



Anexo B. Planos de piston inicial del MCI



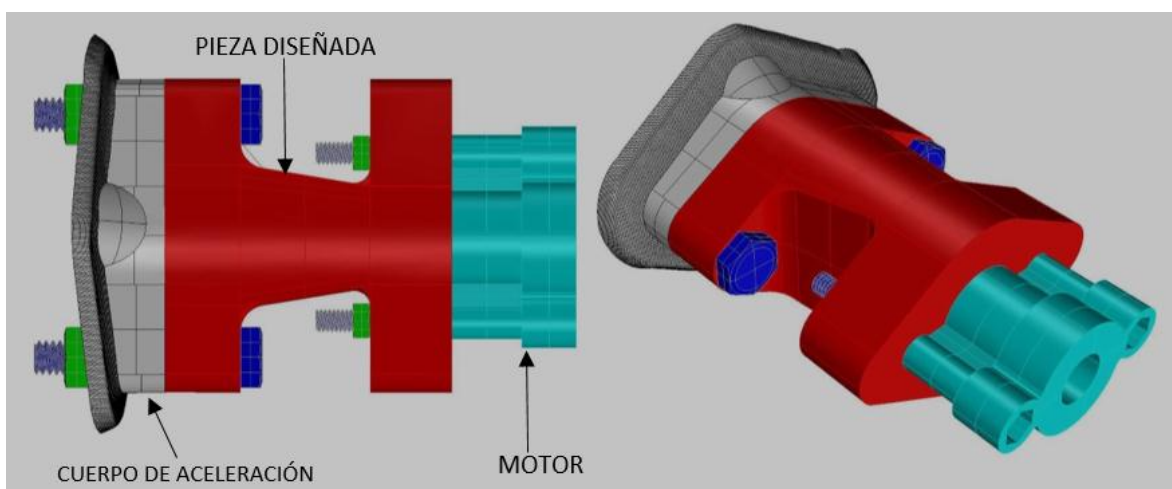
Anexo C. Circuito eléctrico de conexión – ECU..



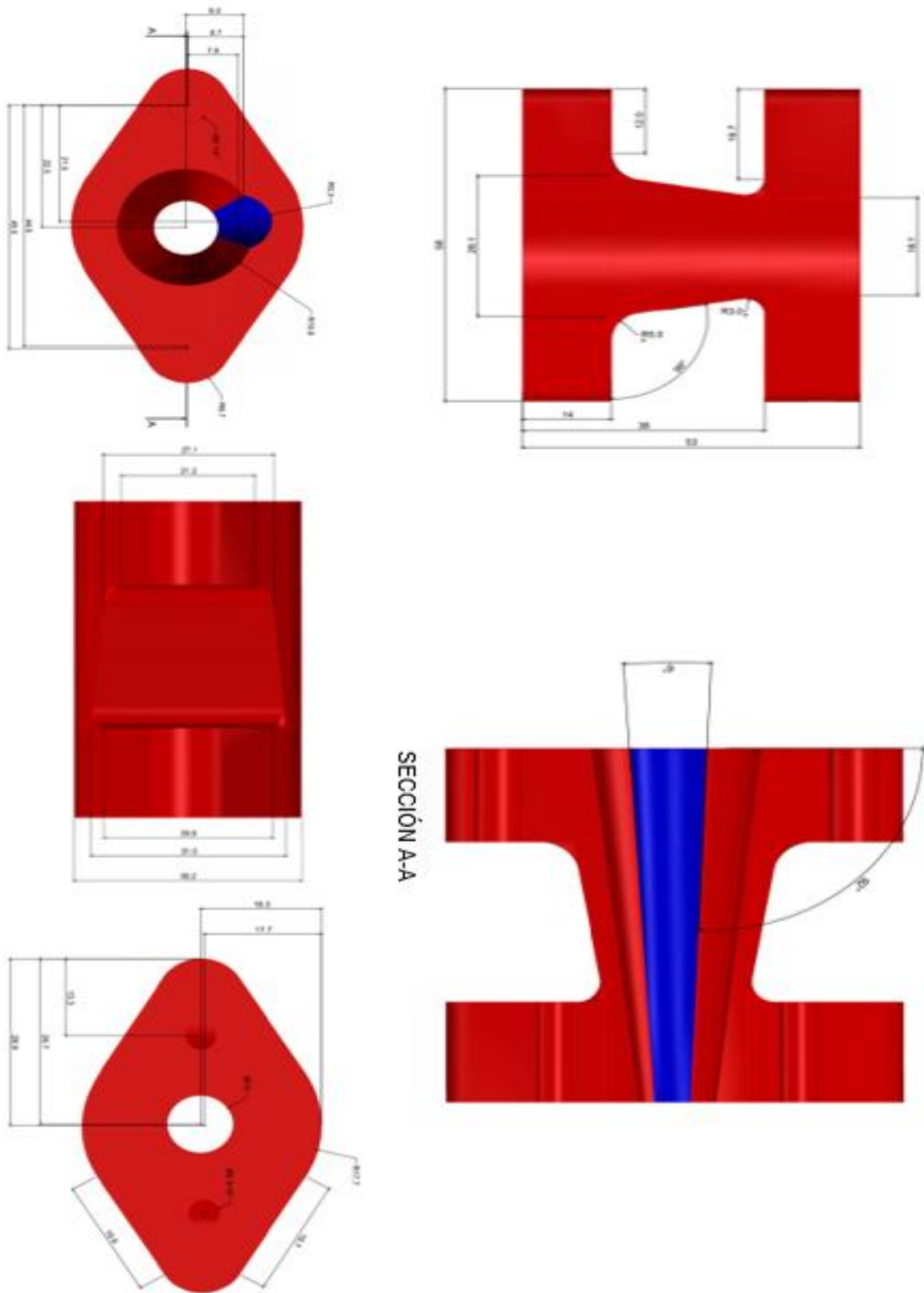
Anexo D. Resistencia a la tensión y elongación de películas de almidón mezcladas con otros polímeros sintéticos biodegradables.

Mezcla almidón y otro polímero	Resistencia a la tensión (MPa)	Elongación (%)
Almidón + PCL (25:75)	13,4	5,4
Almidón + PLA (70:30)	38	2,5

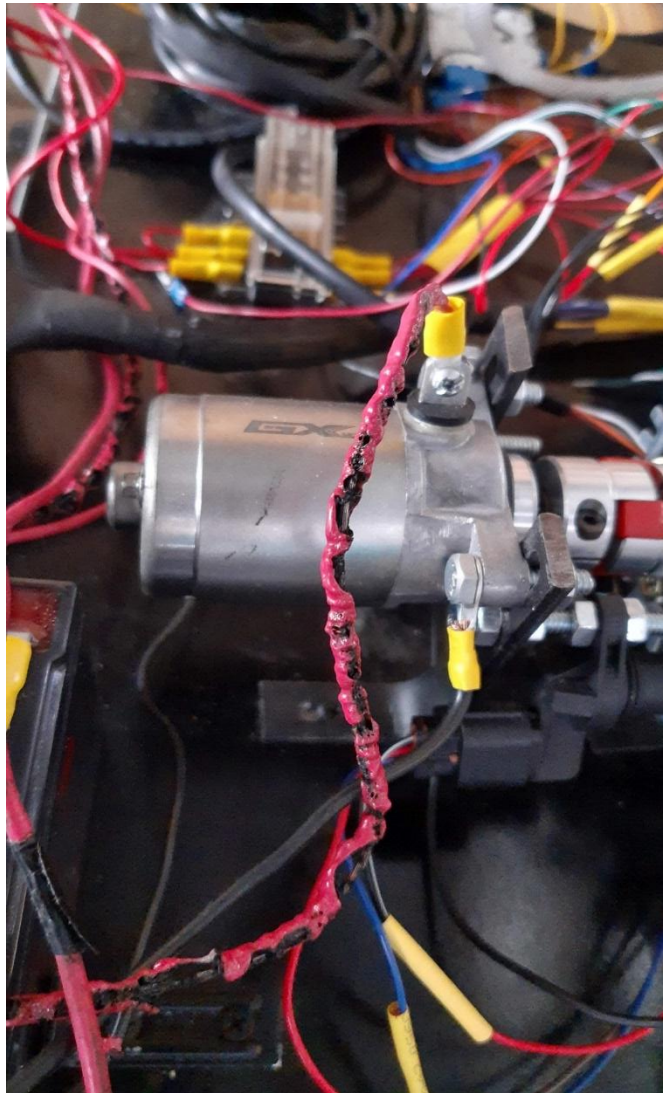
Anexo E. Montaje de la pieza de conexión entre el cuerpo de aceleración y el motor.



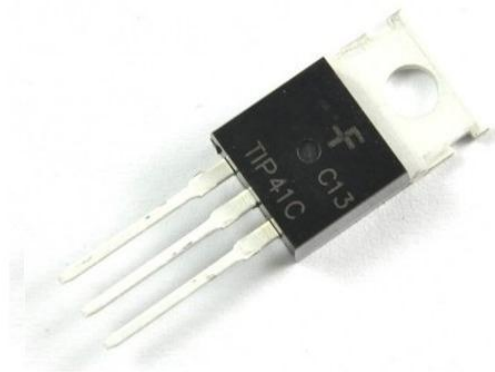
Anexo F. Vistas de la pieza de conexión entre el cuerpo de aceleración y el motor.



Anexo G. Sobrecalentamiento en los cables del motor de arranque



Anexo H. Transistor TIP41C



Anexo I. Relé 12V 5 pines



Anexo J. Modulo regulador de voltaje Lm - 2596

