



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO COMPROBADOR DEL
FUNCIONAMIENTO DE INYECTORES Y BOBINAS PARA UNIDADES DE
CONTROL ELECTRÓNICO AUTOMOTRIZ**

***(Design and construction of a test equipment for the operation of injectors
and coils for automotive electronic control units)***

Juan Carlos Castelo Valdivieso

Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba – Ecuador
Ingeniero Automotriz, Magister en Sistemas Automotrices
j_castelo@epoch.edu.ec

Sayuri Monserrath Bonilla Novillo

Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
Ingeniera Mecánica, Magister en Gestión Industrial y Sistemas Productivos
smbonilla@epoch.edu.ec / sayitomonse @hotmail.com

Lenin Santiago Orozco Cantos

Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba – Ecuador
Ingeniero Mecánico, Magister en Eficiencia Energética
lsorozco@epoch.edu.ec / leninomega6@hotmail.com

Edwin Ángel Jácome Domínguez

Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba – Ecuador
Ingeniero Mecánico, Magister en Eficiencia Energética
ejacome@epoch.edu.ec / angel891611@hotmail.com

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Juan Carlos Castelo Valdivieso, Sayuri Monserrath Bonilla Novillo, Lenin Santiago Orozco Cantos y Edwin Ángel Jácome Domínguez (2018): "Diseño y construcción de un equipo comprobador del funcionamiento de inyectores y bobinas para unidades de control electrónico automotriz", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (marzo 2018). En línea:

[//www.eumed.net/rev/caribe/2018/03/construccion-comprobador-inyectores.html](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/03/construccion-comprobador-inyectores.html)

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra un dispositivo electrónico para comprobar computadoras automotrices que controlan la gestión del funcionamiento del motor. Se ha utilizado una placa electrónica Arduino y la debida programación para simular la señal que genera un sensor de posición del cigüeñal, denominado CKP, en un motor de combustión interna, se ha generado dos tipos de señales del sensor CKP, señal inductiva y de efecto HALL. Se ha implementado también una pantalla táctil de siete pulgadas para tener una visualización gráfica del funcionamiento de actuadores que se encuentran operados por la computadora del motor, en el dispositivo desarrollado se visualizó el funcionamiento tanto de inyectores como de bobinas. Finalmente se realizó dos pruebas de operación del equipo y su funcionalidad, inicialmente se visualizó con un osciloscopio la señal emitida por el simulador del CKP inductivo y de efecto Hall, para posteriormente realizar una prueba con un computador de un vehículo Opel Corsa B de 1.6L y de una camioneta Chevrolet Luv 3.2L, teniendo resultados favorables de operación y pudiendo visualizar en la pantalla del equipo los pulsos enviados por las computadoras del motor tanto para los inyectores como para las bobinas del sistema de inyección de combustible e ignición respectivamente

Palabras clave: Inyección electrónica de combustible; Arduino; Comprobador de ECU; Gestión electrónica; sensor CKP

ABSTRACT

In the present work shows an electronic device for the check of automotive computers that control the operation of the engine. An Arduino electronic board has been used and the programming to simulate the signal generated by a crankshaft position sensor, called CKP, in an internal combustion engine, has generated two signal types of the CKP sensor, inductive and HALL effect. It has also implemented a seven-inch touch screen for a graphical visualization of operation of actuators that were found by the engine computer, in the developed device was visualized the operation of injectors and coils. Finally, two tests were carried out on the operation of the equipment and its functionality. Initially, with an oscilloscope was visualized the signal emitted by the inductive and Hall effect CKP simulator, to later perform a test with a 1.6L Opel Corsa B vehicle computer. and of a Chevrolet Luv 3.2L truck, having favorable results of operation and being able to visualize in the screen of the equipment the pulses sent by the computers of the engine as much for the injectors as the coils of the system of fuel injection and ignition respectively.

Keywords: Fuel injection system; Arduino; ECU tester; Electronic management; CKP sensor

1. INTRODUCCIÓN

La inyección electrónica surge debido a la necesidad de incrementar la eficiencia de un motor de combustión interna, así como también disminuir el consumo de combustible, incorporando elementos que se encargan de establecer el correcto volumen de carburante a ser pulverizado controlando el tiempo de apertura de los inyectores (Corti et al., 2014). Esta función se la realiza a través de la computadora del automóvil, la cual recibe los parámetros de funcionamiento y cargas a las que está sometido el motor mediante sensores. La Unidad de Control Electrónico (ECU) es relativamente compleja debido a sus múltiples funciones como la de controlar la combustión a través de correcta sincronización al momento de generar pulsos de inyección de combustible y de ignición de chispa en el caso de motores MEP (Rueda & Paredes, 2005).

Los sensores en el coche mejoran principalmente la seguridad, la conducción, el rendimiento del motor y emisiones contaminantes (Gajdarus, Dubec & Žáček, 2017).

Para la generación de pulsos de inyección y de chispa para el encendido del motor es necesario contar con un sensor que muestre la posición de los pistones nos estamos refiriendo al sensor CKP o de posición del cigüeñal que informa a la ECU sobre la velocidad de giro del motor. La frecuencia de la señal generada es proporcional al régimen de giro del motor. (Pérez, 2011).

Con el avance en las tecnologías electrónicas incorporadas por los fabricantes para los diferentes sistemas del automóvil han surgido a la par múltiples formas para diagnosticar los problemas asociados a estos nuevos componentes. Es importante contar con herramientas didácticas, de fácil utilización para la detección oportuna de averías.

Por tal razón el comprobador de computadoras automotrices está construido con una interfaz gráfica que muestra el comportamiento real de una ECU (Electronic Unit Control) al momento de enviar los pulsos de inyección y encendido hacia sus respectivos actuadores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la presente investigación se desarrolló un método no experimental con un diseño longitudinal puesto que se obtuvo la recolección de datos a través del tiempo en diferentes periodos y condiciones de funcionamiento de las computadoras a ser probadas.

La investigación tiene un enfoque cualitativo ya que no se mide el pulso de inyección ni el tiempo que van a permanecer cargadas las bobinas al instante de la activación de las computadoras automotrices sometidas a prueba, sino únicamente si se activan o no se activan dichos elementos, visualizados en una pantalla.

La muestra de prueba para el funcionamiento del equipo es de dos computadoras automotrices, se trata de una ECU correspondiente a un vehículo de la marca Opel, modelo Corsa B de 1600 centímetros cúbicos, de cuatro cilindros en línea, y la segunda computadora corresponde a un automotor de la marca Chevrolet, modelo Luv de cilindrada 3200 centímetros cúbicos, de seis cilindros en disposición en V.

Dentro de las variables a ser medidas se encuentran los tipos de señal del sensor de posición del cigüeñal que emite el equipo y la activación de los inyectores y bobinas. Para el desarrollo de la metodología mostrada, se analizaron los diferentes parámetros a tener en cuenta para la activación de las computadoras automotrices, específicamente el tipo de señal ya sea senoidal o cuadrada en función de la clase de sensor CKP que posea el sistema de inyección electrónica equipado en el vehículo, así como también si se trata de bobinas con transistor de potencia incorporado en el módulo de control o en la misma bobina.

Antes de llevar el proyecto a una etapa de diseño necesitamos saber que variables y cómo funcionará el comprobador de computadoras automotrices, por este motivo se identificaron los parámetros y variables de diseño. Las cuáles serán de entrada y salida.

1. Parámetros de diseño de entrada.

Denominamos como parámetros de entrada a las señales que recibirá el comprobador de computadoras, estas son: seis señales de pulsos de inyección y cuatro de bobinas (enviadas por la ECU del automóvil); Interruptor de encendido del sistema (generado al momento de ser conectado a una fuente de poder); Manejo de una pantalla touch (señales que recibirá el microcontrolador cuando el comprobador esté funcionando).

2. Parámetros de diseño de salida.

Serán las señales que se enviarán desde el comprobador de computadoras hacia la ECU del automóvil, estas son: Señal sinusoidal y Señal de digital. Ambas señales simularán ser las generadas por el sensor CKP.

3. Variables de diseño de entrada.

El valor de voltaje de la señal de pulso de inyección y bobina que recibirá el comprobador por parte de la ECU del automóvil será de 12 voltios y 5 voltios respectivamente. El sistema será alimentado con 110 voltios de corriente alterna; el voltaje máximo para el funcionamiento de la pantalla touch es de 3,3 voltios.

4. Variables de diseño de salida

La tensión de la señal cuadrada simulada por el comprobador de computadoras tendrá un valor de 5 voltios, mientras que la señal sinusoidal será de 12 voltios pico a pico.

5. Selección de la tarjeta Arduino

El Arduino Due es una placa electrónica basada en la CPU Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3. Posee un microcontrolador núcleo ARM de 32 bits. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 12 se pueden utilizar como salidas PWM), 12 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un reloj de 84 MHz, una conexión capaz OTG USB, 2 DAC (de digital a analógico), un conector de alimentación, una cabecera de SPI, un encabezado JTAG, un botón de reinicio y un botón de borrado. (Arduino)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Micro controlador	AT91SAM3X8E
Tensión de funcionamiento	3.3V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límites)	6-16V
Digital pines I / O	54 (de los cuales 12 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	12
Pines de salida analógicas	2 (DAC)
Corriente total de salida de CC en todas las líneas de E / S	130 mA
Corriente CC para Pin 3.3V	800 mA
Corriente DC 5V para el Pin	800 mA
Memoria flash	512 KB disponibles para todas las aplicaciones de usuario
SRAM	96 KB (dos bancos: 64KB y 32KB)
Velocidad de reloj	84 MHz
Longitud	101.52 mm
Anchura	53,3 mm
Peso	36 g

Figura 1. Especificaciones técnicas del Arduino DUE

Fuente: (Arduino)

Alimentación del Arduino DUE: El Arduino Due puede ser alimentado a través del conector USB o con una fuente de alimentación externa. La alimentación externa (no USB) puede venir con adaptador de CA a CC o una batería. El adaptador se puede acoplar mediante un plug de conexión de 2,1 mm al conector de alimentación de la placa. El rango recomendado para su correcto funcionamiento es de 7 a 12 voltios

Los pines de alimentación de la placa Arduino son los siguientes:

VIN: El voltaje de entrada a la placa Arduino cuando la alimentación es mediante el conector USB o alguna otra fuente de alimentación regulada.

Instrucción IOREF: Este perno de la placa Arduino proporciona la referencia de tensión con el que opera el microcontrolador. Una adecuada configuración puede leer el voltaje del pin IOREF y seleccionar la fuente de alimentación adecuada o habilitar interpretadores de voltajes en las salidas para trabajar con el 5 v o 3,3 v. (Arduino)

Memoria del Arduino DUE: El SAM3X tiene 512 KB (dos bloques de 256 KB cada una) de memoria flash para el almacenamiento de códigos. El gestor de arranque se almacena en una memoria ROM. La SRAM disponible es de 96 KB en dos bancos continuos de 64 KB y 32 KB. (Arduino)

Toda la memoria disponible (flash, RAM y ROM) se puede acceder directamente como un espacio de direccionamiento plano.

Es posible borrar la memoria flash de la SAM3X a través del botón de borrado ("ERASE") que se encuentra en la placa Arduino. Esto eliminará cualquier programa cargado en la MCU. Para borrar se debe mantener pulsado el botón de borrado durante unos segundos, mientras la tarjeta esté encendida. (Arduino)

Entradas y salidas de señales digitales: Pines desde el 0 al 53. Cada uno de los 54 pines de la placa Arduino pueden utilizarse como entrada o salida de señales utilizando los comandos de programación "pinMode ()", "digitalWrite ()" y "digitalRead ()". Operan a 3,3 voltios. Cada pin puede proporcionar (fuente) una corriente de 3 mA o 15 mA, dependiendo de la clavija, o recibir una corriente de 6 mA o 9 mA, dependiendo del pin. También tienen una resistencia pull-up interna (desconectado por defecto) de 100 Kohm. Algunos pines tienen funciones especializadas como las siguientes:

Serie: 0 (RX) y 1 (TX)

Serie 1: 19 (RX) y 18 (TX)

Serie 2: 17 (RX) y 16 (TX)

Serial 3: 15 (RX) y 14 (TX):

Se utiliza para recibir (RX) y transmitir datos en serie (TX) TTL con un nivel máximo de 3,3v.

Salida de señal PWM: Pines desde el 2 al 13. Los cuales proporcionan una salida con un ancho de pulso de 8 bits, utilizando el comando de programación "analogWrite ()". La resolución del PWM se puede cambiar con la función "analogWriteResolution ()".

SPI, ICSP: Estos pines permiten la comunicación con los protocolos de comunicación serial SPI e ICSP respectivamente. Estos pines solo se pueden utilizar para la comunicación con otros dispositivos adicionales como LCD, sensores y microcontroladores, pero para programar el SAM3X.

"L" LED: Es el pin digital 13 en el cual se encuentra un LED incorporado. Cuando el pin está en "HIGH" se enciende, cuando se encuentra en "LOW" se apaga. Por ser una salida PWM es posible atenuar el LED.

TWI 1: 20 (SDA) y 21 (SCL)

TWI 2: SDA1 y SCL. (Arduino)

TWI es un soporte de comunicación utilizando la librería Wire. SDA1 y SCL1 se pueden controlar mediante la clase Wire1 proporcionada por la biblioteca de alambre. Mientras SDA y SCL tienen pull-up internas, SDA1 SCL1 no. La adición de dos resistencias pull-up en las líneas SDA1 y SCL1 es necesaria para el uso de Wire1. (Arduino)

Entradas y salidas de señales analógicas: Son los pines desde A0 a A11. La placa Arduino DUE tiene 12 entradas analógicas, cada una de las cuales pueden proporcionar 12 bits de resolución (es decir, 4096 valores diferentes). Por defecto, la resolución de las lecturas se establece en 10 bits para la compatibilidad con otras placas Arduino. Es posible cambiar la resolución del ADC con "analogReadResolution ()". Las entradas analógicas del Arduino DUE varían desde 0 v a 3,3 v. La alimentación de un valor superior a 3,3 voltios en los pines dañará el microcontrolador SAM3X. (Arduino)

AREF: Este pin está conectado a la clavija de referencia analógica SAM3X a través de un puente de resistencias. Este pin es un voltaje de referencia para las entradas analógicas. Se utiliza con la función "analogReference ()". (Arduino)

DAC1 y DAC2: Estos pines proporcionan salidas analógicas constantes con resolución de 12 bits (4096 niveles) con el comando de programación "analogWrite ()". Estos pines se pueden utilizar para crear una salida de audio utilizando la biblioteca de audio. Hay que tener en cuenta que el rango de salida del DAC es en realidad de 0,55 v a 2,75 v solamente. (Arduino)

Comunicación del Arduino DUE: El Arduino DUE tiene una serie de instalaciones para comunicarse con una computadora, otro Arduino u otros microcontroladores, y diferentes dispositivos como teléfonos, tabletas, cámaras y así sucesivamente. El SAM3X proporciona un hardware UART y tres hardware USART para la comunicación en serie TTL (3.3V).

El puerto de programación está conectado a un ATmega16U2, que proporciona un puerto COM virtual al software en un equipo conectado; para reconocer el dispositivo las máquinas Windows necesitarán un archivo .inf, pero las máquinas OSX y Linux reconocerán la placa como un puerto COM automáticamente. Los LED RX y TX de la placa parpadearán cuando se transmitan datos a través del chip ATmega16U2 y la conexión USB al ordenador.

El puerto USB nativo está conectado al SAM3X. Permite la comunicación en serie (CDC) a través de USB. Esto proporciona una conexión en serie al Serial Monitor u otras aplicaciones en su computadora. El puerto USB nativo también puede actuar como un host USB para periféricos conectados como ratones, teclados y teléfonos inteligentes. (Arduino)



Figura 2. Placa del Arduino DUE.
Fuente: (Arduino)

6. Selección de la pantalla táctil

Comparando las especificaciones técnicas y compatibilidad con la tarjeta electrónica hemos optado por utilizar la pantalla SainSmart de 7" TFT LCD 480X800

Características:

- Módulo de 7" TFT LCD, resolución 800x480, regulador SSD1963.
- A bordo 64Mbit SPI Flash para almacenar fuentes de 10 tamaños y 236 iconos para el desarrollo de aplicaciones personalizadas.
- Escribir imágenes / iconos en la memoria flash vía tarjeta SD con programación cero.
- 64Mbit puede almacenar 1800 42x42 píxeles iconos / imágenes.
- LCD Tipo: TFT Transmisivo Normal Blanco.
- Interfaz: interfaz de bus paralelo de 8/16 bits.
- A bordo 400mA DC-DC Boost regulador para proporcionar suministro de energía a la luz de fondo LCD.
- Se proporciona un código de instalación específico de LCD, de modo que puede ahorrar tiempo para optimizar las curvas de registro de control de potencia y gamma para obtener el mejor rendimiento de visualización.
- Dimensión del módulo: 186mmx106mmx23mm (incluyendo la extrusión de cabezal de clavija).
- Área activa: 154mmx86mm.
- Cabezal estándar de 2x20 pines de 2,54mm para conexión a MCU / placa de desarrollo. (SainSmart, 2010)



Figura 3. Pantalla de 7" TFT LCD 480X800

Fuente: (SainSmart, 2010)

Para que exista la comunicación entre el Arduino Due y la pantalla táctil se necesitará de un una Shield la cual es una placa compatible que se coloca en la parte superior del Arduino permitiendo la comunicación con otros dispositivos.



Figura 4. Placa Shield compatible con Arduino Due

3. DESARROLLO

3.1 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

Para el diseño de circuito de control debemos tener presente que se deben generar (simular) dos tipos de señales: una cuadrada de efecto hall y otra sinusoidal. En el caso de la primera es más fácil su programación para cualquier tipo de microcontrolador.

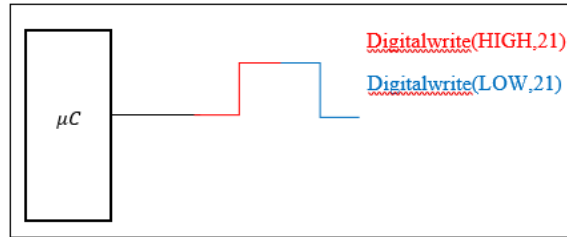


Figura 5. Programación de señal cuadrada

La señal cuadrada generada tiene un voltaje máximo de 0-3,3 V la cual debe ser acondicionada para ser enviada hacia la ECU del automóvil.

Por las características anteriormente mencionadas del Arduino Due se nos facilitaría la generación de la señal sinusoidal, esto se debe a que posee un convertidor de Digital/Analógico (DAC). Este dispositivo electrónico recibe un grupo de bits y posteriormente los transforma en un nivel de voltaje formando la señal analógica con valores absolutos de voltaje (0-3,3v) que a igual de la señal cuadrada debe ser acondicionada para ser enviada a la ECU del automóvil.

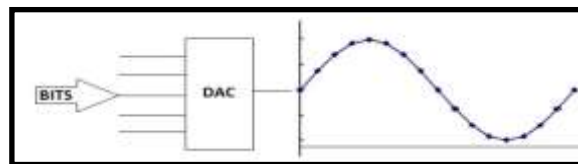


Figura 6. Programación de la señal analógica

3.1.1 Programación del Arduino DUE

Para realizar la programación de la placa Arduino DUE se elaboró el siguiente diagrama de flujo.

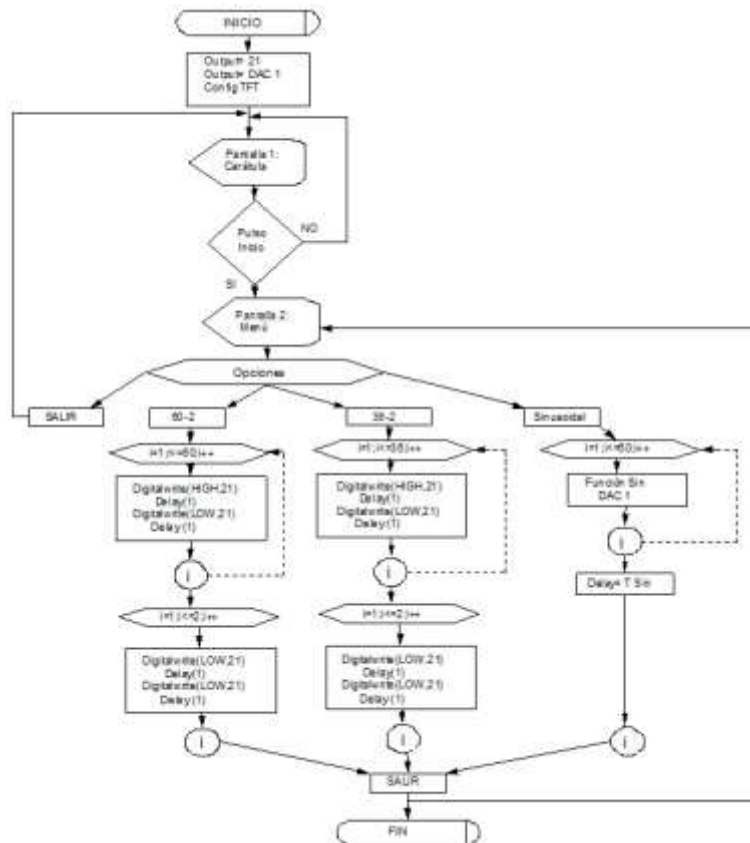


Figura 7 Programación del Arduino DUE

El comprobador de computadoras automotrices posee una interfaz gráfica a través de la pantalla SainSmart 7" TFT LCD 480X800 como se muestra en la Figura 8, que permite seleccionar el número de dientes que posee la rueda fónica (60-2 y 36-2) para simular la señal cuadrada del sensor Hall y la señal sinusoidal generadas por el sensor CKP.

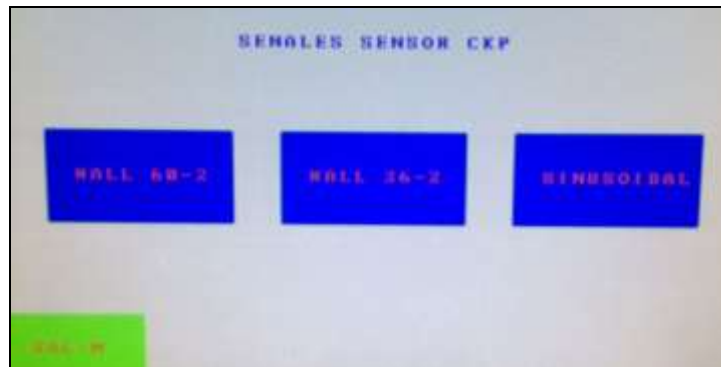


Figura 8. Señales generadas por el sensor CKP.

Si se selecciona la opción "60-2" o "36-2" se genera una señal cuadrada de tipo HALL de 0-3.3 voltios con 60 pulsos y 2 espacios simulando la configuración de la rueda fónica. Esta señal sale a través del pin 21 del Arduino DUE, representado en la Figura 9.

Al momento de seleccionar la opción "sinusoidal" se obtendrá una señal de tipo inductiva con un valor netamente positivo de 2,4 voltios pico a pico, esta señal sale a través del pin "DAC 1" del Arduino DUE.

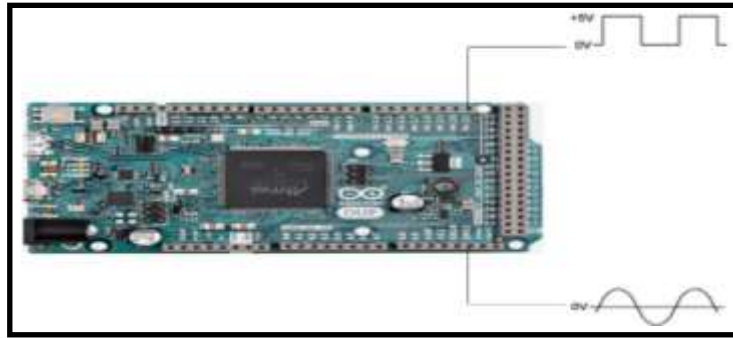


Figura 9. Señales de salida del Arduino DUE

3.1.2 Acondicionador de señal cuadrada

La Figura 10, representa el acoplador de la señal cuadrada proveniente del Arduino DUE (pin 21), la misma que ingresa al circuito a través de una resistencia de 220Ω . Los pines 4 y 5 sirven para enviar la señal acondicionada a la ECU del automóvil.

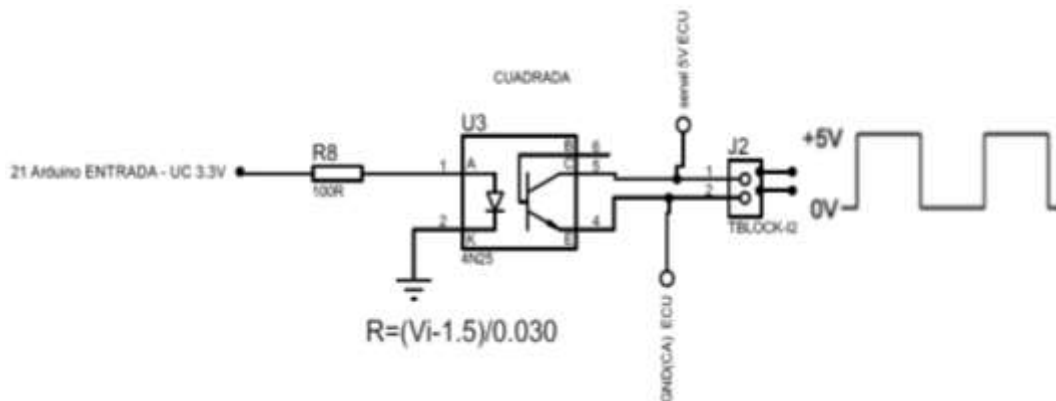


Figura 10. Acondicionador de señal cuadrada

3.1.3 Acondicionador de señal analógica

La señal sinusoidal proveniente del Arduino DUE (pin "DAC 1") es ingresada al circuito electrónico de la Figura 11, que permite recibir la señal y corregir la referencia de origen obteniendo como resultado una señal sinusoidal positiva y negativa.

Posteriormente la señal corregida es ingresada a un amplificador no inversor para dar una ganancia que puede ser ajustada hasta 12 voltios pico a pico. A la salida de este circuito electrónico la señal sinusoidal puede ser ingresada a la ECU.

Es importante considerar que en algunos sistemas de inyección electrónica, manejan tres cables para este sensor, por lo tanto se debe conocer plenamente la conexión del sensor, puesto que uno de esos cables es un coaxial que aísla de ruidos electromagnéticos que se pueden generar alrededor del cable del sensor y los aísla a tierra del vehículo.

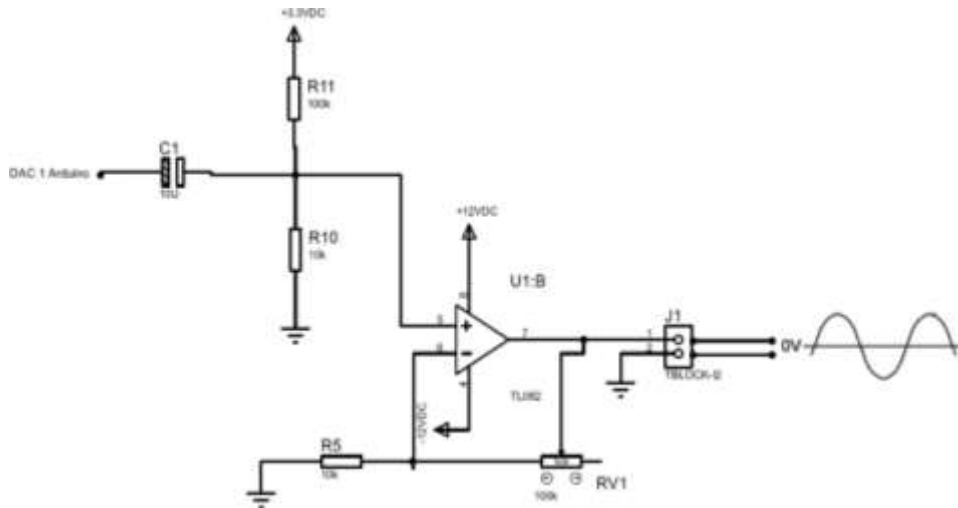


Figura 11. Acondicionador de señal inductiva.

3.1.4 Acondicionamiento de señales provenientes de la ECU hacia el Arduino DUE

Las señales provenientes de la Unidad de Control Electrónico (ECU) hacia los actuadores son de dos tipos: de 5 voltios y 12 voltios, 5 voltios para las bobinas que no poseen mosfet en el interior de la ECU, y 12 voltios para los inyectores y bobinas que poseen mosfet en el interior de la ECU. Se denomina mosfet a un transistor de potencia que se comportará como un interruptor permitiendo el paso de corriente.

Por las características de fabricación del Arduino DUE estas señales deben ser acondicionadas a una tensión máxima de 3.3 voltios para que puedan ser ingresadas y simular los actuadores. Este circuito electrónico está formado por un optocoplador 4N25 (el cual es un circuito integrado que nos ayudará a disminuir el voltaje a 3,3 voltios), como muestra la Figura 12.

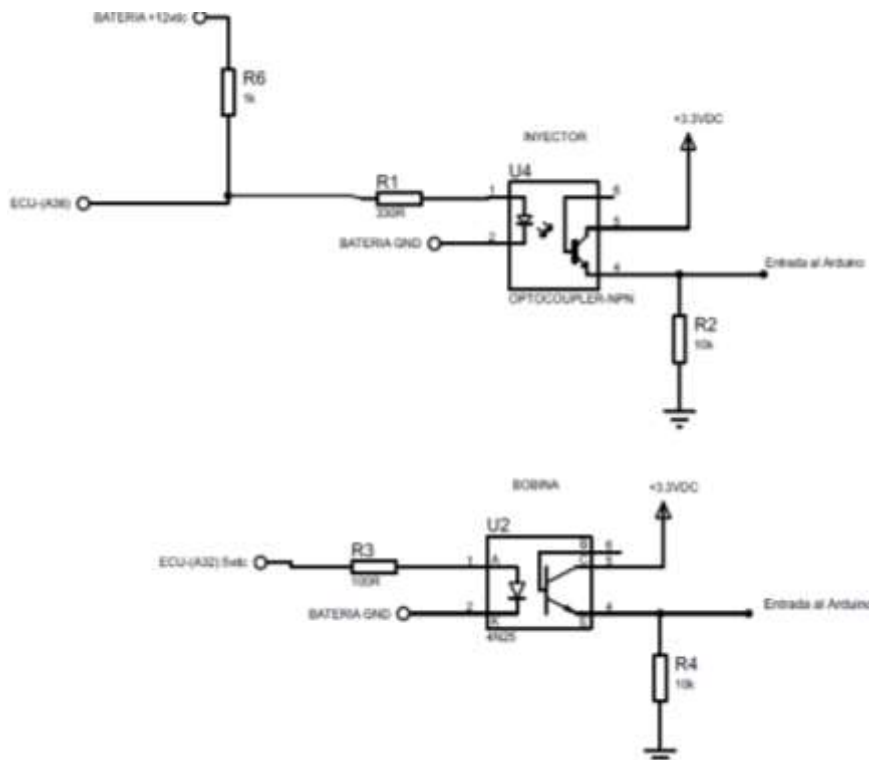


Figura 12. Acondicionamiento de señales de entrada hacia el Arduino.

3.1.5 Circuitos de alimentación

El circuito de alimentación posee una fuente simétrica de 12 voltios con derivaciones de 5 v. y 3,3 v. a través de reguladores 7805 y 7833 respectivamente. Además, posee capacitores de 100 μF que permiten aterrizar los ruidos de los distintos sistemas electrónicos.

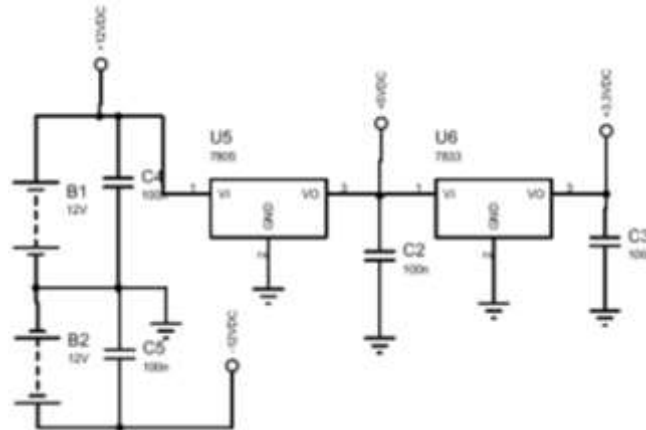


Figura 13. Circuitos de alimentación.

Algunos sistemas de inyección electrónica de combustible incorporan en el interior de la ECU unos transistores de potencia llamados Mosfet, estos dispositivos electrónicos sirven como interruptores a tierra, que activaran o desactivaran la señal enviada hacia los inyectores y bobinas (Fujihira & Okumura, 2004), este comportamiento hay que considerarlo importante al momento de testear una computadora automotriz.

3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLACA ELECTRÓNICA.

Para el diseño de las placas de control se utiliza el software “Proteus”, específicamente “Ares” con un ancho de pista de 1 mm en fibra de vidrio, adicionalmente se agregará borneras de dos y tres bornes de conexión que permite facilitar el acople para un mejor acabado final.

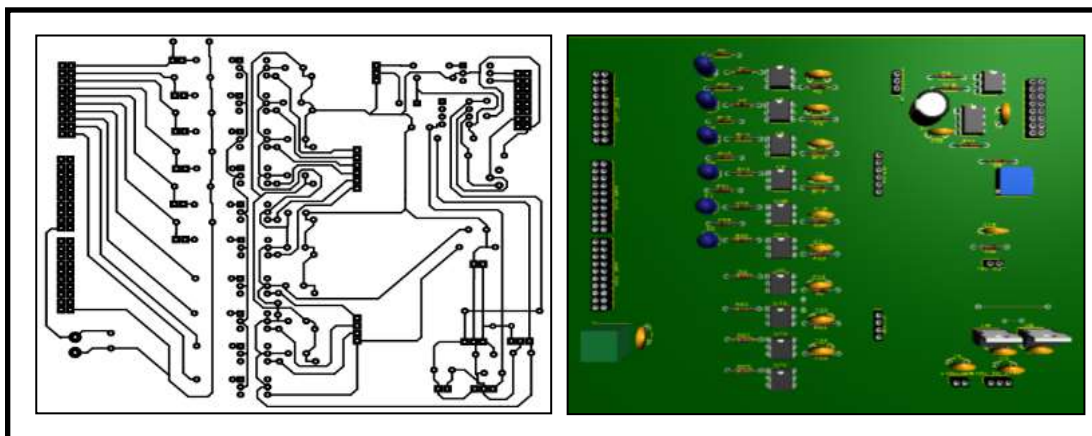


Figura 14. Diseño de la placa en Proteus

3.2.1 Impresión de la placa electrónica

Para la construcción de la placa electrónica se utilizó la técnica de fabricación y desarrollo de PCB (Placa de Circuito Impreso, por sus siglas en inglés) por papel transfer.

La cual consiste en transferir el arte del PCB por impresión láser sobre papel satinado (textura lisa y brillante), que permite por calor ser desprendido y adherido a la placa de cobre.

Pasos para transferir la imagen del papel satinado a la placa:

- Se imprimió con abundante tóner la imagen en el papel satinado, no importa si es fotocopiadora o impresora láser.
- Cortamos la baquelita al tamaño de la imagen y lijamos las imperfecciones.
- Limpiamos, desengrasamos y secamos la baquelita.
- Colocamos la placa con la cara de cobre hacia arriba, después colocamos la imagen del papel satinado con el lado de la impresión del tóner en contacto directo con la superficie de cobre.
- Aplicamos calor y verificamos continuamente que el tóner se adhiera lo mejor posible a la placa.
- Sumergimos el papel con la baquelita en una bandeja de agua y realizamos presión sobre el papel en la placa. Posterior a esto retiramos lentamente el papel.
- Una capa de carbón protegerá las partes deseadas del circuito para el momento de ser atacado por el ácido.

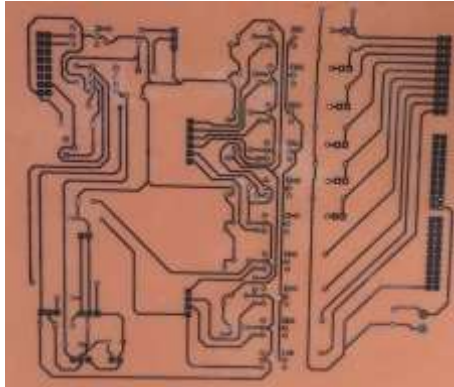


Figura 15. Circuito impreso

3.2.2 Construcción del comprobador de computadoras automotrices

Teniendo listo todos los diseños y la placa impresa procedemos a la construcción de nuestro comprobador de computadoras automotrices.

Los materiales utilizados para la elaboración final de la placa se muestran en la Figura 16.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
2	Disipadores de calor
1	7833
1	7805
17	Capacitores 104
11	4N25
1	7L082
12	Zócalos 8
29	Resistencias
6	Leds
1	Borne a2
1	Potenciómetro
6	Regletas doble
35	Cable Arduino
1	Regleta macho
4	Fuentes Switching
1	Cable de poder
1	Conector de poder
2	Switch
50	Cables conectores

240 cm	Cable de red
--------	--------------

Figura 16. Componentes de la placa

Se procedió a perforar la placa para colocar los componentes antes descritos y su posterior soldadura con las precauciones y equipos de seguridad personal pertinentes para evitar cualquier tipo de quemaduras e inhalación de gases procedentes de la soldadura de los elementos a la placa.



Figura 17. Soldadura de componentes

3.2.3 Diseño y construcción de la carcasa de protección del comprobador

El diseño de la carcasa se lo realizó mediante el software de simulación CAD, Solidworks, teniendo en cuenta las dimensiones tanto de la placa de control, la pantalla, las fuentes de alimentación, conectores e interruptores.



Figura 18. Diseño de la carcasa del comprobador

4. RESULTADOS

4.1 ELEMENTOS DEL COMPROBADOR DE COMPUTADORAS AUTOMOTRICES

El comprobador digital de computadoras automotrices consta de diferentes partes detalladas a continuación con su adecuada programación y evaluación de resultados.

4.1.1 Pantalla

El comprobador de computadoras automotrices cuenta con una interfaz gráfica fácil de entender y ser utilizada. La pantalla presenta una carátula inicial, en la parte inferior izquierda se encuentra el botón

“INICIO”, el cual nos llevará al menú principal donde se muestran las señales del sensor CKP (HALL y Sinusoidal). Al elegir cualquier de las tres opciones nos llevará a una tercera pantalla donde se observará los actuadores simulados.

Después de presionar el botón inicio de la primera pantalla, observaremos las señales simuladas del sensor CKP (Hall y sinusoidal) en la Figura 19, se detalla la programación de esta pantalla.

```
//TITULO DE PANTALLA 2
myGLCD.setColor(0, 0, 255);
myGLCD.setBackColor(255, 255, 255);
myGLCD.setFont(BigFont);
myGLCD.print("SENALES SENSOR CKP", CENTER, 100);
// TECLAS DE OPCIONES
myGLCD.setColor(255, 0, 0);
myGLCD.setBackColor(0, 0, 255);
myGLCD.setFont(BigFont);

//60-2
myGLCD.print("HALL 60-2",80, 240);
//36-2
myGLCD.print("HALL 36-2",330, 240);
//sen
myGLCD.print("SINUSOIDAL",580, 240);

//-----boton CONTINUAR
myGLCD.setColor(0, 255, 0);
myGLCD.fillRoundRect (0, 400,150, 480);
myGLCD.setColor(255, 0, 0);
myGLCD.setBackColor(0, 255, 0);
myGLCD.setFont(BigFont);
myGLCD.print("SAL-M", 25, 430);
```

Figura 19. Programación de la segunda pantalla (Sensor CKP)

En la Figura 20, se muestra la interfaz de la segunda pantalla del comprobador de computadoras. En la parte inferior izquierda se encuentra un botón para regresar a la carátula inicial



Figura 20 Pantalla “Señales sensor CKP”

En la Figura 21, observamos la programación de la tercera pantalla, aquí se visualizará los inyectores y bobinas, en esta pantalla la activación y desactivación de estos elementos, está estructurada para que el color rojo indique la activación del actuador, mientras que el color azul indicará la desactivación del actuador.

La finalidad de el cambio de color es para poder visualizar en la pantalla si el actuador esta funcionando adecuadamente o no, además para tratar de especificar la secuencia de activación de cada uno de los inyectores y bobinas.

```

myGLCD.setColor(255, 0, 0);
myGLCD.setBackgroundColor(255, 255, 255);
myGLCD.setFont(BigFont);
//BOBINA-INYECTOR
myGLCD.print("IY-BO1", 37, 205);
myGLCD.print("IY-BO2", 162, 205);
myGLCD.print("IY-BO3", 287, 205);
myGLCD.print("IY-BO4", 412, 205);
myGLCD.print("IY-BO5", 537, 205);
myGLCD.print("IY-BO6", 662, 205);
//BOBINAS

myGLCD.print("BOBINA1", 50, 355);
myGLCD.print("BOBINA2", 250, 355);
myGLCD.print("BOBINA3", 450, 355);
myGLCD.print("BOBINA4", 650, 355);
//boton salir
myGLCD.setColor(0, 255, 0);
myGLCD.fillRoundRect(0, 400, 150, 480);
myGLCD.setColor(255, 0, 0);
myGLCD.setBackgroundColor(0, 255, 0);
myGLCD.setFont(BigFont);
myGLCD.print("SALIR", 25, 430);
}

```

Figura 21. Programación de la tercera pantalla (Bobinas e inyectores)

La figura 12, presenta la interfaz creada para los actuadores (Inyectores y bobinas)

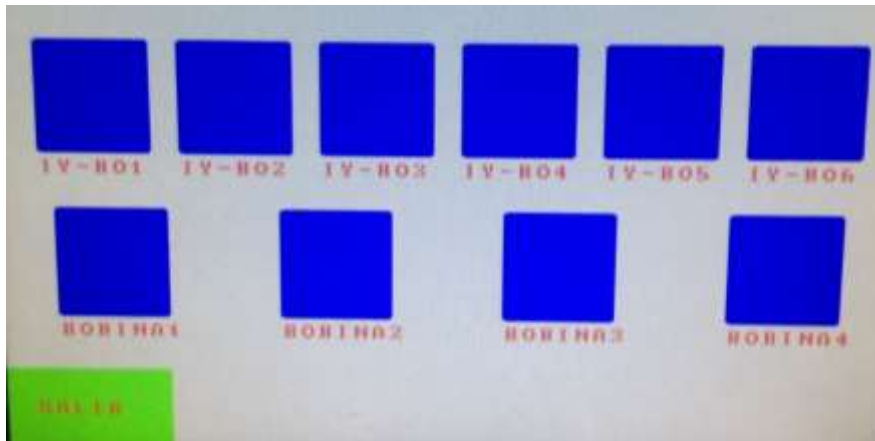


Figura 12. Pantalla "Bobinas e inyectores"

4.1.2 Señal CKP Analógica

Este elemento es un conector por el cual el comprobador de computadoras va a enviar la señal del sensor CKP simulada hacia la ECU. Presenta doble pin de conexión (GND y la señal propiamente dicha), en los cuales se debe conectar la computadora del vehículo a ser analizada tomando en cuenta siempre el diagrama eléctrico (PIN data).

```

case 4:
//SEN
for(j=1;j<=60;j++){
  for(i = 0; i<50;i++){ // Inicia lazo para enviar los 51
    if(seno[i]>4095) { // Valores digitales
      seno[i]=4095; // Valor máximo 4095
    }
    analogWriteResolution(12); // Configura resolución de 12 bits
    analogWrite(DAC1, seno[i]); // Envío de datos a DAC1
    delayMicroseconds(30); // Ajuste de Frecuencia 14= 1khz 20=1.8khz,2ms en delay
    salir();
  }
}
delay(3); // periode en cero= 50 muestras x 14(ajuste frecuencia) =700
break;

```

Figura 23. Simulación de señal CKP sinusoidal

4.1.3 Señal CKP Efecto HALL

La señal CKP de efecto Hall generada por el comprobador va a ser enviada hacia este conector, por lo tanto, se procederá a realizar las conexiones teniendo en cuenta el diagrama eléctrico de la ECU a ser analizada. En la Figura 24, se muestra la creación de la señal de efecto Hall de 60-2 dientes

```

//60-2

//generacion de frecuencia
//60 PULSOS
for(i=1;i<=58;i++){
  digitalWrite(s602_342,HIGH);
  delay(1);
  digitalWrite(s602_342,LOW);
  delay(1);
  salir();
}
//DOS PULSOS APAGADOS
for(i=1;i<=2;i++){
  digitalWrite(s602_342,LOW);
  delay(1);
  digitalWrite(s602_342,LOW);
  delay(1);
  salir();
}

//final generacion de frecuencia
break;

```

Figura 24. Simulación de señal CKP efecto Hall (60-2)

La Figura 25, permite visualizar la programación de la señal del sensor CKP efecto Hall de 36-2 dientes

```

case 3:
//36-2
//generacion de frecuencia
//36 PULSOS
for(i=1;i<=34;i++){
  digitalWrite(s602_342,HIGH);
  delay(1);
  digitalWrite(s602_342,LOW);
  delay(1);
}
salir();
}
//DOS PULSOS APAGADOS
for(i=1;i<=2;i++){
  digitalWrite(s602_342,LOW);
  delay(1);
  digitalWrite(s602_342,LOW);
  delay(1);
  salir();
}

//final generacion de frecuencia

```

Figura 25. Simulación de señal CKP efecto Hall (36-2)

4.2 SEÑALES SIMULADAS DE CKP OBTENIDAS EN EL EQUIPO COMPROBADOR DE COMPUTADORAS A TRAVÉS DEL OSCILOSCOPIO

4.1.1 Señal senoidal de ckp de 60-2 dientes

Como resultado del diseño planteado se tiene una señal senoidal adecuadamente acondicionada, aún con el importante diente perdido que simula perfectamente la rueda fónica de un cigüeñal, al utilizar un osciloscopio para visualizar la forma de onda del simulador, se observa un total de 60 picos de corriente alterna de 12 voltios pico a pico como se muestra en la Figura 26.

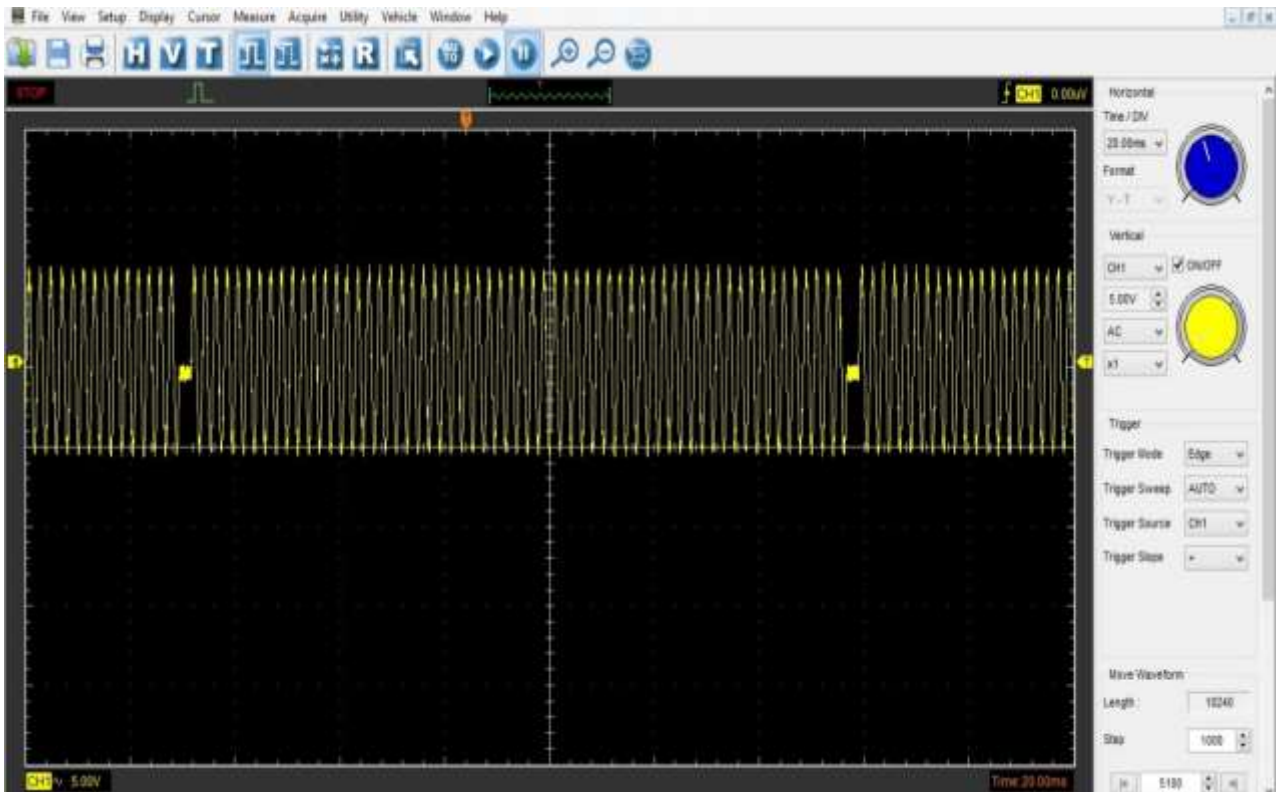


Figura 26. Señal senoidal medida con el osciloscopio

4.1.2 Señal de ckp cuadrada de efecto hall de 60-2 y 36-2 dientes

En cuando a la señal cuadrada de efecto Hall, tenemos dos opciones para escoger, ya sea una señal con una rueda fónica de 60 dientes menos 2, o una señal de 36 dientes menos 2, a continuación, se muestra la señal que emite la tarjeta vista a través del osciloscopio.

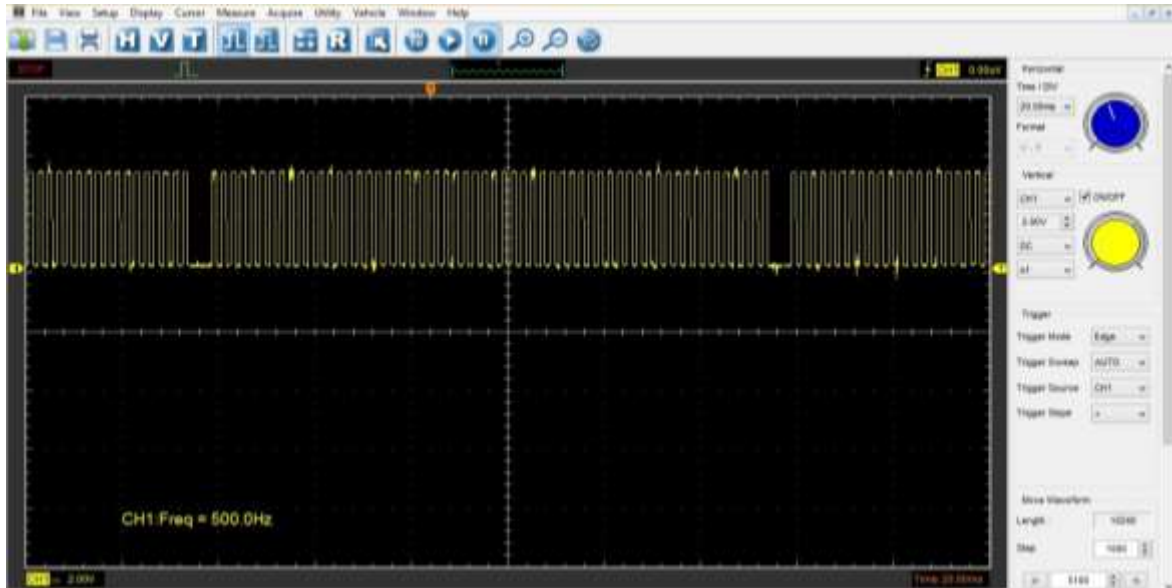


Figura 27. Señal digital de ckp 50-2 medida con el osciloscopio

Como nos indica el osciloscopio adecuadamente configurado, tenemos una frecuencia de 500 Hz, y un voltaje cercano a 5 voltios entre los picos y valles de la señal cuadrada, en total se tiene 58 dientes y los dos dientes perdidos que claramente se puede visualizar en el oscilograma.

En cuanto a la señal emitida al seleccionar la opción de 36-2, se muestra los detalles vistos con el osciloscopio en la Figura 28.

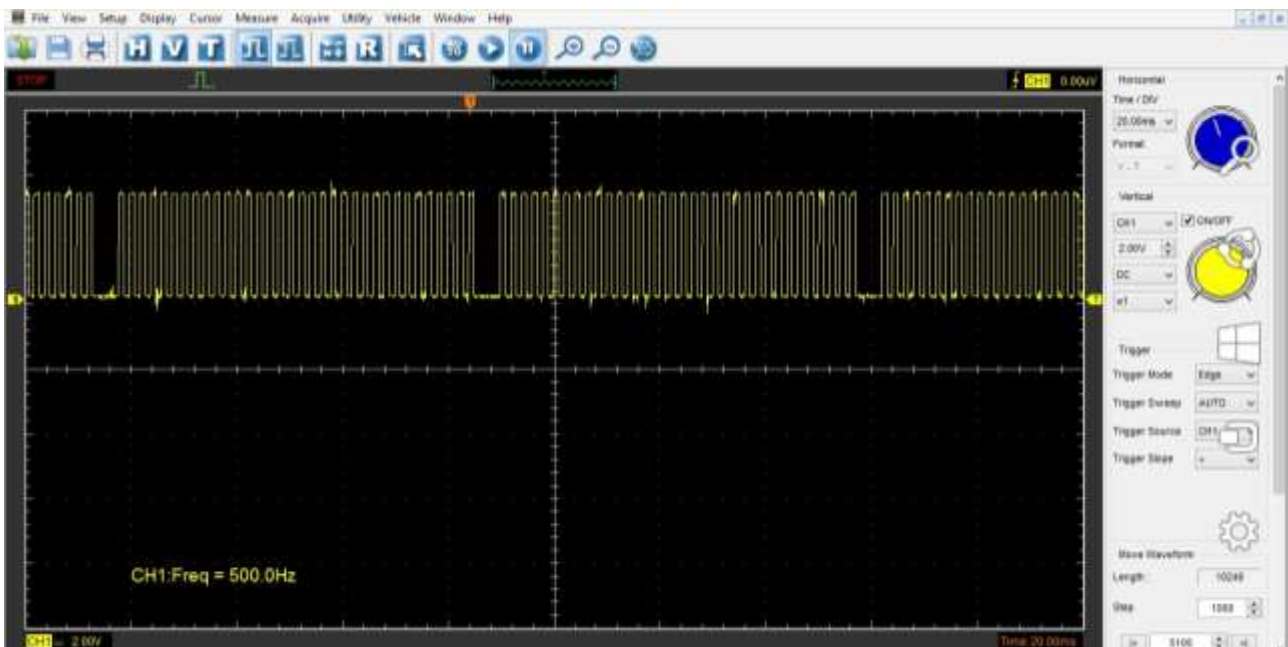


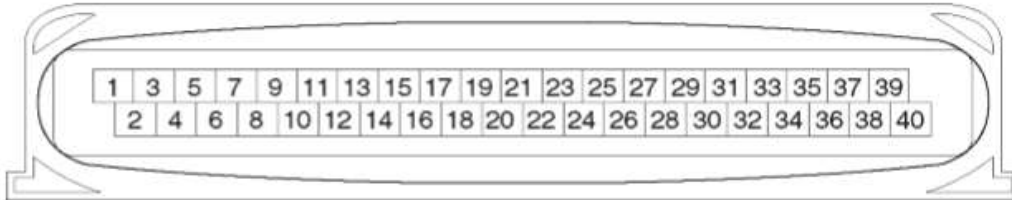
Figura 28. Señal digital de CKP 36-2 medida con el osciloscopio

Al tener la misma configuración del osciloscopio, se puede apreciar la misma frecuencia de 500 Hz, pero con la diferencia de que el número de dientes que simulan la rueda fónica son menores, por lo que en un tiempo de 20 ms por división, se parecía tres veces la parte de los dos dientes perdidos en comparación a la señal de la Figura 27, en la que se pueden apreciar únicamente dos veces dicha apertura en la señal.

4.3 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO CON LA ECU DE LA CAMIONETA CHEVROLET LUV 3,2 LITROS

Esta computadora pertenece a una camioneta marca Chevrolet Luv modelo 2005 con 6 cilindros en V de 3,2 litros, con inyección electrónica secuencial multipunto, es decir que posee un inyector para cada cilindro y una sincronización individual de inyección de combustible.

Para realizar la prueba de funcionamiento se obtuvo el diagrama eléctrico de la ECU a ser analizada, además debemos conocer el tipo de sensor CKP que posee y la característica de rueda fónica (60-2 o 36-2) de esta camioneta. Esta computadora presenta dos conectores A y B enumerados de izquierda a derecha como se muestra en la Figura 29.



PIN	Descripción
B37	Power Supply (Fuente de alimentación +12 Vcc)
B36	
B34	
B33	Ignition Switch (+12 Vcc)
A4	Ground ECU (Masa de la ECU)
A7	
A8	
A37	
A33	
A22	
A23	Crank Angle Sensor (Señal de sensor CKP)
A25	GND CKP Sensor
A30	Bobina N°5
A31	Bobina N°3
A32	Bobina N°1
B7	Bobina N°2
B8	Bobina N°4
B9	Bobina N°6
A34	Inyector N°5
A35	Inyector N°3
A36	Inyector N°1
B3	Inyector N°2
B4	Inyector N°4
B5	Inyector N°6

Figura 29. Conector de ECU Chevrolet Luv 3.2L

Se realizó un arnés de cables para facilitar la conexión al comprobador de computadoras. Posteriormente se procedió a energizar el comprobador con una fuente de corriente alterna de 110 voltios. Se enciende la placa de control y la pantalla mediante sus respectivos interruptores. A través del botón "INICIO" se pasa del menú principal y escoger la señal del sensor CKP, que para este ejemplo es la opción "HALL 60-2", en la pantalla de "bobinas e inyectores" se visualizó la activación de los "actuadores". Como resultado se obtuvo que la ECU de la camioneta Chevrolet si envió pulsos de inyección y de bobina.

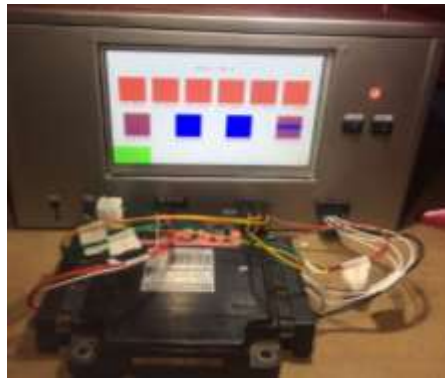
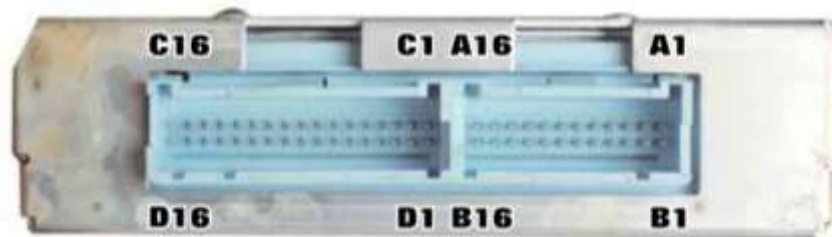


Figura 30. Prueba de funcionamiento con la ECU

3.2 Prueba de funcionamiento con la ECU del Chevrolet Corsa 1,6 litros

Este vehículo tiene un sistema de inyección electrónica multipunto semi secuencial. Para realizar las conexiones correspondientes necesitamos obtener el diagrama eléctrico y las características de funcionamiento de la ECU, de igual manera debemos tener conocimiento del tipo de sensor CKP que posee.

La ECU de este automóvil presenta dos conectores: Conector A-B y Conector C-D como se muestra en la Figura 31.



PIN	Descripción
B1	Alimentación ECU (+12 Vcc)
C16	
C4	
A12	Ground ECU (Masa)
B10	
D1	
C13	Puente de octanaje
C14	
D10	Control de bobina de encendido
C3	
C11	Control de Inyector (1 y 4)
C15	Control de Inyector (2 y 3)

Figura 31. Pin Data ECU Corsa 1,6L

Realizamos un arnés de cables para facilitar la conexión al comprobador de computadoras. Posteriormente procedemos a energizar el comprobador con una fuente de corriente alterna de 110 voltios. Encendemos la placa de control y la pantalla mediante sus respectivos interruptores. Seleccionamos el botón "INICIO" para pasar al menú principal y escoger la señal del sensor CKP, que para este ejemplo es la opción "SINUSOIDAL", a continuación, visualizaremos si la ECU envía pulsos de inyección y de bobinas de encendido al comprobador. En la pantalla de "bobinas e inyectores" visualizaremos la activación de los "actuadores". Como resultado obtenemos que la ECM del automóvil Corsa si envía pulsos de inyección y de bobina.



Figura 32. Prueba de funcionamiento con la ECU del Corsa B 1.6L.

Una vez finalizadas las pruebas con las dos computadoras automotrices, se observó que el comprobador funciona correctamente. Las señales generadas por nuestro dispositivo fueron reconocidas por las ECU's, de igual manera las señales de salida de las computadoras hacia el comprobador se observaron en la tercera pantalla que contiene varios cuadros azules que simulan ser los inyectores y bobinas. Debido a que los pulsos de inyección y bobinas que envían las computadoras se encuentran en el rango de mili segundos es difícil percibir como se realiza la secuencia de estos pulsos en función del orden de encendido del motor de combustión interna al que pertenezca la computadora automotriz.

El cambio de color de azul a rojo (apagado/encendido) representa las pulsaciones de inyección, mientras que para los pulsos de bobina se visualizará con mayor intensidad el color rojo debido a que su señal es inversa a la de los inyectores por tal razón su secuencia va a ser encendido/apagado.

5. CONCLUSIONES

- Es posible la construcción de un equipo comprobador de computadoras automotrices a través de la utilización de una tarjeta Arduino Due, hay que tener en consideración que las computadoras a ser diagnosticadas no deben poseer un sistema de inmovilizador anti robo, ya que este sistema no permitirá que la ECU envíe las señales de activación hacia las bobinas e inyectores al momento de simular la señal del sensor CKP.
- La velocidad de procesamiento del microcontrolador del Arduino DUE es más rápido que el de Arduino MEGA, además que por su convertidor DAC lo hace idóneo para la fabricación de un comprobador de computadoras automotrices.
- Este dispositivo dispone de dos entradas de señales del sensor CKP, por lo tanto, se pudo utilizar para realizar la comprobación de computadoras con señales de efecto Hall y sinusoidal obteniendo resultados favorables al momento de la activación de ambas computadoras.
- Es importante y didáctico el cambio de color que presenta los recuadros de la pantalla táctil al momento de recibir las señales de activación tanto de bobinas e inyectores para asegurarnos el correcto funcionamiento del módulo de control electrónico automotriz.
- El equipo presentado posee una protección electrónica para absorber los picos de descarga inductiva que se generan en los inyectores, así mismo se debe tener en consideración los tipos de bobina que se van a activar, puesto que si la bobina posee transistor de potencia externo, deberá conectarse en la zona de bobinas con MOSFET como se indica en el equipo, ya que al equivocarse al momento de la conexión, se causará un daño a la placa electrónica diseñada, por lo tanto antes de probar una computadora automotriz, se debe tener pleno conocimiento del tipo de sistema de inyección e ignición electrónico que se maneje.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Corti, E., Cavina, N., Cerofolini, A., Forte, C., Mancini, G., Moro, D., Ponti, F. and Ravaglioli, V. (2014). Transient Spark Advance Calibration Approach. *Energy Procedia*, 45, pp.967-976.
- El-Abd, M. (2017). A Review of Embedded Systems Education in the Arduino Age: Lessons Learned and Future Directions. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 7(2), p.79.
- Fujihira, T., & Okumura, M. (2004). Automotive Semiconductors. Fuji Electric Group, 50(2).
- Gajdarus, T., Dubec, M. and Žáček, P. (2017). *COOKING BETTER AUTOMOTIVE SENSORS WITH COMSOL MULTIPHYSICS HELP*. [online] Continental Automotive Systems Czech Republic. Available at: http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB09/prispevky/029_gajdarus.pdf [Accessed 26 June. 2017].
- Javaid, M. (2016). Coding the Arduino Way. *SSRN Electronic Journal*.
- Pérez Belló, M. (2011). *Sistemas auxiliares del motor*. Madrid: Paraninfo.
- Rueda Santander, J. and Paredes Guevara, R. (2005). *Manual técnico de Fuel Injection*. Guayaquil, Ecuador: Diseli Editores.