

Diseño e implementación de un banco de prueba para unidad de control automotriz

David Orlando Ruiz-Santacruz¹
Dagoberto Mayorca-Torres²

Resumen

En la propuesta de trabajo se pretende realizar el diseño e implementación de un banco de prueba para unidad de control de motor, que esté actualizado con las nuevas tecnologías, que agilice los diagnósticos y mejore su respuesta a las demandas de los clientes de la empresa Reconstructora de Motores Ruiz. Este equipo se conformará por un sistema embebido, una tarjeta de control y una interfaz hombre-máquina, debido a que generan señales semejantes a las que emiten los sensores automotrices, además, por medio de su interfaz gráfica se puede variar los regímenes de trabajo y, a la vez, la adquisición de señales enviadas hacia los actuadores, las cuales se visualizan en HMI por medio de un conector OBD (conector de diagnóstico a bordo), se realiza la comunicación bidireccional entre la ECU y el escáner automotriz. Para la validación del equipo se utilizaron dos Ecus de diferentes marcas de automóviles, lo cual permitió verificar y diagnosticar el funcionamiento, gracias a sus diferentes señales emuladas y a la adquisición de señales con un porcentaje de error de 0,5 % y 0,18 %.

Palabras clave: sensores; actuadores; interrupciones; frecuencia; milisegundos.

¹Estudiante del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana. Correo electrónico: drui@umariana.edu.co

²Docente del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana. Correo electrónico: dmayorca@umariana.edu.co

Design and implementation of a test bench for the automotive control unit

Abstract

The work proposal aims to design and implement a test bench for a motor control unit, which is updated with new technologies, which streamlines diagnostics and improves its response to the demands of the 'Reconstructora de Motores Ruiz' customers'. This equipment will consist of an embedded system, a control card, and a man-machine interface since it generates signals similar to those emitted by automotive sensors. Furthermore, by means of its graphic interface, it is possible to vary the working regimes and, at the same time, the acquisition of signals sent to the actuators, which are displayed on the HMI through an OBD connector (on-board diagnostic connector), where the two-way communication is done between the ECU and the automotive scanner. For the validation of the equipment, two ECUs from different car brands were used, which allowed to verify and diagnose the operation, thanks to their different emulated signals and the acquisition of signals with an error percentage of 0.5% and 0.18%.

Keywords: sensors; actuators; interruptions; frequency; milliseconds.

Projeto e implementação de uma bancada de teste para a unidade de controle automotivo

Resumo

A proposta de trabalho visa conceber e implementar uma bancada de ensaios para uma unidade de controle de motores, a qual está actualizada com novas tecnologias, que agilize os diagnósticos e melhore a sua resposta às exigências dos clientes 'Reconstructora de Motores Ruiz'. Esse equipamento será composto por um sistema embarcado, um cartão de controle e uma interface homem-máquina, pois gera sinais semelhantes aos emitidos por sensores automotivos. Além disso, por meio de sua interface gráfica, é possível variar os regimes de trabalho e, ao mesmo tempo, a aquisição dos sinais enviados aos atuadores, os quais são exibidos na HMI através de um conector OBD (conector diagnóstico on-board), onde a comunicação bidirecional é feita entre a ECU e o scanner automotivo. Para a validação do equipamento, foram utilizadas duas UCEs de diferentes marcas de automóveis, o que permitiu verificar e diagnosticar o funcionamento, graças aos seus diferentes sinais emulados e à aquisição de sinais com uma percentagem de erro de 0,5% e 0,18%.

Palavras-chave: sensores; atuadores; interrupções; frequência; milissegundos.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria automotriz en el transcurso de las últimas décadas ha tenido un gran avance en los sistemas de inyección electrónica (EFI), esto ha permitido desplazar los sistemas de inyección mecánicos por los sistemas de inyección electrónica, que ha contribuido a reducir las emisiones de contaminación y a tener automóviles más económicos y potentes (Navas, 2016).

En este caso, un banco de prueba para unidad de control de motor se encarga de enviar las señales de los sensores para la ECU (Unidad de Control de Motor), mediante un sistema embebido. Estas señales son adquiridas por el sistema embebido y se visualizan en la interfaz humana-máquina (HMI), que permite variar los parámetros de los sensores y visualizar las señales de control enviadas hacia los actuadores, ayudando al técnico a realizar un diagnóstico del funcionamiento de la ECU.

En el año de 1990, en Colombia se introdujo el primer vehículo de inyección electrónica: el Renault TX de 2.0 litros y 120 caballos. Este acontecimiento fue un hito en la industria local por ser el primer carro con esa tecnología y ensamblado en el país (Restrepo, 2017). A partir de este momento apareció una nueva industria tecnológica en los sistemas de inyección de combustible en Colombia.

En la actualidad, el desarrollo del sistema de inyección electrónica en el sector automotriz ha traído nuevos retos en el diagnóstico y reparación de unidad de control automotriz, por lo cual surge la necesidad de implementar una nueva herramienta que permita hacer un diagnóstico de manera eficiente (Andino y Corrales, 2017). Por tal motivo, se propone diseñar e implementar un banco de prueba para unidad de control automotriz (ECU), con el fin de mejorar la verificación y diagnóstico de las ECU.

Antecedentes

De acuerdo con Andino y Corrales (2017):

Para la obtención de las señales de cada sensor involucrado en el sistema de inyección electrónica de combustible se realizaron análisis de los componentes que actúan en dicho sistema: sensores, unidad electrónica de control (ECU) y actuadores, para establecer sus principios de funcionamiento y obtener las magnitudes eléctricas que generan los sensores. Los resultados de las pruebas realizadas demostraron que se cumplió con este objetivo. (p. 200)

Por su parte, en el estudio de Crespo y León (2017),

se realizaron pruebas de funcionamiento con el comprobador de computadoras a dos ECU de diferentes características, ambas computadoras recibían la señal

simulada del sensor CKP y a su vez enviaban hacia el comprobador las señales de pulso de inyección y de bobinas pudiendo ser visualizado a través de la pantalla. (p. 53)

De igual forma, Mamani (2015) concluye:

En la realización de este proyecto se pudo evidenciar que los sistemas de inyección electrónica de combustible son muy amigables para trabajar, la disposición de los sensores y actuadores en el motor nos permite manipular de forma segura los elementos que conforman estos sistemas lo que nos asegura una revisión visual ágil y fácil, además el cableado está distribuido de tal forma que es muy difícil cometer un error al momento volver a conectar los sockets. (p. 166)

En el estudio de Polinar et al. (2017), se concluyó:

En un banco de pruebas lo más importante es la sincronización del encendido, para que al momento de diagnosticar una computadora automotriz se pueda identificar la zona afectada. Para eso las señales de los sensores CKP, CMP e IGF deben estar correctamente programados, algo que los otros bancos de prueba multimarca no cumplen. (p. 64)

Según Núñez y Otáñez (2013):

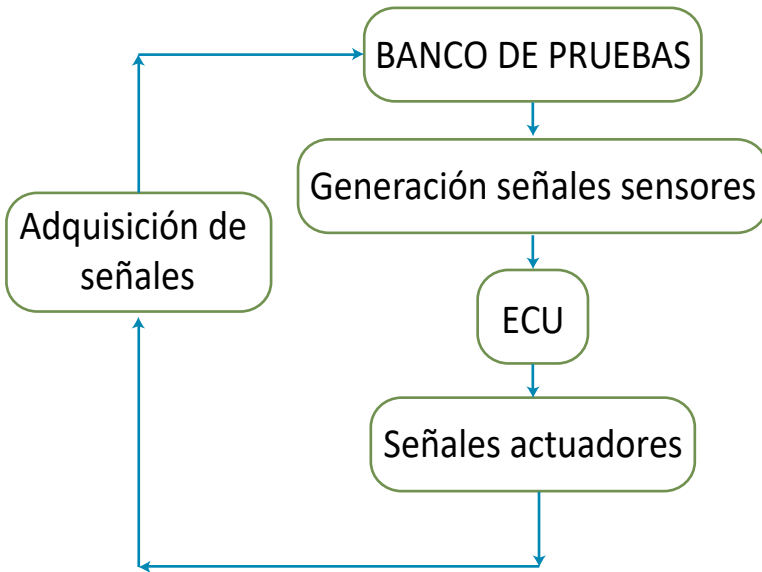
Una vez estudiado y terminado el trabajo de investigación, teorizamos que es de gran importancia la evolución de los sistemas de encendido en beneficio del medio ambiente, gracias a que hoy en día tenemos con los nuevos sistemas electrónicos una mejor calidad de ignición y por ende una mejor combustión de gases. (p. 142)

Método

En la Figura 1 se muestra el funcionamiento del equipo banco de pruebas. Dicho banco es el encargado de generar las señales que son enviadas a la unidad de control de motor (ECU). La ECU se encarga de procesar esta información, de la cual se obtiene las señales de actuadores. El banco de pruebas adquiere estas señales y se encarga de visualizarlas por medio de la pantalla HMI.

Figura 1

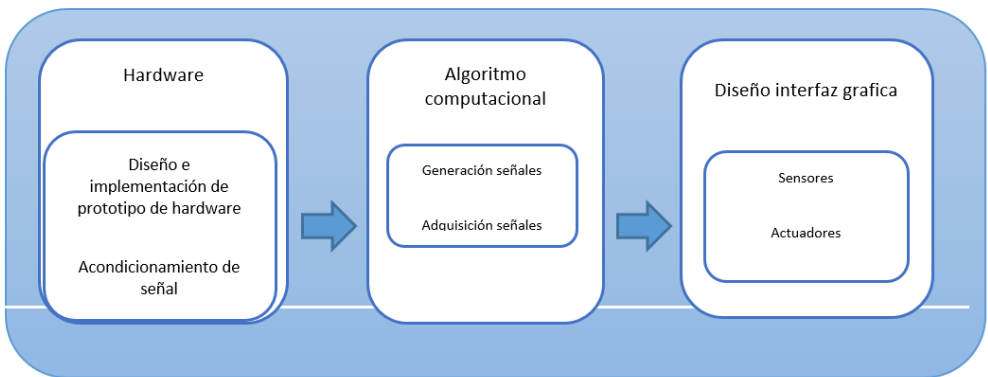
Banco de pruebas



El prototipo de banco de pruebas para unidad de control de motor (ECU) se desarrolló en tres etapas (ver Figura 2): diseño e implementación del prototipo de hardware (optoacopladores, amplificación y filtros), implementación de algoritmo computacional (sistema embebido) y diseño interfaz gráfica (sensores y actuadores).

Figura 2

Etapas del prototipo de banco de pruebas

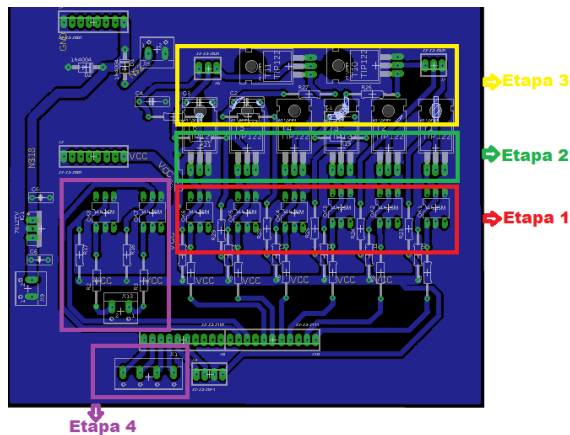


Diseño e implementación del prototipo de hardware

Las señales de sensores automotrices son producidas por diferentes elementos, entre ellos se encuentran los sensores magnéticos, que generan señales de onda cuadrada, onda sinodal; los sensores lineales, que varían su voltaje, y termistores, que modifican su voltaje dependiendo del cambio de temperatura que adquieran. Por tal motivo, se desarrolló una tarjeta de control en cuatro etapas, así: la primera está compuesta por optoacopladores, que permiten el aislamiento con el sistema embebido; la segunda etapa la conforma transistores, ya que permiten la amplificación de la señal; la tercera etapa es el acondicionamiento de señal, donde se describirá su diseño, y la cuarta etapa es la adquisición de señales. En la Figura 3 se muestra el diseño de la tarjeta de control con sus respectivas etapas.

Figura 3

Tarjeta de control



Acondicionamiento de señal

Al diseñar las señales para los sensores lineales y termistores por medio del sistema embebido se trabaja en la modulación de ancho de pulso, de lo cual se obtuvo una frecuencia de 490 Hz y una variación de voltaje entre 0 V y 5 V. Esto ocasionó un problema, ya que estos sensores no trabajan a frecuencias altas, por ello, en la etapa tres se aplicó un filtro RC (Ecuación 1) que permite filtrar y atenuar las señales para los sensores lineales y termistores, esto permitió trabajar con voltajes de corriente continua (CC).

$$R = \frac{1}{2\pi \times C \times f_c} \quad (1)$$

Donde:

R: Valor de la resistencia del filtro.

C: Valor de capacitancia del filtro.

fc: Valor de la frecuencia de corte.

A partir de la Ecuación 1 se asumen los valores del capacitor de 10 μ f, una frecuencia de corte de 1.5 Hz, de lo cual se obtuvo un valor de resistencia de 10.6 K Ω .

$$R = \frac{1}{2\pi \times 10\mu f \times 1.5Hz} = 10.6K$$

Implementación de algoritmo computacional

El diseño del algoritmo computacional se dividió en etapas, así: la generación de señales de sensores, adquisición de señales de actuadores.

Generación de señales sensores

En la generación de señales se contemplaron los siguientes sensores: sensor de cigüeñal (CKP), sensor levas (CMP), sensor posición de pedal (TPS), sensor presión atmosférica (MAP), sensor temperatura refrigerante (ETC), sensor temperatura ambiente (IAT).

Señal sensor CKP. El sensor CKP de efecto hall, lo que significa que se va a diseñar una señal onda cuadrada en un rango de frecuencia de 122 Hz a 1130 Hz. Para emular esta señal se utilizó el Timer 1 en el modo CTC para poder activar las interrupciones cada vez que se genere desbordamiento del Timer, dentro de un rango de valores de 256 bit y 65535 bit, un prescaler de 8, una frecuencia de 122 Hz a 1130 Hz y una amplitud de voltaje de 5. Para calcular el CTC del Timer se utilizó la ecuación 2, donde P es prescaler y FID es frecuencia de interrupción deseada.

$$CTC = [16MHz / (P * FID)] - 1 \quad (2)$$

Mediante la ecuación 2 se encontró el valor de desbordamiento de la señal de CKP en una frecuencia de 122Hz. En la Figura 4 se muestra la señal emulada con la frecuencia calculada.

$$CTC = [16MHz / (8* 122Hz)] - 1 = 16392 \quad (2)$$

Figura 4

Señal onda cuadrada sensor CKP (amplitud de voltaje: 5, frecuencia: 122 Hz)



Por medio de la ecuación 3 se encontró el valor de desbordamiento de la señal CKP, en una frecuencia de 1130 Hz. En la Figura 5 se muestra la emulación de la señal con la frecuencia calculada.

$$CTC = [16\text{MHz} / (1 * 1130\text{Hz})] - 1 = 14159 \quad (3)$$

Figura 5

Señal onda cuadrada sensor CKP (amplitud de voltaje: 5, frecuencia: 1130 Hz)

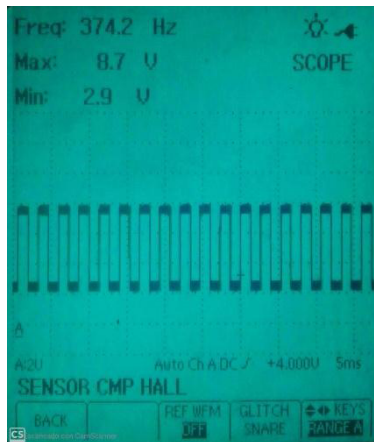


Señal sensor CMP. Esta señal es de efecto hall, por lo cual se procedió a diseñar una señal de onda cuadrada; para emular la señal CMP se utilizó el Timer 2, de 8 bits, en el modo CTC, para poder activar las interrupciones cada vez que se genere desbordamiento del Timer 2, dentro de un rango de valores de 0 a 256 bit, un prescaler de 1024, una frecuencia de 374 Hz a 880 Hz y una amplitud de 5 V. Para calcular el CTC del Timer 2 se utilizó la ecuación 4. En la Figura 6 se muestra la señal emulada.

$$CTC = [16,000,000\text{Hz} / (1024 * 374\text{Hz})] - 1 = 41.7 \quad (4)$$

Figura 6

Señal onda cuadrada sensor CMP (amplitud de voltaje: 5, frecuencia: 374 Hz)

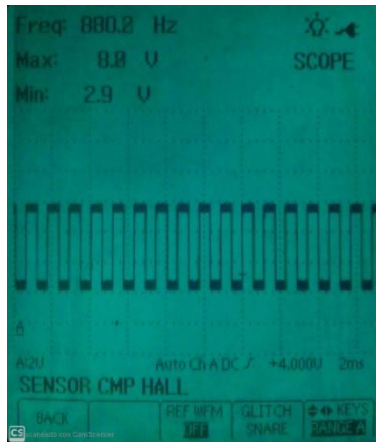


A través de la ecuación 5 se encontró el valor del CTC para la frecuencia 880 Hz. En la Figura 7 se muestra la señal emulada.

$$CTC = [16,000,000\text{Hz} / (1024 * 880\text{Hz})] - 1 = 17.75 \quad (5)$$

Figura 7

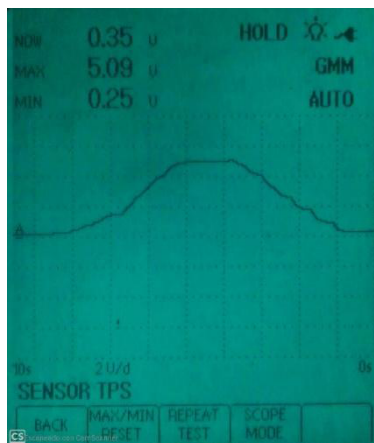
Señal onda cuadrada sensor
CMP (amplitud de voltaje: 5,
frecuencia: 880 Hz)



Señal de sensor TPS. Este sensor se ubica en el cuerpo de aceleración del motor. Se diseñó en un rango de voltaje de 0 a 5; mediante la modulación de ancho de pulso se utilizó un timer 3 con prescaler de 1024 a una frecuencia de 30 Hz, su escala en el eje X es de 2V/d. También se acoplo un filtro RC para la atenuación de la señal. En la Figura 8 se muestra la señal TPS.

Figura 8

Señal emulada TPS



Sensor de sensor MAP. Para las señales de MAP, IAT y ETC se trabajó en la misma configuración del sensor TPS, en una modulación de ancho de pulso por el timer 4,

configurándolo con un prescaler de 1024, con una frecuencia de 30 Hz. Esta señal es la que permite variar la presión del múltiple de admisión del motor. Se diseñó en un rango de voltaje de 0 a 5, su escala en el eje X es de 1V/d. En la Figura 9 se muestra la señal emulada del sensor MAP en el osciloscopio.

Figura 9

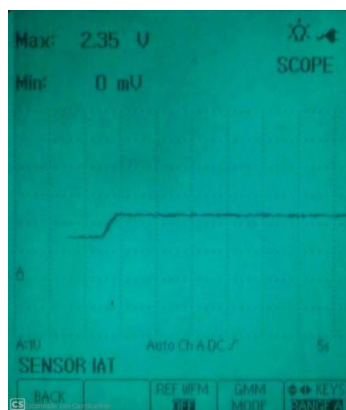
Señal emulada MAP



Señal de sensor IAT. Este sensor se encarga de determinar la temperatura que ingresa al motor, se ubica entre el filtro de aire y la admisión del motor. Se diseñó en un rango de voltaje de 1 a 4, su escala en el eje X es de 1V/d, la señal se envía por el pin D7 del sistema embebido. En la Figura 10 se muestra el funcionamiento de la señal mediante el osciloscopio.

Figura 10

Señal emulada IAT

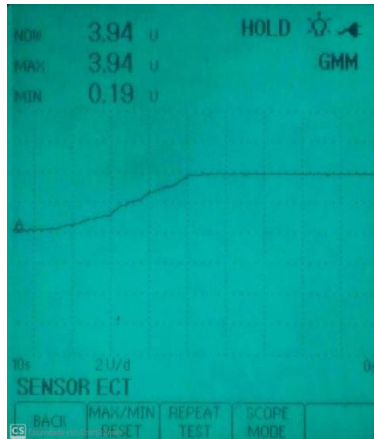


Señal de sensor ETC. Este sensor es el encargado de indicar la temperatura del refrigerante del motor, se diseñó en un rango de voltaje de 1a 4.5, su escala en el eje

X es de 2V/d. Se envía la señal por el pin D8 del sistema embebido, se comprobó su funcionamiento mediante el osciloscopio, tal como se evidencia en la Figura 11.

Figura 11

Señal emulada ETC



Adquisición de señales

La adquisición de señales se divide en dos etapas: adquisición de variables de frecuencia para cuatro señales de inyectores y la adquisición de dos señales de bobinas con sus respectivos valores de frecuencia en tiempo real.

Señales Inyectores

En la adquisición de las señales de inyector del sistema embebido se aplicó interrupciones externas, para ello se utilizó la interrupción 0 hasta la interrupción 3, en modo de flanco de LOW a HIGH, llamado RISING y, a su vez, se trabajó con el Timer 0 para la configuración de tiempos en frecuencia, que está compuesto por 8 bits, lo que permitió interrupciones de 16 μ s. La frecuencia de muestreo fue de 30 Hz a 130 Hz.

Señales bobinas

Para la adquisición de señales de bobina a una frecuencia de muestreo de 200 Hz a 300 Hz se utilizó la interrupción 4 y 5, en modo de flanco RISING. Mediante la programación con el Timer 0 se obtuvo las variables de frecuencia, que se visualizan en la interfaz hombre-máquina (HMI).

Resultados

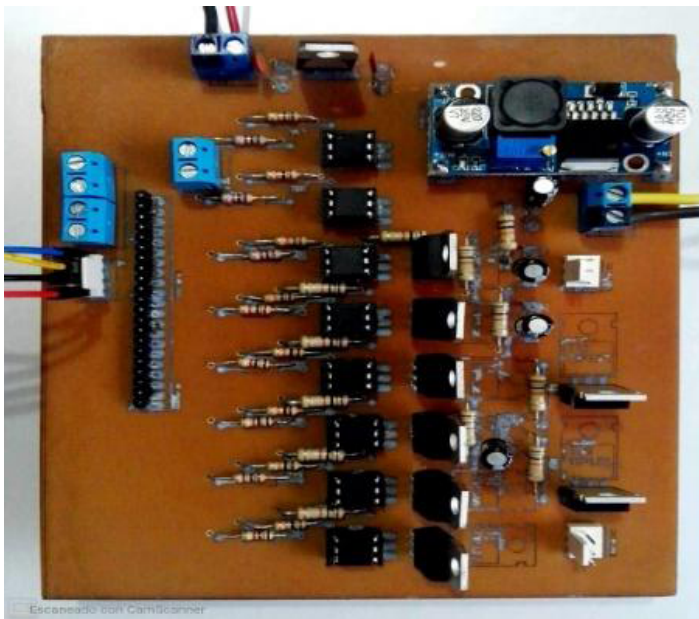
Validación del prototipo

En la validación del prototipo se utilizaron dos Ecus: la primera ECU es de un Mazda B2600, a la cual se realiza la comprobación de funcionamiento mediante un osciloscopio; la segunda ECU es de una Toyota RAV4. Se comprobó las señales mediante un osciloscopio y escáner automotriz.

Implementación del prototipo de Hardware

En la Figura 12 se muestra la implementación de la tarjeta de control, donde se conecta al sistema embebido, lo que permitió amplificar las señales generadas y adquirir las señales provenientes de la ECU.

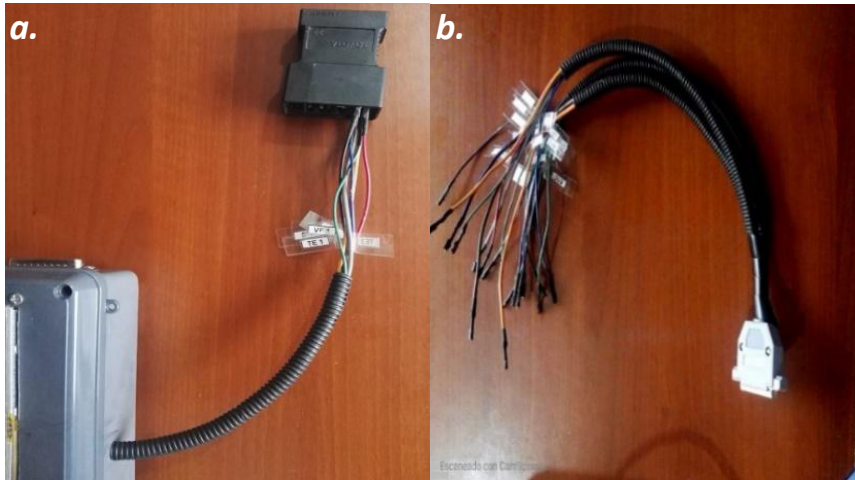
Figura 12
Implementación PCB



En la Figura 13a se muestra el conector OBD para la conexión respectiva del escáner automotriz y en la Figura 13b, el conector del banco de pruebas para la unidad de control de motor con sus respectivas etiquetas para su conexión.

Figura 13

a. Conector OBD. b. Conector Señales de Sensores y Actuadores ECU



ECU Mazda B2600

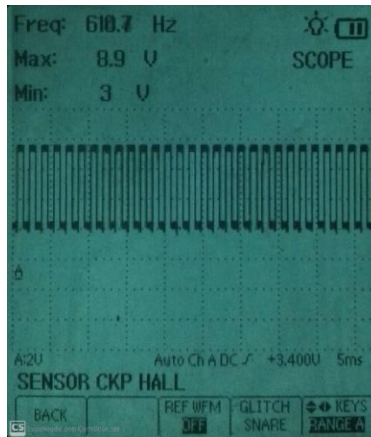
En la validación del banco de pruebas se utilizó, primero, una ECU de Mazda B2600, luego se procedió, mediante el banco de pruebas, a emular las señales de CKP, CMP, las cuales se adquieren por medio de señales de inyector y bobina. Por medio de un osciloscopio se comprobó la generación y adquisición de señales.

Señal CKP

En la Figura 14 se puede apreciar la generación de la señal CKP, con una amplitud de 5 V, funcionó en un rango de 610.7 Hz. Mediante su HMI se puede variar el rango de frecuencia de 122 HZ a 1130 Hz. La escala de voltaje fue de 2 V en el eje X y de 5 ms en el eje Y por cada cuadrado.

Figura 14

Señal emulada para sensor CKP (amplitud de voltaje: 5, frecuencia: 610 Hz)

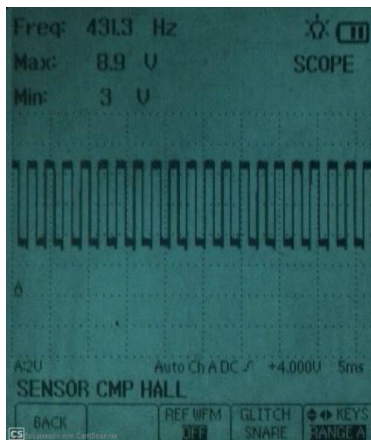


Señal CMP

En la Figura 15 se muestra la señal CMP, con una amplitud de 5 V, en una frecuencia de funcionamiento de 431.3 Hz. Mediante su HMI se puede variar el rango de 374 Hz a 880 Hz. La escala de voltaje fue de 2V/d en el eje X y de 5 ms en el eje Y por cada división.

Figura 15

Señal emulada para sensor CMP (amplitud de voltaje: 5, frecuencia: 431.3 Hz)



Adquisición de señales

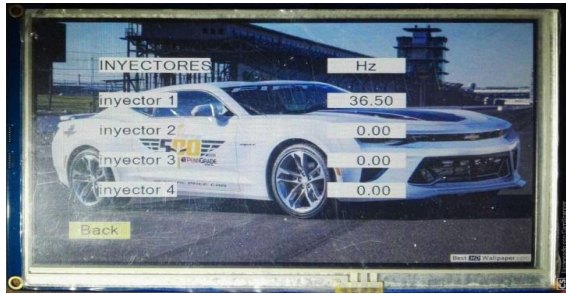
En la adquisición de señales se dividió en fase de adquisición de señal de inyector y adquisición de señal de bobina.

Adquisición de señal de inyector

En la Figura 16 se presenta la adquisición de señal de los inyectores a una frecuencia de 36.50 Hz.

Figura 16

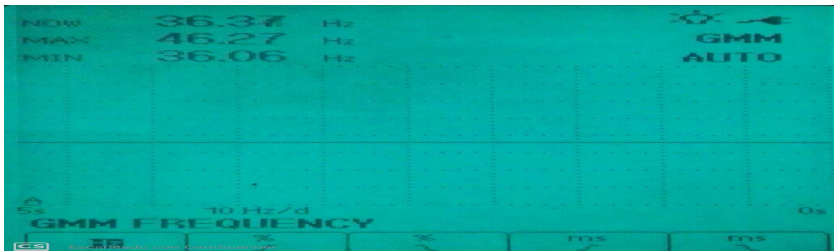
Adquisición de señal de inyector de ECU Mazda B2600



En la Figura 17 se muestra la frecuencia de funcionamiento del banco de pruebas en su adquisición de señales en la variable de NOW, mediante el osciloscopio automotriz. El valor resultante fue de 36.37 Hz.

Figura 17

Adquisición señal de inyector Hz



En la Tabla 1 se procedió a comprobar el error porcentual de la frecuencia del inyector en Hz de los valores obtenidos por del banco de pruebas y el osciloscopio.

Tabla 1

Porcentaje de error de inyector de ECU Mazda B2600

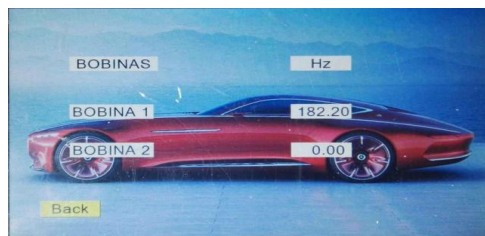
Banco de pruebas	Osciloscopio	% Error
Hz	Hz	Hz
31.70	31.28	1,34
34.90	34.90	0
38.20	38.12	0,20
83.05	82.67	0,45
	Promedio Error	0,50

Adquisición de señal bobina

En la Figura 18 se observa la adquisición de la señal de bobina de la ECU, su frecuencia fue de 182.20 Hz; se tiene una segunda señal de bobina, pero depende de la ECU si se necesita adquirir más de una señal.

Figura 18

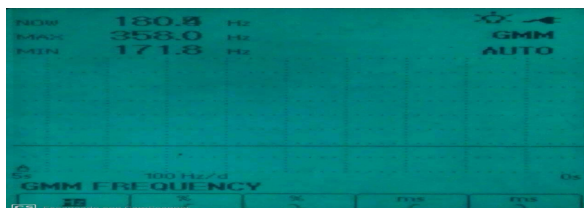
Adquisición de señal de bobina de ECU Mazda B2600



Mediante el osciloscopio automatizado se comprueba la respectiva adquisición de señal de la bobina, en la variable NOW con una frecuencia 180.4 Hz (ver Figura 19).

Figura 19

Adquisición de señal de bobina en Hz



En la Tabla 2 se procedió a comprobar el porcentaje de error de los valores obtenidos de la señal de la bobina con el banco de pruebas y el osciloscopio.

Tabla 2

Porcentaje de error de bobina de ECU Mazda B2600

Banco de pruebas	Osciloscopio	% Error
Hz	Hz	Hz
165.80	165.5	0,18
172.90	172.5	0,23
221.50	221.2	0,13
Promedio Error		0,18

ECU Toyota RAV4

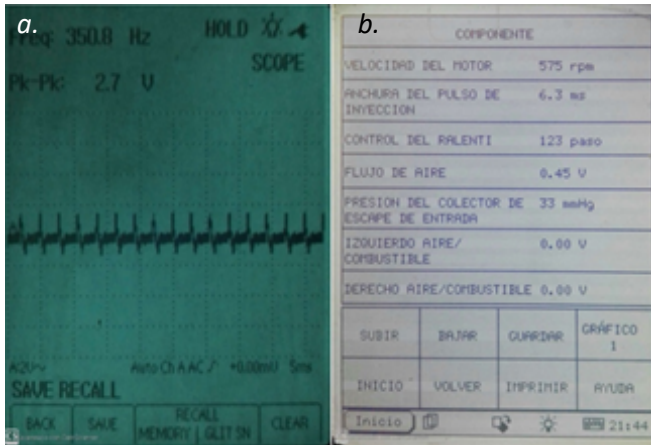
En la segunda validación se procedió a utilizar una ECU de Toyota RAV4, en donde se emula con el banco de pruebas las señales CKP, TPS, MAP, ETC y se adquiere la señal de bobina. Se realizó la comprobación de funcionamiento con el osciloscopio y escáner automotriz.

Señal CKP

En este tipo de ECU se procedió a utilizar señal CKP de onda sinodal para su respectivo funcionamiento, mediante un osciloscopio. En la Figura 20a se puede apreciar la señal trabajando a una frecuencia de 350.8 Hz y con una amplitud de voltaje de 2.7 V. Mediante el puerto de comunicación OBD1 de la ECU se conecta el escáner, lo que permite ver el funcionamiento de la CKP en la variable de velocidad de motor. En la Figura 20b se encuentra la adquisición de la señal en unidades de RPM del escáner automotriz.

Figura 20

Señal emulada CKP: a. Osciloscopio; b. Escáner

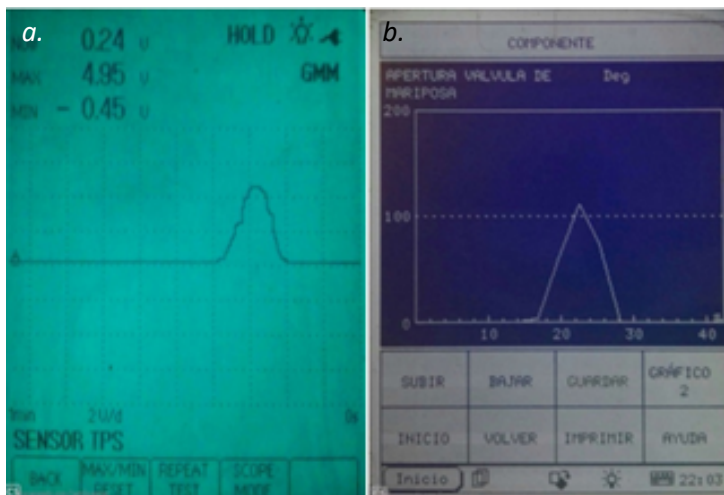


Señal TPS

En la Figura 21a se muestra la señal TPS del banco de pruebas mediante un osciloscopio automotriz, que permitió comprobar el funcionamiento de la señal con una amplitud de voltaje de 4.95 V en la variable de MAX. Por medio del escáner automotriz se grafica la variable del TPS de 0° a 100°, como se puede observar en la Figura 21b.

Figura 21

Señal emulada TPS: a. Osciloscopio; b. Escáner

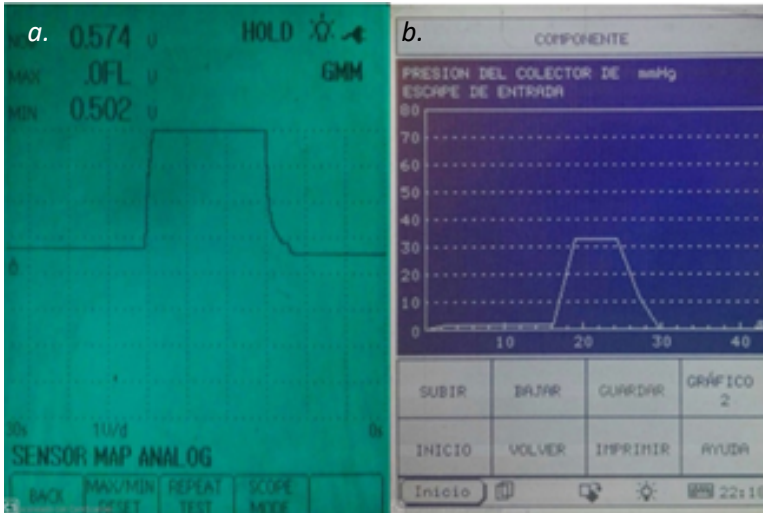


Señal MAP

En la Figura 22a se muestra la señal MAP del banco de pruebas mediante el osciloscopio automotriz; se verificó el funcionamiento con una amplitud de voltaje de 3.2 V en el eje X a 1 V por división. Por medio del escáner automotriz conectado por el puerto OBD de la ECU, se verificó el funcionamiento de la señal MAP, como se puede apreciar en la Figura 22b.

Figura 22

Señal emulada MA: a. Osciloscopio; b. Escáner

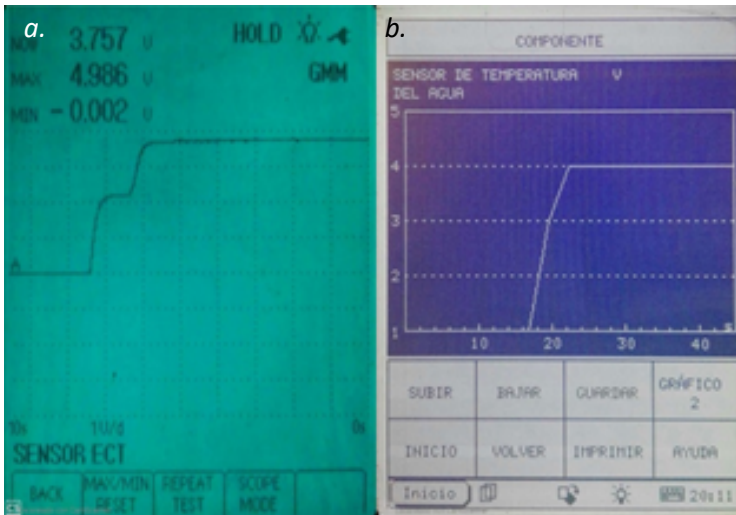


Señal ETC

Se verificó la señal enviada del banco de pruebas a la ECU mediante el osciloscopio automotriz (ver Figura 23a); se estima en la variable NOW con un valor de amplitud de 3.75 V. Se comprueba el funcionamiento, mediante el escáner automotriz, la señal ETC, enviada del banco de control a la ECU. En la Figura 23b se muestra la gráfica en rango de voltaje de 4 V, ya que solo trabaja en valores enteros el escáner.

Figura 23

Señal emulada ETC: a. Osciloscopio; b. Escáner



Adquisición de señales

En la adquisición de la señal de la bobina se procedió a conectar el banco de pruebas a la ECU en el pin A22.

Señal bobina

En la Figura 24 se muestra el funcionamiento del banco de prueba en la adquisición de la señal de la bobina con una frecuencia de 20.60 Hz.

Figura 24

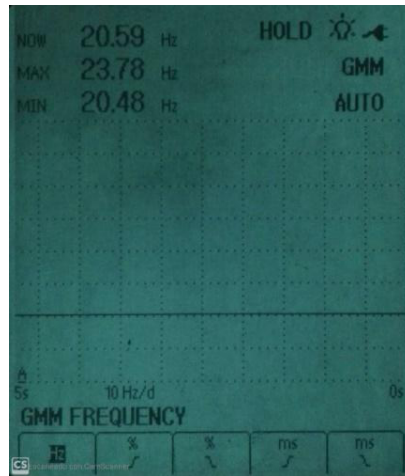
Adquisición de señales bobinas Toyota RAV4



Mediante el osciloscopio automotriz en la variable NOW, se comprobó el funcionamiento con una frecuencia de 20.59 Hz (ver Figura 25).

Figura 25

*Adquisición de señal bobina
Toyota RAV4*



En la Tabla 3 se indica el porcentaje de error entre los valores del osciloscopio automotriz y el banco de pruebas.

Tabla 3

Porcentaje de error de bobinas ECU Toyota Rav4

Banco de pruebas	Osciloscopio	% Error
Hz	Hz	Hz
19.50	19.14	1,88
20.90	20.57	1,60
26.80	26.87	0,26
29.40	29.45	0,16
32.0	31.99	0,03
45.0	44.37	1,41
Error de Promedio		0,75

Conclusiones

En vista de que los porcentajes de error de generación de señales TPS, ETC, MAP, IAT son bajos, además son acordes a los parámetros ya establecidos por el fabricante, el banco de pruebas sí es confiable para realizar banqueo de unidades de control de motor.

Al emular las señales para unidad de control Toyota RAV4 con los parámetros del fabricante, se pudo obtener el mismo comportamiento como si se suministrara las señales originales hacia la ECU.

El porcentaje de error que se obtuvo en las diferentes tomas de datos en la ECU Mazda B2600 fue de 0,5 % para inyector y de 0,18 % para bobina. En la ECU Toyota Rav4, el porcentaje de error fue 0,7 % para bobina, lo que permite estar dentro de un porcentaje de error admisible de operación.

El uso del banco de pruebas permitió disminuir los procesos de comprobación (banqueo), de esta manera, se generó un diagnóstico rápido del funcionamiento de la ECU, esto evitará que el cliente haga un gasto innecesario en repuestos.

Referencias

- Andino, F. y Corrales, L. (2017). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para la emulación de las señales generadas por los sensores empleados en el sistema de inyección electrónica automotriz* (tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional). EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19042>
- Crespo, F. y León, D. (2017). *Construcción de un banco digital comprobador de computadoras automotrices para vehículos con sistemas de inyección electrónica a gasolina para el laboratorio de autotrónica de la carrera de ingeniería automotriz de la epoch* (tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). DSpace ESPOCH. <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/7008>
- Mamani, C. (2015). *Diseño e implementación de un simulador de parámetros de unidades de control electrónico automotrices (ecu) de vehículos a gasolina en la región puno para su diagnóstico modular* (tesis de pregrado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez). Repositorio Dspace. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/446>
- Navas, B. (2016). *Diagnóstico electrónico del sistema de inyección decombustible del motor s4a del vehículo Chevrolet Sail* (tesis de pregrado, Universidad Internacional del Ecuador). UIDE. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1215>

- Núñez, L. y Otáñez, O. (2013). *Implementación de un banco didáctico para el estudio de funcionamiento de los sistemas de encendido electrónico del automóvil en la escuela de ingeniería automotriz* (tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). DSpace ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2648>
- Polinar, L., Martínez, J. y Hinostroza, J. (2017). *Elaboración de un modelo de banco de pruebas para el diagnóstico de computadoras automotrices en un motor Toyota* (tesis de pregrado, Instituto de Educación Superior Tecnológica). Archivo Digital.
- Restrepo, O. J. (2017, 24 de abril). Los años tenebrosos del sector automotor: 1990, inyección de cambio. *El Carro Colombiano*. <https://www.elcarrocolombiano.com/los-anos-tenebrosos-del-sector-automotor/1990-inyeccion-de-cambio/>