

Unidad de Control Electrónica para motocicletas basada en la plataforma Arduino Mega 2560 para la migración de sistemas basados a carburador a sistemas de inyección electrónica de combustible

Edgar A. Maya
Profesor Titular Auxiliar 1
Universidad Técnica del Norte, UTN
Ibarra, Ecuador
eamaya@utn.edu.ec

Gustavo S.Portilla
Universidad Técnica del Norte, UTN
Ibarra, Ecuador
gsportillam@utn.edu.ec

Resumen—El presente proyecto consiste en el diseño e implementación de una unidad de control electrónica basada en la plataforma de hardware Arduino mega 2560 para migrar de los sistemas basados a carburador a sistemas de inyección electrónica de combustible en motocicletas para de esta forma reducir la formación de contaminantes producidos, haciendo uso de tecnologías medioambientales preventivas.

Palabras Claves—ECU;RPM; CO;TunerStudio

I. INTRODUCCIÓN

La utilización de elementos electrónicos en las últimas décadas ha sido un pilar fundamental para el desarrollo de dispositivos que ayudan al progreso de las industrias en sus diferentes áreas, tanto así que la industria automotriz no se ha quedado atrás en utilizar estas tecnologías y de esta manera han desarrollado vehículos menos contaminantes y más eficientes en cuanto a consumo de combustible y todo esto gobernado desde la unidad de control electrónica.

Pero no todos los vehículos hacen uso de estas tecnologías, todavía existen vehículos que hacen uso de elementos mecánicos como el carburador los cuales generan problemas para el medio ambiente, por tal razón se ha optado en desarrollar una Unidad de Control Electrónica para el control de la inyección electrónica de combustible en este caso para motocicletas ya que todavía hacen uso del carburador como sistema de alimentación de combustible.

Para la Unidad de Control Electrónica se seleccionó la plataforma Arduino Mega 2560 como unidad de procesamiento y control lógico debido a que es asequible, multiplataforma ya que trabaja en sistemas operativos tanto Windows como Linux, su entorno de programación es flexible ya que programadores principiantes como avanzados pueden hacer uso de él sin

dificultades y además que tanto el compilador como el hardware es de código abierto eliminando así los pagos por licencias.

De esta forma y con el uso de la Unidad de Control Electrónica en motores de explosión de cuatro tiempos utilizados en motocicletas se obtendrá una reducción de emisiones contaminantes de los gases de escape ya que la unidad de control electrónica conjuntamente con la información que proporcionen los sensores inyectará la cantidad exacta de combustible contribuyendo de esta forma a la preservación del medio ambiente y la calidad del aire, así como también a la salud de las personas.

II. CONCEPTOS BÁSICOS

A. Unidad de control electrónica

La unidad de control electrónica es la computadora del sistema, también llamada unidad de control del motor, es la encargada de realizar los cálculos necesarios para determinar el tiempo de inyección y tiempo de encendido en el momento preciso basado en los datos proporcionados por los diferentes sensores del motor.

La ECU se compone de muchos elementos para su funcionamiento, está compuesto por el hardware el cual es el conjunto de componentes electrónicos y están sobre la placa electrónica, el software almacenado en memorias EEPROM y que conjuntamente con la CPU realizan todos los cálculos para el funcionamiento de los actuadores, existen muchas variedades de estos módulos siendo unos más sofisticados que otros dependiendo de la tecnología que utilicen en su diseño. En la figura 1 muestra el diagrama de bloques de una ECU.

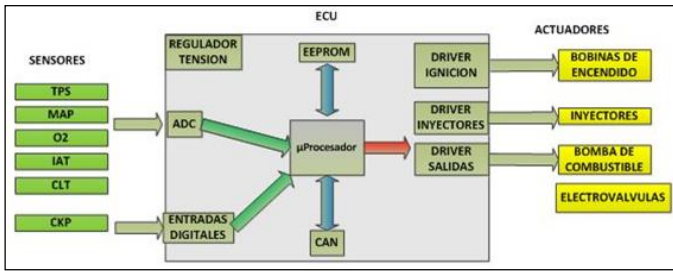


Fig. 1. Diagrama de bloque ECU.

III. DISEÑO

A. Diseño del hardware

Constituye el diseño de los circuitos electrónicos necesarios para la interconexión de sensores y actuadores del motor, al estar en un ambiente donde la generación de ruido puede ser un problema para el funcionamiento de la unidad de control electrónica [23], por tal razón se necesitan circuitos de acondicionamiento de la señal los cuales adecuarán la señal proveniente de los sensores [6] y también contendrá circuitos de amplificación para la interconexión de los actuadores.

1) Circuito de acondicionamiento de señal sensor TPS:

El circuito para acondicionamiento de la señal del sensor TPS consta de un filtro pasa bajo pasivo de primer orden, está conformado por la resistencia R1 y el condensador C2, su función principal es eliminar el ruido que se acopla a la línea de datos, por otro lado el diodo Zener D1 protege al pin del microcontrolador por posibles picos de voltaje superiores a 5.1 V.

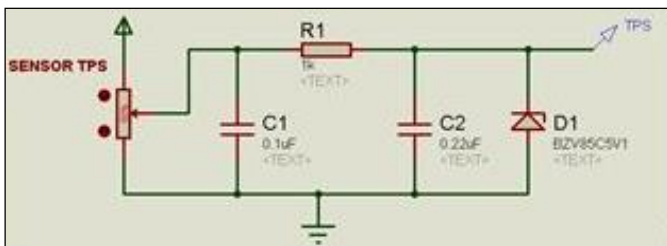


Fig. 2. Circuito acondicionador sensor TPS.

2) Circuito de acondicionamiento de señal sensor CLT - IAT:

Los sensores CLT e IAT son sensores que varían su resistencia según la variación de temperatura, estos sensores son de tipo NTC (de coeficiente negativo) es decir su valor de resistencia disminuye conforme aumenta la temperatura. El circuito para acondicionamiento de la señal de los sensores CLT e IAT consta de un divisor de voltaje conformado por R3 y el sensor de esta forma se obtiene una variación de voltaje

conforme varía la resistencia del sensor, un filtro pasa bajo pasivo de primer orden conformado por la resistencia R2 y el condensador C4, su función principal es eliminar el ruido que se acopla a la línea de datos, por otro lado el diodo Zener D2 protege al pin del microcontrolador por posibles picos de voltaje superiores a 5.1 V.

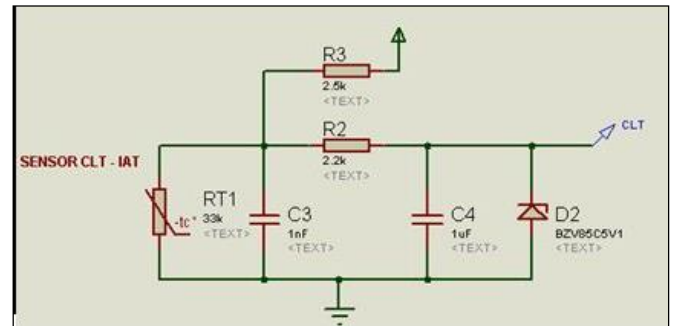


Fig. 3. Circuito acondicionador sensor CLT - IAT.

3) Circuito de acondicionamiento de señal sensor MAP:

El circuito para acondicionamiento de la señal del sensor MAP consta de un filtro pasa bajo pasivo de primer orden, el filtro está conformado por la resistencia R4 y el condensador C6, su función principal es eliminar el ruido que se acopla a la línea de datos, por otro lado el diodo Zener D3 protege al pin del microcontrolador por posibles picos de voltaje superiores a 5.1 V.

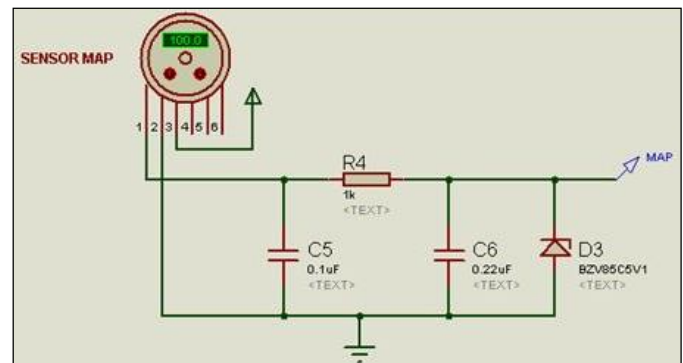


Fig. 4. Circuito acondicionador sensor MAP.

4) Circuito de acondicionamiento de señal sensor CKP y bobina de ignición:

Para este circuito se utilizó un módulo HEI este módulo contiene toda electrónica necesaria para realizar las siguientes funciones:

Se conecta el sensor CKP en los pines PN del módulo, internamente este módulo transforma la señal sinusoidal proveniente del sensor CKP a una señal rectangular para ser enviada a la tarjeta Arduino mega 2560 por el pin R, esta señal será la posición del cigüeñal, una vez procesada esta señal la

tarjeta Arduino mega 2560 envía al módulo HEI por el pin E la señal para la activación de la bobina de ignición, para la activación de la bobina de ignición el módulo HEI posee internamente un transistor de potencia capaz de resistir la corriente producida en la bobina. La figura 5 indica cómo está formado internamente el módulo HEI.

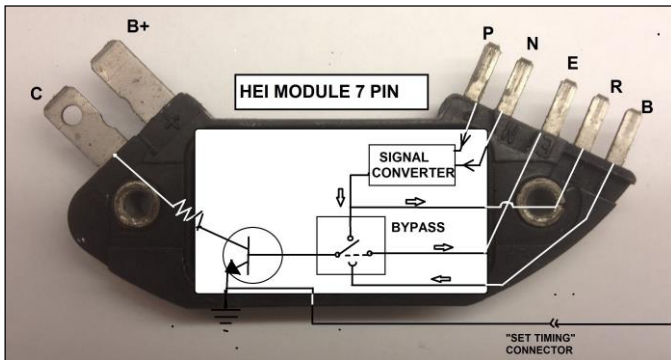


Fig. 5. Módulo HEI.

5) *Circuito de acondicionamiento de señal sensor voltaje batería:*

El circuito consta de un divisor de voltaje conformado por las resistencias R7 y R8 el cual limitara a que exista una salida de voltaje dentro del rango de 0 V a 5 V.

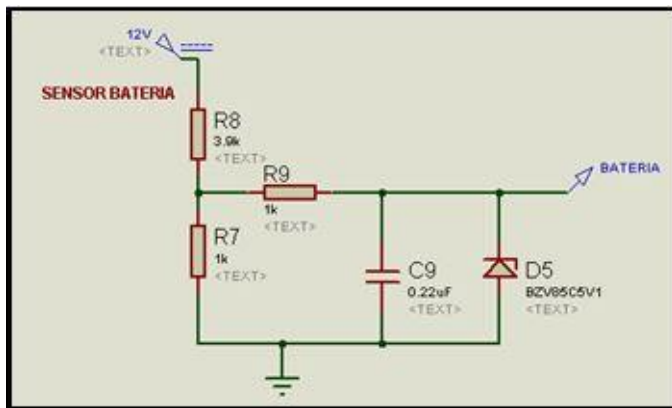


Fig. 6. Circuito acondicionador sensor voltaje de batería.

6) *Circuito de amplificación de señal del inyector y bomba de combustible:*

El inyector y la bomba de combustible opera con un voltaje de 12 V, directamente del pin del microcontrolador no se puede alimentar al inyector ya que su voltaje es de 5 V, por tal razón se necesita un circuito amplificador de voltaje.

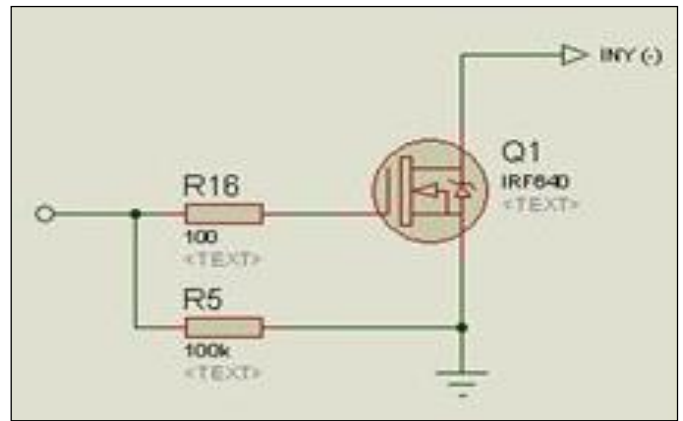


Fig. 7. Circuito amplificador inyector – bomba de combustible.

7) *Circuito de alimentación:*

El circuito de alimentación conforme se indica en la figura corresponde a la fuente de voltaje el cual proporcionará un voltaje constante a la unidad de control electrónica. Debido a que la batería de la motocicleta tiene un voltaje de 12 V a 14 V aproximadamente, este voltaje debe ser regulado a un valor de 5 V, el regulador más utilizado es el LM7805 este provee un voltaje de 5 V y una capacidad de corriente de 1 A para que de esta forma tanto sensores, actuadores y la unidad de control electrónica operen de manera normal.

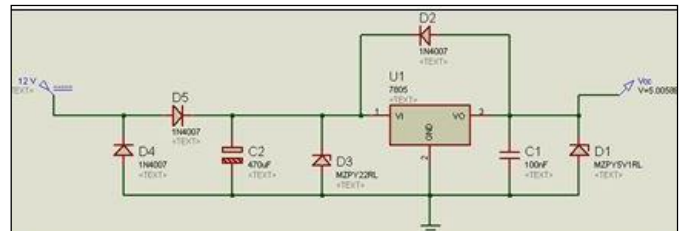


Fig. 8. Circuito fuente de alimentación.

8) *Diseño del circuito:*

Para el diseño del PCB se utilizó el software ARES, está diseñado en una placa de fibra de dos lados y con un diseño el cual si adhiere fácilmente en la tarjeta Arduino mega 2560 como si fuera un shield comercial, de esta manera se optimiza el espacio haciendo que toda la unidad de control electrónica ocupe un espacio reducido. La figura 9 muestran el diseño en 2D y 3D de la tarjeta electrónica.

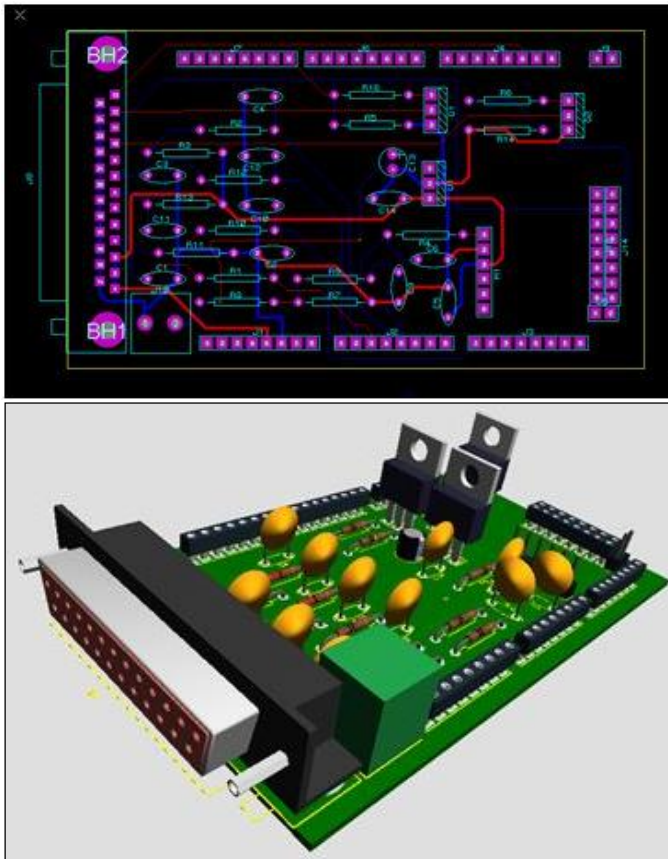


Fig. 9. Vista 2D y 3D de tarjeta electrónica.

IV. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

A. Implementación de la tarjeta electrónica

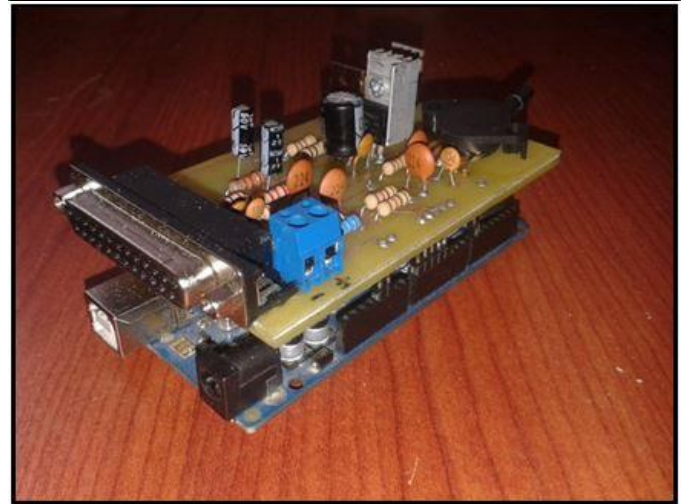
La figura 10 muestra la implementación de la unidad de control electrónica, en donde consta de la tarjeta electrónica en la cual se conectarán sensores y actuadores del motor y la tarjeta Arduino Mega 2560, además muestra como la tarjeta electrónica se adhiere a la tarjeta Arduino mega 2560.



Fig. 10. Unidad de control electrónica.

B. Instalación de sensores y actuadores

La figura 11 muestra la instalación de los sensores IAT, MAP, TPS, CLT, Sensor de Oxígeno y como actuador el inyector de combustible en el colector de admisión, además se muestra como está instalado en el motor.



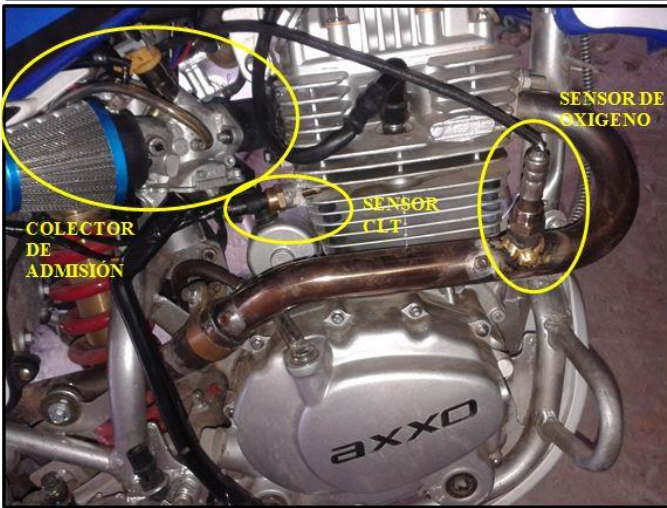
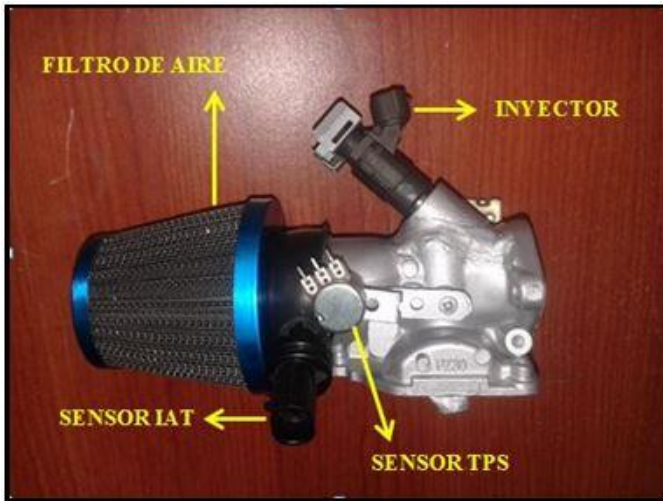


Fig. 11. Instalacion de sensores y actuadores.

Para la instalación del sistema de alimentación de combustible está formada por la bomba de combustible, este generará la presión necesaria para inyectar el combustible al motor, esta bomba de combustible es externa es decir no tiene que estar dentro del tanque de combustible, además se necesitará un regulador de presión el cual controlara el exceso de presión en el combustible, de esta forma si existe un exceso de presión el combustible será devuelto al tanque de combustible. La figura 12 indica cómo están conectados todos estos elementos.

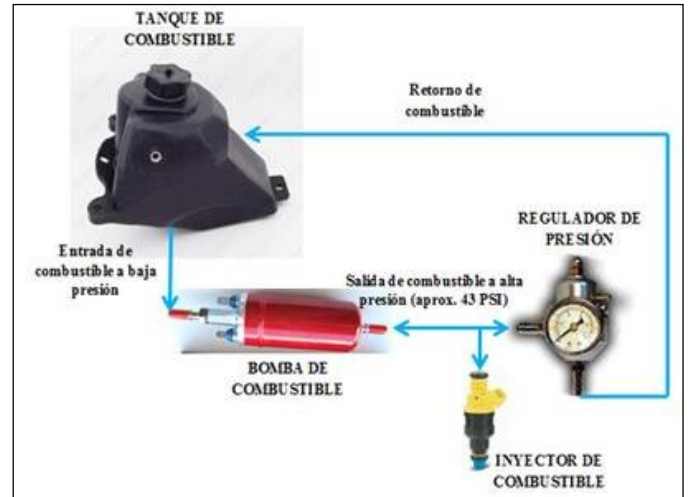


Fig. 12. Instalacion bomba de combustible y regulador de presión.

C. Pruebas de funcionamiento

1) Pruebas de ancho de pulso del inyector:

En esta prueba consiste verificar si el valor teórico calculado del ancho de pulso del inyector concuerda con el valor obtenido en el funcionamiento real. La ecuación que corresponde al ancho de pulso [20] es:

$$PW = REQ_{FUEL} * VE * MAP * \gamma_{Enrich} + \gamma_{Accel} + InjOpen \quad (1)$$

Los datos necesarios se obtendrá del panel de instrumentos de TunerStudio, la primero prueba se realizó alrededor de 1500 RPM y la segunda prueba a 3000 RPM.

• Prueba 1 (1500 RPM)

Datos:

- $REQ_{FUEL} = 14,7 \text{ ms}$
- $VE = 6\%$
- $MAP = 44 \text{ kPa}$
- $\gamma_{Enrich} = 102\%$
- $\gamma_{Accel} = 10\%$
- $InjOpen = 1 \text{ ms}$

Reemplazando los datos en (1) se tiene que:

$$PW = 1.495 \text{ ms}$$

En la figura 13 se muestra el valor de ancho de pulso del inyector de combustible en el panel de instrumentos de TunerStudio.

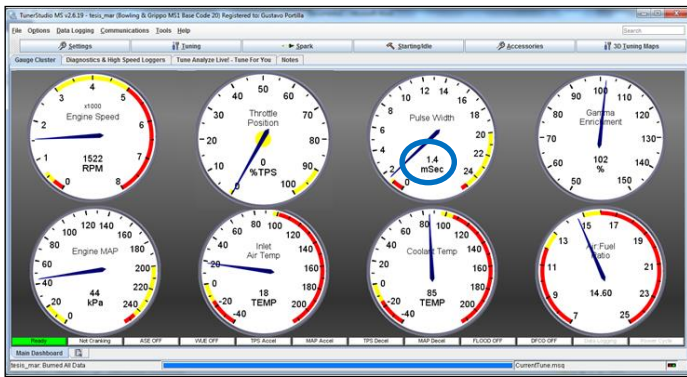


Fig. 13. Ancho de pulso de inyector a 1500 RPM en TunerStudio.

Adicionalmente al valor obtenido en el software TunerStudio también se obtuvo el valor del ancho de pulso mediante la utilización de un osciloscopio automatizado, en la figura 14 muestra la forma de onda característica del inyector así como también la duración del ancho de pulso.

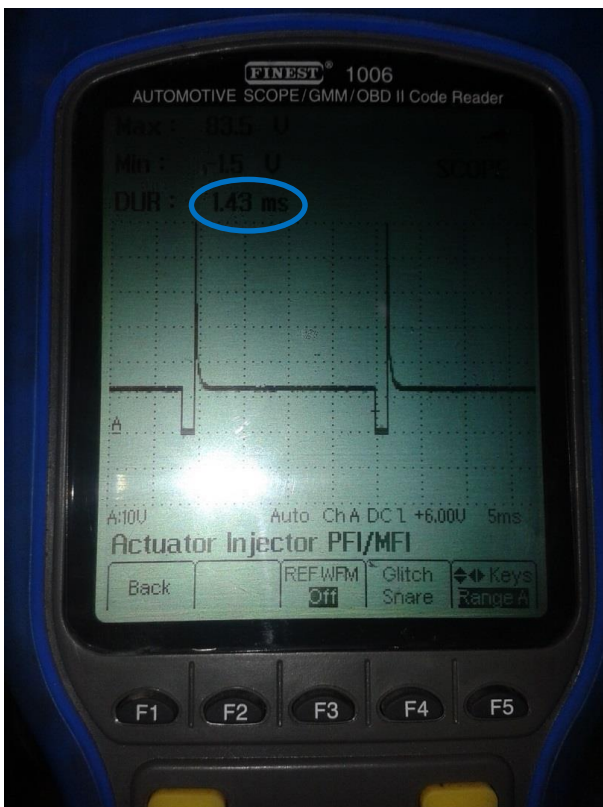


Fig. 14. Ancho de pulso de inyector a 1500 RPM en osciloscopio.

- Prueba 2 (3000 RPM)

Datos:

- $REQ_{FUEL} = 14,7 \text{ ms}$
- $VE = 24\%$
- $MAP = 80 \text{ kPa}$
- $\gamma_{Enrich} = 103\%$
- $\gamma_{Accel} = 10\%$
- $InjOpen = 1 \text{ ms}$

Reemplazando los datos en (1) se tiene que:

$$PW = 4.007 \text{ ms}$$

En la figura 15 se muestra el valor de ancho de pulso del inyector de combustible en el panel de instrumentos de TunerStudio.

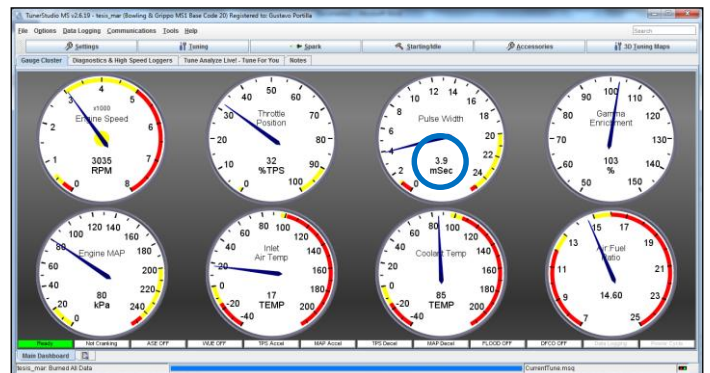


Fig. 15. Ancho de pulso de inyector a 3000 RPM en TunerStudio.

Adicionalmente al valor obtenido en el software TunerStudio también se obtuvo el valor del ancho de pulso mediante la utilización de un osciloscopio automatizado, en la figura 16 muestra la forma de onda característica del inyector así como también la duración del ancho de pulso.

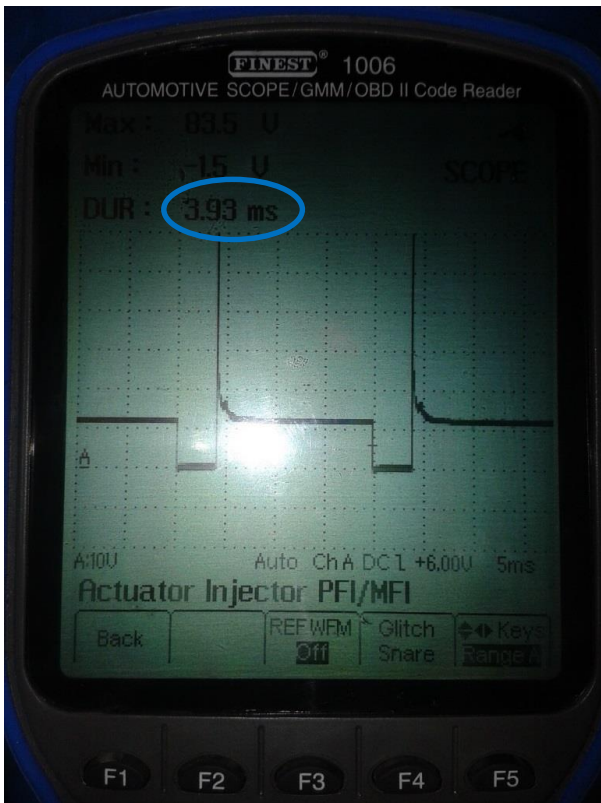


Fig. 16. Ancho de pulso de inyector a 3000 RPM en osciloscopio.

Los valores de los cálculos teóricos obtenidos coinciden con los valores experimentales tanto con el osciloscopio así como también con el software TunerStudio, en la tabla 1 se muestra el valor teórico y experimental.

TABLA 1. VALORES DE ANCHO DE PULSO DEL INYECTOR

Prueba	Ancho de Pulso del inyector		
	Valor Teórico	Valor experimental en TunerStudio	Valor experimental en Osciloscopio
1500 RPM	1.495 ms	1.4 ms	1.43 ms
3000 RPM	4.007 ms	3.9 ms	3.93 ms

2) Prueba de eficiencia de consumo de combustible:

Esta prueba se la hizo midiendo el tiempo que dura la cantidad de 30mL de combustible a 2000 RPM en ralentí, esto se lo realizó tanto para el sistema basado a carburador así como también para el sistema basado a inyección electrónica de combustible. En la figura 17 muestra el tiempo de duración de la cantidad de combustible suministrada.

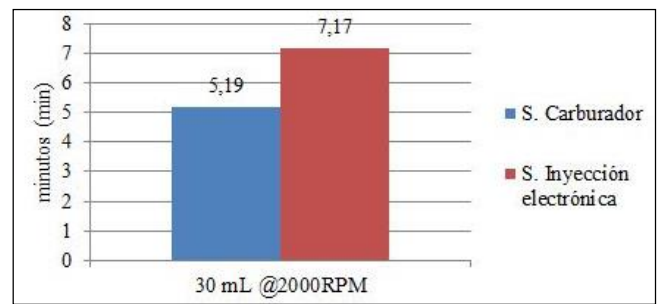


Fig. 17. Prueba de consumo de combustible.

De esta manera se observa que el sistema basado a inyección electrónica de combustible consume un 27% menos comparado con el sistema basado a carburador. Esta prueba se la hizo de esta forma ya que así se puede saber de forma exacta cuánto dura el combustible ya que se sabe las condiciones de trabajo en la que se encuentra el motor ya que al realizándolo de manera dinámica al existir cambios de velocidad, aceleraciones y frenados de la motocicleta, no se sabe cuál de los dos sistemas consume más combustible.

3) Prueba de emisión de gases contaminantes:

Para la realización de la prueba de emisión de gases se analizó la emisión de monóxido de carbono, tanto para el sistema basado a carburador así como también para el sistema basado a inyección electrónica de combustible. La prueba se realizó de dos maneras, a estado de ralentí la cual es cuando el motor se encuentra en marcha mínima a 1500 RPM aproximadamente y la otra prueba en la cual se encuentra el motor a 5000 RPM aproximadamente. Los resultados de la concentración del gas se dan en porcentaje %.

De acuerdo con la figura 18 la emisión de monóxido de carbono en el sistema basado a carburador produce un 93% más que un sistema basado a inyección electrónica de combustible a una velocidad de rotación del motor aproximado de 1500 RPM.

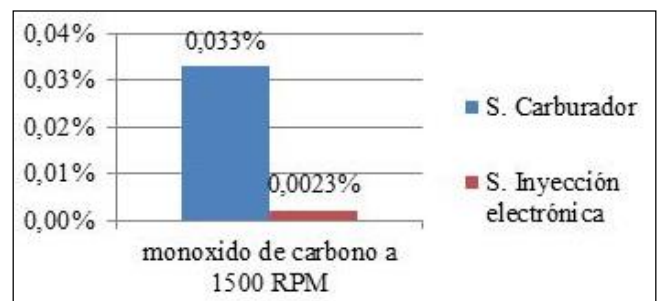


Fig. 18. Prueba de emisión de monóxido de carbono a 1500 RPM.

De la misma manera se realizó la prueba a una velocidad de rotación del motor de aproximadamente 5000 RPM, el sistema basado a carburador produce un 78% más de monóxido de

carbón comparado con el sistema basado a inyección electrónica de combustible conforme se indica en la figura 19.

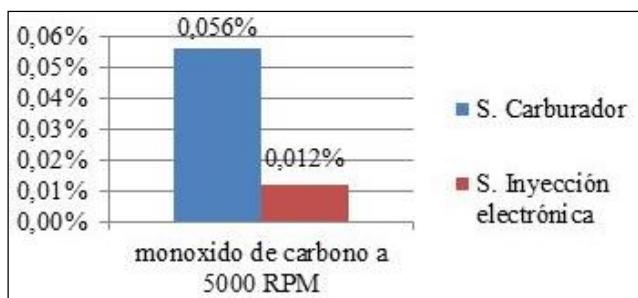


Fig. 19. Prueba de monóxido de carbono a 5000 RPM.

REFERENCIAS

- [1] Evans, B. (2011). Beginning Arduino Programming. Apress.
- [2] Michael, M. (2011). Arduino Cookbook. O'Reilly.
- [3] Martí Parera, A. (1990). Inyección electrónica en motores a gasolina. Boixareu.
- [4] Rodríguez, J. (2012). Mantenimiento de los sistemas auxiliares ciclo otto. INNOVA.
- [5] Escudero, J. (2011). Motores. Macmillan Iberia, S.A.
- [6] Tocci, R. (2007). Sistemas digitales: Principios y aplicaciones. México: Prentice Hall.
- [7] Sadiku, M., Alexander, C. Fundamentos de circuitos eléctricos. México: McGraw-Hill.
- [8] Floyd, T. (2008). Dispositivos electrónicos. México: Pearson Educación.
- [9] Rodríguez, J. (2012). Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto. España: IC Editorial. Recuperado 16 de noviembre de 2015, a partir de <http://site.ebrary.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=10692801&p00=mantenimiento+sistemas+auxiliares+del+motor+ciclo+otto>.
- [10] Carreras, R. (2005). Motores alternativos de combustión interna. España: Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado 16 de noviembre de 2015, a partir de <http://site.ebrary.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=11087166&p00=motores+alternativos+combusti>
- [11] Secundino, J., Rivas, J. (2011). Motores. España: Macmillan Iberia, S.A. Recuperado 16 de noviembre de 2015, a partir de <http://site.ebrary.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=10504975&p00=motores>.
- [12] Sánchez, E. (2008). Sistemas auxiliares del motor. España: Macmillan Iberia, S.A. Recuperado 16 de noviembre de 2015, a partir de <http://site.ebrary.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=10504927&p00=sistemas+auxiliares+del+motor>.
- [13] Arduino - Home. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2015, a partir de <http://www.arduino.cc/>
- [14] MegaSquirt(R) FAQ Main Page. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2015, a partir de <http://www.megamanual.com/MSFAQ.htm>
- [15] Welcome to EFI Analytics! — tunerstudio.com. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2015, a partir de <http://www.tunerstudio.com/>
- [16] Automotive Library - diagnostic tutorials and case studies. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2015, a partir de <http://www.picoauto.com/automotive-library.html>
- [17] Programa Calidad del Aire Fase III — Ministerio del Ambiente. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2015, a partir de <https://www.ambiente.gob.ec/programa-calidaddel-aire-fase-iii/>
- [18] Sistemas de inyección electrónica. Bosch. (2008). Recuperado 22 de noviembre de 2015, a partir de <http://es.slideshare.net/ivanln/sistemas-de-inyeccionbosch>
- [19] Bujías y cables de encendido. Bosch. (2013). Recuperado 22 de enero de 2016, a partir de http://www.bosch.com.ar/ar/autopeças/productos/catalogos/bujias_y_cables.pdf
- [20] MegaSquirt VE Table Determination using Oxygen Sensor Feedback Bowling/Grippo. Recuperado 22 de enero de 2016, a partir de http://www.megamanual.com/v22manual/ve_tuner.pdf
- [21] Megasquirt-2 Setting up. Megasquirt. (2015). Recuperado 22 de enero de 2016, a partir de http://www.msextra.com/doc/pdf/Megasquirt2_Setting_Up-3.3.pdf
- [22] Diagnostico por vibraciones en motores de combustión interna. Departamento de Mecánica Aplicada. (1998). Recuperado 22 de enero de 2016, a partir de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6288/1/UPSCT002847.pdf>
- [23] Diagnóstico de fallos en la combustión para motores de combustión interna alternativos diesel por análisis de vibraciones. (2014). Recuperado 22 de enero de 2016, a partir de <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/download/405/762>
- [24] Megasquirt-3 Setting up. (2014). Recuperado 18 de septiembre del 2015, a partir de <http://www.msextra.com/manuals/ms3manuals/>



Edgar A. Maya O. nació en Ibarra provincia de Imbabura el 22 de abril de 1980. Ingeniero en Sistemas Computacionales, Universidad Técnica del Norte – Ecuador en 2006. Actualmente es Profesor Titular Auxiliar 1 en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación en la Universidad Técnica del

Norte, Ibarra – Ecuador, Maestría en Redes de Comunicación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito – Ecuador.



Gustavo S. Portilla M. nació en la ciudad de Quito-Ecuador, el 10 de Febrero de 1985. Realizó sus estudios primarios en la Escuela "9 de Julio" y sus Estudios secundarios en el Instituto "Nelson Torres", obtuvo el título de Bachiller en Ciencias Especialización Físico Matemático. Actualmente, es egresado de la Facultad de Ingeniería en Ciencias

Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte.