



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

### **“IMPLEMENTACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA PROGRAMABLE PARA EL MOTOR DEL VEHÍCULO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ-ESPOCH”**

**LUIS EDUARDO NAVAS ESCUDERO  
ÁLVARO XAVIER SÁNCHEZ VILLARROEL**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previa a la obtención del Título de:**

## **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2016**

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2016-05-05

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**LUIS EDUARDO NAVAS ESCUDERO**  
**ÁLVARO XAVIER SÁNCHEZ VILLARROEL**

---

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN  
ELECTRÓNICA PROGRAMABLE PARA EL MOTOR DEL VEHÍCULO  
FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ-ESPOCH.”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Bolívar Cuaical  
**DIRECTOR**

---

Ing. Celin Padilla  
**ASESOR**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** LUIS EDUARDO NAVAS ESCUDERO

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “IMPLEMENTACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA PROGRAMABLE PARA EL MOTOR DEL VEHÍCULO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ-ESPOCH”

**Fecha de Examinación:** 2016-11-21

### **RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

| <b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>                        | <b>APRUEBA</b> | <b>NO<br/>APRUEBA</b> | <b>FIRMA</b> |
|---|----------------|-----------------------|--------------|
| Dr. Mario Audelo<br><b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b> |                |                       |              |
| Ing. Bolívar Cuaical<br><b>DIRECTOR</b>             |                |                       |              |
| Ing. Celin Padilla<br><b>ASESOR</b>                 |                |                       |              |

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Dr. Mario Audelo  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

## **EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** ÁLVARO XAVIER SÁNCHEZ VILLARROEL

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** **“IMPLEMENTACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA PROGRAMABLE PARA EL MOTOR DEL VEHÍCULO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ-ESPOCH”**

**Fecha de Examinación:** 2016-11-21

### **RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

| <b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>                        | <b>APRUEBA</b> | <b>NO<br/>APRUEBA</b> | <b>FIRMA</b> |
|---|----------------|-----------------------|--------------|
| Dr. Mario Audelo<br><b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b> |                |                       |              |
| Ing. Bolívar Cuaical<br><b>DIRECTOR</b>             |                |                       |              |
| Ing. Celin Padilla<br><b>ASESOR</b>                 |                |                       |              |

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Dr. Mario Audelo  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Luis Eduardo Navas Escudero

---

Álvaro Xavier Sánchez Villarroel

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado primeramente a Dios por haberme dado la vida y también la fortuna de contar con mis padres y mi hermano a quienes también dedico este trabajo porque con su esfuerzo y sacrificio me han permitido llegar hasta este punto de mi vida, a mi padre por su incansable sacrificio y lucha día a día, y de manera especial a la mujer más importante de mi vida mi madre por ser el pilar de mi vida y mi amiga incondicional en todas las etapas de mi vida, ya que sin ellos y la bendición de Dios no habría sido posible llegar a cumplir este logro en mi vida.

**Luis Eduardo Navas Escudero**

Dedico este logro primeramente a Dios, por ser el pilar fundamental de mi vida, que día a día me llena con sus bendiciones, como lo es mi familia quienes son un ejemplo de constancia y lucha, a mi padre Ramón Sánchez, por brindarme su amor y apoyo incondicional, a mi madre Gladys Villarroel, por ser mi guía y mejor amiga a lo largo de toda mi vida y a mi hermana Jenny Sánchez, por ser un ejemplo de esfuerzo y superación.

**Álvaro Xavier Sánchez Villarroel**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento primeramente a Dios por darme la fuerza y salud en todos los momentos de mi vida, mi agradecimiento eterno hacia mis padres por su incansable esfuerzo y sacrificio para poder cumplir con esta meta.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas y de manera especial a la Carrera de Ingeniería Automotriz, por brindarme los conocimientos y la formación para ser un profesional y poder contribuir con la sociedad.

**Luis Eduardo Navas Escudero**

Agradezco a Dios por regalarme la vida y poner en ella a mis padres que me brindaron su apoyo incondicional para poderme preparar profesionalmente, a la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH y sus docentes por abrirme sus puertas y brindarme sus conocimientos y experiencias, a mis compañeros de clase que me brindaron su amistad y compartieron gratos momentos a lo largo de estos años, a mi tutor y director de tesis que con sus conocimientos me guiaron durante el desarrollo de este proyecto.

**Álvaro Xavier Sánchez Villarroel**

## CONTENIDO

Pág.

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 1.       | <b>INTRODUCCIÓN</b>   |    |
| 1.1      | Antecedentes .....  | 1  |
| 1.2      | Justificación.....  | 1  |
| 1.3      | Objetivos .....   | 2  |
| 1.3.1    | <i>Objetivo general</i> .....   | 2  |
| 1.3.2    | <i>Objetivos específicos</i> .....  | 2  |
| 2.       | <b>MARCO TEÓRICO</b>  |    |
| 2.1      | Fórmula Student .....   | 3  |
| 2.2      | Evaluación de la Fórmula Student .....  | 3  |
| 2.3      | Reglamento de la Fórmula SAE.....   | 4  |
| 2.3.1    | <i>Requisitos del sistema de Combustible</i> .....                                  | 4  |
| 2.3.1.1  | <i>Riel de Combustible (uso)</i> .....  | 4  |
| 2.3.2    | <i>Requisitos del sistema de inyección de combustible</i> .....                     | 4  |
| 2.3.2.1  | <i>Líneas de combustible</i> .....  | 4  |
| 2.3.2.2  | <i>Riel de combustible</i> .....  | 4  |
| 2.3.3    | <i>Requisitos de los aditivos de combustible</i> .....                              | 4  |
| 2.4      | Introducción y generalidades del funcionamiento del carburador .....                | 4  |
| 2.5      | El carburador frente a la inyección electrónica.....                                | 5  |
| 2.6      | Clasificación de los sistemas de inyección electrónica de combustible.....          | 6  |
| 2.6.1    | <i>Según el número de inyectores</i> .....  | 6  |
| 2.6.1.1  | <i>Monopunto</i> .....  | 6  |
| 2.6.1.2  | <i>Multipunto</i> .....   | 6  |
| 2.6.2    | <i>Por la ubicación del inyector</i> .....  | 7  |
| 2.6.2.1  | <i>Directa en el cilindro</i> .....   | 7  |
| 2.6.2.2  | <i>Indirecta en el colector de admisión</i> .....                                   | 7  |
| 2.6.3    | <i>Por el sincronismo de la inyección</i> .....                                     | 7  |
| 2.6.3.1  | <i>Semisecuencial</i> .....   | 7  |
| 2.6.3.2  | <i>Simultánea</i> .....   | 7  |
| 2.6.3.3  | <i>Secuencial</i> .....   | 7  |
| 2.6.4    | <i>Por el sistema de control y accionamiento de los inyectores</i> .....            | 8  |
| 2.6.4.1  | <i>Mecánica</i> .....   | 8  |
| 2.6.4.2  | <i>Mecánica electrónica</i> .....   | 8  |
| 2.6.4.3  | <i>Electrónica</i> .....  | 8  |
| 2.7      | Inyección electrónica de combustible multipunto.....                                | 9  |
| 2.8      | Funcionamiento del sistema de inyección electrónica de combustible multipunto ..... | 9  |
| 2.9      | Alimentación de combustible.....  | 10 |
| 2.9.1    | <i>Riel o galería de inyectores</i> .....   | 10 |
| 2.9.2    | <i>Regulador de presión de combustible</i> .....                                    | 10 |
| 2.9.3    | <i>Inyectores</i> .....   | 10 |
| 2.10     | Sistema de aire .....   | 11 |
| 2.10.1   | <i>Sensor de posición de la mariposa (TPS)</i> .....                                | 11 |
| 2.10.1.1 | <i>Función</i> .....  | 11 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 2.10.1.2 | <i>Ubicación</i> .....  | 11 |
| 2.10.1.3 | <i>Descripción</i> .....  | 11 |
| 2.10.2   | <i>Sensor presión absoluta del múltiple de admisión (MAP)</i> .....   | 12 |
| 2.10.2.1 | <i>Función</i> .....  | 12 |
| 2.10.2.2 | <i>Ubicación</i> .....  | 12 |
| 2.10.2.3 | <i>Descripción</i> .....  | 12 |
| 2.10.3   | <i>Sensor de temperatura de aire de admisión (IAT)</i> .....          | 13 |
| 2.10.3.1 | <i>Función</i> .....  | 13 |
| 2.10.3.2 | <i>Ubicación</i> .....  | 13 |
| 2.10.3.3 | <i>Descripción</i> .....  | 13 |
| 2.11     | Determinación de la temperatura del motor .....                       | 14 |
| 2.11.1   | <i>Sensor de temperatura del anticongelante del motor (ECT)</i> ..... | 14 |
| 2.11.1.1 | <i>Función</i> .....  | 14 |
| 2.11.1.2 | <i>Ubicación</i> .....  | 14 |
| 2.11.1.3 | <i>Descripción</i> .....  | 14 |
| 2.12     | Determinación de las emisiones del motor .....                        | 15 |
| 2.12.1   | <i>Sensor de oxígeno (Lambda)</i> .....                               | 15 |
| 2.12.1.1 | <i>Función</i> .....  | 15 |
| 2.12.1.2 | <i>Ubicación</i> .....  | 15 |
| 2.12.1.3 | <i>Descripción</i> .....  | 16 |
| 2.13     | Determinación del régimen de giro del motor .....                     | 16 |
| 2.13.1   | <i>Sensor de Posición del Cigüeñal (CKP)</i> .....                    | 16 |
| 2.13.1.1 | <i>Función</i> .....  | 16 |
| 2.13.1.2 | <i>Ubicación</i> .....  | 17 |
| 2.13.1.3 | <i>Descripción</i> .....  | 17 |
| 2.14     | Unidad de control electrónico programable (ECU) .....                 | 17 |
| 2.15     | Computadora Programable MegaSquirt MS-II.....                         | 18 |

### 3. **DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE PARA EL MOTOR YAMAHA DE 400CC**

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 3.1     | Diagrama de flujo del sistema de inyección electrónica de combustible.....          | 20 |
| 3.2     | Selección de la computadora programable para el sistema de inyección .....          | 21 |
| 3.3     | Selección de los sensores del sistema de inyección electrónica de combustible ..... | 22 |
| 3.3.1   | <i>Sensor TPS</i> .....   | 23 |
| 3.3.1.1 | <i>Características del sensor</i> .....   | 23 |
| 3.3.2   | <i>Sensor MAP</i> .....   | 23 |
| 3.3.2.1 | <i>Características del sensor</i> .....   | 23 |
| 3.3.3   | <i>Sensor IAT</i> .....   | 24 |
| 3.3.3.1 | <i>Características del sensor</i> .....   | 24 |
| 3.3.4   | <i>Sensor ECT</i> .....   | 25 |
| 3.3.4.1 | <i>Características del sensor</i> .....   | 25 |
| 3.3.5   | <i>Sensor CKP</i> .....   | 25 |
| 3.3.5.1 | <i>Características del sensor</i> .....   | 26 |
| 3.3.6   | <i>Sensor de oxígeno</i> .....  | 26 |
| 3.3.6.1 | <i>Características del sensor</i> .....   | 26 |
| 3.4     | Selección de inyectores del sistema de inyección electrónica de combustible ..      | 27 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 3.5     | Diseño y construcción del riel de inyección.....  | 29 |
| 3.6     | Selección del regulador de presión de combustible .....   | 29 |
| 3.7     | Selección de la rueda fónica.....   | 30 |
| 3.7.1   | <i>Diseño y construcción de la rueda fónica.</i> .....  | 30 |
| 3.8     | Selección de elementos de protección eléctrica .....  | 31 |
| 3.8.1   | <i>Relés</i> .....  | 31 |
| 3.8.2   | <i>Fusibles</i> .....   | 32 |
| <br>    |   |    |
| 4       | <b>IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN<br/>ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE</b>                             |    |
| 4.1     | Adaptación de los elementos que forman parte del sistema de inyección<br>electrónica de combustible ..... | 33 |
| 4.1.1   | <i>Riel de inyección</i> .....  | 33 |
| 4.1.2   | <i>Inyectores</i> .....   | 33 |
| 4.1.3   | <i>Regulador de presión</i> .....   | 34 |
| 4.1.4   | <i>Rueda fónica</i> .....   | 34 |
| 4.1.5   | <i>Sensor TPS</i> .....   | 35 |
| 4.1.6   | <i>Sensor MAP</i> .....   | 35 |
| 4.1.7   | <i>Sensor IAT</i> .....   | 35 |
| 4.1.8   | <i>Sensor ECT</i> .....   | 36 |
| 4.1.9   | <i>Sensor de oxígeno</i> .....  | 36 |
| 4.1.10  | <i>Sensor CKP</i> .....   | 37 |
| 4.2     | Implementación del sistema programable.....   | 37 |
| 4.2.1   | <i>Ubicación de la computadora MegaSquirt II</i> .....  | 37 |
| 4.2.2   | <i>Pin data del MegaSquirt II</i> .....   | 38 |
| 4.3     | Programación de la ECU .....  | 39 |
| 4.3.1   | <i>Creación de un nuevo proyecto.</i> .....   | 40 |
| 4.3.2   | <i>Interfaz de comunicación</i> .....   | 40 |
| 4.3.3   | <i>Configuración del motor y secuenciales</i> .....   | 41 |
| 4.3.3.1 | <i>Puesta en escena del inyector</i> .....  | 41 |
| 4.3.3.2 | <i>Tipo de motor</i> .....  | 41 |
| 4.3.3.3 | <i>Tamaño del inyector</i> .....  | 42 |
| 4.3.3.4 | <i>Algoritmo de control</i> .....   | 42 |
| 4.3.3.5 | <i>Provechos por ciclo de motor</i> .....   | 42 |
| 4.3.3.6 | <i>Motor trazo/Rotary (Engine Stroke)</i> .....   | 42 |
| 4.3.3.7 | <i>Número de cilindros.</i> .....   | 42 |
| 4.3.4   | <i>Requerimiento de combustible (Required Fuel)</i> .....   | 43 |
| 4.3.5   | <i>Características del inyector</i> .....   | 43 |
| 4.3.5.1 | <i>Corrección de la tensión de la batería (ms/v)</i> .....  | 43 |
| 4.3.6   | <i>Control de la depuración de gases</i> .....  | 43 |
| 4.3.6.1 | <i>Tipo de sensor EGO.</i> .....  | 44 |
| 4.3.6.2 | <i>Por encima del refrigerante (Active Above Coolant)</i> .....   | 44 |
| 4.3.6.3 | <i>Activo por encima de RPM</i> .....   | 44 |
| 4.3.6.4 | <i>Activa debajo de TPS</i> .....   | 44 |
| 4.3.6.5 | <i>Activa debajo de MAP</i> .....   | 44 |
| 4.3.6.6 | <i>Activa por encima de MAP</i> .....   | 44 |
| 4.3.7   | <i>Calibración del sensor de la posición de la mariposa</i> .....   | 45 |
| 4.3.8   | <i>Identificación de la rueda fónica</i> .....  | 45 |
| 4.3.9   | <i>Tipo de MAP</i> .....  | 46 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 4.3.10    | <i>Calibración del sensor de temperatura del refrigerante</i> ..... | 46 |
| 4.3.11    | <i>Ajustes de arranque</i> .....                                    | 47 |
| 4.3.11.1  | <i>RPM de arranque (Cranking RPM)</i> .....                         | 47 |
| 4.3.11.2  | <i>Porcentaje de apertura (Flood Clear TPS) (%)</i> .....           | 47 |
| 4.3.12    | <i>Mapa de inyección</i> .....                                      | 47 |
| 4.3.13    | <i>Tabla de inyección</i> .....                                     | 48 |
| 4.3.14    | <i>Sistema de encendido</i> .....                                   | 49 |
| <b>5.</b> | <b>PRUEBAS Y METODOLOGÍAS</b>                                       |    |
| 5.1       | Pruebas de potencia .....   | 50 |
| 5.2       | Curvas de potencia y par-motor .....                                | 50 |
| 5.2.1     | <i>Cálculo de potencia del motor</i> .....                          | 50 |
| 5.2.2     | <i>Cálculo del Par-motor</i> .....                                  | 52 |
| 5.3       | Pruebas de consumo de combustible.....                              | 54 |
| 5.4       | Prueba de funcionamiento de los sensores .....                      | 57 |
| 5.4.1     | <i>Sensor CKP</i> .....   | 57 |
| 5.4.2     | <i>Sensor TPS</i> .....   | 58 |
| 5.4.3     | <i>Sensor ECT</i> .....   | 58 |
| 5.4.4     | <i>Sensor de Oxígeno</i> .....                                      | 58 |
| 5.4.5     | <i>Sensor IAT</i> .....   | 59 |
| <b>6.</b> | <b>COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN</b>         |    |
| 6.1       | Detalle de costos directos .....                                    | 60 |
| 6.2       | Detalle de costos indirectos.....                                   | 61 |
| 6.3       | Costos totales.....   | 61 |
| <b>7.</b> | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>                               |    |
| 7.1       | Conclusiones .....  | 62 |
| 7.2       | Recomendaciones .....   | 62 |

**BIBLIOGRAFÍA**  
**ANEXOS**  
**PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

|    | <b>Pág.</b>   |
|----|---|
| 1  | Evaluación de la competencia..... 3                                   |
| 2  | Diferencias entre el carburador y la inyección de combustible ..... 5 |
| 3  | Características de la computadora MegaSquirt MS-II..... 19            |
| 4  | Características de las computadoras programables..... 21              |
| 5  | Identificación de terminales del sensor TPS ..... 23                  |
| 6  | Identificación de terminales del sensor IAT ..... 25                  |
| 7  | Identificación de terminales del sensor ECT ..... 25                  |
| 8  | Identificación de terminales del sensor CKP ..... 26                  |
| 9  | Identificación de terminales del sensor oxígeno ..... 27              |
| 10 | Descripción de los pines ..... 38                                     |
| 11 | Parámetros del proyecto..... 40                                       |
| 12 | Parámetros del motor ..... 41   |
| 13 | Características de la rueda fónica..... 45                            |
| 14 | Potencias del motor..... 51   |
| 15 | Comparación de datos de potencias ..... 52                            |
| 16 | Torques del motor..... 53   |
| 17 | Comparación de datos de par-motor..... 54                             |
| 18 | Consumo de combustible ..... 56                                       |
| 19 | Costos de elementos eléctricos y electrónicos ..... 60                |
| 20 | Costos de elementos mecánicos..... 61                                 |
| 21 | Costos indirectos ..... 61  |
| 22 | Costos totales ..... 61   |

## LISTA DE FIGURAS

|    | <b>Pág.</b>  |
|----|--|
| 1  | Clasificación del sistema por el sincronismo de inyección..... 8 |
| 2  | Circuito del sensor TPS..... 11                                  |
| 3  | Curva característica del sensor TPS ..... 12                     |
| 4  | Circuito del sensor MAP ..... 13                                 |
| 5  | Curva característica del sensor MAP ..... 13                     |
| 6  | Circuito del sensor IAT ..... 14                                 |
| 7  | Curva característica del sensor IAT ..... 14                     |
| 8  | Circuito del sensor ECT ..... 15                                 |
| 9  | Curva característica del sensor ECT ..... 15                     |
| 10 | Circuito del sensor de oxígeno..... 16                           |
| 11 | Curva característica del sensor de oxígeno ..... 16              |
| 12 | Circuito del sensor CKP..... 17                                  |
| 13 | Curva característica del sensor CKP..... 17                      |
| 14 | Computadora Programable MegaSquirt MS-II..... 19                 |
| 15 | Diagrama de flujo del sistema de inyección ..... 20              |
| 16 | Sensor TPS..... 23   |
| 17 | Diagrama de conexión del sensor TPS a la ECU ..... 23            |
| 18 | Sensor MAP ..... 24  |
| 19 | Diagrama de conexión del sensor MAP a la ECU ..... 24            |
| 20 | Sensor IAT ..... 24  |
| 21 | Diagrama de conexión del sensor IAT a la ECU ..... 24            |
| 22 | Sensor ECT ..... 25  |
| 23 | Diagrama de conexión del sensor ECT a la ECU ..... 25            |
| 24 | Sensor CKP..... 26   |
| 25 | Diagrama de conexión del sensor CKP a la ECU ..... 26            |
| 26 | Sensor de oxígeno ..... 27                                       |
| 27 | Diagrama de conexión del sensor de oxígeno a la ECU ..... 27     |
| 28 | Inyector ..... 29  |
| 29 | Riel de inyección..... 29  |
| 30 | Regulador de presión de combustible ..... 30                     |
| 31 | Rueda fónica ..... 31  |
| 32 | Relé ..... 32  |
| 33 | Fusible..... 32  |
| 34 | Riel de inyectores..... 33                                       |
| 35 | Inyectores ..... 33  |
| 36 | Regulador de presión ..... 34                                    |
| 37 | Rueda Fónica..... 34   |
| 38 | Sensor TPS..... 35   |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 39 | Toma de vacío .....                                  | 35 |
| 40 | Sensor IAT .....                                     | 36 |
| 41 | Sensor ECT .....                                     | 36 |
| 42 | Sensor de oxígeno .....                              | 36 |
| 43 | Sensor CKP .....                                     | 37 |
| 44 | Implementación de la ECU .....                       | 37 |
| 45 | Pin data de Mega Squirt II .....                     | 38 |
| 46 | Plataforma de comunicación .....                     | 39 |
| 47 | Configuración inicial.....                           | 40 |
| 48 | Configuración de Comunicación vía Cable Serial ..... | 41 |
| 49 | Configuraciones y parámetros .....                   | 42 |
| 50 | Requerimiento de combustible.....                    | 43 |
| 51 | Características del inyector .....                   | 43 |
| 52 | Control EGO .....                                    | 44 |
| 53 | Calibración del sensor TPS .....                     | 45 |
| 54 | Características de la rueda fónica.....              | 45 |
| 55 | Calibración del sensor MAP .....                     | 46 |
| 56 | Calibración del sensor ECT .....                     | 46 |
| 57 | Parámetros de ajuste del arranque.....               | 47 |
| 58 | Mapa de inyección .....                              | 48 |
| 59 | Tabla de combustible .....                           | 48 |
| 60 | Curva de potencia del motor. ....                    | 51 |
| 61 | Curva de los torques del motor .....                 | 53 |
| 62 | Adaptación de la bomba de gasolina.....              | 54 |
| 63 | Vaso de precipitado y probeta.....                   | 55 |
| 64 | Curva de consumo específico de combustible .....     | 57 |
| 65 | Señal del sensor CKP .....                           | 57 |
| 66 | Señal del sensor TPS.....                            | 58 |
| 67 | Señal del sensor ECT .....                           | 58 |
| 68 | Señal del sensor de Oxígeno .....                    | 58 |
| 69 | Señal del sensor IAT .....                           | 59 |

## SIMBOLOGÍA

|               |   |                   |
|---------------|---|-------------------|
| $N_e$         | Potencia en función de la velocidad angular del motor             | Kw                |
| $N_{e_{max}}$ | Potencia máxima del motor   | Kw                |
| $n$           | Variación de la velocidad angular                                 | rpm               |
| $n_n$         | Velocidad angular del motor a la máxima potencia efectiva nominal | rpm               |
| $T$           | Torque del motor en función de la velocidad angular               | Nm                |
| $B$           | Consumo por hora  | g/h               |
| $K$           | Consumo de combustible de acuerdo a la potencia                   | cm <sup>3</sup>   |
| $\rho$        | Densidad  | g/cm <sup>3</sup> |
| $t$           | Tiempo  | s                 |
| $b$           | Consumo específico  | g/Kwh             |
| $P_e$         | Potencia efectiva   | Kw                |
| %             | Porcentaje  |                   |

## LISTA DE ABREVIACIONES

|      |  |
|------|--|
| ECU  | Unidad de control electrónica                      |
| SAE  | Sociedad de ingenieros automotrices                |
| TPS  | Sensor de posición de mariposa del acelerador      |
| MAP  | Sensor presión absoluta del múltiple de admisión   |
| IAT  | Sensor de temperatura de aire de admisión          |
| ECT  | Sensor de temperatura del anticongelante del motor |
| NTC  | Coefficiente térmico negativo                      |
| CKP  | Sensor de Posición del Cigüeñal                    |
| RPM  | Revoluciones por minuto                            |
| Kw   | Kilowatts  |
| HP   | Caballos de Potencia                               |
| ASTM | Asociación Americana de ensayo de materiales       |
| CDI  | Encendido de ignición por descarga del capacitor   |
| WOT  | Mariposa totalmente abierta                        |
| BSFC | Consumo específico de combustible                  |
| PMS  | Punto muerto superior                              |
| N*m  | Newton*metro                                       |
| cc   | Centímetros cúbicos                                |

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad implementar y optimizar un sistema de inyección electrónica de combustible mediante la adaptación de los diferentes elementos que conforman el sistema para un vehículo de competencia de la fórmula SAE de la carrera de Ingeniería Automotriz. Se inició el proyecto con un motor de moto YAMAHA de 400cc con funcionamiento a carburador, para el cual se escogió un tipo de inyección que cumple con los requerimientos de sus características, al igual que con el reglamento de la fórmula SAE. Para el sistema de inyección escogido se seleccionó y diseño, diferentes tipos de elementos que lo conforman, siendo estos los más importantes para un funcionamiento óptimo del mismo, posteriormente se adaptaron y acoplaron los elementos al motor y a una ECU programable mediante el uso de un diagrama de conexión. La optimización del sistema se lo realizó mediante la programación de la ECU, donde se estableció parámetros de carga de combustible en función del número de revoluciones y la presión de aire al que se deseó que trabaje el motor. Se emplearon pruebas y métodos de medición, cuyos resultados evidencian que el motor adquirió un aumento de potencia y par motor, una reducción de consumo de combustible y emisión de gases contaminantes que son enviados hacia la atmósfera, todo esto en comparación cuando su funcionamiento era a carburador. Llegando a la conclusión que la transformación de carburador a inyección, mejora la eficiencia y rendimiento del motor y lo hace más amigable con el medio ambiente.

PALABRAS CLAVES: <SOCIEDAD DE INGENIEROS AUTOMOTRICES (SAE)>, <INGENIERÍA AUTOMOTRIZ>, <UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICO (ECU)>, <REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM)>, <COEFICIENTE TÉRMICO NEGATIVO (NTC)>, <CABALLOS DE POTENCIA (HP)>, <IGNICIÓN POR DESCARGA DEL CAPACITOR (CDI)>, <PUNTO MUERTO SUPERIOR (PMS)>

## **ABSTRACT**

This research project aims to implement and optimize an electronic fuel injection system by adapting the different system elements of a competence vehicle from the Society of Automotive Engineers (SAE) formula, as part of the Automotive Engineering degree. The project started with a 400cc YAMAHA motorcycle engine with carburetor operation, for which a type of injection was chosen that met the requirements of its characteristics, as well as with the regulations of the SAE formula. For the injection system selected, different types of elements were chosen and designed, which were considered the most important for an optimum operation of same, the elements were subsequently adapted and coupled to the engine and a programmable ECU by using a connection diagram. The optimization of the system was carried out by programming the ECU where fuel load parameters were established according to the number of revolutions and the air pressure at which the engine is intended to be operated with. Measurement methodology and testing was implemented, the results of which show that the engine acquired an increase in power and torque, a reduction in fuel consumption and emission of polluting gases that are sent to the atmosphere, all in comparison to when its operation was a carburetor. Thus the conclusion was drawn that the transformation from carburetor to injection improved engine efficiency and performance and made the vehicle more environmentally-friendly.

**KEYWORDS:** <SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS (SAE)>, <AUTOMOTIVE ENGINEERING>, <ELECTRONIC CONTROL UNIT (ECU)>, <REVOLUTIONS PER MINUTE (RPM)>, <NEGATIVE THERMAL COEFFICIENT (NTC)>, <HORSEPOWER (HP)>, <CAPACITOR DISCHARGE IGNITION (CDI)>, <TOP DEAD CENTER (TDC)>

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La Escuela de Ingeniería Automotriz de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, la cual a partir de su creación ha conseguido un gran reconocimiento a nivel nacional, debido a sus profesionales de alta calidad, los cuales tienen la preparación y los conocimientos para satisfacer las necesidades y requerimientos del área en la que se desempeñen.

El propósito de este Trabajo de Titulación tiene como fin servir de aporte tecnológico, e investigativo para la nueva generación de estudiantes, ya que brindará conocimientos relevantes en el área automotriz.

La Fórmula SAE es una competición automovilística que se realiza entre estudiantes de todo el mundo, en la cual lo que realmente se valora es la aplicación de ingeniería que hay durante el proceso de construcción del vehículo teniendo en cuenta parámetros como son el diseño, puesta a punto y evolución continua del vehículo.

### 1.2 Justificación

El desarrollo del presente Trabajo de Titulación tiene como finalidad implementar y optimizar un sistema de inyección electrónica mediante la utilización de una unidad de control electrónico (ECU) de características programables, la cual permita modificar el comportamiento final del motor.

Para el desarrollo de este proyecto se debe partir de un motor de moto marca YAMAHA de 400cc el cual cumple el reglamento de la fórmula SAE, el motor cuenta con un sistema a carburador, por tal motivo se presenta la necesidad de implementar un sistema de inyección electrónica cuya ventaja principal es mejorar las fallas que se presentan en el carburador, buscando en gran manera mejorar la eficiencia y rendimiento del motor, es así que mediante este sistema se puede lograr que el motor sea más amigable para el medio ambiente, reduciendo a lo más mínimo las emisiones de gases contaminantes.

### **1.3      Objetivos**

**1.3.1      Objetivo general.** Implementar y optimizar un sistema de inyección electrónica de combustible mediante la adaptación de los diferentes elementos que conforman el sistema para un vehículo de competencia de la fórmula SAE de la carrera de Ingeniería Automotriz.

#### **1.3.2      Objetivos específicos:**

- Identificar el tipo de inyección electrónica mediante una selección en cada una de las cuatro clasificaciones de sistemas de inyección electrónica para que pueda satisfacer los requerimientos de un motor YAMAHA de 400cc.
- Seleccionar los diferentes elementos en base a las características del sistema de inyección electrónica seleccionado para su óptimo funcionamiento.
- Adaptar el sistema de inyección electrónica en un motor YAMAHA de 400cc mediante la programación de la computadora en base a los parámetros a analizar para la optimización del sistema.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del sistema de inyección electrónica mediante las lecturas de los parámetros obtenidos por los elementos que conforman dicho sistema para la verificación del mejoramiento del desempeño del motor.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Fórmula Student

La fórmula SAE es una competición automovilística que nace en 1982 en Michigan Estados Unidos, pero debido al éxito del que ha disfrutado en sus distintas ediciones se ha ampliado a otros países como Inglaterra, Australia, Alemania, Brasil, Japón, Italia, Reino Unido y Estados Unidos. Es una competición automovilística, pero no en su concepto habitual, pese a competir con automóviles tipo fórmula, realmente lo que se premia es el trabajo de ingeniería que hay detrás de todo proceso de diseño, creación, puesta a punto y evolución de un coche de carreras. En el evento anual participan universidades de todo el mundo y cuenta con el apoyo de las grandes marcas automovilísticas como Ford, Porsche, BMW, etc. (WORDPRESSCOM, 2009)

#### 2.2 Evaluación de la Fórmula Student

Para la evaluación del vehículo, es juzgado en una serie de eventos estáticos y dinámicos en los que se incluye la inspección técnica, el costo, la presentación y el diseño de ingeniería, ensayos de rendimiento en solitario, y la pista de resistencia de alto rendimiento. (INTERNATIONAL, 2015)

Tabla 1. Evaluación de la competencia

|                          |                      |             |
|--------------------------|----------------------|-------------|
| <b>Eventos estáticos</b> | Presentación         | 75          |
|                          | Diseño de ingeniería | 150         |
|                          | Análisis de costos   | 100         |
| <b>Eventos Dinámicos</b> | Aceleración          | 75          |
|                          | Skid-Pad             | 50          |
|                          | Autocross            | 150         |
|                          | Consumo              | 100         |
|                          | Resistencia          | 300         |
| <b>Total</b>             |                      | <b>1000</b> |

Fuente: Reglamento de la fórmula SAE 2015-16, pag.5

## **2.3 Reglamento de la Fórmula SAE**

### **2.3.1** *Requisitos del sistema de Combustible.*

**2.3.1.1** *Riel de Combustible (uso).* El uso de los carriles de combustible a partir de fibra de carbono de plástico o de creación rápida de prototipos de materiales inflamables está prohibido. (INTERNATIONAL, 2015)

**2.3.2** *Requisitos del sistema de inyección de combustible.* Los sistemas de inyección de combustible de baja presión son los que funcionan a una presión inferior a 10 bares (145 psi). (INTERNATIONAL, 2015)

**2.3.2.1** *Líneas de combustible.* En los sistemas de combustible de baja presión inyectados, las líneas de combustible flexibles deben ser constituidas por mangueras de metal trenzado, o mangueras de goma reforzadas con algún tipo de protección resistente a la abrasión. (INTERNATIONAL, 2015)

**2.3.2.2** *Riel de combustible.* La línea de combustible debe estar firmemente sujeta al bloque de cilindros del motor, la culata, o colector de admisión con sujetadores mecánicos y soportes. (INTERNATIONAL, 2015)

**2.3.3** *Requisitos de los aditivos de combustible.* Está prohibido introducir algún tipo de agente u otros elementos en el combustible (gasolina o E85), y el aire en la cámara de combustión. El incumplimiento de esta regla será razón para la descalificación. (INTERNATIONAL, 2015)

## **2.4 Introducción y generalidades del funcionamiento del carburador**

El proceso de combustión necesita el oxígeno del aire para quemar combustible. La proporción ideal teórica para que exista una combustión ideal total es de 1 parte de gasolina por 14,7 partes de aire, denominada proporción estequiométrica ideal. (SANTANDER RUEDA, 2006)

La mezcla para la combustión se realiza normalmente en el colector de admisión, de forma básica mediante el carburador, el cual es un tubo abierto en el colector comunicado

con una cuba de nivel estable de combustible; el aire que atraviesa el colector, aspirado por el cilindro, succiona el combustible líquido vaporizándolo. En los colectores, el calor de éstos termina de generar la vaporización total, por lo que la mezcla del mismo entra a la cámara dispuesta a ser encendida por la chispa de bujía después del ciclo de compresión. (SANTANDER RUEDA, 2006)

En los carburadores existe un tornillo de ralentí y otro llamado de riqueza de mezcla, los cuales gobiernan flujo de aire que pasa por la mariposa para régimen de ralentí y la gasolina que saldrá por el surtidor de ralentí. (SANTANDER RUEDA, 2006)

## 2.5 El carburador frente a la inyección electrónica

Prácticamente la ventaja más importante que posee la inyección electrónica de combustible se encuentra en que mejora las fallas del carburador, por lo tanto es el punto de partida para examinar los principios de la inyección de combustible y sus dispositivos. (SANTANDER RUEDA, 2006)

Tabla 2. Diferencias entre el carburador y la inyección de combustible

|  | Carburador  | Inyección electrónica  |
|--|---|--|
| Control de la relación de aire combustible | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No puede cambiar la mezcla de aire combustible una vez decididos los ajustes.</li> <li>• Necesita un ajuste de carburador apropiado para todas las estaciones. El ajuste debe cubrir varias condiciones.</li> <li>• Si el ajuste estándar no puede cubrir todas las condiciones, necesita mecanismo adicionales, como bombas de aceleración, enriquecedores, etc.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede ajustar la mezcla de aire combustible por los cambios en las condiciones del motor y del tiempo.</li> <li>• Ajuste la mezcla de aire combustible para cumplir con las emisiones.</li> <li>• Aun cuando la temperatura y la presión atmosférica cambien, se ajusta de acuerdo a ello.</li> <li>• Si el motor no requiere combustible durante la desaceleración, puede cortar el suministro.</li> </ul> |

Tabla 2. (Continuación)

|                     |  |   |
|---------------------|--|---|
| El costo            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Más barato que la inyección de combustible, pero si requiere mecanismos adicionales, entonces el costo está cerca de la inyección de combustible.</li> <li>• El número de componentes es menos y es un sistema simple.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Más caro que el carburador debido a los muchos componentes.</li> <li>• El número de componentes aumenta y el sistema es complejo.</li> </ul> |
| El mantenimiento    | El sistema es simple y fácil de mantener.  | El mantenimiento es difícil debido al número de partes y a la complejidad del sistema.  |
| Búsqueda de averías | El sistema es simple y fácil de reparar.   | La búsqueda de averías es difícil debido al número de partes. Se necesita conocimiento del sistema.   |

Fuente: [http://www.fazer-hispania.com/manuales/teoria\\_inyeccion\\_electronica\\_yta.pdf](http://www.fazer-hispania.com/manuales/teoria_inyeccion_electronica_yta.pdf).

## 2.6 Clasificación de los sistemas de inyección electrónica de combustible

Para los sistemas de inyección se pueden aplicar cuatro clasificaciones las cuales son las siguientes:

### 2.6.1 Según el número de inyectores

**2.6.1.1 Monopunto.** Este sistema es empleado en motores de combustión interna, se caracteriza por tener un inyector para todos los cilindros. Este sistema es simple y consta de un número pequeño de partes. Sin embargo, la distribución del aire de la admisión para cada cilindro no es igual y necesita un diseño complicado para reducir las diferencias del flujo de aire para cada cilindro. (FUJISAWA, y otros, 1988)

**2.6.1.2 Multipunto.** Este sistema tiene como característica principal que cada cilindro tiene su propio inyector, por lo tanto, el inyector puede inyectar la cantidad adecuada de combustible que es requerida por cada cilindro durante el funcionamiento del motor. Por consiguiente, este sistema puede controlar y mejorar el rendimiento del motor así como la eficiencia del motor, para disminuir las emisiones de gases contaminantes emitidos hacia la atmósfera. (FUJISAWA, y otros, 1988)

## **2.6.2** *Por la ubicación del inyector.*

**2.6.2.1** *Directa en el cilindro.* Con un sistema de inyección directa, el combustible es inyectado directamente dentro del cilindro, la característica principal de este sistema es que puede lograr mezclas pobres y de esta manera mejorar las emisiones y el consumo de combustible. Pero el inyector está ubicado en la cámara de combustión y siempre está expuesto a altas temperaturas y altas presiones, las cuales son producidas en el motor debido a su funcionamiento. (FUJISAWA, y otros, 1988)

**2.6.2.2** *Indirecta en el colector de admisión.* En este sistema el combustible se inyecta en el múltiple de admisión, el cual es similar a los sistemas a carburador. El inyector se localiza en una posición más fresca y no expuesto a las altas temperaturas y altas presiones. (FUJISAWA, y otros, 1988)

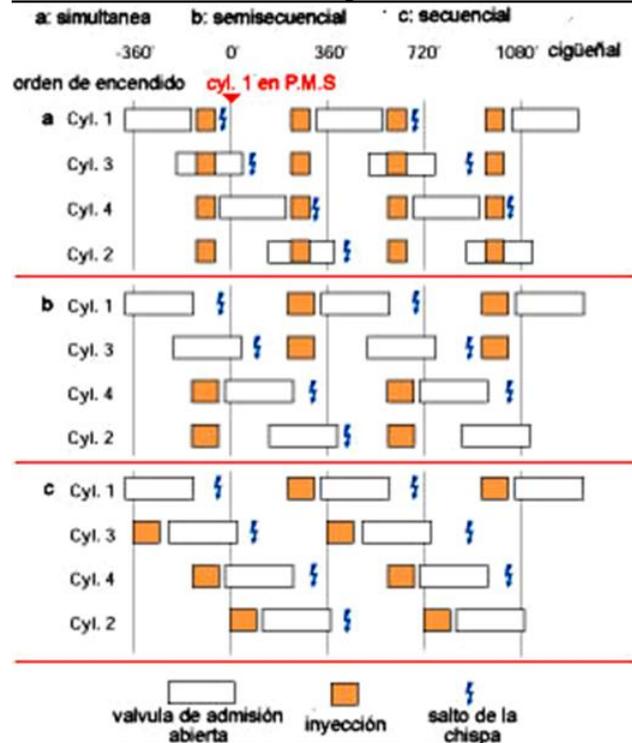
## **2.6.3** *Por el sincronismo de la inyección*

**2.6.3.1** *Semisecuencial.* En este sistema el combustible es inyectado en los cilindros de forma que los inyectores tienen la característica que actúan en diferentes tiempos, es decir se abren por grupos, de dos en dos, en cada revolución del motor. (SANTANDER RUEDA, 2006)

**2.6.3.2** *Simultánea.* En este sistema la forma de la inyección debe de ser indirecta, es decir se basa en inyectar el combustible simultáneamente en todos los inyectores a cierta frecuencia, teniendo en cuenta que no coincide con la apertura de la válvula de un determinado cilindro, de modo que el combustible inyectado se acumula en el colector de admisión, mientras la válvula de admisión permanece cerrada. Cuando se abre la válvula en el motor se produce la entrada de mezcla acumulada y de la nueva que se forma. (SANTANDER RUEDA, 2006)

**2.6.3.3** *Secuencial.* En este caso la inyección se produce solo en el momento de la apertura de la válvula de admisión. El inyector regula la cantidad de combustible por el tiempo que permanece abierto, y la frecuencia de apertura depende directamente del régimen de giro del motor, es decir, los inyectores funcionan de uno en uno de forma sincronizada. (SANTANDER RUEDA, 2006)

Figura 1. Clasificación del sistema por el sincronismo de inyección



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/inyecci-gasoli-intro.htm>

## 2.6.4 Por el sistema de control y accionamiento de los inyectores

**2.6.4.1 Mecánica.** En este sistema el accionamiento de los inyectores se lo realiza de forma mecánica como es el caso del sistema K-Jetronic. (SANTANDER RUEDA, 2006)

**2.6.4.2 Mecánica electrónica.** El control es electrónico y el accionamiento es mecánico de los inyectores, como es el caso particular del sistema KE-Jetronic. (SANTANDER RUEDA, 2006)

**2.6.4.3 Electrónica.** El control y accionamiento es electrónico de los inyectores como es el caso en sistemas como: L-Jetronic, LE-Jetronic, Monotronic y Digital. (SANTANDER RUEDA, 2006)

Las configuraciones más comunes que se usan en el mercado son:

- Inyección directa, multipunto y secuencial
- Inyección indirecta, multipunto y secuencial
- Inyección indirecta, multipunto y simultánea
- Inyección indirecta, monopunto y simultánea

Actualmente existen varias formas de inyectar el combustible controlado electrónicamente, es decir de acuerdo principalmente con la ubicación del inyector, el número de inyectores, el tipo de lazo que existe y el tiempo de apertura del inyector. (SANTANDER RUEDA, 2006)

## **2.7 Inyección electrónica de combustible multipunto**

Los equipos de inyección electrónica multipunto intentan ser cada vez sistemas de alimentación más precisos. Por esta razón se emplea la electrónica ya que mediante la utilización de ella se puede conseguir una dosificación de combustible más exacta. (SANTANDER RUEDA, 2006)

La dosificación se puede controlar con una serie de parámetros como son:

- Densidad del aire
- Temperatura del motor
- Régimen de giro del motor
- Oxígeno residual de la mezcla (sonda lambda)
- Condiciones de funcionamiento (marcha mínima, ralentí, en frío)

Para la determinación de estos parámetros son utilizados sensores capaces de determinar modificaciones de tensión eléctrica, de acuerdo con la magnitud que controlan. Los transductores transmiten a la ECU (Unidad de control electrónico) la información necesaria, que será procesada y analizada, para así transmitir las órdenes al sistema. (SANTANDER RUEDA, 2006)

## **2.8 Funcionamiento del sistema de inyección electrónica de combustible multipunto**

El aire aspirado pasa primero por el filtro de aire para después enseguida pasar al medidor de flujo de aire, el cual envía información a la ECU. La cantidad de aire que entra está regulada por la válvula de mariposa, que a través de la caja de contactos envía la señal de su estado a la ECU y por la válvula de aire adicional también controlada por la ECU. (SANTANDER RUEDA, 2006)

El recorrido de la gasolina empieza desde el tanque de combustible, donde es aspirada por la bomba eléctrica de combustible, que recibe la corriente desde el relé principal, regida por el interruptor de contacto y la ECU. La bomba de combustible impulsa la gasolina a través del filtro, al tubo de distribución (riel), y llega al regulador de presión donde se establece la presión de inyección. Después de tener la presión adecuada, pasa finalmente a los inyectores. (SANTANDER RUEDA, 2006)

Finalmente, el aire recibe la aportación de combustible del inyector de arranque en frío, solo cuando el motor funciona en estado de calentamiento y enseguida la cantidad de combustible necesaria para la combustión por parte de los inyectores. (SANTANDER RUEDA, 2006)

## **2.9 Alimentación de combustible**

**2.9.1** *Riel o galería de inyectores.* Es un conducto de gasolina del que parten las tomas de los inyectores, es utilizado en los sistemas de inyección multipunto y no en los sistemas monopunto, proporciona una presión uniforme de combustible a todos los inyectores, asegurando un suministro homogéneo. (SANTANDER RUEDA, 2006)

**2.9.2** *Regulador de presión de combustible.* Una de sus funciones es transferir el combustible al tanque por el conducto rebose o línea de retorno en el caso que se supere la presión máxima admisible en el riel de inyectores. Adicionalmente, el regulador se encuentra comunicado con el colector de admisión, por lo que la regulación se hace sensible a la depresión que exista en el colector. El objetivo fundamental de esta regulación es impedir que las variaciones de vacío en el colector influyan en la cantidad de combustible inyectado. (SANTANDER RUEDA, 2006)

**2.9.3** *Inyectores.* Los sistemas actuales utilizan inyectores gobernados eléctricamente, es decir, válvulas de regulación eléctricas. Son dispositivos de tipo todo o nada, ya que sólo tienen dos estados estables “abiertos o cerrados”.

Cuando están abiertos permiten el paso de combustible y cuando están cerrados los bloquean, la ECU es la encargada de mandar los impulsos eléctricos que gobiernan la apertura de los inyectores. (SANTANDER RUEDA, 2006)

El tiempo de duración de los impulsos determina el tiempo de apertura de la aguja pulverizadora, y debido a que la presión de alimentación del inyector es constante, la cantidad de combustible inyectado será proporcional al tiempo de duración del impulso eléctrico. (SANTANDER RUEDA, 2006)

La punta del inyector está diseñada para dividir el combustible en un roció muy fino. El ángulo del inyector, el patrón de rociado y la distancia a la válvula de admisión son características muy importantes en el diseño, las cuales cambian de un motor a otro. (SANTANDER RUEDA, 2006)

## 2.10 Sistema de aire

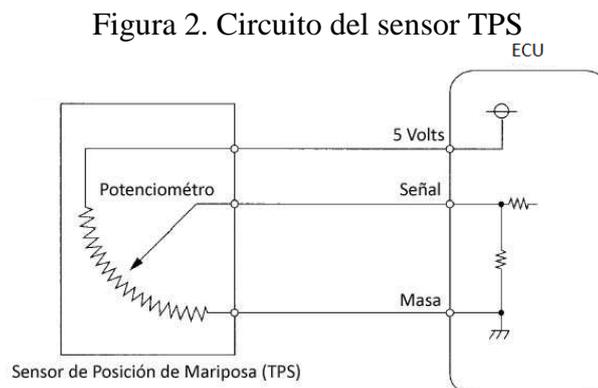
### 2.10.1 Sensor de posición de la mariposa (TPS)

**2.10.1.1 Función.** Emitir una señal que la ECU identificara como la cantidad de aceleración que imprime el conductor de un vehículo, logrando con ello incrementar la potencia del motor cuando se lo requiera. (COELLO SERRANO, 2006)

Al recibir esta señal, la ECU aumenta la cantidad de combustible en los inyectores, especialmente en etapas de aceleración brusca, la señal enviada a la ECU en ralentí generalmente esta alrededor de 0.2 - 0.6 Voltios, mientras que en aceleración completa esta entre los 4.2 - 4.8 Voltios. (COELLO SERRANO, 2006)

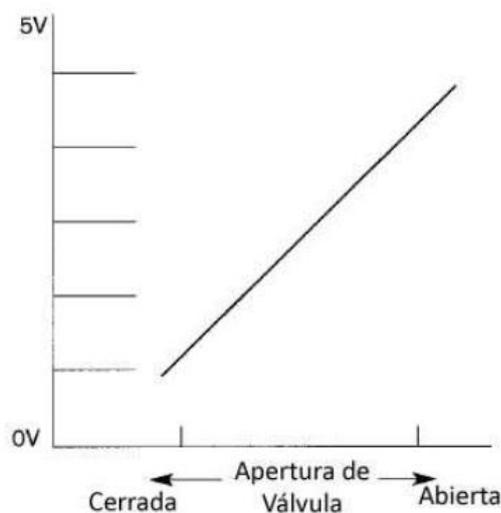
**2.10.1.2 Ubicación.** El sensor TPS está montado en el cuerpo de aceleración.

**2.10.1.3 Descripción.** El sensor TPS posee las siguientes características.



Fuente: <http://automecanico.com/auto2027/bbooster06.pdf>

Figura 3. Curva característica del sensor TPS



Fuente: <http://automecanico.com/auto2027/bbooster06.pdf>

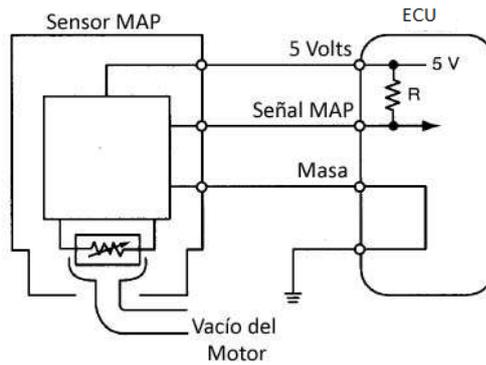
## 2.10.2 Sensor presión absoluta del múltiple de admisión (MAP)

**2.10.2.1 Función.** El sensor MAP es el encargado de medir la depresión del motor ocasionada en el colector o múltiple de admisión, con este sensor no solamente se puede medir este valor importante, sino que se puede relacionar con la presión atmosférica existente en el ambiente, de tal manera que la ECU puede calcular internamente también la altura sobre el nivel del mar en el cual está trabajando el motor del vehículo, aprovechando para regular con esta información la cantidad apropiada de combustible inyectado necesario en base a los parámetros del motor. Esta función es igual a la de un sensor barométrico o altimétrico de tal manera que cumple con dos funciones importantes de forma simultánea. El sensor MAP está constituido por un elemento piezoeléctrico muy sensible, el cual relaciona la presión atmosférica con la depresión en el colector de admisión. El sensor MAP es un sensor de tipo electrónico que constantemente supervisa la succión o vacío en el múltiple de admisión y dependiendo del valor de vacío presente en el múltiple de admisión se entrega mayor o menor voltaje a la unidad de control electrónico (ECU). (COELLO SERRANO, 2006)

**2.10.2.2 Ubicación.** El sensor MAP está ubicado directamente sobre el múltiple de admisión o se encuentra instalado sobre la carrocería interna del compartimiento del motor.

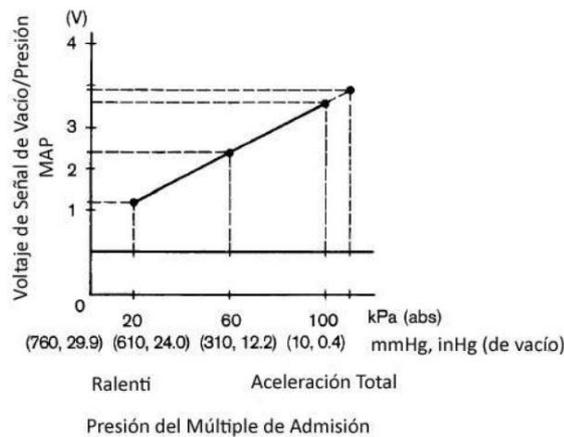
**2.10.2.3 Descripción.** El sensor MAP posee las siguientes características.

Figura 4. Circuito del sensor MAP



Fuente: <http://automecanico.com/auto2027/bbooster05.pdf>

Figura 5. Curva característica del sensor MAP



Fuente: <http://automecanico.com/auto2027/bbooster05.pdf>

### 2.10.3 Sensor de temperatura de aire de admisión (IAT).

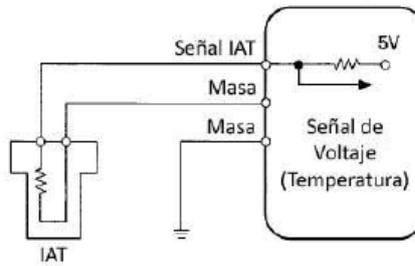
**2.10.3.1 Función.** El sensor envía un parámetro de información que generalmente se la toma de forma conjunta con el caudal de aire aspirado, estas dos informaciones le dan a la ECU la idea exacta de masa del aire que está ingresando a los cilindros del motor. (COELLO SERRANO, 2006)

Dependiendo de la masa de aire medida, la ECU decidirá el valor exacto de combustible que debe ser inyectado, para que la mezcla sea ideal en todas las condiciones de aceleración. (COELLO SERRANO, 2006)

**2.10.3.2 Ubicación.** El sensor IAT se encuentra ubicado en el múltiple de admisión.

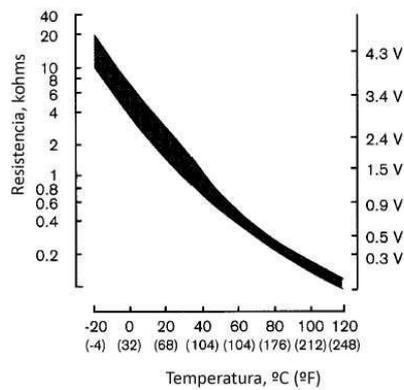
**2.10.3.3 Descripción.** El sensor IAT posee las siguientes características.

Figura 6. Circuito del sensor IAT



Fuente: <http://automecanico.com/auto2027/bbooster04.pdf>

Figura 7. Curva característica del sensor IAT



Fuente: <http://automecanico.com/auto2027/bbooster04.pdf>

## 2.11 Determinación de la temperatura del motor

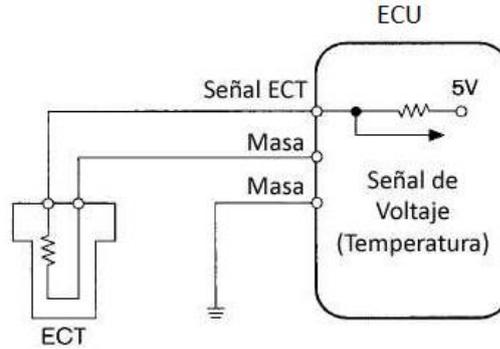
### 2.11.1 Sensor de temperatura del anticongelante del motor (ECT)

**2.11.1.1 Función.** El sensor ECT informa a la ECU la temperatura de refrigerante del motor, que en este caso es la que identifica la temperatura del motor, para que la ECU pueda enriquecer automáticamente la mezcla de aire-combustible cuando el motor está frío y la vaya empobreciendo paulatinamente, con el incremento de la temperatura, hasta llegar a la temperatura ideal de trabajo, en cuyo caso se inyectará suficiente combustible para formar la mezcla ideal, para ello se utiliza un sensor que tiene una resistencia NTC. (COELLO SERRANO, 2006)

**2.11.1.2 Ubicación.** El sensor ECT se encuentra ubicado cerca de la conexión de la manguera superior, que lleva agua del motor al radiador.

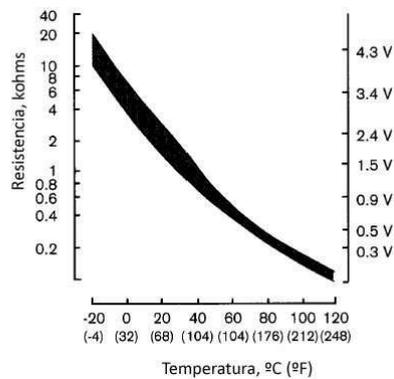
**2.11.1.3 Descripción.** El sensor ECT posee las siguientes características.

Figura 8. Circuito del sensor ECT



Fuente: <http://automecanico.com/auto2027/bbooster04.pdf>

Figura 9. Curva característica del sensor ECT



Fuente: <http://automecanico.com/auto2027/bbooster04.pdf>

## 2.12 Determinación de las emisiones del motor

### 2.12.1 Sensor de oxígeno (Lambda)

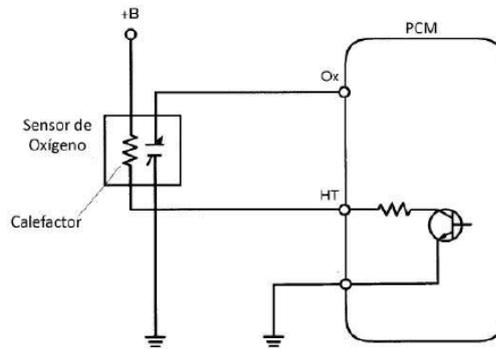
**2.12.1.1 Función.** Es una sonda que analiza los gases de escape en el mismo momento que circulan por el sistema de escape, detectando posibles excesos o defectos de oxígeno que provocan la intervención de la ECU para evitarlos. (SANTANDER RUEDA, 2006)

Se genera una tensión o voltaje de aproximadamente 1 Voltio, cuando la cantidad o presencia de oxígeno es abundante y la mezcla de aire-combustible está muy rica. Cuando la tensión eléctrica generada es baja, significa que en los gases de escape existe poca presencia de oxígeno, indicando con ello que la mezcla de aire combustible está muy pobre. (COELLO SERRANO, 2006)

**2.12.1.2 Ubicación.** El sensor de oxígeno está ubicado en el múltiple de escape, o cerca de él.

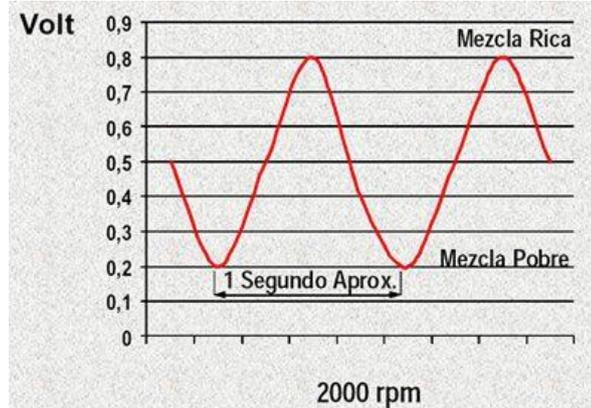
**2.12.1.3 Descripción.** El sensor de oxígeno posee las siguientes características.

Figura 10. Circuito del sensor de oxígeno



Fuente: <http://automecanico.com/auto2027/bbooster12.pdf>

Figura 11. Curva característica del sensor de oxígeno



Fuente: <http://aficionadosalamecanica.com/hazlo-sonda-lambda.htm>

## 2.13 Determinación del régimen de giro del motor

### 2.13.1 Sensor de Posición del Cigüeñal (CKP)

**2.13.1.1 Función.** Este sensor puede ser de tipo inductivo o efecto hall, proporciona la señal a la ECU para determinar las rpm del motor, y de esta manera ubicar la posición del cigüeñal.

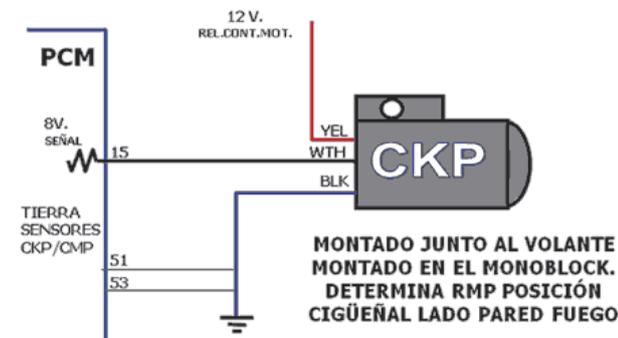
El sensor se acopla frente a una rueda dentada fijada al cigüeñal. La rueda dentada posee tallados varios dientes faltando uno o dos dientes justo donde coincide con el PMS del cilindro N° 1 (generalmente), en esta zona es donde se inducen los pulsos de mayor amplitud. Estos pulsos son utilizados para la sincronización y determinación de las rpm del motor. En algunos sistemas utilizan esta señal como elemento de seguridad pasiva del

vehículo, es decir si no aparece esta señal después de haberse puesto en marcha el motor, se desconecta completamente el sistema de inyección y fundamentalmente la alimentación de la bomba de combustible, con lo cual queda inhabilitado completamente el vehículo. (SANTANDER RUEDA, 2006)

**2.13.1.2 Ubicación.** El sensor CKP está ubicado en la parte baja del motor, cerca del volante de inercia del cigüeñal.

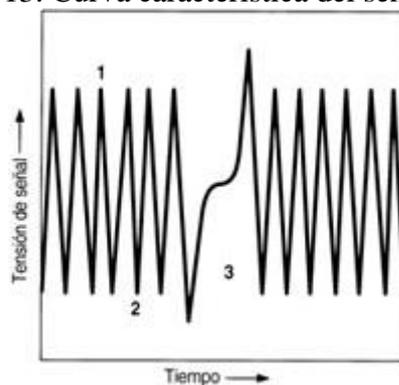
**2.13.1.3 Descripción.** El sensor CKP posee las siguientes características.

Figura 12. Circuito del sensor CKP



Fuente: <http://www.alianzaautomotriz.com/tips/hyundai-atos-modelos-2001-al-2007-fallas-frecuentes/>

Figura 13. Curva característica del sensor CKP



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores2-modelos.htm>

## 2.14 Unidad de control electrónico programable (ECU)

La unidad de control electrónico tiene la función de controlar y regular el comportamiento del motor en base a las señales obtenidas por los sensores y actuadores utilizados en el sistema de inyección.

La implementación de un sistema de inyección ajustable nos permite variar y regular de una forma confiable la inyección y el encendido de acuerdo a las necesidades, este sistema no posee cartografías grabadas inicialmente en la unidad de control por lo cual previo al encendido se debe ingresar los parámetros correspondientes para la puesta en marcha del vehículo.

La incorporación de un sistema de inyección ajustable nos permite tener beneficios como:

- Mayor potencia y aumento del par motor.
- Mejora de la capacidad de dosificar la mezcla de aire/combustible.
- Reducción del consumo de combustible que emplea el motor en comparación con su funcionamiento a carburador.
- Reducción del porcentaje de gases tóxicos emitidos hacia la atmósfera.

La unidad de control electrónico es la parte básica del equipo de inyección electrónica, ya que recibe todas las informaciones de los captadores y sensores, y se encarga de su procesamiento para dar órdenes precisas para una correcta dosificación de la mezcla. (SANTANDER RUEDA, 2006)

El trabajo de la ECU es determinar el tiempo e instante de la inyección y el salto de la chispa del encendido.

## **2.15 Computadora Programable MegaSquirt MS-II**

MegaSquirt pertenece a una familia de controladores de inyección de combustible programable, este controlador tiene como prioridad el control de los inyectores para mejorar la distribución de combustible y de esta manera el rendimiento del motor mejorando su potencia. (BOWLING, y otros, 2016)

La computadora MegaSquirt puede proporcionar cálculos en tiempo real del combustible, hasta 16.000 RPM, es completamente programable y provee una conexión serial para interconectarse con una computadora regular. (BOWLING, y otros, 2016)

MegaSquirt puede controlar la inyección de combustible en motores desde 1 hasta 12 o más cilindros. Los inyectores utilizados en el sistema a controlar pueden ser de alta o baja impedancia. MegaSquirt soporta un gran número de sistemas de encendido, ya sea directamente o por modificaciones al circuito. (BOWLING, y otros, 2016)

El controlador de EFI utiliza sensores estándar, como temperatura del refrigerante, temperatura del aire de admisión, posición del acelerador, gases de escape, pulso de inyección para llevar a cabo la inyección de combustible. (BOWLING, y otros, 2016)

MegaSquirt-II es básicamente una tarjeta de procesador de plug-in que tiene el procesador MC9S12 más hardware apoyo, así como un chip de motor paso a paso, y un controlador de módulo de encendido. (BOWLING, y otros, 2016)

Las características de la computadora MegaSquirt MS-II son las siguientes:

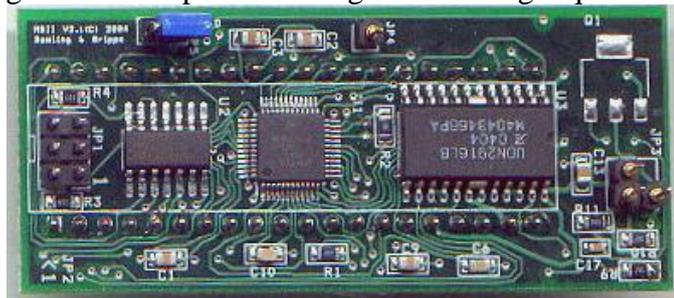
Tabla 3. Características de la computadora MegaSquirt MS-II

| <b>Especificaciones</b> | <b>MegaSquirt-II</b> |
|-------------------------|----------------------|
| Núcleo del CPU          | 16bits               |
| Velocidad               | 24 MHZ               |
| Flash                   | 64 Kbytes            |
| RAM                     | 2048 (2K) bytes      |

Fuente: <http://www.megamanual.com/ms2/>

El control de combustible mediante la MegaSquirt-II se lo puede realizar a 1 µsec, una de las características de MegaSquirt es que puede controlar tanto el sistema de encendido como el disparo de la inyección y de esta manera poder mejorar y controlar el rendimiento del motor. (BOWLING, y otros, 2016)

Figura 14. Computadora Programable MegaSquirt MS-II



Fuente: <http://www.megamanual.com/ms2/>

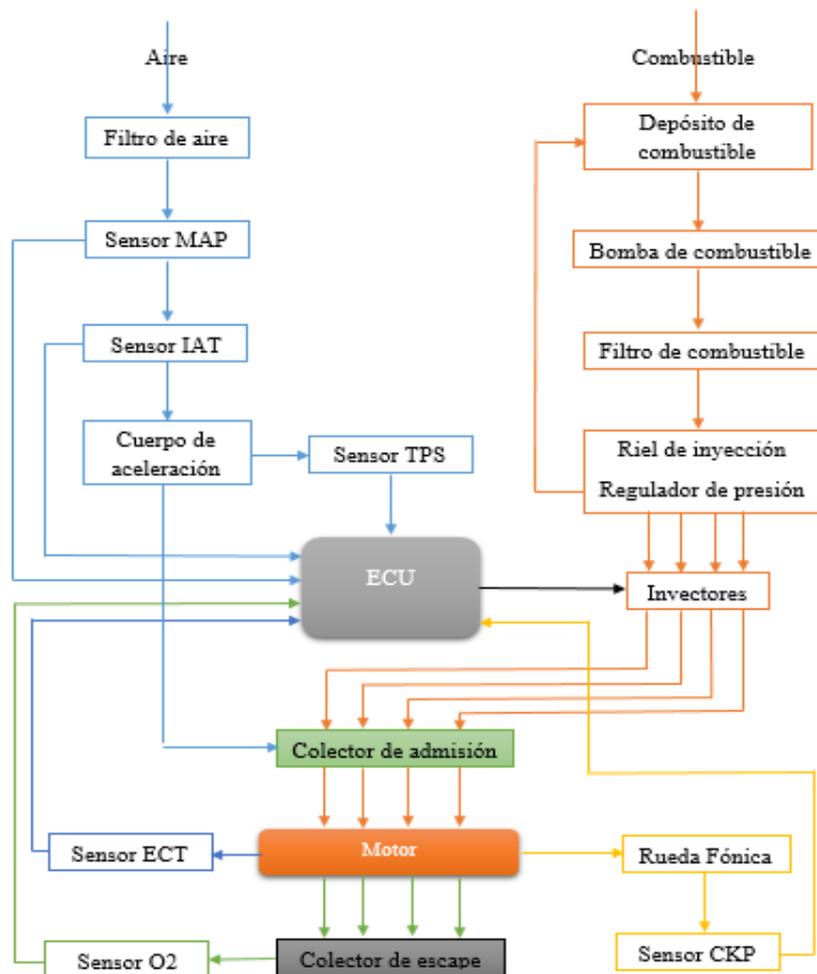
### CAPÍTULO III

## 3. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE PARA EL MOTOR YAMAHA DE 400CC

### 3.1 Diagrama de flujo del sistema de inyección electrónica de combustible

El diagrama de flujo del sistema de inyección electrónica de combustible se lo realizó en base a los elementos que lo conforman, como son los sensores, riel de inyección, depósito de combustible, bomba y filtro de combustible, inyector, unidad de control electrónico (ECU) y el funcionamiento del sistema de inyección como se puede observar en el siguiente esquema.

Figura 15. Diagrama de flujo del sistema de inyección



Fuente: Autores

### 3.2 Selección de la computadora programable para el sistema de inyección

Para tener el control y modificar el ajuste del motor es necesario recurrir a computadoras programables de vehículos, estos sistemas programables permiten la posibilidad de mejorar el rendimiento del motor mediante la variación de la inyección de combustible.

Para la selección de la computadora programable se realizó el análisis comparativo de las características, funcionalidad y diversos parámetros de dos marcas la MegaSquirt de serie MS-II versus Haltech Platinum Sprint 500.

Tabla 4. Características de las computadoras programables

| <b>Parámetros</b>                      | <b>MegaSquirt de serie MS-II</b>   | <b>Haltech Platinum Sprint 500</b>   |
|--|--|--|
| Control de la inyección de combustible | De 1-12 cilindros.<br>Motor por chispa perdida.                                  | De 1-8 cilindros.<br>Motor por chispa perdida.   |
| Conexión                               | Posee una conexión serial para interface con una PC.                             | Se lo puede hacer por medio de una PC.   |
| Programación                           | Es completamente programable.<br>Facilidad de programación no requiere de chips. | Se puede programar un propio código si se lo desea.<br>En el software no se puede realizar modificaciones. |
| Procesos de control de inyección       | Pueden ser de lazo abierto o lazo cerrado (con sonda lambda)                     | Pueden ser de lazo abierto o lazo cerrado (con sonda lambda)   |
| Mapeo de Inyección                     | Se lo realiza a través de un proceso de interpolación.                           | Se lo realiza a través de un proceso de interpolación.   |
| Inyectores                             | Pueden ser de alta o de baja impedancia.   | Pueden ser de alta o de baja impedancia.   |
| Repuestos                              | De fácil adquisición a nivel nacional.   | No existe a nivel nacional requiere de importaciones.  |
| Mantenimiento                          | Se lo puede realizar en el país  | No se realiza en el país.  |
| Disponibilidad                         | Mayor disponibilidad a nivel Nacional.   | Se consigue solo con distribuidores autorizados.   |

Tabla 4. (Continuación)

| Información      | Tiene mucha información en línea.   | La información es restringida.  |
|------------------|---|---|
| Durabilidad      | Es una característica favorable ya que en caso de averías tiene elementos reemplazables que se pueden encontrar a nivel nacional. | Es una característica desfavorable ya que en caso de averías los elementos no se pueden reemplazar. |
| Factor económico | 900\$   | 1500\$  |

Fuente: Autores

Mediante la comparación entre las dos programables se llegó a la conclusión que la ECU que satisface las necesidades del proyecto es la MegaSquirt por motivos como facilidad de programación, repuestos, mantenimiento, disponibilidad, durabilidad, factor económico.

### **3.3 Selección de los sensores del sistema de inyección electrónica de combustible**

La principal ventaja al utilizar esta ECU programable, es que permite el uso de cualquier tipo de sensor, sin importar la marca o sus características de funcionamiento. Las señales básicas que necesita la ECU para controlar el sistema de inyección y lograr que el motor funcione adecuadamente son:

- Estado de carga del motor, apertura de la mariposa de aceleración proporcionado por el sensor TPS.
- Densidad del aire proporcionada por el sensor MAP.
- Temperatura del motor, proporcionada por los sensores IAT para el aire y ECT para el refrigerante.
- Régimen de giro del motor, proporcionado el sensor CKP.
- Oxígeno residual de la mezcla proporcionada por el sensor de Oxígeno o sonda Lambda.

**3.3.1** *Sensor TPS.* El sensor TPS seleccionado, es del Chevrolet Corsa Evolution, por su fácil conexión con la ECU MegaSquirt, recolección y entrega de datos de forma precisa, bajo costo y fácil adquisición.

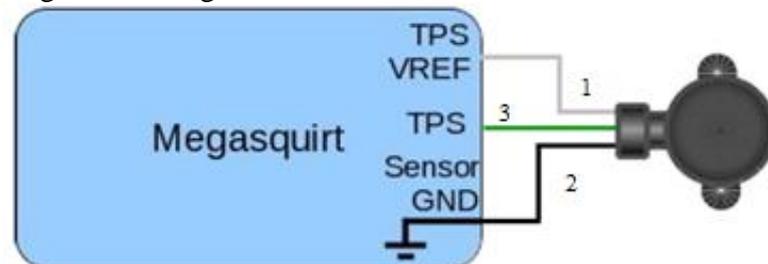
**3.3.1.1** *Características del sensor.*

Figura 16. Sensor TPS



Fuente: Autores

Figura 17. Diagrama de conexión del sensor TPS a la ECU



Fuente: [www.megasquirt.com](http://www.megasquirt.com)

Tabla 5. Identificación de terminales del sensor TPS

| Número de cable | Descripción                         |
|-----------------|-------------------------------------|
| 1               | Alimentación del sensor             |
| 2               | La tierra o masa del sensor         |
| 3               | La señal de posición de la mariposa |

Fuente: Autores

**3.3.2** *Sensor MAP.* El sensor MAP que se utilizó en este proyecto viene incluido en la ECU MegaSquirt II, lo que es una gran ventaja por la precisión que se tiene en la recolección de datos de la presión del aire.

**3.3.2.1** *Características del sensor.*

Figura 18. Sensor MAP



Fuente: <https://www.diyautotune.com/product/mpx4250-2-5-bar-map-sensor/>

Figura 19. Diagrama de conexión del sensor MAP a la ECU



Fuente: [www.megasquirt.com](http://www.megasquirt.com)

**3.3.3** *Sensor IAT.* El sensor IAT seleccionado, es del Chevrolet Corsa Evolution, esto debido a que es de funcionamiento sencillo, posee fácil conexión con la ECU, fácil disponibilidad y de bajo costo.

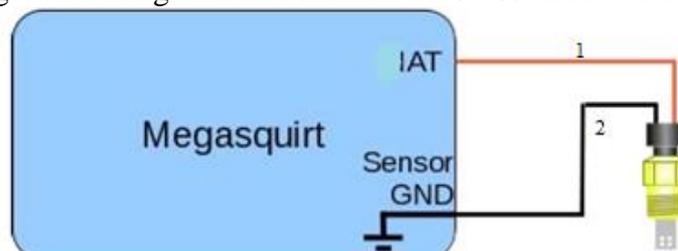
**3.3.3.1** *Características del sensor.*

Figura 20. Sensor IAT



Fuente: Autores

Figura 21. Diagrama de conexión del sensor IAT a la ECU



Fuente: [www.megasquirt.com](http://www.megasquirt.com)

Tabla 6. Identificación de terminales del sensor IAT

| Número de cable | Descripción                      |
|-----------------|----------------------------------|
| 1               | La señal de temperatura del aire |
| 2               | La tierra o masa del sensor      |

Fuente: Autores

**3.3.4** *Sensor ECT.* El sensor ECT seleccionado es de la marca Hyundai del vehículo HD 72, debido a su funcionamiento sencillo de tipo termistor similar al IAT, facilitando la conexión con la ECU, fácil disponibilidad y de bajo costo.

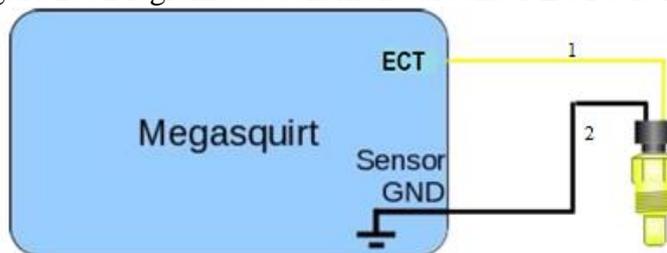
**3.3.4.1** *Características del sensor.*

Figura 22. Sensor ECT



Fuente: Autores

Figura 23. Diagrama de conexión del sensor ECT a la ECU



Fuente: [www.megasquirt.com](http://www.megasquirt.com)

Tabla 7. Identificación de terminales del sensor ECT

| Número de cable | Descripción                                      |
|-----------------|--|
| 1               | La señal de temperatura del líquido refrigerante |
| 2               | La tierra o masa del sensor                      |

Fuente: Autores

**3.3.5** *Sensor CKP.* El sensor CKP seleccionado es del Chevrolet Corsa Evolution, su funcionamiento es inductivo por lo que nos da una toma de datos de gran precisión, facilitando la conexión con la ECU MegaSquirt II, de fácil adquisición y de bajo costo.

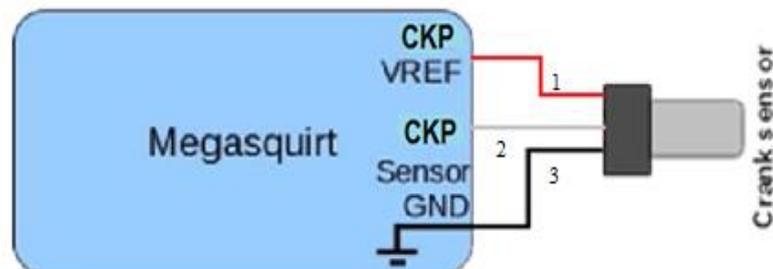
### 3.3.5.1 Características del sensor.

Figura 24. Sensor CKP



Fuente: Autores

Figura 25. Diagrama de conexión del sensor CKP a la ECU



Fuente: [www.megasquirt.com](http://www.megasquirt.com)

Tabla 8. Identificación de terminales del sensor CKP

| Número de cable | Descripción                       |
|-----------------|-----------------------------------|
| 1               | Alimentación del sensor           |
| 2               | La señal de posición del cigüeñal |
| 3               | La tierra o masa del sensor       |

Fuente: Autores

**3.3.6 Sensor de oxígeno.** El sensor de oxígeno seleccionado es del Chevrolet Corsa Evolution, es de tipo banda estrecha, tiene un alto grado de precisión en las lecturas de las estequiometrias de las mezclas, es de fácil adquisición y de bajo costo.

Este sensor debe de tener contacto directo con los gases de escape emitidos por el motor del vehículo, esto es de vital importancia para una correcta lectura de la riqueza de la mezcla.

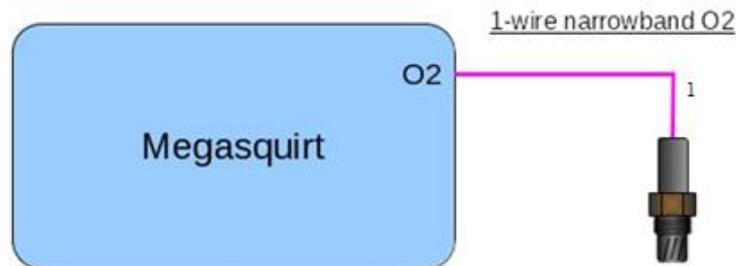
### 3.3.6.1 Características del sensor.

Figura 26. Sensor de oxígeno



Fuente: Autores

Figura 27. Diagrama de conexión del sensor de oxígeno a la ECU



Fuente: [www.megasquirt.com](http://www.megasquirt.com)

Tabla 9. Identificación de terminales del sensor oxígeno

| Número de cable | Descripción      |
|-----------------|------------------|
| 1               | Señal de oxígeno |

Fuente: Autores

### 3.4 Selección de inyectores del sistema de inyección electrónica de combustible

Para suministrar la cantidad de gasolina adecuada a cada cilindro durante el rango de operación del motor se debe seleccionar los inyectores apropiados para el sistema de inyección, teniendo como función principal proveer la cantidad de gasolina exacta bajo los parámetros preestablecidos.

Los inyectores deben ser seleccionados en base a los requerimientos para el correcto funcionamiento del sistema de inyección.

Para la selección de los inyectores un factor a considerar es el tamaño en cuanto a su flujo volumétrico expresado en lb/h, razón por la cual usar inyectores demasiado grandes causa dificultad al momento de controlar el ralentí y al usar inyectores demasiado pequeños

pueden no llegar a suministrar la cantidad adecuada de gasolina que requiere el motor en su potencia máxima.

Para realizar la selección de los inyectores utilizaremos la siguiente ecuación. (CIFUENTES VERA, y otros, 2009)

$$\text{Injector flow rate} = \frac{\text{Engine HP} \cdot \text{BSFC}}{\text{Number of injector} \cdot \text{Injector duty cycle}} \left[ \frac{\text{lb}}{\text{h}} \right] \quad (1)$$

Donde:

Injector flow rate = Caudal, en lb/h.

Engine Hp = Potencia del motor, en hp.

Number of injectors = Número de inyectores.

Injector duty cycle = Ciclo de trabajo del inyector

BSFC = Cantidad de combustible que utiliza el motor para desarrollar 1HP por hora.

Considerando que el motor seleccionado genera 59 Hp, se toma un ciclo de trabajo máximo de 85% para dejar un margen de seguridad y teniendo un (BSFC) el cual es la cantidad de combustible que utiliza el motor para desarrollar 1HP por una hora el cual es aproximadamente de 0,55 lb/(Hp.h) para un motor de cuatro cilindros como el utilizado para el vehículo llegamos a una aproximación en cuanto al tamaño requerido.

$$\text{Injector flow rate} = \frac{59 \times 0,55}{4 \times 0,85}$$

$$\text{Injector flow rate} = \frac{32,45}{3,4}$$

$$\text{Injector flow rate} = 9,54 \left[ \frac{\text{lb}}{\text{h}} \right]$$

El factor de conversión entre lb/h y cc/min se toma como  $1 \frac{\text{lb}}{\text{h}} = 10,5 \frac{\text{cc}}{\text{min}}$

$$\text{Injector flow rate} = 9,54 \left[ \frac{\text{lb}}{\text{h}} \right] = 100,17 \frac{\text{cc}}{\text{min}}$$

Con esta aproximación del requerimiento del sistema se optó por utilizar inyectores de la marca Volkswagen debido a su fiabilidad y facilidad de adquisición en el mercado para un óptimo control tanto en altas como en bajas revoluciones.

Figura 28. Inyector



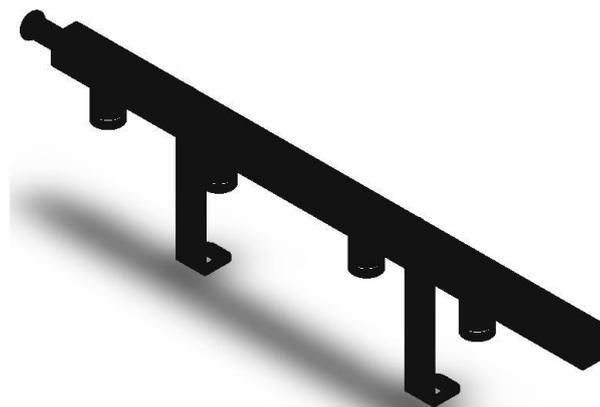
Fuente: Autores

### 3.5 Diseño y construcción del riel de inyección

El diseño del riel de inyección es en base a la disposición del múltiple de admisión, requerimientos y necesidades del sistema como la distancia entre inyectores, la adaptabilidad y opciones de configuración.

El riel se construyó de tubo cuadrado, su material es de acero ASTM A53, tiene una longitud total de 36cm.

Figura 29. Riel de inyección



Fuente: Autores

### 3.6 Selección del regulador de presión de combustible

El regulador de presión tiene la finalidad de mantener una presión constante de combustible para una atomización adecuada del mismo, es por estas necesidades que se escogió el regulador de presión de la marca Volkswagen, debido a que tiene como

característica principal una regulación de 3 bares y está incluido un filtro en el mismo regulador con lo cual se puede obtener los dos beneficios en un solo elemento, fácil adquisición y bajo costo.

Figura 30. Regulador de presión de combustible



Fuente: Autores

### 3.7 Selección de la rueda fónica

El diseño de la rueda fónica se lo puede realizar de 60 dientes con 2 faltantes o a su vez de 36 dientes con un faltante dependiendo del espacio y accesibilidad disponible y el requerimiento del sistema de inyección electrónica, en este sistema la rueda fónica utilizada es una rueda de 36 dientes con un faltante, esto debido a que este tipo de rueda fónica es empleada con mayor frecuencia en motores de 4 cilindros y su dimensionamiento reducido es el más adecuado para su fácil adaptación, pues de esta manera se consigue una distancia mayor entre los dientes y por ende una mayor captación de la señal del sensor CKP.

**3.7.1** *Diseño y construcción de la rueda fónica.* Para el diseño de la rueda fónica de 36 dientes y un faltante es muy importante conocer cuántos grados representan cada uno de los dientes es decir si 36 dientes de la rueda fónica corresponden a una vuelta completa que equivale a  $360^\circ$ , para determinar cuántos grados representan el desplazamiento de cada uno de los dientes se divide los  $360^\circ$  para el número total de los dientes de la rueda que es de 36 y se obtiene como resultado el desplazamiento de la rueda por diente y el espacio existente entre dientes es de  $10^\circ$ , se especifica que los grados de los dientes deben de ser del mismo tamaño del espacio entre dientes por esta razón se divide  $10^\circ$  a la mitad y se obtiene que el desplazamiento de cada diente equivale a  $5^\circ$ .

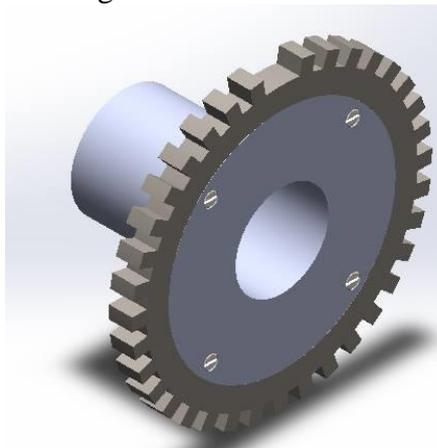
Para la construcción es de vital importancia definir que el diámetro de la rueda fónica de 36 dientes y un faltante no debe ser menor a 100 mm esto debido a que puede ocurrir

errores de lectura del sensor CKP, por lo que el motor no puede funcionar correctamente. Por esta razón el diámetro total de la rueda fónica que se construyó es de 103 mm.

En el diseño de la rueda fónica se ha generado como sólido único con la misma, tiene un eje hueco el cual nos permite acoplar la rueda fónica al magneto de carga de energía eléctrica del motor mediante un perno central de 9/16 in.

Para disminuir los esfuerzos de torsión que la rueda fónica ejerce en el perno durante su funcionamiento a altas revoluciones se optó por reducir su peso mediante la utilización de un material liviano como es el aluminio 7075, pero al emplear este material se presenta un problema para la captación de la señal del sensor CKP, por lo que para dar solución a este problema, a la rueda fónica se le adaptó mediante pernos a una corona dentada de Acero de transmisión SAE 1018/20.

Figura 31. Rueda fónica



Fuente: Autores

### 3.8 Selección de elementos de protección eléctrica

**3.8.1 Relés.** Estos componentes se basan en las leyes del electromagnetismo, cuando una corriente eléctrica circula a través de un hilo conductor aparece un campo magnético que será directamente proporcional a la intensidad de esta corriente y sus efectos se manifiestan en mayor dimensión cuanto menor sea la distancia al hilo conductor. (MARTÍNEZ, y otros, 2002)

El relé permite que la corriente fluya entre los dos puntos que cerraron el circuito, razón por la cual se requiere de este dispositivo para realizar las conexiones del sistema de inyección con los elementos que requieren de esta función.

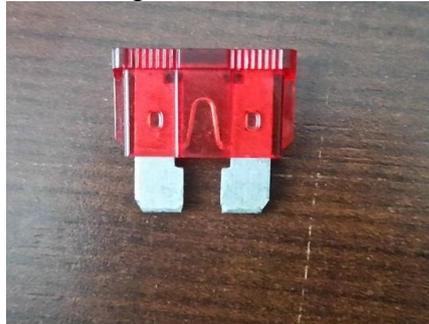
Figura 32. Relé



Fuente: Autores

**3.8.2** *Fusibles.* Debido a que la corriente en un circuito eléctrico puede alcanzar valores peligrosos, el fusible debe ser el primer elemento de aislar el circuito eléctrico e interrumpir así la corriente, este elemento evita el deterioro de las líneas defectuosas y a los circuitos electrónicos razón por la cual se instalaran fusibles de 10 amperios para las conexiones que requieran de esta función. (MARTÍNEZ, y otros, 2002)

Figura 33. Fusible



Fuente: Autores

## CAPÍTULO IV

### 4 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE

#### 4.1 Adaptación de los elementos que forman parte del sistema de inyección electrónica de combustible

**4.1.1** *Riel de inyección.* El riel de inyección posee unos brazos, los mismos que se encuentran soldados perpendicularmente para permitir sujetarlo a los conductos de entrada del múltiple de admisión y de esta manera asegurar el ángulo al que se adaptan los inyectores y por ende su flujo de inyección dentro de los conductos que ingresan a la cámara de combustión, en este caso es de 90°.

Figura 34. Riel de inyectores



Fuente: Autores

**4.1.2** *Inyectores.* Los inyectores van colocados a presión y herméticamente en los orificios del riel de inyección así como en los conductos del múltiple de admisión que ingresan a la cámara de combustión. La comunicación de los inyectores con la ECU MegaSquirt II se lo realiza a través de un socket individual para cada conector del inyector vinculado al arnés de cables que se unen a la ECU y alimentación del motor.

Figura 35. Inyectores



Fuente: Autores

**4.1.3** *Regulador de presión.* El regulador de presión está incorporado en el filtro de combustible, este se caracteriza por tener 3 bares de presión, es decir, cuando la presión dentro del sistema de alimentación de combustible alcanza dicha presión la válvula reguladora de presión se abre haciendo que el combustible retorne al tanque.

Figura 36. Regulador de presión

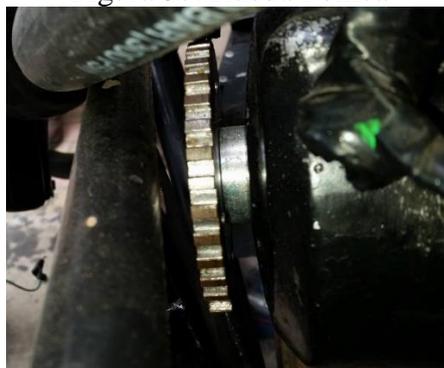


Fuente: Autores

**4.1.4** *Rueda fónica.* La rueda fónica está unida al magneto de carga del motor, para colocarla se desmontó el motor de sus bases y se procedió a adaptar la rueda fónica al magneto y su carcasa.

A la rueda fónica se la adapto de tal manera que su diente perdido coincida entre las señales (T y F) del magneto de carga, de la misma forma estas señales coinciden con una señal que posee el motor, la cual nos indica que el pistón del cilindro 1 a alcanzado su punto muerto superior (PMS) en el tiempo de compresión, esto se lo hace con el propósito de sincronizar a la rueda con el salto de chispa de las bobinas de encendido por ignición de descarga del capacitor (CDI). Para fijar la rueda fónica se utilizó un perno de 9/16 pulgadas, que sirve como un eje guía que le brinda ayuda al magneto para transmitir su rotación a la rueda fónica.

Figura 37. Rueda Fónica



Fuente: Autores

**4.1.5** *Sensor TPS.* El sensor TPS está adaptado al cuerpo de aceleración, este posee comunicación con la mariposa de aceleración a través de un eje, por lo que al girar la mariposa, el sensor TPS va midiendo la posición de la misma durante su desplazamiento. El sensor se comunica por medio de un socket de tres cables conectados con el arnés de cables de la ECU MegaSquirt II.

Figura 38. Sensor TPS



Fuente: Autores

**4.1.6** *Sensor MAP.* El sensor MAP viene incluido dentro de la ECU MegaSquirt II, para que el sensor interno capte la señal y realice la medición de datos se lo comunica a través de una manguera instalada en una toma de vacío que posee el pulmón del múltiple de admisión.

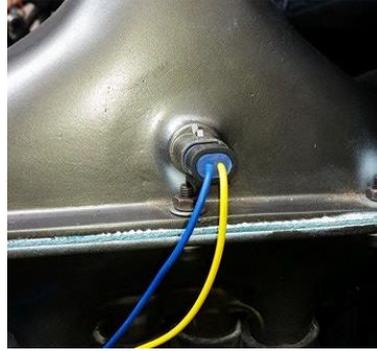
Figura 39. Toma de vacío



Fuente: Autores

**4.1.7** *Sensor IAT.* El sensor IAT está adaptado en el pleno del múltiple de admisión, debido a que en esa ubicación el sensor va a poseer mayor facilidad para la medición de la temperatura del aire que ingresara a los cilindros, conectado por medio de un socket de dos cables los cuales se adaptan al arnés de cables de la ECU MegaSquirt II.

Figura 40. Sensor IAT



Fuente: Autores

**4.1.8** *Sensor ECT.* El sensor ECT está adaptado en un cuerpo metálico encargado de albergar al termostato y un termistor, al sensor se lo adaptó en el orificio que alojaba al termistor, ya que en esta ubicación podrá medir de forma óptima la temperatura del motor durante su funcionamiento, tiene un socket de dos cables que se adaptan al arnés de cables de la ECU MegaSquirt II.

Figura 41. Sensor ECT



Fuente: Autores

**4.1.9** *Sensor de oxígeno.* El sensor de oxígeno está adaptado en el tubo de escape antes del silenciador, para su adaptación se hizo un agujero en donde se soldó una tuerca para facilitar el montaje y adaptación del sensor, se comunica con la ECU MegaSquirt II por medio de un cable.

Figura 42. Sensor de oxígeno



Fuente: Autores

**4.1.10** *Sensor CKP.* El sensor CKP se comunica con la rueda fónica por esta razón se montó al sensor en una base soldada a la carcasa donde se encuentra alojado el magneto de carga del motor, la cual permite que la punta del sensor este ubicado a una distancia de 1 mm con los dientes de la rueda fónica.

El sensor CKP está sincronizado con la rueda fónica para esto, se gira al magneto de carga en sentido horario que es el sentido de giro contrario al del funcionamiento del motor, esto se lo realiza hasta que el noveno diente a partir del diente perdido de la rueda coincida con la punta del sensor, esto para una rueda fónica de 36 dientes con 1 faltante, el propósito de esto es sincronizar el adelanto de salto de chispa en el tiempo de ignición del motor.

Figura 43. Sensor CKP

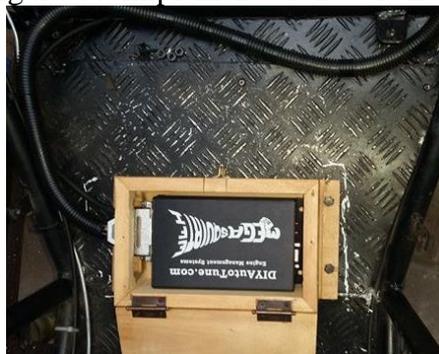


Fuente: Autores

## 4.2 Implementación del sistema programable

**4.2.1** *Ubicación de la computadora MegaSquirt II.* La ECU programable MegaSquirt II está ubicada en un compartimiento debajo del asiento y pegado al piso del vehículo debido a que no debe estar en contacto con altas temperaturas y se debe tener el debido cuidado ya que es un componente electrónico.

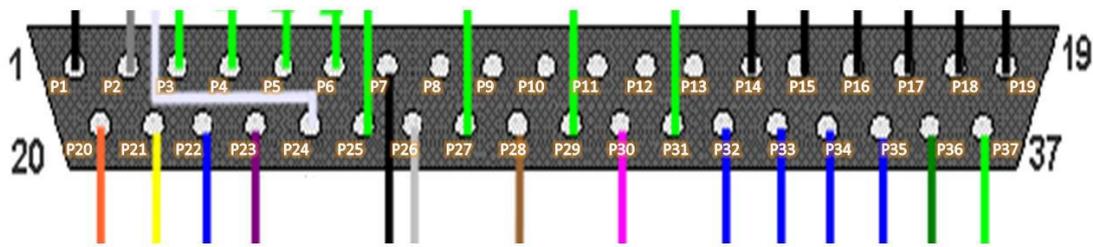
Figura 44. Implementación de la ECU



Fuente: Autores

#### 4.2.2 Pin data del MegaSquirt II

Figura 45. Pin data de Mega Squirt II



Fuente: [www.megasquirt.com](http://www.megasquirt.com)

Tabla 10. Descripción de los pines

| PIN | Designación  |
|-----|--|
| P1  | Masa del sensor CKP  |
| P2  | Conexión a tierra de la MS-II                                  |
| P3  | Cable opcional   |
| P4  | Cable opcional   |
| P5  | Cable opcional   |
| P6  | Cable opcional   |
| P7  | Masa del ECM   |
| P8  | No utilizado   |
| P9  | No utilizado   |
| P10 | No utilizado   |
| P11 | No utilizado   |
| P12 | No utilizado   |
| P13 | No utilizado   |
| P14 | Masa del ECM   |
| P15 | Masa del ECM   |
| P16 | Masa del ECM   |
| P17 | Masa del ECM   |
| P18 | Masa del ECM   |
| P19 | Masa del ECM   |
| P20 | Señal del sensor de temperatura del aire (IAT)                 |
| P21 | Señal del sensor de temperatura del refrigerante (ECT)         |
| P22 | Señal del sensor de la posición de la mariposa (TPS)           |
| P23 | Señal del sensor de oxígeno (O2)                               |
| P24 | Señal del sensor de posición del cigüeñal (CKP)                |
| P25 | Opción para IAC 1ª   |
| P26 | Voltaje de referencia del sensor de la posición de la mariposa |
| P27 | Opción para IAC 1B   |

Tabla 10. (Continuación)

|     |                                  |
|-----|----------------------------------|
| P28 | Alimentación de la ECU (12V)     |
| P29 | Opción para IAC 2ª               |
| P30 | Señal de ignición bloque B       |
| P31 | Opción para IAC 2B               |
| P32 | Control de inyector A-1          |
| P33 | Control de inyector A-2          |
| P34 | Control de inyector B-1          |
| P35 | Control de inyector B-2          |
| P36 | Señal de ignición bloque A       |
| P37 | Señal de la bomba de combustible |

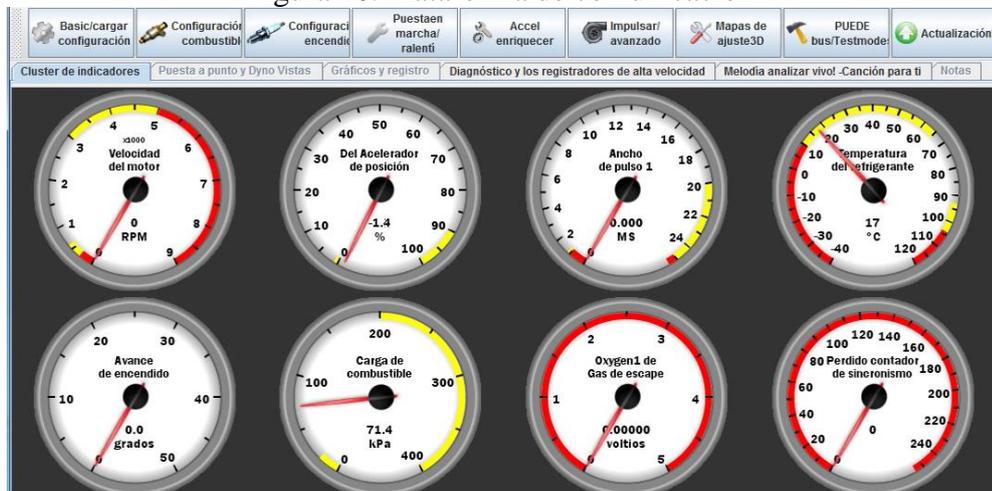
Fuente: Autores

### 4.3 Programación de la ECU

La programación de la inyección se lo realiza en base a mapas y cuadros de valores que representan la estequiometría de la mezcla aire-combustible. Previo al primer arranque del motor, es necesario ingresar parámetros iniciales de funcionamiento en la ECU programable con lo cual se puede encender el motor y tener acceso a la programación.

La programación de la ECU MegaSquirt II nos permite modificar el tiempo de ignición e inyección, correcciones barométricas, correcciones en función de la temperatura del aire o líquido refrigerante y eficiencia volumétrica del motor. Para realizar la programación es necesario descargar el software TunerStudio MS e instalarlo. La plataforma de comunicación básica de la ECU MegaSquirt II se muestra como indica la figura 46.

Figura 46. Plataforma de comunicación



Fuente: Software MegaSquirt

Como primer paso previo a la programación de la ECU se debe realizar la configuración del sistema operativo de la laptop al vincularlo con la ECU MegaSquirt II mediante el cable serial a USB, la programación requiere de los procesos que se detallaran de acuerdo a las necesidades del sistema de inyección y las características del motor, así como los parámetros de funcionamiento.

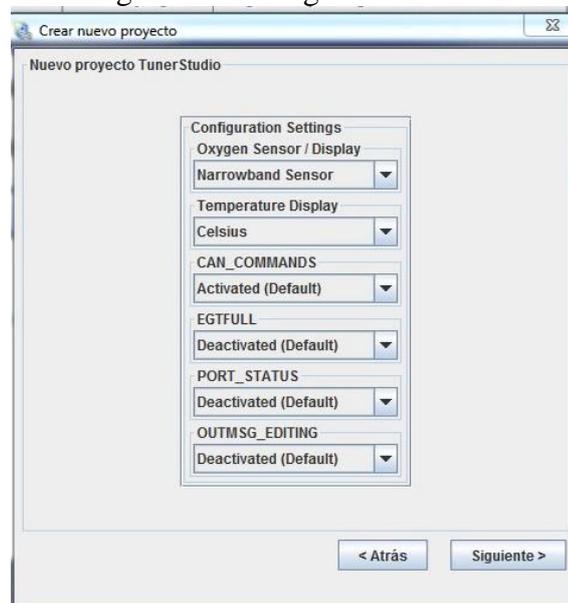
**4.3.1 Creación de un nuevo proyecto.** Como primer paso para el inicio de la programación de la ECU MegaSquirt II tenemos la opción de nuevo proyecto en la cual se configura los parámetros iniciales con los cuales se desea trabajar como es el tipo de sensor de oxígeno y en que grados se requiere ver las lecturas de temperatura.

Tabla 11. Parámetros del proyecto

|                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| Sensor de oxígeno | Narrowband sensor |
| Temperatura       | Celsius           |
| CAN_Commands      | Activado          |

Fuente: Autores

Figura 47. Configuración inicial

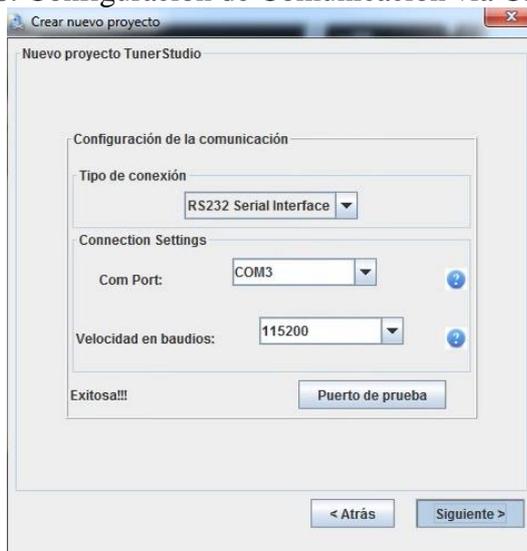


Fuente: Software MegaSquirt

**4.3.2 Interfaz de comunicación.** En la comunicación de la PC con el software de la MegaSquirt se habilitó el puerto número 3, que es el puerto con el cual se configura en Windows.

El tipo de conexión es RS232 serial Interface, con una velocidad de 115200

Figura 48. Configuración de Comunicación vía Cable Serial



Fuente: Software MegaSquirt

**4.3.3 Configuración del motor y secuenciales.** La computadora MegaSquirt II dispone en su programación inicial los cálculos de los parámetros a modificar en base a los datos que se ingresa como la cilindrada del motor, número de cilindros, tipo de motor y el caudal del inyector. Para el cálculo del requerimiento de combustible es necesario disponer de los datos que se encuentran en la tabla 12.

Tabla 12. Parámetros del motor

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| Cilindrada:           | 400cc     |
| Número de cilindros:  | 4         |
| Caudal de inyectores: | 115 cc    |
| Tiempos del motor:    | 4 tiempos |

Fuente: Autores

**4.3.3.1 Puesta en escena del inyector.** En esta opción se puede escoger entre dos tipos de inyección la simultánea y la alternativa, en el tipo de inyección simultánea todos los inyectores inyectan a la vez, mientras que en el tipo de inyección alternativa la inyección de combustible se realiza de dos en dos, es decir el 1 con el 4 y el 2 con el 3, si no se lo hace en este orden el motor va a ser bastante inestable e ineficiente ya que el orden de encendido en un motor de 4 cilindros es 1-3-4-2.

**4.3.3.2 Tipo de motor.** En esta opción se puede elegir el tipo de encendido con el cual se requiere trabajar en este caso es incluso fuego (even fire) ya que el motor trabaja con un encendido por CDI

**4.3.3.3** *Tamaño del inyector.* En esta opción se escoge el caudal del inyector, que para este sistema es de 115 cc/min.

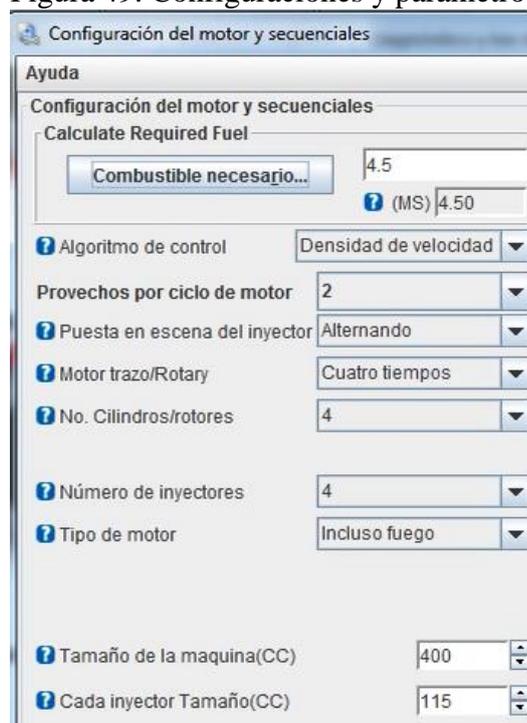
**4.3.3.4** *Algoritmo de control.* En esta opción se tiene tres elecciones las cuales son densidad de velocidad (Speed Density) que es utilizada para motores con o sin turbo y se trabaja directamente con el sensor MAP, Alpha N la cual es utilizada para motores aspirados con mucho cruce de válvulas, y donde se dificulta tomar mediciones del MAP y Percent Baro la cual es una combinación de los dos controles de algoritmos, para nuestro sistema elegiremos densidad de velocidad (Speed Density) ya que se trabajara directamente con el sensor MAP.

**4.3.3.5** *Provechos por ciclo de motor.* En esta opción se elige el chorro de inyección para el motor, ya que es una inyección alternativa se selecciona un valor de 2.

**4.3.3.6** *Motor trazo/Rotary (Engine Stroke).* En esta opción se selecciona el tipo de motor el cual es de 4 tiempos (Four-Stroke).

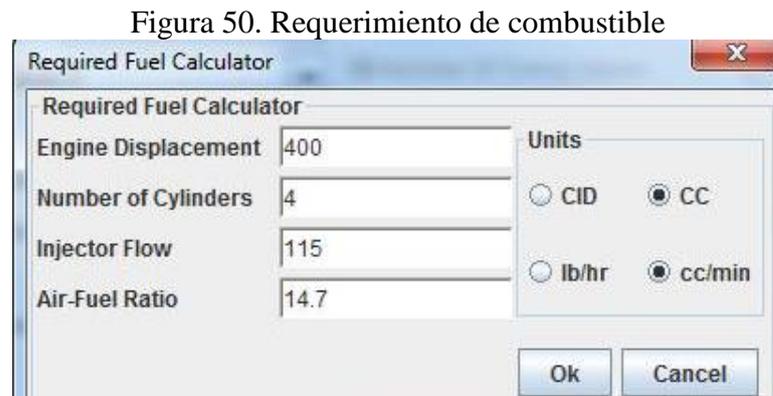
**4.3.3.7** *Número de cilindros.* En esta opción se elige el número de cilindros a trabajar, se elige el valor de 4 cilindros.

Figura 49. Configuraciones y parámetros



Fuente: Software MegaSquirt

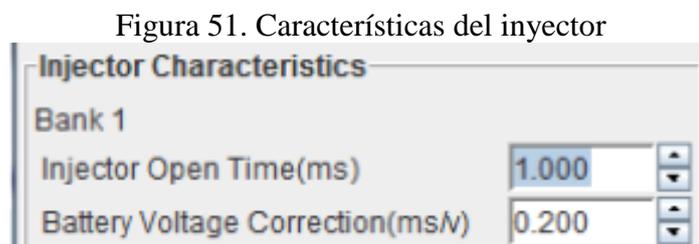
**4.3.4** *Requerimiento de combustible (Required Fuel).* El requerimiento de combustible se configura dependiendo las necesidades y características del motor, para lo cual se requiere insertar parámetros conocidos y de esta manera verificar el desempeño y reacción del motor, teniendo que para el motor YAMAHA de 400cc requiere un valor de 4.5 de requerimiento de combustible.



Fuente: Software MegaSquirt

**4.3.5** *Características del inyector.* En esta opción se ingresa las características generales de los inyectores, que son necesarias para la programación en conjunto con los demás parámetros para conseguir una buena calibración de la electrónica MegaSquirt II en conjunto con los elementos que conforman el sistema de inyección.

**4.3.5.1** *Corrección de la tensión de la batería (ms/v).* En esta opción se ingresa el número de milisegundos que la computadora incrementa el voltaje a la bobina de encendido, para de esta manera poder compensar las variaciones de voltaje, esta se encuentra en un rango de 0.1 a 0.2 ms. En este caso se optó por una corrección de 0.2ms ya que la corrección será más amplia.



Fuente: Software MegaSquirt

**4.3.6** *Control de la depuración de gases.* Esta opción es el control de oxígeno del gas de escape el cual se va a configurar en base a las necesidades.

**4.3.6.1** *Tipo de sensor EGO.* En esta opción se escoge el tipo de sonda a utilizar la cual es de banda estrecha (Narrow Band).

**4.3.6.2** *Por encima del refrigerante (Active Above Coolant).* Esta opción permite elegir cual es la temperatura por encima del agua a la cual se enviara información a la ECU, se colocó un valor de 71.1 °C la cual es la temperatura de funcionamiento del motor.

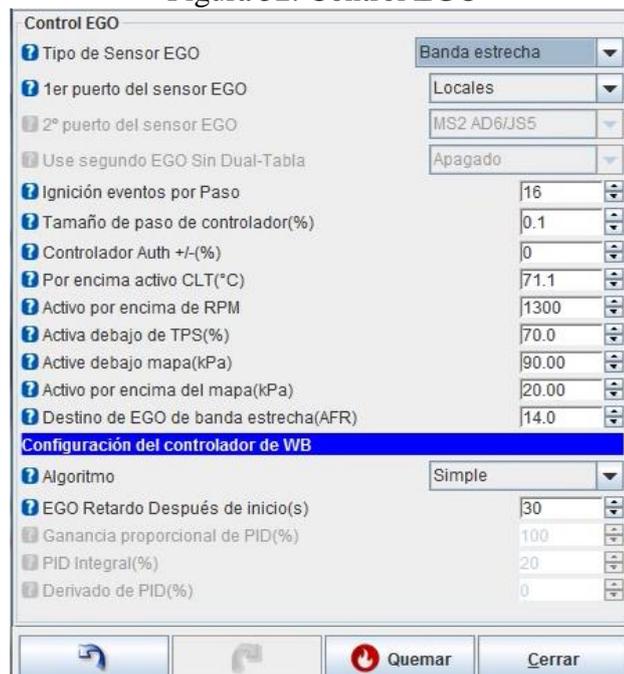
**4.3.6.3** *Activo por encima de RPM.* En esta opción se coloca a cuantas rpm empieza a captar señal la ECU del sensor, que se estableció desde las 1300 rpm.

**4.3.6.4** *Activa debajo de TPS.* En esta opción la ECU deja de recibir información del sensor TPS cuando la apertura de la mariposa esté con un 70%.

**4.3.6.5** *Activa debajo de MAP.* En esta opción se elige el valor de la depresión en el colector de admisión para que la ECU deje de tomar información del sensor cuando el MAP marque una depresión de 90 KPa.

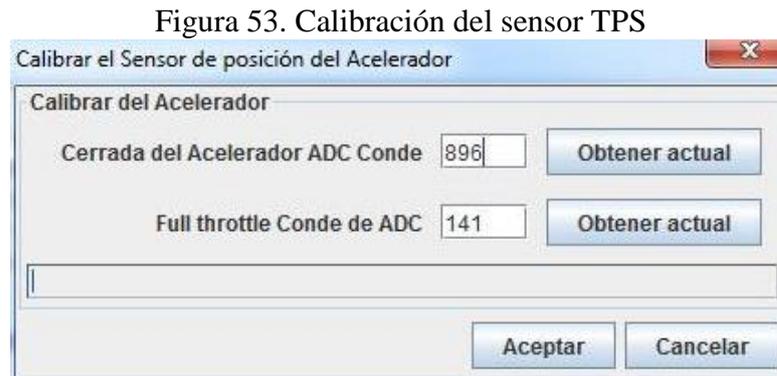
**4.3.6.6** *Activa por encima de MAP.* En esta opción permite elegir la depresión que marcara en el MAP para que la ECU comience a tomar información del sensor, en este caso se eligió un valor de 20 KPa.

Figura 52. Control EGO



Fuente: Software MegaSquirt

**4.3.7** *Calibración del sensor de la posición de la mariposa.* En este caso la ECU MegaSquirt II reconoce la posición de la mariposa de aceleración por medio de la señal emitida por el sensor TPS, en posición de ralentí y con apertura total, para calibrar el sensor TPS debemos asegurarnos que el acelerador este cerrado y posteriormente se procede a abrir completamente el acelerador y la ECU MegaSquirt II calibrara el sensor de forma inmediata.



Fuente: Software MegaSquirt

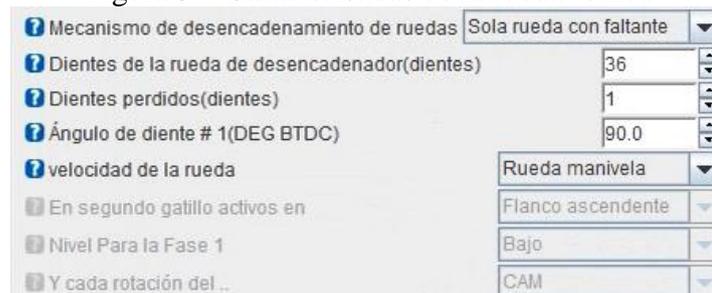
**4.3.8** *Identificación de la rueda fónica.* En esta opción se ingresa las características de la rueda fónica que sirve para la sincronización de la posición del cigüeñal mediante el sensor CKP.

**Tabla 13. Características de la rueda fónica**

|                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| Modo de encendido     | Rueda dentada       |
| Tipo de rueda         | Con diente faltante |
| Número de dientes     | 36                  |
| Dientes perdidos      | 1                   |
| Velocidad de la rueda | Rueda manivela      |
| Ángulo de diente #1   | 90                  |

Fuente: Autores

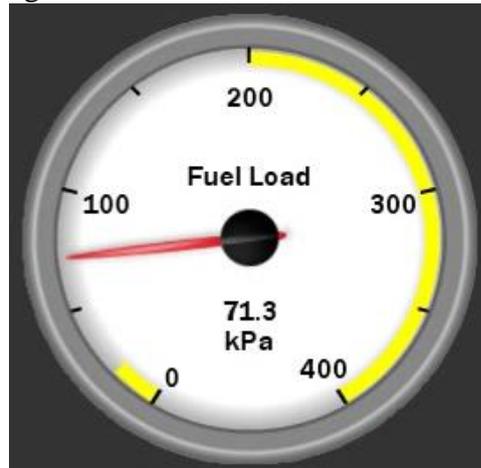
**Figura 54. Características de la rueda fónica**



Fuente: Software MegaSquirt

**4.3.9** *Tipo de MAP.* En esta opción se tiene diferentes tipos de rangos de lectura con respecto al sensor MAP, los cuales varían entre (115, 250, 300, 400) kPa, debido a que existen sensores con diferentes límites de presión dependiendo si el motor va a ser atmosférico o turbo alimentado. Para nuestro sistema debemos escoger un rango de variación no muy elevado para poder observar los parámetros con más detalle, por lo cual se escogió un valor de 0 a 250 KPa.

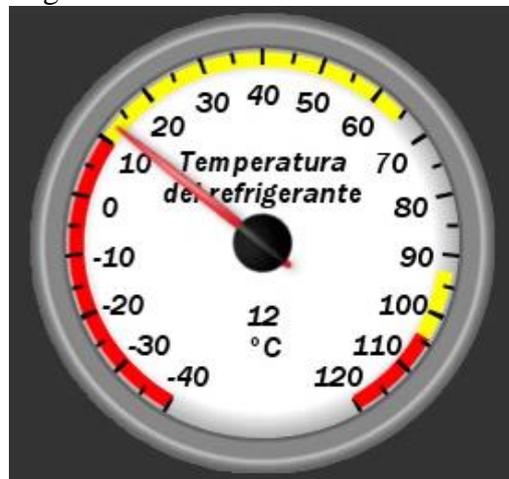
Figura 55. Calibración del sensor MAP



Fuente: Software MegaSquirt

**4.3.10** *Calibración del sensor de temperatura del refrigerante.* En esta opción la ECU MegaSquirt II, tiene una característica particular que es la de encontrarse cargada internamente con las calibraciones correctas para sensores de temperatura GM, por lo cual la calibración del sensor se realiza de forma automática bajo las calibraciones cargadas en la ECU.

Figura 56. Calibración del sensor ECT



Fuente: Software MegaSquirt

**4.3.11 Ajustes de arranque.** En esta opción se configura la rotación del motor al arranque, para que empiece el sensor CKP a captar la señal y con esta información, la ECU pueda distinguir el estado de arranque del motor con el de ralentí.

Estos parámetros se colocan dependiendo el sistema y el motor con el que se trabaje, en este caso tenemos un motor YAMAHA de 4 cilindros y 400cc.

**4.3.11.1 RPM de arranque (Cranking RPM).** En esta opción se Selecciona las revoluciones por minuto (rpm) que tiene el arranque del motor, en este caso se ingresó un valor de 200 rpm ya que son las revoluciones dadas por el motor de arranque al momento del encendido.

**4.3.11.2 Porcentaje de apertura (Flood Clear TPS) (%).** En esta opción se elige el porcentaje de apertura de la mariposa de aceleración para cortar la inyección, en este caso se coloca un valor de 70% el cual tiene la finalidad de evitar el ahogamiento en el motor al arrancar.

Figura 57. Parámetros de ajuste del arranque

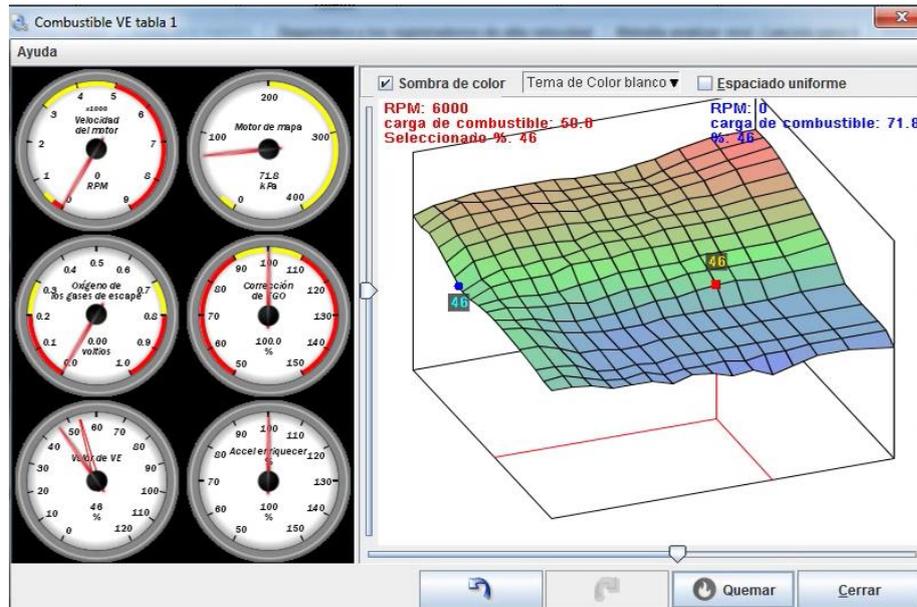


Fuente: Software MegaSquirt

**4.3.12 Mapa de inyección.** El proceso de mapeo de inyección es realizado a través de un proceso de interpolación, el cual consiste en la obtención de nuevos puntos partiendo de un conjunto de puntos dados. La interpolación es la metodología empleada para la construcción de los mapas de inyección.

El mapa de inyección se construye dependiendo las necesidades del motor y los requerimientos del sistema de inyección, teniendo como resultado para el motor YAMAHA de 400cc un mapa de inyección como el mostrado en la figura 58, el cual responde al óptimo funcionamiento del motor al arranque, así como en bajas y altas revoluciones del vehículo.

Figura 58. Mapa de inyección



Fuente: Software MegaSquirt

**4.3.13** *Tabla de Inyección.* Para visualizar de mejor manera en valores como se forma el mapa de inyección tenemos la tabla de combustible en la cual se observa que el límite está en 9000 rpm y es el tope de las revoluciones en la cual se realizara el corte de inyección, otro parámetro que cabe recalcar es que el pico más alto del mapeo es 62% ya que este valor se obtuvo mediante el desarrollo del motor a diversos parámetros llegando a que el valor ideal para las más altas revoluciones y para el óptimo funcionamiento del motor es de 62% , mientras que en bajas revoluciones oscila entre 39 a 50 % en base al comportamiento analizado por el motor YAMAHA de 400cc.

Figura 59. Tabla de combustible

The screenshot shows the MegaSquirt software interface displaying a fuel table. The table has RPM on the x-axis (500 to 9000) and fuel percentage on the y-axis (15.0 to 100.0). The values range from 38% to 62%. The table is color-coded, with green for higher fuel percentages and blue for lower ones. A blue circle highlights the value 45% at 700 RPM and 70% throttle. The interface includes a toolbar with 'Quemar' and 'Cerrar' buttons.

|       | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | 4500 | 5000 | 5500 | 6000 | 6500 | 7100 | 7900 | 9000 |
|-------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 100.0 | 53  | 55   | 56   | 57   | 57   | 57   | 57   | 57   | 56   | 56   | 56   | 57   | 58   | 60   | 62   | 62   |
| 95.0  | 52  | 56   | 58   | 57   | 57   | 57   | 57   | 56   | 56   | 56   | 55   | 55   | 57   | 59   | 61   | 62   |
| 90.0  | 53  | 56   | 57   | 57   | 57   | 57   | 56   | 56   | 56   | 56   | 56   | 57   | 58   | 60   | 62   | 62   |
| 85.0  | 51  | 54   | 55   | 56   | 56   | 57   | 56   | 55   | 56   | 56   | 56   | 57   | 58   | 60   | 61   | 61   |
| 80.0  | 49  | 53   | 54   | 55   | 55   | 55   | 55   | 54   | 54   | 54   | 54   | 55   | 56   | 56   | 58   | 59   |
| 75.0  | 47  | 51   | 52   | 53   | 53   | 53   | 52   | 54   | 53   | 54   | 55   | 55   | 55   | 55   | 56   | 57   |
| 70.0  | 45  | 48   | 50   | 50   | 51   | 51   | 52   | 53   | 53   | 53   | 54   | 54   | 54   | 54   | 55   | 56   |
| 65.0  | 45  | 48   | 49   | 49   | 49   | 51   | 51   | 51   | 52   | 52   | 52   | 52   | 52   | 52   | 53   | 54   |
| 60.0  | 46  | 47   | 47   | 46   | 46   | 47   | 48   | 49   | 49   | 49   | 49   | 50   | 50   | 50   | 50   | 52   |
| 55.0  | 47  | 47   | 46   | 45   | 45   | 44   | 45   | 46   | 46   | 47   | 48   | 48   | 48   | 48   | 48   | 50   |
| 50.0  | 47  | 46   | 45   | 43   | 42   | 42   | 42   | 43   | 44   | 44   | 45   | 46   | 46   | 45   | 46   | 46   |
| 45.0  | 47  | 46   | 44   | 42   | 41   | 40   | 40   | 40   | 41   | 41   | 41   | 41   | 41   | 41   | 42   | 42   |
| 35.0  | 46  | 46   | 44   | 41   | 41   | 40   | 40   | 41   | 41   | 41   | 41   | 41   | 41   | 41   | 41   | 41   |
| 25.0  | 45  | 45   | 44   | 41   | 40   | 41   | 40   | 41   | 41   | 41   | 41   | 41   | 41   | 41   | 41   | 41   |
| 20.0  | 44  | 45   | 43   | 41   | 40   | 41   | 39   | 40   | 40   | 40   | 39   | 40   | 40   | 41   | 41   | 41   |
| 15.0  | 44  | 44   | 43   | 41   | 41   | 41   | 39   | 41   | 40   | 38   | 39   | 36   | 38   | 40   | 40   | 38   |

Fuente: Software MegaSquirt

**4.3.14** *Sistema de encendido.* El sistema de encendido no está controlado por la ECU MegaSquirt II ya que originalmente el motor YAMAHA de 400cc tiene un encendido por CDI que es un encendido de ignición por descarga del capacitor el cual está conectado y funciona gracias al magneto de carga del motor, razón por la cual el encendido se mantiene y se ajusta en base a los parámetros requeridos por el sistema de inyección electrónica, el ajuste se lo realiza en conjunto con el posicionamiento de la rueda fónica del sistema para que el salto de chispa este calibrado conjuntamente con el posicionamiento de la rueda fónica en el punto muerto superior (PMS) del cilindro 1.

## CAPÍTULO V

### 5. PRUEBAS Y METODOLOGÍAS

#### 5.1 Pruebas de potencia

Las pruebas de potencia no se las realizo en un banco dinamométrico, esto debido a que las adaptaciones realizadas en el motor durante el cambio de carburador a inyección no permiten que el motor se pueda acoplar a un dinamómetro, además es de vital importancia mencionar que el banco dinamométrico existente en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo posee una configuración solo para motores de ciclo Diésel. Por tal motivo se buscó un método alternativo para obtener resultados iguales o similares a los de un dinamómetro, tomando como referencia que la potencia del motor con su funcionamiento a carburador es de 44 hp a 9000 rpm

#### 5.2 Curvas de potencia y par-motor

Para encontrar las curvas de potencia y par-motor emplearemos dos modelos matemáticos que son de gran ayuda cuando se desconoce los datos de potencia y par-motor.

**5.2.1** *Cálculo de potencia del motor.* Para realizar el cálculo se ocupó el modelo matemático empírico para calcular el torque y la potencia para un motor alternativo de combustión interna. Este modelo hace énfasis a la potencia en función de la velocidad angular del motor. (MERCHÁN RAMOS, 2004)

$$N_e = N_{e \max} * \frac{n}{n_N} * \left[ 0,87 + 1,33 * \frac{n}{n_N} - \left( \frac{n}{n_N} \right)^2 \right] \text{ [Kw]} \quad (2)$$

Dónde:

$N_e$  = Potencia en función de la velocidad angular del motor [Kw]

$N_{e \max}$  = Potencia máxima del motor [Kw]

$n$  = Variación de la velocidad angular [rpm]

$n_N$  = Velocidad angular del motor a la máxima potencia efectiva nominal [rpm]

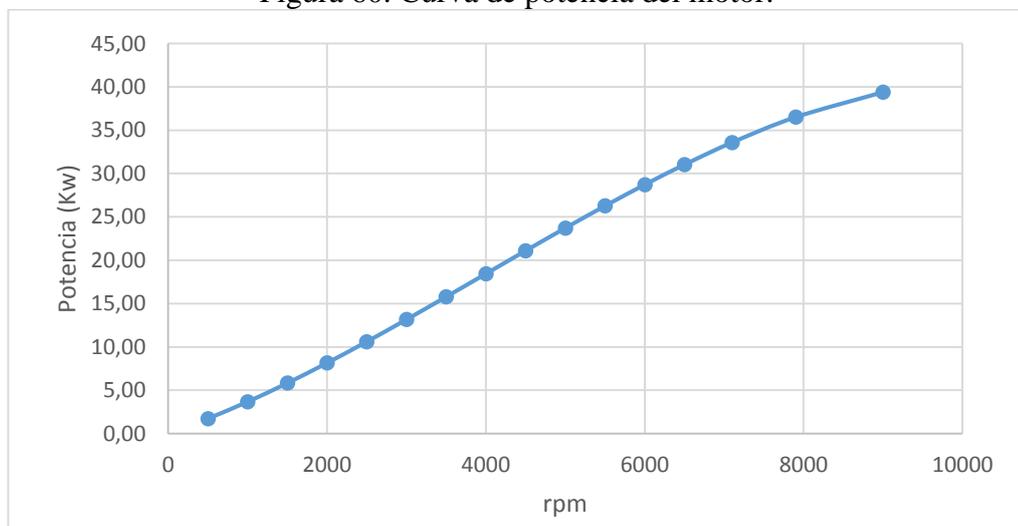
En el desarrollo de los cálculos para obtener los valores de los datos de potencia se lo realizo a partir del modelo matemático empírico, el cual se lo realizara en una hoja de cálculo mediante la utilización del programa Excel, sabiendo que, la potencia máxima del motor es de 44 hp que representado en kilowatts es un valor de 32,81 Kw, esto a una velocidad angular máxima del motor de 9000 rpm.

Tabla 14. Potencias del motor.

| RPM  | Potencia (Kw) | Potencia (hp) |
|------|---------------|---------------|
| 500  | 1,71          | 2,30          |
| 1000 | 3,67          | 4,92          |
| 1500 | 5,82          | 7,80          |
| 2000 | 8,14          | 10,91         |
| 2500 | 10,59         | 14,21         |
| 3000 | 13,15         | 17,63         |
| 3500 | 15,77         | 21,15         |
| 4000 | 18,43         | 24,71         |
| 4500 | 21,08         | 28,27         |
| 5000 | 23,70         | 31,78         |
| 5500 | 26,25         | 35,21         |
| 6000 | 28,70         | 38,49         |
| 6500 | 31,02         | 41,59         |
| 7100 | 33,57         | 45,01         |
| 7900 | 36,49         | 48,93         |
| 9000 | 39,37         | 52,80         |

Fuente: Autores

Figura 60. Curva de potencia del motor.



Fuente: Autores

Con los valores calculados de la potencia del motor mediante la ecuación matemática empírica se tiene una comparación experimental entre las potencias máximas del motor durante su funcionamiento a carburador frente a la implementación del sistema de inyección electrónica, teniendo así una idea clara de los beneficios que nos brinda la implementación del sistema de inyección en el vehículo.

Tabla 15. Comparación de datos de potencias

| Sistema    | RPM   | Potencia [Kw]      |
|------------|-------|--------------------|
| Carburador | 9000  | 32,81              |
|            | 12000 | 44                 |
| Inyección  | 9000  | 39,37              |
|            | 12000 | corte de inyección |

Fuente: Autores

Partiendo de los datos de potencia que se muestran en la tabla 15, se puede observar que al transformar el sistema de carburador a inyección se obtiene a 9000 rpm un incremento de potencia de unos 6,56 Kw, por lo que se cumple uno de los objetivos del sistema de inyección que es el aumento de la potencia.

**5.2.2** *Cálculo del Par-motor.* Este modelo especifica el torque del motor en función de la velocidad angular del motor. (MERCHÁN RAMOS, 2004)

$$T = 9550 * \frac{N_e}{n} \text{ [N*m]} \quad (3)$$

Donde:

T = Torque del motor en función de la velocidad angular del motor [N\*m]

$N_e$  = Potencia en función de la velocidad angular del motor [Kw]

n = Variación de la velocidad angular [rpm]

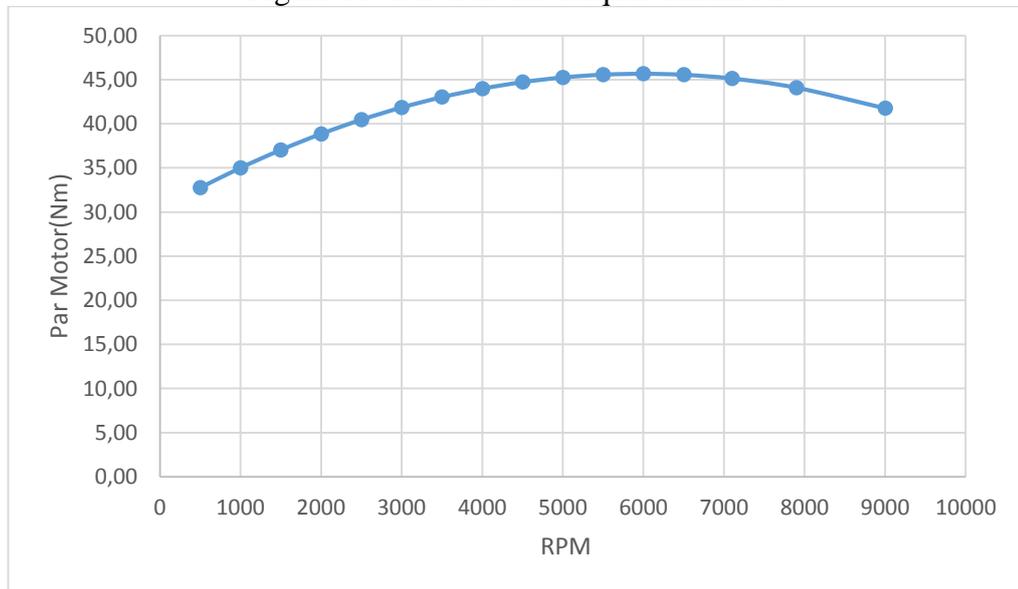
Para la obtención de los valores de par-motor se lo realizó por medio de una ecuación la cual está basada en un modelo matemático empírico el cual nos permite obtener los valores experimentales de torque o par-motor, los resultados se los encontró mediante el desarrollo de la fórmula matemática en una hoja de cálculo de Excel la cual está en función de la potencia calculada con anterioridad y la variación de la velocidad angular.

Tabla 16. Torques del motor

| RPM  | Par motor (N*m) |
|------|-----------------|
| 500  | 32,75           |
| 1000 | 35,00           |
| 1500 | 37,04           |
| 2000 | 38,86           |
| 2500 | 40,46           |
| 3000 | 41,86           |
| 3500 | 43,03           |
| 4000 | 43,99           |
| 4500 | 44,74           |
| 5000 | 45,27           |
| 5500 | 45,58           |
| 6000 | 45,69           |
| 6500 | 45,57           |
| 7100 | 45,15           |
| 7900 | 44,11           |
| 9000 | 41,78           |

Fuente: Autores

Figura 61. Curva de los torques del motor



Fuente: Autores

Con los valores experimentales calculados se realiza una comparación del par-motor del vehículo a la máxima revolución por minuto que alcanza el motor durante su funcionamiento a carburador frente a la implementación del sistema de inyección electrónica.

Tabla 17. Comparación de datos de par-motor.

| Sistema    | RPM  | Par-motor [N*m] |
|------------|------|-----------------|
| Carburador | 9000 | 34,81           |
| Inyección  | 9000 | 41,78           |

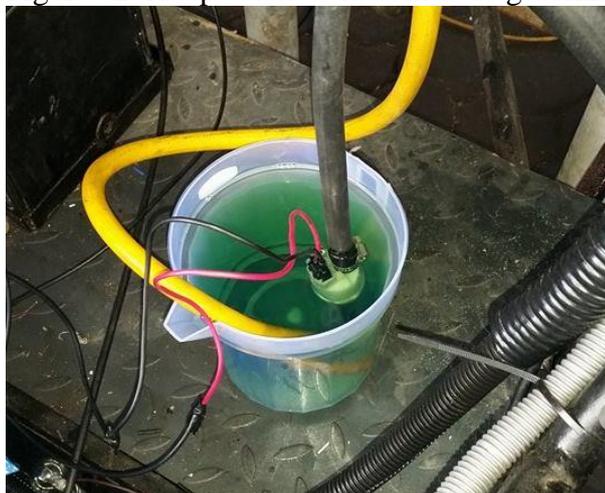
Fuente: Autores

En los datos experimentales del par-motor que se muestran en la tabla 17, se compara el motor cunado tiene su funcionamiento a carburador frente al motor implementado el sistema de inyección electrónica, obteniendo así que a 9000 rpm se tiene un incremento de potencia de unos 6,97 N\*m, por lo que se cumple uno de los objetivos del sistema de inyección que es el aumento del par-motor.

### 5.3 Pruebas de consumo de combustible

Para la realización de la prueba de consumo de combustible se la desarrollo mediante la utilización de un vaso de precipitado de 1500ml en el cual se adaptó la bomba de gasolina para poder obtener medidas exactas y reales en la prueba de consumo como se puede observar en la figura 62.

Figura 62. Adaptación de la bomba de gasolina



Fuente: Autores

Para poder realizar la medición de consumo de una forma real y exacta se utilizó una probeta graduada con la cual se mide la disminución del combustible durante el tiempo de prueba del motor, obteniendo como resultado que durante 10 minutos de funcionamiento del motor se consume  $500\text{cm}^3$  de combustible teniendo así los parámetros para poder calcular el consumo específico del motor.

Figura 63. Vaso de precipitado y probeta



Fuente: Autores

Primero se calculara el consumo de combustible por hora con la siguiente ecuación:  
(KINDLER, y otros, 1986)

$$B = \frac{K \cdot \rho \cdot 3600}{t} \left[ \frac{\text{g}}{\text{h}} \right] \quad (4)$$

Dónde:

B = Consumo por hora, en g/h.

K = Consumo de combustible de acuerdo a la potencia, en cm<sup>3</sup>.

ρ = Densidad del combustible, en g/cm<sup>3</sup>.

t = Tiempo de consumo, en s.

$$B = \frac{K \cdot \rho \cdot 3600}{t} \left[ \frac{\text{g}}{\text{h}} \right] \quad (4)$$

Dónde:

$$K = 500 \text{ cm}^3$$

$$\rho = 0.68 \text{ g/cm}^3$$

$$t = 600 \text{ s}$$

$$B = \frac{(500 \text{ cm}^3) \left( 0.68 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \cdot 3600}{600 \text{ s}}$$

$$B = 2040 \left[ \frac{\text{g}}{\text{h}} \right]$$

Ahora se calcula el consumo específico de combustible mediante la siguiente ecuación: (KINDLER, y otros, 1986)

$$b = \frac{B}{P_e} \left[ \frac{g}{Kw \cdot h} \right] \quad (5)$$

Dónde:

b = Consumo específico, en g/Kwh.

B = Consumo por hora, en g/h.

Pe = Potencia efectiva, en kW.

Aplicando la fórmula para las diferentes medidas de potencia obtenidas tendremos el siguiente cuadro de consumo específico de combustible:

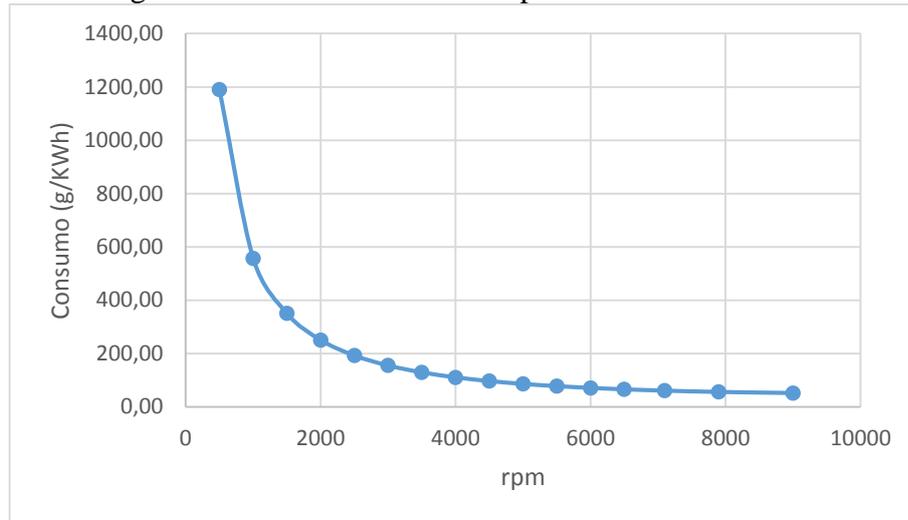
Tabla 18. Consumo de combustible

| RPM  | Potencia (Kw) | Consumo especifico (g/(Kw*h)) |
|------|---------------|-------------------------------|
| 500  | 1,71          | 1189,59                       |
| 1000 | 3,67          | 556,56                        |
| 1500 | 5,82          | 350,65                        |
| 2000 | 8,14          | 250,67                        |
| 2500 | 10,59         | 192,58                        |
| 3000 | 13,15         | 155,15                        |
| 3500 | 15,77         | 129,36                        |
| 4000 | 18,43         | 110,71                        |
| 4500 | 21,08         | 96,77                         |
| 5000 | 23,70         | 86,07                         |
| 5500 | 26,25         | 77,71                         |
| 6000 | 28,70         | 71,07                         |
| 6500 | 31,02         | 65,77                         |
| 7100 | 33,57         | 60,77                         |
| 7900 | 36,49         | 55,91                         |
| 9000 | 39,37         | 51,81                         |

Fuente: Autores

Al graficar los valores obtenidos en la tabla 18 se puede observar el consumo del motor YAMAHA de 400cc en todos los regímenes de revoluciones del motor, como indica la figura 64.

Figura 64. Curva de consumo específico de combustible



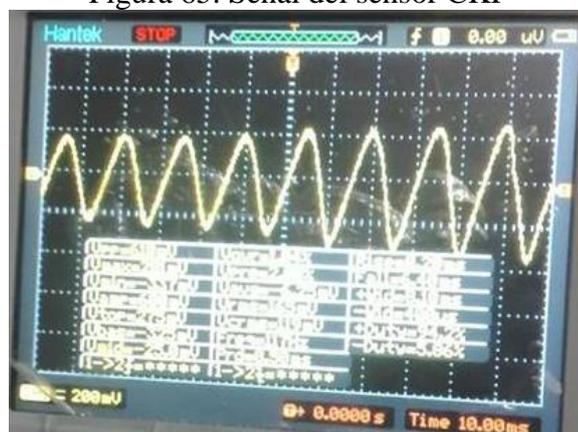
Fuente: Autores

Con los resultados de la prueba de consumo se determinó que el ahorro de combustible es evidente en comparación con los valores de consumo del motor con carburador, y de esta manera se cumple uno de los objetivos del sistema de inyección que es el ahorro de combustible ya que se inyectara de forma más dosificada y concreta de acuerdo a las necesidades del motor en función de los regímenes de giro.

#### 5.4 Prueba de funcionamiento de los sensores

**5.4.1** *Sensor CKP.* Es de tipo inductivo, por lo tanto toma en cuenta los dientes de la rueda fónica para producir un ciclo por diente, se verifica que el patron de la señal es de forma senoidal con lo cual se puede aseverar que el sensor esta trabajando en óptimas condiciones.

Figura 65. Señal del sensor CKP



Fuente: Autores

**5.4.2** *Sensor TPS.* Al girar la mariposa el sensor recibe la señal y hace que varíe la resistencia interna del sensor, de esta forma variara la tensión de salida la cual llega a la ECU para realizar los respectivos cálculos internos, el sensor está trabajando en óptimas condiciones al variar la mariposa de aceleración.

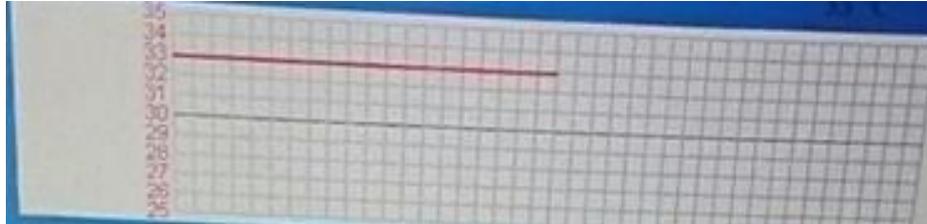
Figura 66. Señal del sensor TPS



Fuente: Autores

**5.4.3** *Sensor ECT.* Determina la temperatura del refrigerante del motor a través de una resistencia que provoca la caída de voltaje y envía esta señal a la ECU para que pueda determinar la cantidad de combustible en función de las necesidades del motor, este señal varía de acuerdo al tiempo de funcionamiento y e incremento de temperatura del motor.

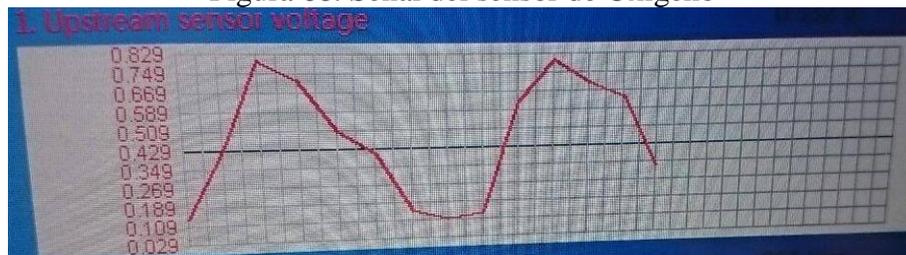
Figura 67. Señal del sensor ECT



Fuente: Autores

**5.4.4** *Sensor de Oxígeno.* Envía la señal a la ECU en base a la calidad de combustión que está generando el motor y los gases que salen por el tubo de escape, la señal del voltaje va a ciclar entre a 0.1 a 0.9 Voltios, con lo cual se verifica que el funcionamiento del sensor es adecuado.

Figura 68. Señal del sensor de Oxígeno



Fuente: Autores

**5.4.5** *Sensor IAT.* Controla la temperatura de aire de ingreso al múltiple de admisión con lo cual la ECU recibe la información necesaria para tener una idea de la cantidad de masa de aire que ingresa, estos valores deben fluctuar de tal manera que la curva se asemeja a una forma senoidal, se puede verificar que el funcionamiento del sensor es el óptimo.

Figura 69. Señal del sensor IAT



Fuente: Autores

## CAPÍTULO VI

### 6. COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN

#### 6.1 Detalle de costos directos

Tabla 19. Costos de elementos eléctricos y electrónicos

| <b>Cantidad</b> | <b>Detalle</b>                 | <b>Valor unitario<br/>[USD]</b> | <b>Valor total<br/>[USD]</b> |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 1               | Computadora (MEGASQUIRT)       | 900,00                          | 900,00                       |
| 1               | Sensor CKP                     | 70,00                           | 70,00                        |
| 1               | Sensor ECT                     | 25,00                           | 25,00                        |
| 1               | Sensor IAT                     | 20,00                           | 20,00                        |
| 1               | Sensor TPS                     | 30,00                           | 30,00                        |
| 1               | Sensor de Oxígeno              | 25,00                           | 25,00                        |
| 4               | Inyectores                     | 45,00                           | 180,00                       |
| 1               | Cable Serial a USB DB-9 RS-232 | 12,00                           | 12,00                        |
| 4               | Socket de inyectores           | 5,00                            | 20,00                        |
| 2               | Relé Bosch                     | 4,00                            | 8,00                         |
| 2               | Socket para relé               | 1,50                            | 3,00                         |
| 3               | Porta fusibles                 | 1,00                            | 3,00                         |
| 3               | Fusibles                       | 0,25                            | 0,75                         |
| 1               | Cable N16                      | 10,00                           | 10,00                        |
| 1               | Bomba de gasolina              | 50,00                           | 50,00                        |
| <b>TOTAL</b>    |                                |                                 | <b>1356 ,75 USD</b>          |

Fuente: Autores

Tabla 20. Costos de elementos mecánicos

| <b>Cantidad</b> | <b>Detalle</b>    | <b>Valor unitario<br/>[USD]</b> | <b>Valor total<br/>[USD]</b> |
|-----------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 1               | Rueda fónica      | 165,00                          | 165,00                       |
| 1               | Riel de inyección | 50,00                           | 50,00                        |
| 5               | Carretes          | 3,00                            | 15,00                        |
| <b>TOTAL</b>    |                   |                                 | <b>230,00 USD</b>            |

Fuente: Autores

|                        |                    |
|------------------------|--------------------|
| <b>COSTOS DIRECTOS</b> | <b>1586,75 USD</b> |
|------------------------|--------------------|

## 6.2 Detalle de costos indirectos

Tabla 21. Costos indirectos

| <b>Detalle</b> | <b>Valor</b>      |
|----------------|-------------------|
| Transporte     | 200               |
| Varios         | 150               |
| <b>TOTAL</b>   | <b>350,00 USD</b> |

Fuente: Autores

|                              |                   |
|------------------------------|-------------------|
| <b>COSTOS<br/>INDIRECTOS</b> | <b>350,00 USD</b> |
|------------------------------|-------------------|

## 6.3 Costos totales

Tabla 22. Costos totales

|                          |                    |
|--------------------------|--------------------|
| <b>Costos directos</b>   | <b>1586,75</b>     |
| <b>Costos indirectos</b> | <b>350,00</b>      |
| <b>TOTAL</b>             | <b>1936,75 USD</b> |

Fuente: Autores

## **CAPÍTULO VII**

### **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1 Conclusiones**

Se determinó que el tipo de inyección electrónica que satisface los requerimientos del motor YAMAHA de 400cc al igual que el reglamento de la fórmula SAE, es la inyección indirecta, multipunto, secuencial y electrónica.

Se diseñó el sistema de inyección electrónica de combustible mediante la selección de una ECU de características programables como es la ECU MegaSquirt MS II, al igual que los diferentes sensores y actuadores que conformaran el sistema, se diseñaron y construyeron elementos tales como son el riel inyección en Acero al carbono y la rueda fónica en Aluminio 7075 y Acero de transmisión.

Se adaptó el sistema de inyección electrónica en el motor YAMAHA de 400cc mediante la sincronización entre los elementos que lo conforman y la programación de la ECU MegaSquirt MS II en base a diferentes parámetros tales como son las características del motor, el tipo de inyección seleccionada, las condiciones a las que se requiere que trabajen los sensores, el número de revoluciones mínimas y máximas a las que se desea que el motor trabaje y el porcentaje de combustible utilizado en bajas y altas revoluciones.

Se realizó las pruebas de funcionamiento del sistema de inyección electrónica mediante métodos y técnicas de medición, en las cuales se obtuvo como resultados un mejor llenado de los cilindros que se traduce en un aumento de la potencia y par-motor, así como una reducción en el consumo de combustible.

#### **7.2 Recomendaciones**

Se debe conocer las reglas y normativas que rigen la fórmula SAE, para no tener inconvenientes en cuanto al cumplimiento de las mismas durante el desarrollo de este proyecto.

La selección del sistema de inyección electrónica debe ser la correcta para que pueda satisfacer los requerimientos necesarios que presentan las características del motor.

Se deben seleccionar los elementos más idóneos y fundamentales para el sistema posea un funcionamiento óptimo y libre de averías a corto plazo.

Las instalaciones y conexiones eléctricas deben ser protegidas adecuadamente por elementos de protección como fusibles, relés y aislantes de corriente eléctrica para evitar cortocircuitos, averías o daños de actuadores o sensores.

Es de vital importancia tener cuidado al momento de sincronizar la rueda fónica con el sensor CKP y el encendido por CDI, para establecer el momento exacto del salto de chispa.

Para no tener inconvenientes durante la programación de la ECU se deben conocer parámetros tales como las características del motor y el tipo de inyección que es la más adecuada para dichas características.

## BIBLIOGRAFÍA

**SANTANDER RUEDA, Jesus.** *Manual Tecnico Fuel Injection*. 3. ed. Guayaquil-Ecuador: Diseli, 2006, pp. 64-87.

**BOWLING, Bruce & GRIPPO, AL.** *MegaSquirt (FAQ) Main Page* [en línea]. USA: MegaSquirt, 2016. [Consulta: 12 junio 2016]. Disponible en: <http://www.megamanual.com/MSFAQ.htm>.

**CIFUENTES VERA, Víctor Xavier & CABRERA ESCOBAR, Raúl Vinicio.** *Adaptación de un sistema de inyección programable en un vehículo a carburador* (tesis).(pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz, Riobamba-Ecuador. 2009. pp.95-96

**COELLO SERRANO, Efrén.** *Sistemas de inyección electrónica de gasolina*. Quito-Ecuador: América, 2006, pp. 30-110.

**FUJISAWA, Hideya & KOIKE, Hisanori.** *La inyección de combustible electrónica* [en línea]. Japon: Company de Sankaido limitada, 1988. [Consulta: 11 abril 2016.]. Disponible en: [http://www.fazer-hispania.com/manuales/teoría\\_inyección-electrónica-ya.pdf](http://www.fazer-hispania.com/manuales/teoría_inyección-electrónica-ya.pdf).

**INTERNATIONAL, SAE.** *2015 Formula SAE Rules* [en línea]. USA: students.sae.org, 2015. [Consulta: 10 Abril 2016]. Disponible en: [http://www.fsaeonline.com/content/2016\\_FSAE\\_Rules.pdf](http://www.fsaeonline.com/content/2016_FSAE_Rules.pdf).

**KINDLER, H & KYNAST, H.** *Matemática aplicada para la técnica del automóvil*. 8. ed. Barcelona-España: Reverté, 1986, pp. 161.

**MARTINEZ, D & HERMÓGENES , Gil.** *Manual del Automovil (Electricidad, accesorios y transmision)*. Madrid - España: Cultural, S.A., 2002, pp. 240.

**MERCHÁN RAMOS, Carlos Eduardo.** *Determinación de la potencia y el torque en motores de combustión interna mediante la técnica de la aceleración libre* (tesis).(pregrado). [en línea] Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga-Colombia. 2004. pp. 19-21. [Consulta: 2016-09-14]. Disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/5844/2/114254.pdf>

**WORDPRESSCOM.** *Formula SAE* [en línea]. motorycompeticion.wordpress.com, 2009. [Consulta: 10 mayo 2016]. Disponible en: <https://motorycompeticion.wordpress.com/descargas/>