

Diseño de interfaz en MatLab para la activación y monitoreo de señales de control de encendido electrónico computarizado en motores de combustión interna

Torres-Astorga, G. A.¹; González-Vargas, L. A.¹; Alvarado-Tovar, N.¹; Machado-Díaz, E.¹; Huerta-Valenzuela, F.¹

Datos de Adscripción:

¹ Tecnológico Nacional de México, ITS de Lerdo, Divisiones de: Posgrado, Ing. Electrónica, Ing. Electromecánica, Ing. En Sistemas Automotrices. Av. Tecnológico No.1555 Sur, Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5. Ciudad Lerdo, Estado de Durango. México. C.P. 35150.
mm2220003@itslerdo.edu.mx

Resumen - El sistema de encendido, es uno de los sistemas más importantes para el motor de combustión interna, ya que, estos permiten el quemar el combustible en un momento exacto para el mejor aprovechamiento de la energía liberada por la combustión. Anteriormente, estos sistemas eran utilizados mediante sistemas mecánicos que, eran deficientes al incorporar elementos cuya fricción genera que pierdan calibración, por lo que los nuevos sistemas reemplazan el control mecánico del encendido por un control completamente electrónico, donde una serie de sensores permiten determinar el momento preciso para generar la chispa en el sistema de encendido; incluso llegando a dar información a otros sistemas de vital importancia para el funcionamiento del motor. En este trabajo se propone una interfaz de usuario desarrollada en MATLAB APPDesign conectada a un microcontrolador Arduino Mega como medio de adquisición de datos, para activar y monitorizar señales eléctricas y electrónicas del sistema de ignición, con el fin de contar con una herramienta programable que permita verificar y optimizar el comportamiento de los parámetros electrónicos y de potencia en el sistema de ignición, que tengan un impacto en el ahorro energético en los vehículos automotores.

Palabras Clave – Electrónico, Encendido, Interfaz, MATLAB, Motor, Sensor.

Abstract - The ignition systems are one of the most important systems for the internal combustion engine, since they allow the fuel to be burned at an exact moment for the best use of the energy released by combustion. Previously, these systems were used through mechanical systems that were deficient by incorporating elements whose friction causes them to lose calibration, so the new systems replace the mechanical ignition control with a completely electronic control, where a series of sensors allow determining the moment precise to generate the spark in the ignition system; even going so far as to give information to other systems of vital importance for the operation of the engine. In this work, a user interface programmed in MATLAB AppDesign connected to an Arduino Mega card is proposed as a means of data acquisition, to activate and monitor electrical and electronic signals of the ignition system, in order to have a

programmable tool that allows to verify and optimize the behavior of electronic and power parameters in the ignition system, which have an impact on energy savings in motor vehicles.

Keywords – Electronic, Engine, Ignition, Interface, MATLAB, Sensor.

I. INTRODUCCIÓN

El transporte es uno de los mecanismos más importantes de la humanidad, pues, nace de la necesidad de trasladar por diversos medios la mercancía que se dirigía a un punto (Ferro Veiga, 2020).

A medida que avanzaban los años, el transporte pasaba de utilizar la fuerza humana a apoyarse de otros medios, utilizando principalmente la fuerza de los animales que podían domesticar o mediante el aprovechamiento de energías naturales (Rivera y Zaragoza, 2007).

Alrededor del siglo XIX, a medida que avanzaba la revolución industrial y al constante desarrollo en el área de transporte, se comenzaba con la implementación de nuevos sistemas que ayudaran al traslado por carretas sin utilizar animales como medio motriz; llevando a que la idea que tuvo en 1861 el ingeniero Francés Beau de Rochas sobre el principio termodinámico de combustión dentro de una cámara sellada, fuese desarrollada por el ingeniero Alemán Nikolaus Otto en 1876, dando lugar a la máquina térmica que se conoce como motor de combustión interna regida por el funcionamiento de un ciclo de cuatro tiempos; creando de esta forma el primer modelo funcional del Motor de combustión interna de ciclo Otto (Gaviria-Ríos et al., 2002).

Los Motores de Combustión Interna (MCI) son un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de la cámara de combustión (Brunetti, 2018), por lo que se le considera una máquina térmica cuyas formas de convertir la energía contenida en el combustible cambiaran basándose en la forma de la cámara interna, los elementos internos que lo componen y los sistemas auxiliares apoyen a la generación de los tiempos del ciclo Otto y a su control (Rovira et, 2015).

Los MCI traen consigo una de las problemáticas más comunes al tratarse de máquinas térmica, pues, la emisión de contaminantes lleva a la incorporación de sistemas más sofisticados para un mejor control y aprovechamiento del

combustible que, por ende, reducirá las emisiones de carbono y de hidruros productos de una combustión ineficiente (Gerardo et al., 2019). Gracias a esto, en las últimas décadas del siglo XX, se han creado normas que acrediten la disminución de emisiones y la incorporación de las nuevas tecnologías en las unidades más modernas (Reif, 2014).

La incorporación de los modernos sistemas para el control de emisiones y estado de los MCI está limitada a nuevos motores, debido a que es necesario rediseñar ciertos elementos para contemplar las nuevas tecnologías, pues, cada una de las piezas no solo se deben ver como un elemento individual, sino también contemplar basándose en las necesidades automotrices, toda la electrónica necesaria a alojar (Noroña, Gómez, 2019).

La presente investigación tiene el propósito de diseñar un prototipo de encendido electrónico controlado mediante una interfaz de MATLAB con la finalidad de reemplazar el control mecánico de un MCI; utilizando la tarjeta Arduino Mega como comunicación entre sensores, la interfaz de monitoreo y el sistema de potencia requerido.

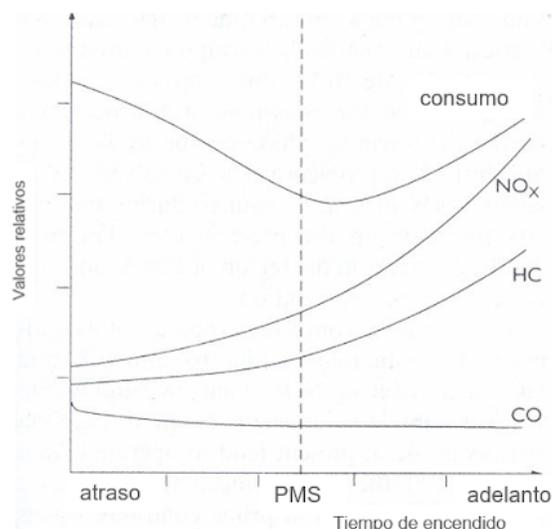
II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Análisis del encendido por chispa y su generación

El motor de combustión interna por gasolina contempla como la tercera fase del ciclo Otto (explosión), la detonación del combustible por medio de una chispa que salta a través de un espacio de aire de 0.6 mm, en un cilindro del motor, bajo una alta compresión. Dicha detonación requiere una precisión para encender la mezcla de aire-gas, los cuales son controlados por el sistema de encendido. El elemento generador de la chispa, dentro del sistema, es la bobina de encendido, que eleva los 12 volts de entrada, suministrados por la batería, a un aproximado de 30 kV en el voltaje de salida. El aumento del voltaje en el circuito primario que controla la bobina hace que se suspenda el flujo de la energía eléctrica, lo que provoca una excitación en el circuito secundario, generando la chispa que llegará a la bujía (Aras, 2004).

El tiempo de encendido (o bien el momento en que se produce la chispa), tiene un efecto significativo en factores como: el consumo de combustible, el torque, la capacidad de conducción, y las emisiones de escape. Para una eficiencia óptima en la operación del motor, el ángulo de avance de encendido debe ser tal, que haga que la presión máxima de combustión ocurra justo después del Punto Muerto Superior (PMS), es decir, cuando el pistón del motor está en el punto máximo de compresión (Payri González & Desantes, 2011). La Figura 1 muestra los consumos en la combustión respecto al PMS. Si el tiempo se adelanta o se atrasa, los valores están fuera del equilibrio.

Figura 1
Efectos en los cambios del tiempo de encendido



Nota: Efectos en los cambios del tiempo de encendido [Fotografía], por Vineet P. Aras, 2004

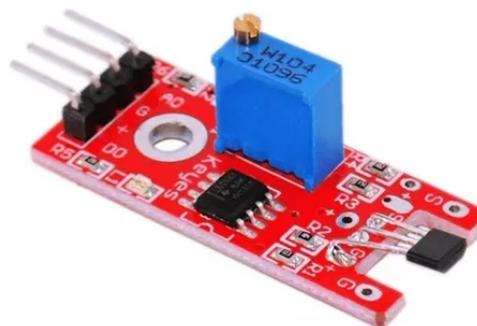
Considerando las necesidades del motor para un aprovechamiento óptimo del combustible, es necesario conocer el momento exacto para la generación de la chispa dentro de la fase de explosión.

A.1. Generación de pulsos

Comúnmente los MCI utilizan sensores de posición para determinar la fase correspondiente para cada cilindro que conforma al motor.

Existen diversos tipos de sensores que pueden brindar las pulsaciones indicadas, los más frecuentes, son los sensores por efecto Hall, los cuales generan señales eléctricas de onda cuadrada, manteniendo un tipo de señal digital (Mariño Grijalva & Villagomez Cholota, 2009). Utilizando el sensor KY-024 (Figura 2) es posible conocer los pulsos de entrada. Sin embargo, un solo sensor limita la posibilidad de un control de multipunto por lo que es necesario agregar sensores basándonos en las condiciones y distribución de los cilindros.

Figura 2
Sensor de posición KY-024



Nota: Módulo Sensor Magnético de Efecto Hall Breakout KY 024 [Fotografía], por Carrod Electrónica, 2014, Carrod Electrónica (<https://www.carrod.mx/products/copy-of-modulo-sensor-magnetico-de-efecto-hall-breakout-3144e>)

La Tabla 1 muestra las posibles combinaciones de múltiples sensores de posición de efecto Hall por medio de la tabla de verdad generada por los estados ON, OFF de la señal digital; manteniendo la distribución común de 3 sensores para el control de los motores.

Tabla 1
Tabla de combinaciones de pulsos disponible

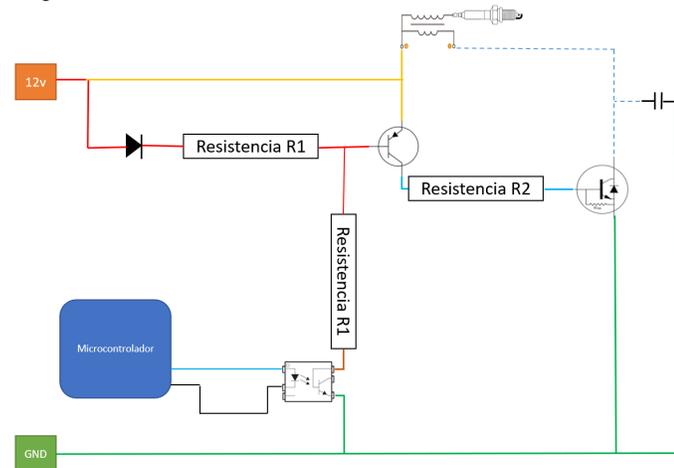
| Sensor 1 | Sensor 2 | Sensor 3 |
|----------|----------|----------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

A.II. Generación de chispa.

La generación de la chispa necesita de la combinación de un sistema de control y uno de generación, la cual se debe contemplar para el control mediante transistores en conjunto a resistores de potencia para la demanda de 12 a 14.7 volts y una corriente de 6 amperes en el circuito primario; mientras que, en la conmutación del circuito secundario, se necesita que el transistor soporte más de 600 V (BorgWarner, 2023).

Basándonos en esto, se plantea un circuito que incorpore el control necesario para utilizar una de las salidas del Arduino para el control de cada bobina. Conociendo las características técnicas, se utilizan resistencias, transistores y capacitores para la generación de chispa; mientras que para controlar el encendido se incluyen optoacopladores con salida a transistor y diodos para la protección. La Figura 3 muestra el diagrama del circuito que es necesario utilizar para el control de una de las bobinas para la generación de chispa.

Figura 3
Diagrama de control de encendido electrónico



B. Control de encendido y monitoreo

La generación de la chispa y la obtención de pulsos mediante sensores, abren la posibilidad de vincularse para el diseño del sistema de control mediante la plataforma de MATLAB utilizando como tarjeta adquisitoras al Arduino MEGA para obtener la información necesaria para la posición de cada cilindro y las condiciones que se deben cumplir para una optimización del motor ante las condiciones de trabajo.

B.I. Determinación de condiciones

Una de las condiciones necesarias a cumplir para el correcto funcionamiento del motor es la fase de trabajo en la que se encuentren los cilindros. Sin embargo, los sensores de posición permiten múltiples combinaciones como se demostró en la Tabla 1, por lo que es necesario definir una combinación apropiada para saber el momento en el que cada cilindro comenzará la fase de combustión.

La Tabla 2 muestra las condiciones que se deben cumplir para energizar cada uno de los cilindros considerando la relación de giro entre el árbol de levas y el cigüeñal de 1:2 y el caso de un motor de 4 cilindros con el orden de encendido 1-3-4-2.

Tabla 2
Tabla de verdad de encendido

| Sensor 1 | Sensor 2 | Sensor 3 | Cilindro |
|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0 | 0 | Cil. 2 |
| 1 | 0 | 1 | Cil. 4 |
| 1 | 1 | 0 | Cil. 3 |
| 1 | 1 | 1 | Cil. 1 |

Otras de las condiciones necesarias a contemplar es la temperatura del motor, la apertura de la mariposa en el cuerpo de aceleración, la presión en el múltiple de admisión y la presión de aceite; ya que son condiciones de estado del motor que permiten realizar ajustes en los tiempos de encendido y en la apertura de los inyectores. Estos sensores tienen una salida análoga, por lo que debe contemplarse el rango de trabajo y su linealidad al momento de programarse la interfaz, ya que, dependiendo del sensor que se utilice, contempla variaciones que afectan al código de control.

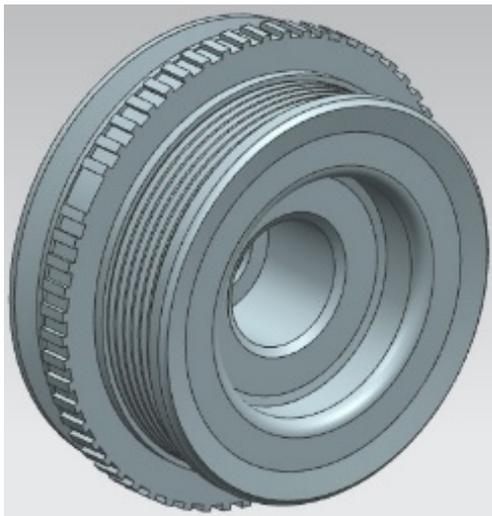
B.II. Elementos de apoyo

Para la obtención de lectura de los sensores de posición, es necesario agregar o modificar elementos del motor con la finalidad de obtener la lectura de la posición.

Considerando la Tabla 2, se debe contemplar la repetitividad de la señal que cumple cada sensor, por lo que se puede llegar a la idea que el sensor 3 debe enviar lectura mediante el giro del cigüeñal, ya que el cilindro 1 y 4 están hermanados, cumpliendo la condición de "ON" cuando están en la posición deseada para la combustión. Para incorporar el sensor se debe considerar la modificación de la Polea del cigüeñal, debido a que es una pieza de fácil acceso y solo tiene una posición de ensamble. La Figura 4 muestra la polea con las modificaciones necesarias a considerar.

Figura 4

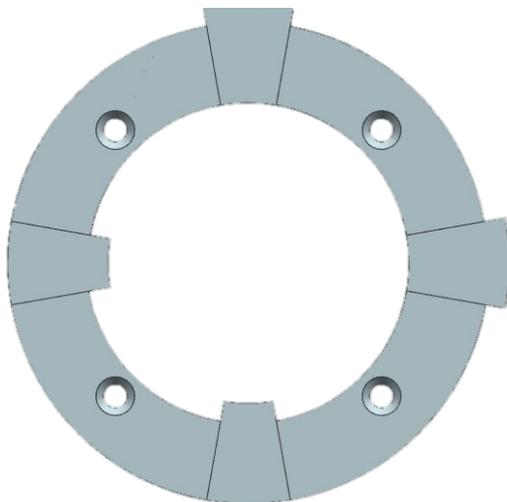
Diseño de polea de cigüeñal mediante el software Siemens NX



Para el caso del sensor 1 y 2, se debe diseñar un elemento que se pueda montar al árbol de levas, ya que de esta forma podremos conseguir las siguientes dos posiciones de encendido con mayor facilidad, a diferencia de colocar otro o todos los sensores en el cigüeñal. La Figura 5 muestra el diseño preliminar de un disco lector que permita leer la posición del árbol de levas.

Figura 5

Diseño de aro lector para árbol de levas



B.III. Monitoreo de estado

El control de la chispa debe ser monitoreado por los sensores de posición, sin embargo, es necesario utilizar otros elementos que permitan un cálculo de la inyección y no solo el momento para realizarla, ya que el motor varía la cantidad de combustible solicitada con base en su estado y las exigencias del conductor.

Comúnmente, se utilizan sensores del tipo potenciométricos, arrojando una señal análoga como respuesta a los fenómenos físicos medidos. En el control electrónico es común utilizar:

- Temperatura del motor (Sensor ECT): Es un sensor enroscado en la cabeza del motor o en el múltiple de la toma interna, el cual envía lecturas por una señal análoga, mediante la caída en la resistencia, a medida que la temperatura del motor aumenta (ISOPRETOL Lubricants del Perú, 2019)

- Carga exigida (Sensor MAP): Esta lectura se obtiene gracias a la presión absoluta del colector de admisión. Este sensor lee la presión por medio de un diafragma de silicio, con piezo-resistores conectados en un puente de Wheatstone.

- Aceleración del motor (sensor TPS): Es un tipo de sensor potenciómetro, que proporciona voltaje variado correspondiente a la posición del acelerador. Esta información también se utiliza para determinar el tiempo, en condiciones de velocidad mínima en las revoluciones del motor (Zapata Maya, 2017).

La incorporación de estos sensores se realizará mediante la interfaz de usuario implementando potenciómetros digitales, pues al tratarse de un prototipo, es difícil tener lectura del estado del motor sin las modificaciones a elementos con los que ya cuenta actualmente.

B.IV. Inyección electrónica

La inyección del combustible es un paso fundamental para el funcionamiento correcto del motor, en el que se debe contemplar una relación ideal de combustible (AFR) de 14.7 partes de aire por 1 de combustible.

El cálculo del tiempo de inyección se puede realizar mediante el método de flujo de aire, sin embargo, deben de realizarse algunos cálculos extra para determinar el flujo de aire al no incorporar un sensor de flujo (Aras, 2004).

La ecuación (1) muestra el cálculo del caudal de aire (A_v), utilizando la velocidad del motor (RPM), la eficiencia volumétrica (V_e) y el desplazamiento del motor (D).

$$A_v = \left[\left(\frac{RPM}{60} \right) \left(\frac{D}{2} \right) V_e \right] \quad (1)$$

También debe considerarse la densidad del aire de entrada (D_a) para un cálculo más precisó, por lo que (2) considera la lectura de presión de admisión (P_i), la temperatura de admisión (T_i), y las propiedades del aire a nivel del mar (D_o , P_o , T_o).

$$D_a = D_o \left(\frac{P_i}{P_o} \right) \left(\frac{T_o}{T_i} \right) \quad (2)$$

Con los datos obtenidos mediante (1) y (2), se obtiene el flujo másico de aire (A_m) mediante (3).

$$A_m = D_a * A_v \quad (3)$$

Con esto se calcula la cantidad de combustible a inyectar (F), considerando el AFR

$$F = \frac{A_m}{AFR} \quad (4)$$

Con el valor obtenido en (4), se obtiene el ancho de pulso de inyección (T) considerando F y la tasa de entrega del inyector de combustible (R_f).

$$T = \frac{F}{R_f} \quad (5)$$

C. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario es uno de los puntos más importantes para el monitoreo y control, ya que la tarjeta Arduino será utilizada como tarjeta adquisitoria de datos, solo enviará y recibirá información de la interfaz por lo que debe configurarse cada uno de los diferentes procesamientos para un correcto encendido. Para esto, se debe emparejar el Arduino a utilizar con el software de MATLAB y con su complemento AppDesign.

Dentro del AppDesign, se utilizan medios indicativos un tacómetro para las revoluciones, un medidor de presión de aceite y de temperatura del refrigerante para el monitoreo de estado del motor, indicadores luminosos de presencia de aceite, encendido de ventiladores, de energización para la ignición, el motor de arranque, las bujías e inyectores correspondientes a cada cilindro.

De igual forma, se deben agregar algunas alertas con la intención de informar al usuario acerca de posibles averías presentes en el sistema electrónico, la elevada temperatura y problemas de lubricación en el motor, y problemas en la carga de la batería. Estos son los indicadores de averías más comunes en los tableros de los vehículos.

También se deben de incluir algunos que nos permitan simular en el prototipo la acción correspondiente al sensor de temperatura (ECT) y al sensor de posición de mariposa (TPS), siendo estos sensores potenciométricos que se pueden ajustar a cumplir su trabajo conociendo las condiciones que presentan al funcionar el motor a distintas revoluciones.

Una vez se tiene la interfaz, se comienza a programar cada componente de la interfaz. Se debe considerar las configuraciones, cálculos y condiciones correspondientes para el correcto trabajo para un motor de 4 cilindros, al igual que las salidas que se visualizaran para cada bobina de encendido e inyector.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comenzar con el diseño del prototipo de encendido electrónico para las bobinas, se tiene en consideración la bobina de encendido, seleccionando la bobina C872 (Figura 6), cuyos datos técnicos de tensión es de 8 a 14 volts de trabajo y de 4 a 6 Amperes. En base a esto se selecciona un transistor de potencia que soporte la corriente y 100 veces la tensión máxima.

Figura 6
Bobina de encendido c872



También, se necesita un transistor que controle al transistor de potencia, por lo que se selecciona un transistor en conjunto a una resistencia de 15Ω que soporten alrededor de 1 Amper para conmutar la base del transistor, para de esta forma se permita la energización del secundario de la bobina. Del mismo modo, se protege el circuito de control utilizando un diodo 4N4007 como protector al transistor de control en conjunto con resistencias de 100Ω como protección del corto circuito controlado que efectúa el módulo mediante el optoacoplador.

La Figura 7, muestra el módulo prototipo para el control de las bobinas de encendido, donde utilizamos disipadores de calor y un ventilador como accesorio para evitar el sobrecalentamiento de los componentes; por lo que se colocaron los circuitos control y potencia en tablas separadas y puedan ser enfriados sus transistores.

Figura 7
Circuito prototipo de encendido electrónico



Para los aros lectores, se realizó el maquinado en Nylamid de manera experimental, con el propósito de observar las posibles modificaciones para la lectura de sensores. En la Figura 8 se puede observar el resultado del maquinado realizado y de cómo este queda sujeto a un engrane de árbol de levas que se utiliza en algunos motores de combustión interna.

Figura 8
Aro lector del árbol de levas



Sin embargo, debido a que los sensores necesitan obtener lectura mediante la detección de un campo magnético, se le incrustan imanes en los puntos de lectura del aro lector.

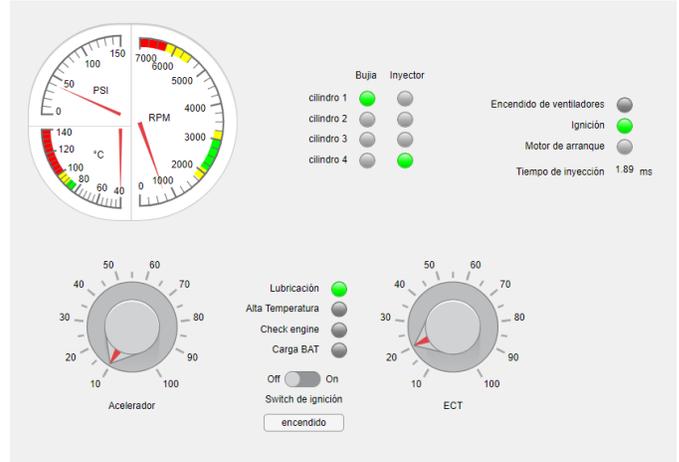
Figura 9
Aro lector del árbol de levas con imanes incrustados



Como se aprecia en la Figura 9, los imanes se colocaron en las zonas de manera que los sensores puedan detectarlos en la posición correspondiente a la lectura.

La interfaz de usuario desarrollada muestra la información más común en los tableros de instrumentos de los vehículos, pero con la diferencia de también mostrar las acciones realizadas en cada cilindro, como es la inyección y la chispa de la bujía; al igual que el tiempo de inyección y la ejecución de algunos accesorios de apoyo, como son el motor de arranque y el ventilador de enfriamiento.

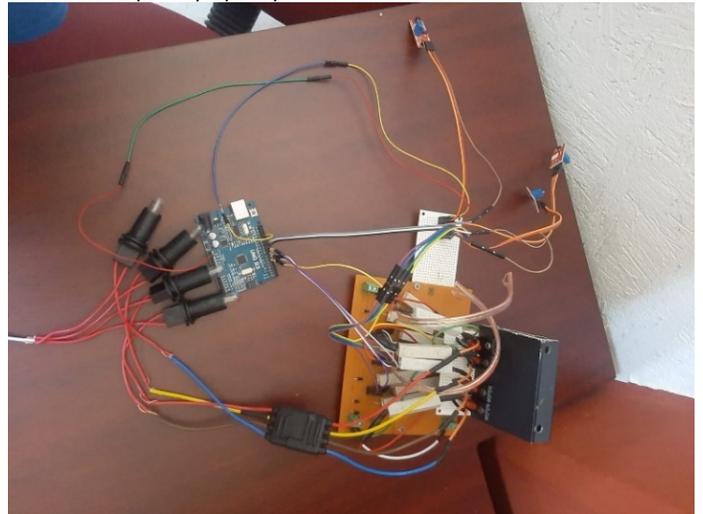
Figura 10
Interfaz de usuario



La Figura 10, muestra el diseño de interfaz realizado; cuyo procesamiento programado en sus líneas de código permitirá que el Arduino MEGA le envíe información, a la vez que este recibe órdenes de la información que proceso la aplicación que entrega información al usuario; datos del estado del motor y algunas condiciones de falla.

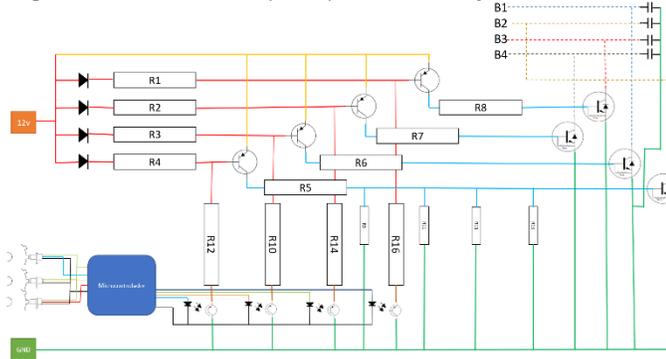
Las pruebas hechas del prototipo de encendido y del emparejamiento, se utilizaron algunos focos de uso automotriz con el propósito de simular el funcionamiento del control de las bobinas de encendidos.

Figura 11
Conexión del prototipo para pruebas



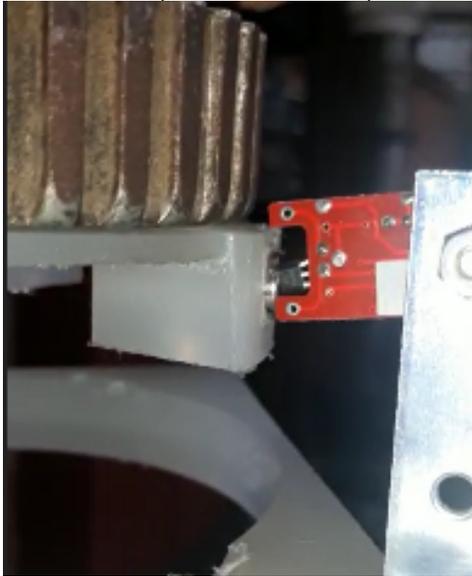
La Figura 11 muestra las conexiones del prototipo de encendido con los focos en las terminales donde se conectarían las bobinas. También, se puede observar las conexiones de los sensores KY 024 y el microcontrolador Arduino que posteriormente se conectaría a una computadora vía USB. La Figura 12 muestra el diagrama de conexiones de cada uno de los componentes de la Figura 11.

Figura 12
Diagrama de conexiones de prototipo con Arduino y sensores



Las pruebas fueron realizadas mediante un banco de pruebas donde, se sujetaron los sensores KY 024 y, por medio de un eje motriz, se realiza el giro del engrane lector. La Figura 13 muestra el banco de pruebas montado con los sensores, donde se ajustaron las alturas y calibraron los sensores para la correcta lectura de datos.

Figura 13
Calibración de sensores de posición en banco de pruebas



Una vez se terminó de ajustar la altura y tolerancia de los sensores con el aro lector, se conectaron al microcontrolador Arduino para obtener la lectura de posición y, se montó el circuito del prototipo de encendido para que reciba las señales de la interfaz desarrollada.

Figura 14
Pruebas del módulo prototipo con la interfaz desarrollada



Como se puede observar en la Figura 14, el microcontrolador Arduino recibe las señales provenientes de los sensores de posición, logrando visualizar en la interfaz el momento en el que se realiza la chispa en los cilindros, que a su vez, se puede observar en los focos el momento en el que uno de estos se apaga, indicando que la bobina dejaría de energizar el circuito primario y comenzar a elevar el voltaje para realizar la chispa en la bujía.

IV. CONCLUSIONES

Los sistemas electrónicos que se incorporan a los motores de combustión interna traen consigo una mejora significativa para obtener un mejor desempeño, para lo que es necesario realizar una correcta calibración y selección de cada uno de los elementos instalados, pues, en el mercado existe una amplia variedad de componentes los cuales cambiarán sus especificaciones de energización, rangos de operación y la forma de trabajo.

Debe mencionarse que, el uso de una interfaz como procesador de información es un apoyo visual de lo que puede llegar a ocurrir en los sistemas una vez se instale el prototipo en un motor de combustión interna ante diversas condiciones de operación. Sin embargo, no es rentable el utilizar una computadora externa para el control del funcionamiento de los sistemas del motor, ya que parte de los recursos de la PC los utilizaría en otros procesos del sistema operativo u otras aplicaciones instaladas.

También se ha llegado a la conclusión que la incorporación del prototipo a un vehículo en su estado actual trae consigo algunos problemas de espacio, pues, al realizar un diseño muy robusto es propenso a que el espacio que se necesita para alojarse en el habitáculo del motor lo vuelva incompatible con muchos vehículos, por lo que se debe reducir el tamaño del prototipo en

trabajos posteriores; así como la incorporación de un control completo en el microcontrolador.

Por último y no menos importante, durante el desarrollo del prototipo se realizaron algunos diseños que no fueron utilizados, a pesar de ello, el presente trabajo abre las puertas a futuras investigaciones, las cuales pueden incorporar los presentes diseños prototipos a un motor, considerando las posibles modificaciones a realizar, pues, algunos motores pueden cambiar la sujeción de sus componentes y por ende, la forma de alojar los aros de lectura y de los sensores.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México, Campus ITS de Lerdo; así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por proporcionar los recursos económicos, literarios y de infraestructura; necesarios para la realización del presente trabajo, a través de la División de Posgrado de esta institución educativa.

VI. REFERENCIAS

- Aras, V. P. (2004). Design of electronic control unit (ECU) for automobiles (pp. 9–42) [Tesis]
- BorgWarner. (2023). All about ignition coils [Información técnica].
- Brunetti, F. (2018). Motores de Combustão Interna - Vol. 1. Editora Blucher.
- Carrod Electrónica (2014). Módulo Sensor Magnético de Efecto Hall Breakout KY-024 [Fotografía]. Carrod Electrónica Online S de R.L. de C.V. <https://www.carrod.mx/products/copy-of-modulo-sensor-magnetico-de-efecto-hall-breakout-3144e>
- Ferro Veiga, J. M. (2019). Transporte, Actividades y Comunicaciones. Blurb.
- Gaviria-Ríos, J. E., Mora-Guzmán, J. H., & Agudelo, J. R. (2002). Historia de los motores de combustión interna. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 26(26), 68–78. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/326361/20783635>
- Gerardo, L., Vela, S., De Jesús, M., Gallegos, F., Flores, O., José, C., Hernández, R., David, J., Vega, V., Eliseo, M., & Acevedo, C. (2019). revisión de la normativa internacional sobre límites de emisiones contaminantes de vehículos de carretera. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt562.pdf>
- ISOPRETOL Lubricants del Perú. (2019, September 23). ¿Qué es el Sensor ECT? Cam2. <https://www.cam2.com.pe/single-post/2019/09/23/-que-es-el-sensor-ect>
- Mariño Grijalva, D. A., & Villagomez Cholota, D. F. (2009). Diseño y construcción de un módulo interface con la ECU para el control de operación de las rpm del motor [Tesis].
- Noroña, M., & Gómez, M. (2019). Desarrollo e innovación de los sistemas mecatrónicos en un automóvil: una revisión. *Enfoque UTE*, 10(1), 117–127. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n1.350>
- Payri González, F., & Desantes, J. M. (2011). Motores de combustión interna alternativos. Editorial REVERTÉ S.A.
- Reif, K. (2014). *Gasoline Engine Management*. Springer.
- Rivera, V., & Zaragoza, M. (2007). ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE VOL1: CONCEPTOS BÁSICOS. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt307.pdf>
- Rovira, A., Marta Muñoz Domínguez, & Proquest. (2015). Motores de combustión interna. Uned - Universidad Nacional De Educación A Distancia.
- Zapata Maya, V. M. (2017). Diseño y fabricación de módulo simulador de sensores electrónicos automotrices [Tesis]. <https://repositorio.pascualbravo.edu.co/handle/pascualbravo/339>