

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA DE ELECTRÓNICA

Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA UNA
INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA DEL SISTEMA DE ENCENDIDO
ELECTRÓNICO DIS COMO APOYO DE LAS MATERIAS ELECTIVAS I Y II
DE SISTEMAS INDUSTRIALES**

AUTOR:

OSCAR LEONARDO MORENO CARLOSAMA

DIRECTOR:

JUAN PABLO TAMAYO BENAVIDES

Quito, abril de 2015

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DEL USO DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana, la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, abril de 2015

Oscar Leonardo Moreno Carlosama.

CI: 1500657208

DEDICATORIA.

Dedico este proyecto de titulación a mi familia, ya que con su ejemplo y motivación lograron generar en mi impulso necesario para culminar esta etapa tan importante de mi vida. Además a todas las personas que directa o indirectamente aportaron con su ayuda para lograr este anhelado objetivo.

AGRADECIMIENTOS.

A la Universidad Politécnica Salesiana y su cuerpo de docentes que impartieron sus conocimientos a lo largo de la carrera, en especial al ingeniero Juan Pablo Tamayo por ser la guía en la elaboración de este trabajo de titulación. De igual manera expreso mi agradecimiento al ingeniero Carlos Carranco por su amistad y colaboración en la realización de este proyecto.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.....	2
ESTUDIO DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes.	2
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivo general.	3
1.4. Objetivos específicos.	3
CAPÍTULO 2.....	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1. Sistemas de encendido del automóvil.	4
2.1.1. Sistema convencional de encendido convencional.	4
2.1.2. Sistemas de encendido electrónico.....	5
2.1.2.1. Sistema de encendido transistorizado.	6
2.1.2.2. Generador de impulsos fotoeléctrico.	6
2.1.2.3. Generador de impulsos electromagnético.	7
2.1.2.4. Generador de pulsos tipo Hall.....	8
2.2. Sistema de Encendido Electrónico DIS (Direct Ignition System).	9
2.2.1. Sistema de Encendido Electrónico DIS por Chispa perdida.	10
2.2.2. Sistema de Encendido Electrónico DIS COP (Coil On Plug) (Bobina sobre bujía).	10
2.2.3. Bobina de encendido DIS.....	11
2.2.3.1. Bobina DIS simple.	11
2.2.3.2. Bobina DIS con transistor incorporado.....	12
2.3. Señales aplicadas al sistema de encendido electrónico DIS.	13
2.3.1. Sensores.	13
2.3.1.1 Sensor de posición del cigüeñal (CKP).....	13
2.3.1.1.1. Sensor CKP de efecto Hall.....	14
2.3.1.1.2 Sensor CKP de efecto inductivo.	14
2.3.1.1.3. Sensor CKP efecto óptico.	15
2.3.1.2. Sensor de presión del múltiple de admisión (MAP).	15
2.3.1.3. Sensor de posición de la aleta de aceleración (TPS).....	16
2.3.1.4. Sensor de temperatura del líquido refrigerante del motor (ECT).	17

2.3.1.5. Sensor de temperatura del aire de admisión (IAT).	18
2.3.2. Señales de salida.	18
2.3.2.1. Módulo electrónico de encendido.	18
2.3.2.2. Cartográfica del sistema de encendido.	19
CAPÍTULO 3.	20
CONSTRUCCIÓN MECÁNICA DEL MÓDULO DEL SISTEMA DE	
ENCENDIDO ELECTRÓNICO DIS.	20
3.1. Módulo didáctico del sistema de encendido electrónico DIS.	20
3.1.1. Rueda fónica.	21
3.1.2. Construcción del acople mecánico de la rueda fónica.	21
3.1.3. Soporte del sensor CKP.	22
3.1.4. Estructura del módulo.	23
3.2. Generación y procesamiento de señales.	25
3.2.1. Diseño del controlador de velocidad Dimmer.	25
3.2.2. Obtención y acondicionamiento de la señal del sensor CKP.	28
3.2.3. Generación de la señal del sensor TPS.	31
3.2.4. Generación de la señal del sensor MAP.	32
3.2.5. Generación de las señales de encendido.	35
3.2.5.1. Medición de las RPM de giro de la rueda dentada.	37
3.2.5.2. Generación electrónica de las señales de encendido.	38
3.3. Generación de fallos.	42
3.3.1. Fallo del sensor MAP.	42
3.3.2. Fallos físicos.	44
3.4. Diseño de la interfaz HMI.	45
3.4.1. Adquisición y procesamiento de datos.	46
3.4.2. Procesamiento de datos.	47
3.4.3. Diseño de la interfaz gráfica.	50
3.4.3.1. Panel principal.	50
3.4.3.2. Pantalla del sensor TPS.	51
3.4.3.3. Pantalla del sensor MAP.	51
3.4.3.4. Pantalla del sensor CKP.	52
3.4.3.5. Pantalla de las bobinas de encendido.	52
3.5 Diseño e Implementación de las tarjetas electrónicas de control.	53
3.5.1. Implementación de la placa PCB del circuito de control de fase Dimmer.	53

3.5.2. Implementación de la placa PCB del circuito de generación del sensor MAP.	54
3.5.3. Implementación de la placa PCB de amplificadores Operacionales.	55
3.5.4. Implementación de la placa PCB de generación de las señales de encendido.	56
3.6. Manual técnico del módulo de encendido electrónico DIS.	57
3.6.1. Configuración de comunicación entre la tarjeta Arduino y el software Labview.	57
3.6.2. Manejo de la interfaz HMI.	59
3.6.2.1. Configuraciones de comunicación en la interfaz HMI.	59
3.6.2.2. Navegación dentro de la interfaz.	60
3.6.3. Manejo del hardware del módulo de encendido.	61
CAPÍTULO 4.	63
PRUEBAS Y RESULTADOS.	63
4.1. Pruebas mecánicas.	63
4.1.1. Control de velocidad del motor eléctrico del taladro.	63
4.2. Pruebas de la tarjeta electrónica.	64
4.2.1. Sensor TPS.	64
4.2.2. Sensor MAP.	65
4.2.3. Señales de salida para el encendido.	66
4.3. Presupuesto.	68
CONCLUSIONES.	69
RECOMENDACIONES.	70
LISTA DE REFERENCIAS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Diagrama eléctrico del sistema de encendido convencional.....	5
<i>Figura 2.</i> Estructura del sistema de encendido transistorizado.....	6
<i>Figura 3.</i> Diagrama del sistema de encendido convencional con generador de impulsos fotoeléctrico.	7
<i>Figura 4.</i> Diagrama de funcionamiento del generador de impulsos electromagnético.	8
<i>Figura 5.</i> Gráfica de la forma de onda de voltaje del generador de impulsos electromagnético.	8
<i>Figura 6.</i> Descripción física de la generación del efecto Hall.	9
<i>Figura 7.</i> Estructura física del generador de impulsos de efecto Hall.	9
<i>Figura 8.</i> Diagrama eléctrico del sistema de encendido DIS chispa perdida.	10
<i>Figura 9.</i> Diagrama eléctrico del sistema de encendido DIS COP.	11
<i>Figura 10.</i> Diagrama eléctrico de la bobina de encendido DIS sin transistor.	12
<i>Figura 11.</i> Diagrama eléctrico de la bobina de encendido DIS con transistor incorporado.	12
<i>Figura 12.</i> Formas de onda de voltaje y corriente en el primario, secundario de la bobina de encendido.....	13
<i>Figura 13.</i> Imagen referencial de la rueda fónica y sensor de posición del cigüeñal.	14
<i>Figura 14.</i> Estructura interna y mapa de pines del sensor CKP inductivo.	15
<i>Figura 15.</i> Descripción física del chip de silicón del sensor MAP.....	16
<i>Figura 16.</i> Forma de onda de referencial voltaje del sensor MAP.	16
<i>Figura 17.</i> Estructura eléctrica del sensor de posición de aleta de aceleración.....	17
<i>Figura 18.</i> Forma de onda referencial del sensor TPS.....	17
<i>Figura 19.</i> Diagrama esquemático del sensor ECT.	18
<i>Figura 20.</i> Gráfica tridimensional del sistema de encendido electrónico integral.	19
<i>Figura 21.</i> Rueda dentada del vehículo Chevrolet Corsa Wind.	21
<i>Figura 22.</i> Acoplamiento mecánico de un eje a la rueda dentada.	22
<i>Figura 23.</i> Acoplamiento mecánico entre la chumacera y la rueda dentada.	22
<i>Figura 24.</i> Unión física del sensor CKP a la plancha metálica.	23
<i>Figura 25.</i> Base de madera que integra a la placa metálica con la estructura del módulo.....	24
<i>Figura 26.</i> Colocación de las paredes laterales y posterior del módulo.	24
<i>Figura 27.</i> Distribución de elementos en la pared frontal del módulo.	25

<i>Figura 28.</i> Circuito eléctrico del control de fase.	27
<i>Figura 29.</i> Señal analógica del sensor CKP.....	28
<i>Figura 30.</i> Señal analógica del sensor CKP medida en una revolución.	28
<i>Figura 31.</i> Diagrama esquemático del procesamiento de la señal del sensor CKP.....	29
<i>Figura 32.</i> Diagrama de conexión del circuito comparador Smith Trigger.....	30
<i>Figura 33.</i> Comparación de la señal analógica de entrada con la señal digital cuadrada de salida.	30
<i>Figura 34.</i> Señal digital del sensor CKP.....	30
<i>Figura 35.</i> Circuito acondicionador de voltaje en configuración restador no inversor. .	31
<i>Figura 36.</i> Conexión del microcontrolador PIC16f877A con el integrado MCP4922....	33
<i>Figura 37.</i> Estructura de programación de la comunicación SPI entre el PIC 16f877A y la DAC MCP4922.	33
<i>Figura 38.</i> Estructura de procesamiento de la señal generada por el potenciómetro.	34
<i>Figura 39.</i> Circuito acondicionador de voltaje en configuración diferencial.	34
<i>Figura 40.</i> Circuito acondicionador de voltaje en configuración sumador no inversor. .	35
<i>Figura 41.</i> Estructura de programación para realizar el conteo de las RPM.	37
<i>Figura 42.</i> Diagrama de conexión electrónica entre el PIC16f628A y la pantalla LCD 2x16.....	37
<i>Figura 43.</i> Estructura de programación para la generación de las señales de encendido	38
<i>Figura 44.</i> Figura 43.Secuencia lógica de programación de la interrupción.	39
<i>Figura 45.</i> Diagrama esquemático de conexión del temporizador LM555.	40
<i>Figura 46.</i> Señal de encendido para las bobinas producida en el diente 1.	41
<i>Figura 47.</i> Señal de encendido para las bobinas producida en el diente 30.	41
<i>Figura 48.</i> Pines de conexión de la bobina de encendido.....	42
<i>Figura 49.</i> Estructura de programación del microcontrolador PIC16f877A para la generación de fallos.....	43
<i>Figura 50.</i> Diagrama esquemático de un relé electromecánico.	44
<i>Figura 51.</i> Diagrama de eléctrico para la generación de fallos.	45
<i>Figura 52.</i> Panel frontal y Diagrama de bloques del software Labview.	45
<i>Figura 53.</i> Descripción del procedimiento de adquisición de datos en el software Labview.....	46
<i>Figura 54.</i> Bloque de herramientas de Arduino en Labview.....	46
<i>Figura 55.</i> Descripción del bloque Analog Digital Read.	47

<i>Figura 56. Descripción gráfica del bloque Analog Digital Write.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 57. Programación gráfica del indicador del sensor TPS.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 58. Programación gráfica del indicador del sensor MAP.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 59. Programación gráfica del control de fallos.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 60. Panel principal de la interfaz HMI desarrollada en el software Labview.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 61. Pantalla del sensor TPS.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 62. Pantalla del sensor MAP.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 63. Pantalla del sensor CKP.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 64. Pantalla de las bobinas de encendido.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 65. Diagrama esquemático del circuito de potencia realizado en Isis.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 66. Diagrama en Ares y 3D de la placa electrónica del Dimmer.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 67. Diagrama eléctrico de la generación de la señal del sensor MAP.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 68. Diagrama en Ares y 3D de la generación del sensor MAP.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 69. Diagrama eléctrico de la placa que contiene los amplificadores operacionales.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 70. Diagrama en Ares y 3D de la placa de amplificadores operacionales.</i>	<i>56</i>
<i>Figura 71. Diagrama de conexión de la generación de las señales de encendido y medición de las RPM.</i>	<i>56</i>
<i>Figura 72. Diagrama en Ares y 3D de la placa de amplificadores operacionales.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 73. Selección del tipo de tarjeta a utilizar.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 74. Selección del puerto serie para para comunicación.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 75. Programación del archivo LIFA_BASE en la tarjeta Arduino.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 76. Diagrama de bloque de las funciones encontradas en las ventanas del HMI.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 77. Configuraciones de comunicación entre Labview y la tarjeta Arduino.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 78. Ventana del sensor MAP con fallo activado.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 79. Ventana de soluciones a los fallos.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 80. Ventana del sensor MAP en funcionamiento normal.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 81. Perilla giratoria de control de velocidad.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 82. Conectores banana hembra para medición de las señales generales.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 83. Medición de la señal del sensor CKP con un osciloscopio.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 84. Gráfica de voltaje en la carga vs RPM.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 85. Gráfica de voltaje vs porcentaje de apertura del sensor TPS.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 86. Señal simulada del sensor TPS.</i>	<i>65</i>

<i>Figura 87.</i> Gráfica de voltaje vs Presión del sensor MAP.....	65
<i>Figura 88.</i> Señal de salida del sensor MAP simulada.	66
<i>Figura 89.</i> Gráfica de frecuencia vs RPM de las señales de encendido.	66
<i>Figura 90.</i> Señales de encendido para las bobinas.	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Características técnicas del taladro Petrul</i>	25
Tabla 2. <i>Valores de operación del sensor TPS</i>	31
Tabla 3. <i>Valores de operación del sensor MAP</i>	32
Tabla 4. <i>Orden de encendido para un motor de cuatro cilindros</i>	36
Tabla 5. <i>Presupuesto</i>	68

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de la corriente nominal de la Carga IL	26
Ecuación 2. Cálculo de la resistencia R1 para asegurar la conducción en TRIAC.....	26
Ecuación 3. Cálculo la resistencia de carga RL que se genera en el taladro.....	27
Ecuación 4. Cálculo de la resistencia RS producida por la corriente de descarga.....	27
Ecuación 5. Cálculo del capacitor una Red Snubber	27
Ecuación 6. Cálculo del voltaje de salida del circuito restador no inversor.	32
Ecuación 7. Cálculo del voltaje de salida del circuito restador.....	35
Ecuación 8. Cálculo del voltaje del circuito restador no inversor.....	35
Ecuación 9. Cálculo del ángulo de desfase para el encendido.	35
Ecuación 10. Cálculo del ancho de pulso generado por el LM555 en configuración monoestable.....	40
Ecuación 11. Interpolación lineal.....	48
Ecuación 12. Interpolación del sensor TPS.....	48
Ecuación 13. Interpolación lineal del sensor MAP.....	48
Ecuación 14. Cálculo de la media aritmética.	63

RESUMEN

Mediante el desarrollo de este proyecto se implementó un módulo didáctico que simula el funcionamiento del sistema de encendido eléctrico DIS, el mismo que servirá como herramienta complementaria para el análisis y aprendizaje de electrónica automotriz en la Universidad Politécnica Salesiana, específicamente para los estudiantes que toman las materias electivas I y II de Sistema Industriales.

Este módulo integrará dentro su estructura a los elementos que intervienen en el sistema de encendido electrónico DIS como son: sensor CKP, rueda fónica, bobina de encendido, bujías junto con la simulación de los sensores MAP y TPS. Los rangos de operación para los sensores y actuadores se realizaron de forma proporcional a los valores producidos en el vehículo, siendo estos visualizados mediante una interfaz HMI desarrollada en el software Labview, permitiendo interactuar con el prototipo al encontrar información adicional de cada uno de los elementos que intervienen en este proceso, sumado a la generación de fallos controlados mediante software a través de la interfaz.

ABSTRACT

Through the development of this project was implemented a didactic module that simulates the operation of the direct ignition system, the same one that serves as a complementary tool for the analysis and learning of automotive at the Salesian Polytechnic University, specifically for students who takes elective subjects I and II of Industrial Systems.

This module integrates within its structure elements involved in electronic direct ignition system such as: CKP sensor phonic wheel, ignition coil, spark plugs along with the simulation of the sensors MAP and TPS. The ranges of operation for the sensors and actuators are carried out on a basis proportional to the values produced in the vehicle, these values will be display using a HMI interface developed in the software Labview, enabling interaction with the prototype to find additional information on each of the elements involved in this process, in addition to the generation of faults controlled by software via the interface.

INTRODUCCIÓN

A través de la implementación de este proyecto se pretende incrementar los conocimientos relacionados al campo de la electrónica automotriz, específicamente en el sistema de encendido electrónico DIS mediante el análisis y visualización de las formas de onda producidas en el prototipo. A continuación se explicará cómo se encuentra estructurado este proyecto de titulación.

Capítulo 1: Estudio de problema.

Aquí se plantea las razones que motivaron a realizar este proyecto, basándose en elementos propios de su estructura como son: antecedentes, justificación, objetivos generales y específicos.

Capítulo 2: Marco teórico.

Aquí se realizará la argumentación teórica necesaria para entender el funcionamiento de los sistemas de encendido, empezando por el tipo convencional hasta llegar a los sistemas de encendido electrónico. Además se desarrollará una breve explicación de la naturaleza de operación de los sensores y actuadores junto con sus valores de trabajo, sumado a su integración mediante la gestión electrónica del vehículo.

Capítulo 3: Construcción mecánica del módulo del sistema de encendido electrónico DIS.

Partirá de la construcción física del prototipo que contendrá a los elementos del sistema de encendido electrónico DIS, junto con el diseño de las placas electrónicas de control encargadas de simular y generar las señales del sistema, sumado al desarrollo de la interfaz HMI a través del software Labview.

Capítulo 4: Pruebas y resultados.

Se realizan mediciones pertinentes y establecerán relaciones entre las variables que intervienen en este proceso mediante gráficas.

CAPÍTULO 1

ESTUDIO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes.

Desde la revolución industrial los cambios en los motores de combustión interna han sido constantes, esto ha provocado que se introduzcan mejoras en la gestión electrónica del vehículo, situación que ha dado paso a los sistemas de encendido electrónico que en el mundo están en pleno desarrollo porque incrementan la potencia en el vehículo, repercutiendo de forma directa en la disminución de desgaste mecánico y emisión gases tóxicos entre otros. Se ha visto que los estudiantes la Universidad Politécnica Salesiana que cursan las materias electivas I y II de sistemas industriales no están familiarizados sobre el sistema de encendido electrónico DIS porque no hay un equipo de entrenamiento que opere con valores reales. En este contexto es imprescindible que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica obtengan sólidos conocimientos en el funcionamiento del sistema de encendido electrónico DIS, tanto en teoría como en la práctica, es decir que, el estudiante se familiarice con el prototipo al interactuar con él.

1.2. Justificación.

La construcción de este módulo didáctico resulta importante porque será realizado con sensores y actuadores de los mismos que se utilizan en los vehículos los cuales funcionan dentro de parámetros nominales. Además incorpora en su estructura a la rueda dentada o polea del cigüeñal que es de donde se obtendrá la señal para el encendido. Los valores de operación de este prototipo serán visualizados a través de una interfaz humano-máquina que se desarrollará mediante el software Labview, la cual controlará la generación de fallos en el sistema, sumado a la elaboración de un manual técnico que servirá como guía para los estudiantes que cursen las materias electivas I y II en sistemas industriales.

1.3. Objetivo general.

- Diseñar e implementar un prototipo para una interfaz humana-máquina del sistema de encendido electrónico DIS (Direct Ignition System). Como apoyo a las materias electivas I y II de sistemas industriales.

1.4. Objetivos específicos.

- Investigar el funcionamiento del sistema de encendido electrónico DIS.
- Diseñar y construir el hardware del módulo del sistema de encendido electrónico DIS.
- Diseñar e implementar el programa de control del módulo de encendido electrónico DIS en el software Labview.
- Desarrollar una interfaz amigable HMI entre el módulo del sistema de encendido electrónico DIS y el computador.
- Elaborar un manual técnico del módulo del sistema de encendido electrónico DIS.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Sistemas de encendido del automóvil.

El sistema de encendido convencional en motores de combustión interna a gasolina opera desde los inicios de la industria automotriz. A partir de la década del setenta se introdujeron avances electrónicos en el sistema de encendido específicamente en la distribución de energía para producir la chispa.

2.1.1. Sistema convencional de encendido convencional.

El sistema de encendido convencional o con platinos se encarga principalmente de la distribución de energía eléctrica necesaria para generar la chispa que permita combustionar la mezcla aire-combustible en el interior de la cámara de combustión, produciendo la fuerza motriz en el vehículo al mover los pistones. Su forma de operación es netamente mecánica y consta de los elementos mostrados en la figura 1 y a continuación se describe su funcionamiento.

Cuando el switch de encendido cierra el circuito mostrado en la figura 1, la batería conecta voltaje de referencia al circuito permitiendo la circulación de corriente a través del primario de la bobina; los platinos se encargan de interrumpir este flujo de corriente generando que en el núcleo de la bobina varíe bruscamente el campo magnético induciendo un alto voltaje en el secundario, de aproximadamente 20 [kV DC]. Este alto voltaje se reparte a través del distribuidor, que tiene movimiento angular y gira a la misma velocidad del árbol de levas; asignando de forma exacta el voltaje de alta tensión a cada una de las bujías que al tener una cantidad elevada de voltaje produce un arco eléctrico, rompiendo la resistencia de la mezcla aire-combustible permitiendo la combustión de dicha mezcla dentro de la cámara de combustión en cada cilindro, poco antes del final de la carrera de compresión, dando el tiempo suficiente para que la chispa avance.

Sistema de encendido convencional.

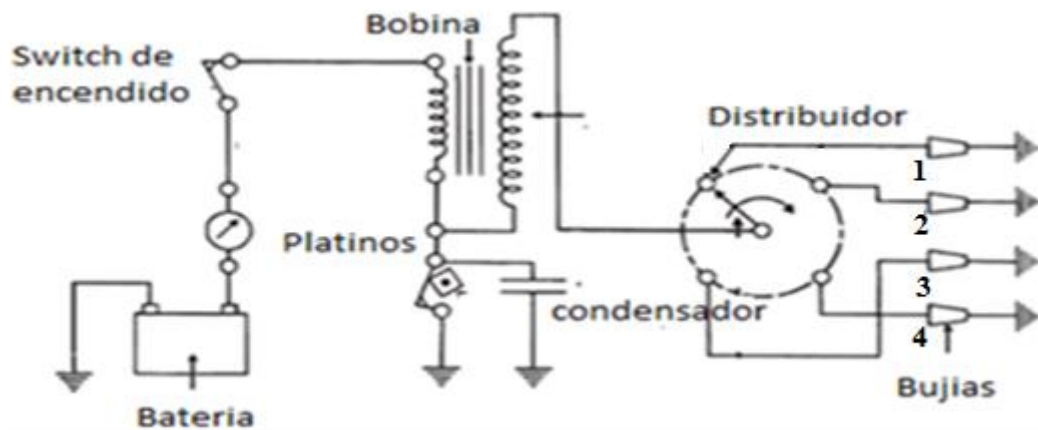


Figura 1. Diagrama eléctrico del sistema de encendido convencional
Elaborado por: Oscar Moreno

2.1.2. Sistemas de encendido electrónico.

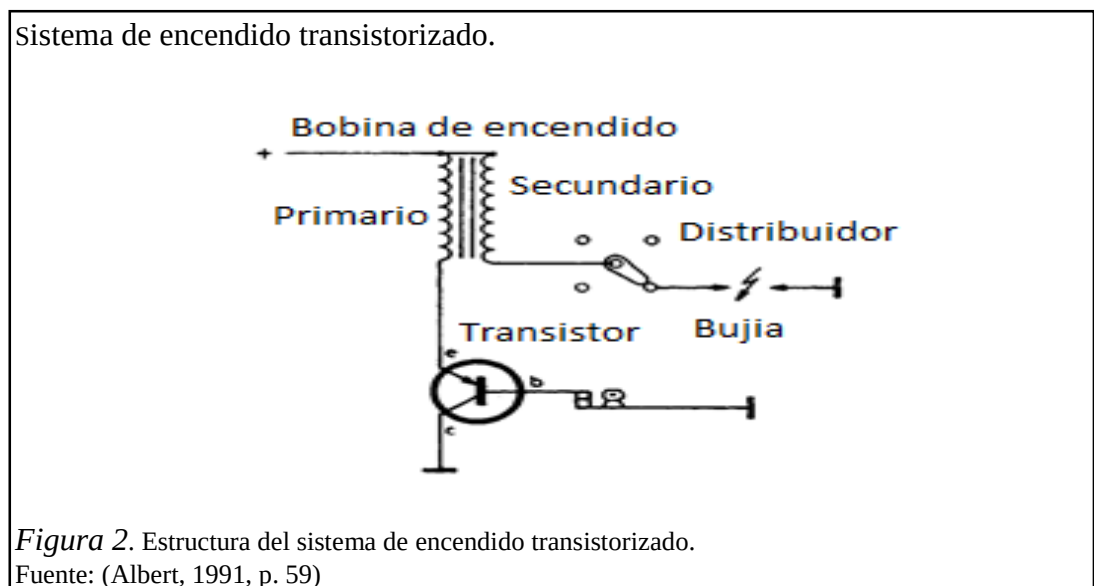
Con el avance tecnológico en el campo automotriz se mejoraron muchos sistemas, uno de ellos fue el sistema de encendido, en el cual se introdujeron dispositivos electrónicos como; controladores, sensores y actuadores que ahora son los que controlan la distribución de alto voltaje para generar la chispa en la cámara de combustión. Estos cambios provocaron las siguientes mejoras:

- Incremento en la cantidad de corriente que circula hacia la bujía.
- Disminución de la longitud del cable que conecta a la bobina y la bujía.
- Eliminación de desgaste mecánico en los elementos.
- Menor consumo de combustible.
- Disminución de emisión de gases contaminantes
- Sistemas de encendido fiable.
- Eliminación de mantenimiento.
- Fácil detección de fallas.

Con este sistema de encendido se utilizan otro tipo de bobinas que soportan mayor cantidad de corriente, generando un campo magnético más potente en el secundario de la bobina, mejorando el funcionamiento a un alto régimen de revoluciones. A continuación se detallan los distintos tipos de encendido electrónico.

2.1.2.1. Sistema de encendido transistorizado.

El uso de elementos electrónicos como el transistor mejoró la distribución de alto voltaje hacia las bujías. Dentro de su funcionamiento se utiliza un transistor como amplificador en la configuración emisor común y haciendo una analogía con el sistema de encendido convencional, se entiende de la siguiente manera: la señal proveniente del ruptor es la encargada de activar la base del transistor, que a su vez permite la conexión entre los terminales de referencia 12 [V DC] y común 0 [V DC] del primario de la bobina como se aprecia en la figura 2, además la señal de activación de la base del transistor tiene un bloqueo rápido y vertical al ser digital.

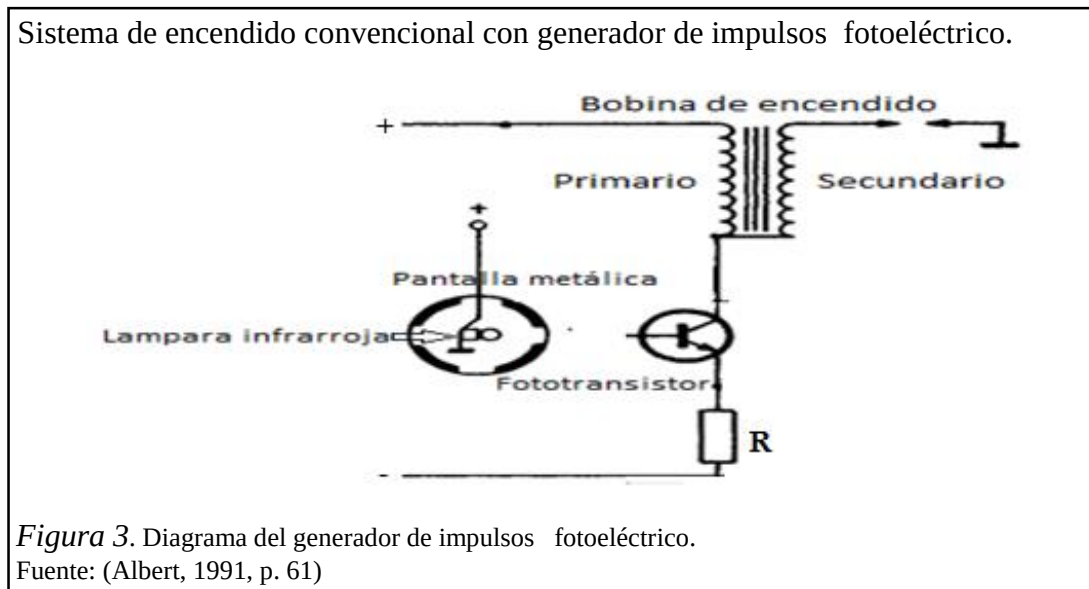


La rápida desaparición de la corriente de activación en la base del transistor permite una mayor variación del campo magnético del primario de la bobina de encendido, induciendo un campo más fuerte en el secundario. Esta mayor cantidad de voltaje produce mejoras en la chispa dentro de la cámara de combustión.

2.1.2.2. Generador de impulsos fotoeléctrico.

Este sistema de encendido electrónico utiliza fototransistores que mediante la incidencia de un haz de luz infrarroja sobre su base, conduce o bloquea la circulación de corriente entre emisor y colector del fototransistor permitiendo la circulación de corriente en el primario de la bobina de encendido.

Este sistema posee una lámpara de rayos infrarrojos fija dentro del distribuidor, la luz que produce la lámpara se interrumpe a través de una pantalla metálica con rendijas. Esta pantalla gira con el eje del distribuidor interponiéndose entre la lámpara y la base del fototransistor. En la figura 3, se muestra un esquema típico del generador de impulsos fotoeléctrico.



Este tipo de sistema no es muy utilizado por que es sensible a la acumulación de residuos de suciedad como: polvo, aceites y demás impurezas que genera el uso constante del vehículo.

2.1.2.3. Generador de impulsos electromagnético.

Conserva la forma mecánica de distribución del alto voltaje mediante el distribuidor, pero la señal de control que permite el flujo de corriente a través del primario de la bobina es generada mediante principios electromagnéticos. Al someter a un material ferromagnético a un campo magnético, éste sufre la alineación de sus líneas de fuerza internas generando un flujo mientras esté sometido al campo magnético externo; cuando la pieza se aleja del campo magnético las líneas de fuerza se debilitan y desaparecen. Para una mejor eficiencia en la variación de flujo magnético en este sistema, se colocan bobinas dentro de un campo magnético permanente. La configuración más usada de este sistema consiste en una rueda de ferrita que gira en el eje del distribuidor con un determinado número de crestas, igual a la cantidad de cilindros que tenga el vehículo como se expone en la figura 4.

Generador de impulsos electromagnético.

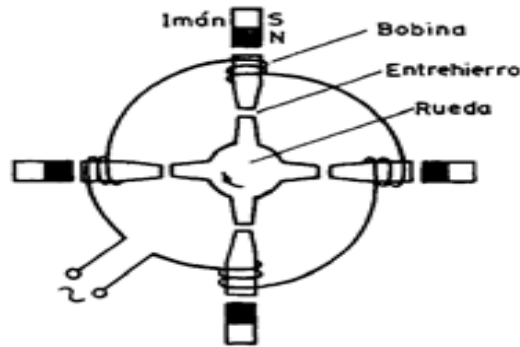


Figura 4. Diagrama de funcionamiento del generador de impulsos electromagnético.
Fuente: (Albert, 1991, p. 75)

Al interactuar la cresta de la rueda giratoria de ferrita con la bobina, se genera una variación de flujo magnético que auto induce una corriente analógica que al circular sobre una resistencia eléctrica provoca una señal de voltaje variable. En la figura 5, se reproduce la señal antes descrita.

Forma de onda de voltaje del generador de impulsos electromagnéticos.

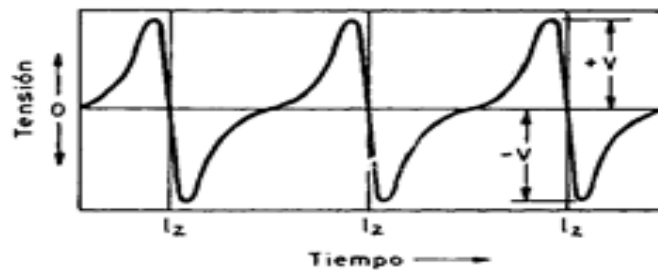


Figura 5. Gráfica de la forma de onda de voltaje del generador de impulsos electromagnético.
Fuente: (Albert, 1991, p. 75)

2.1.2.4. Generador de pulsos tipo Hall.

El efecto Hall consiste en crear un campo magnético transversal que incide de forma perpendicular en una pastilla ferromagnética plana constituida de un material semiconductor, creando una diferencia de potencial en los extremos, provocando que circule corriente constante dentro de la pastilla como se observa en la figura 6.

Estructura física del efecto Hall.

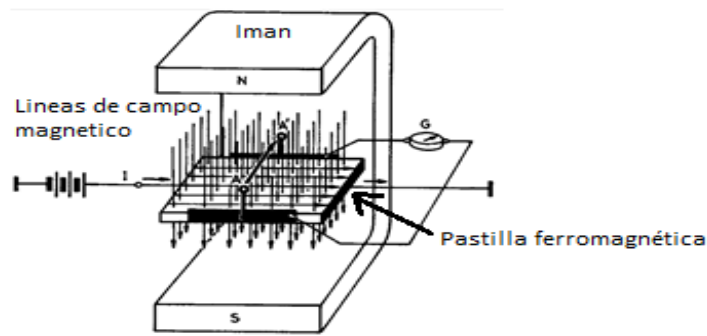


Figura 6. Descripción física de la generación del efecto Hall.
Fuente: (Albert, 1991, p. 78)

En este sistema de encendido se mantiene la distribución mecánica de alto voltaje hacia los cilindros del vehículo, es decir se incorpora en el distribuidor un mecanismo electrónico de captación de pulsos que se producen mediante el efecto Hall. Su funcionamiento radica en una pantalla obturadora que gira en el mismo eje del distribuidor constituida de una parte metálica y otra aislante. Posee ranuras de igual magnitud al número de cilindros del vehículo, las cuales interrumpen la interacción de una pastilla de silicio con un electroimán que esta fijo dentro del distribuidor. Cuando la parte metálica del obturador se interpone el campo magnético del electroimán se desvía hacia la pastilla semiconductor, donde incide produciéndose el efecto Hall sobre la pastilla, generando una diferencia de potencial que hace circular corriente a través de la pastilla ferromagnética. La figura 7 describe lo expuesto anteriormente.

Generador de impulsos de efecto Hall.

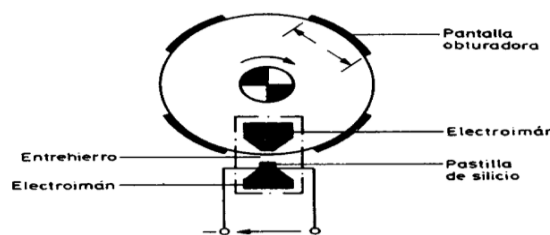


Figura 7. Estructura física del generador de impulsos de efecto Hall.
Fuente: (Albert, 1991, p. 78)

2.2. Sistema de Encendido Electrónico DIS (Direct Ignition System).

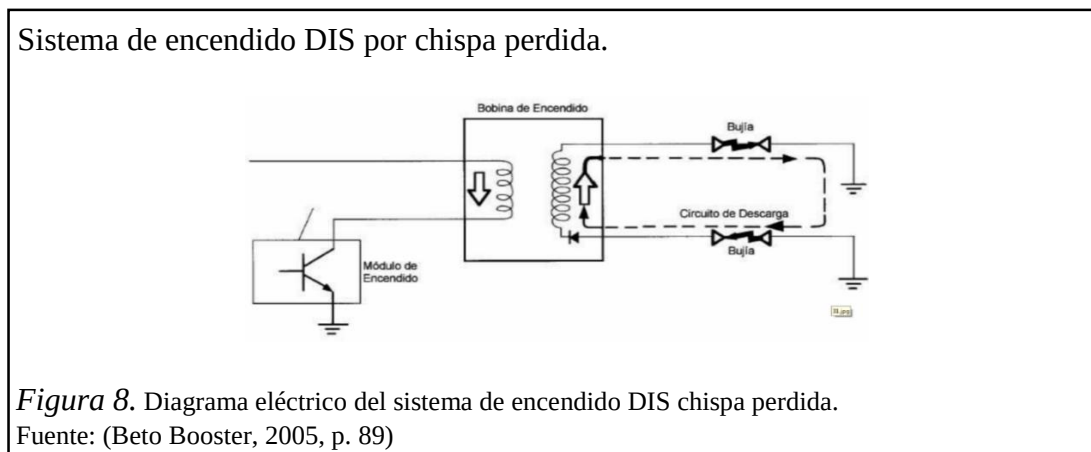
Es un sistema de encendido actual que elimina la parte mecánica de distribución de energía mediante un distribuidor, a su vez este lo realiza de forma electrónica a

través del uso de sensores y actuadores que facilitan el control de funcionamiento del vehículo. Existen dos tipos de sistema de encendido electrónico, la principal diferencia radica en la bobina que utilizan, y son los siguientes:

- Chispa perdida.
- COP.

2.2.1. Sistema de Encendido Electrónico DIS por Chispa perdida.

Este tipo de encendido utiliza una bobina por cada dos cilindros, mantiene el cableado para conectarse con las bujías, además las bobinas incorporan un bloque de transistores que permiten operar con valores más elevados de voltaje. En la figura 8, se indica el esquema eléctrico de lo antes descrito.



A este tipo de sistema se denomina chispa perdida porque la bobina entrega energía a dos cilindros a la vez, en donde el primer cilindro se encuentra al final la carrera de compresión y el otro se encuentra en la carrera de escape.

2.2.2. Sistema de Encendido Electrónico DIS COP (Coil On Plug) (Bobina sobre bujía).

Este sistema utiliza una bobina de encendido por cada cilindro, además elimina el cableado hacia la bujía porque se ubican directamente sobre ella, formando un solo cuerpo. Este sistema resulta más eficiente que el anterior porque se produce la chispa en cada cilindro. A continuación se presenta el diagrama electrónico a través de la figura 9.

Diagrama eléctrico del sistema de encendido DIS COP.

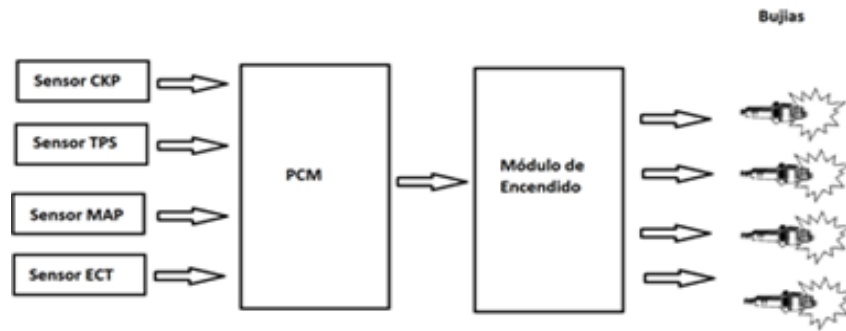


Figura 9. Diagrama eléctrico del sistema de encendido DIS COP.

Fuente: (Beto Booster, 2005, p. 25)

2.2.3. Bobina de encendido DIS.

Las bobinas de encendido usadas por el sistema DIS generan más cantidad de energía, además el tiempo de circulación de corriente por el primario tiene mayor control en comparación con el sistema de encendido convencional. Teniendo un mejor funcionamiento en bajas y altas revoluciones. Las bobinas usadas en sistemas de encendido convencional tienen una resistencia interna que limita la corriente del primario, pero se compensa la disminución de campo magnético inducido en el secundario incrementando el número de espiras. Las bobinas de los sistemas de encendido electrónico disminuyen considerablemente los problemas que presentan las bobinas de encendido convencional, porque tienen poca resistencia óhmica y pocas espiras, soportando corrientes de hasta 10 amperios. Además las bobinas de este sistema de encendido se pueden clasificar de la siguiente manera.

- Bobina DIS simple
- Bobina DIS con transistor incorporado

2.2.3.1. Bobina DIS simple.

En este tipo de bobina el control de circulación de corriente por el primario lo realiza la PCM (módulo de control del tren motriz) que a través del transistor que cierra el circuito a 0 [V DC], es decir la PCM incluye dentro de su hardware al transistor de control. El diagrama electrónico se indica en la figura 10.

Bobina de encendido DIS sin transistor.

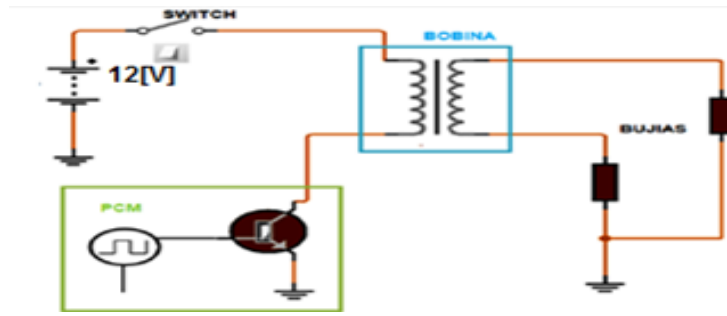


Figura 10. Diagrama eléctrico de la bobina de encendido DIS sin transistor.

Fuente: (Jiménez, 2012, p. 46)

El recuadro en celeste muestra el cuerpo de la bobina.

2.2.3.2. Bobina DIS con transistor incorporado.

Incorporan dentro de su estructura un transistor de potencia, la PCM controla la circulación de corriente por el primario mediante señales digitales que activa la compuerta del transistor, en la figura 11 se visualiza una bobina DIS transistorizada para un motor de cuatro cilindros.

Bobina de encendido DIS con transistor incorporado.

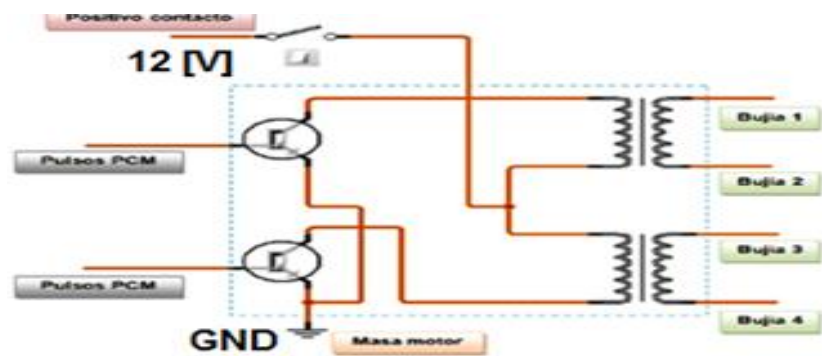


Figura 11. Diagrama eléctrico de la bobina de encendido DIS con transistor incorporado.

Fuente: (Jiménez, 2012, p. 46)

A continuación en la figura 12, se muestra las formas de onda de: voltaje, corriente del circuito primario y secundario en una bobina de encendido convencional cuando los contactos de los platinos se encuentran abiertos o cerrados.

Gráficas de la bobina de encendido convencional.

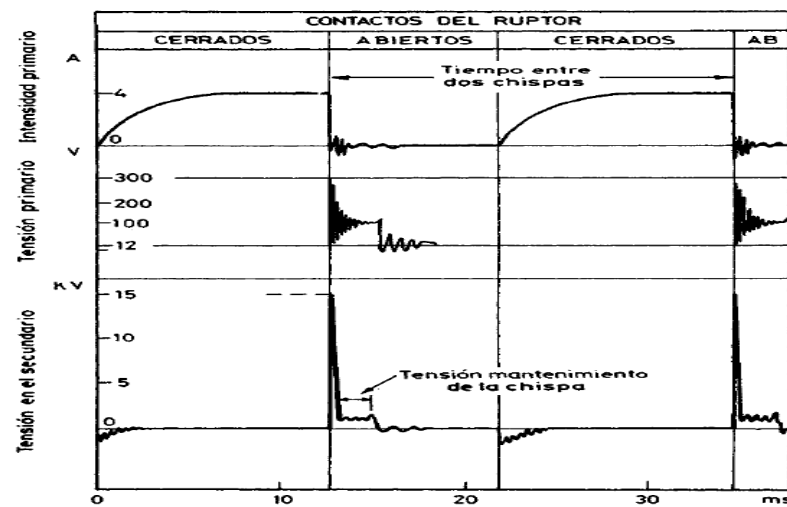


Figura 12. Formas de onda de voltaje y corriente en el primario, secundario de la bobina de encendido.

Fuente: (Albert, 1991, p. 32)

2.3. Señales aplicadas al sistema de encendido electrónico DIS.

Aquí se describirá a las señales necesarias para reproducir el funcionamiento del sistema de encendido electrónico DIS.

2.3.1. Sensores.

2.3.1.1 Sensor de posición del cigüeñal (CKP).

El sensor de posición del cigüeñal (CKP), se ubica junto a la polea del cigüeñal, determinando su posición y velocidad de giro al detectar el número de secuencias que tiene la rueda fónica o rueda dentada (ver la figura 12). La señal obtenida por el sensor es analógica. Sirve para sincronizar la activación de la bobinas de encendido y en general para el funcionamiento del sistema de inyección. Existen tres tipos de sensores de acuerdo a su principio de funcionamiento y son: Captador inductivo, Efecto Hall y óptico.

Ubicación del sensor CKP.

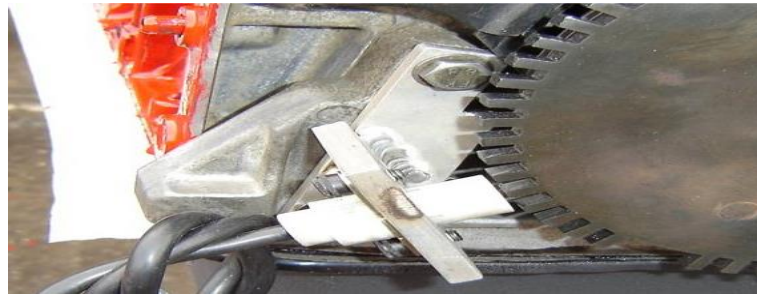


Figura 13. Imagen referencial de la rueda fónica y sensor de posición del cigüeñal.
Fuente: (An Engineer's Blog, 2015).

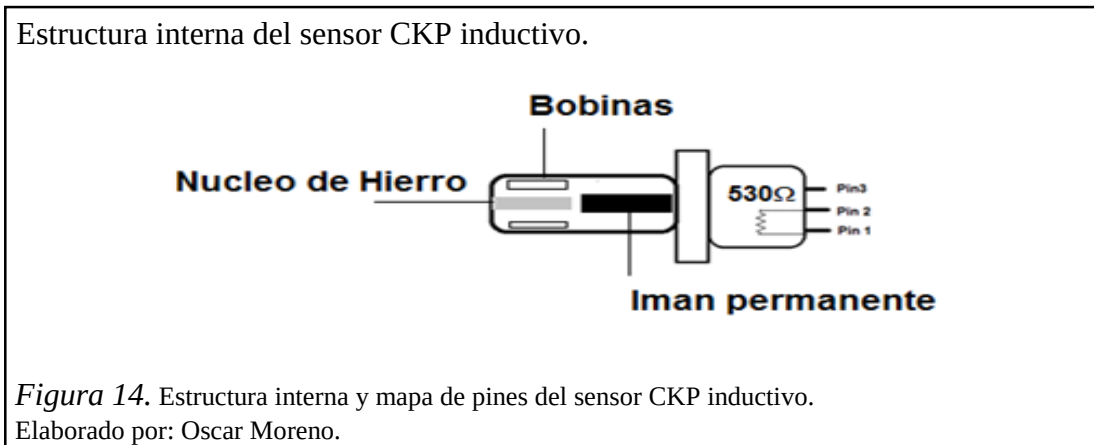
2.3.1.1.1. Sensor CKP de efecto Hall.

Posee un generador Hall fijo que consta de dos electroimanes separados por una placa construida de un material semiconductor. Este mecanismo interactúa junto a una rueda obturadora que gira en el eje del cigüeñal. La rueda posee ranuras distribuidas en forma de dientes que se interponen entre los dos electroimanes del generador Hall, provocando que el flujo magnético que incide en la pastilla semiconductora se elimine. De forma inversa cuando la interacción de los dos electroimanes de este sensor no es interrumpida se induce un campo magnético en la pastilla semiconductora lo que genera una diferencia de potencial eléctrico haciendo circular corriente a través de ella. Este sensor posee tres pines de conexión como son: VCC, Señal y GND.

2.3.1.1.2 Sensor CKP de efecto inductivo.

Dentro de su estructura consta un imán permanente junto a una bobina. Cuando la cresta de un diente de la rueda fónica se encuentra debajo del cuerpo del sensor se intensifican las líneas de fuerza magnética provocando una variación de flujo magnético en la bobina, induciendo una corriente eléctrica analógica sobre una resistencia interna. De forma opuesta cuando bajo el cuerpo del sensor no encuentra la cresta de un diente la intensidad de las líneas de fuerza disminuye eliminando la corriente inducida en la bobina. Entre los pines uno y dos de este tipo de sensor existe una resistencia eléctrica típicamente de $530\ [\Omega]$ que es en donde se generara la señal, el tercer pin se utiliza como blindaje, es decir que es una protección física a interferencias externas que pueden generar ruido en la señal medida, esto se da

porque en el vehículo existe una ambiente muy hostil para elementos electrónicos. En la figura 14 se expone el diagrama eléctrico interno.



2.3.1.1.3. Sensor CKP efecto óptico.

El funcionamiento de este sensor se basa en principios ópticos, haciendo uso de un fototransistor y una lámpara emisora de luz. Junto a estos elementos interactúa una pantalla obturadora que posee ranuras y que tiene un giro solidario al cigüeñal, la cual se encarga de interrumpir el haz de luz que incide en la base del fototransistor, produciendo una señal digital de salida para el control del encendido.

2.3.1.2. Sensor de presión del múltiple de admisión (MAP).

Se encarga de determinar la presión absoluta del múltiple de admisión (presión atmosférica + presión manométrica de aire que entra al motor). Sirve para regular el tiempo de activación de los inyectores y el encendido de la chispa en las bujías. Se ubica dentro del conducto de admisión después de la mariposa de aceleración.

Internamente consta de un diafragma de silicón (chip) junto a una resistencia piezo-resistiva dentro de una cámara, siendo sometido a una presión de referencia (cámara de vacío) como se mira en la figura 15. Debido al cambio de presión que ingresa al múltiple de admisión, el chip de silicón se flexiona provocando una variación de resistencia, generando un voltaje DC que se enviará a la PCM.

Chip de silicón.

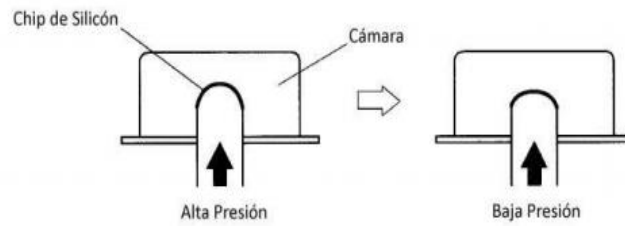


Figura 15. Descripción física del chip de silicón del sensor MAP.

Fuente: (Beto, Booster, p. 2)

El valor de voltaje del sensor es bajo cuando el motor se encuentra en ralentí o la aleta de aceleración está completamente cerrada, y el voltaje es alto cuando la aleta se encuentra completamente abierta. Además tiene tres pines de conexión VCC, señal y GND. Una gráfica de voltaje referencial se expone en la figura 16.

Señal de voltaje del sensor MAP.

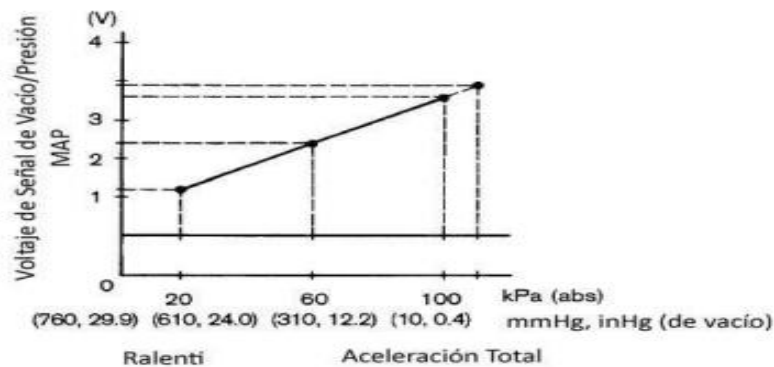


Figura 16. Forma de onda de referencial voltaje del sensor MAP.

Fuente: (Beto, Booster, p. 2)

2.3.1.3. Sensor de posición de la aleta de aceleración (TPS).

Determina la posición angular de la aleta de aceleración cuando el conductor interactúa con el vehículo, es decir que determina la cantidad giro de la aleta cuando se ejerce presión al pedal de aceleración. Es un sensor mecánico que integra un potenciómetro con variación de posición angular, posee una perilla giratoria que establece un determinado valor de resistencia eléctrica que genera un valor de voltaje en el pin de señal conectado a la PCM. Tiene tres pines de conexión distribuidos de la siguiente manera como se muestra en la figura 17.

Sensor TPS.

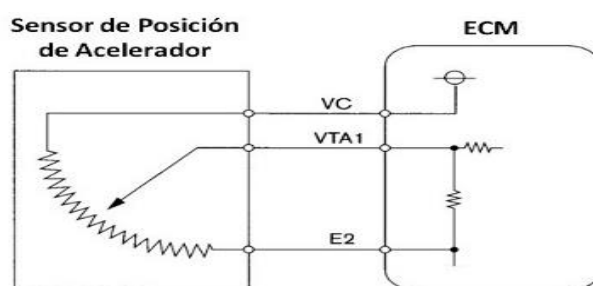


Figura 17. Estructura eléctrica del sensor de posición de aleta de aceleración.

Fuente: (e-auto, 2015)

La forma de onda del sensor es analógica, y sus valores cambian de forma continua en el tiempo. Este valor de voltaje incrementa o disminuye en función del ángulo de apertura de la aleta de aceleración. Típicamente los valores de voltaje son de (0.5 a 4.5) [V DC] como indica la figura 18.

Señal de voltaje del sensor TPS.

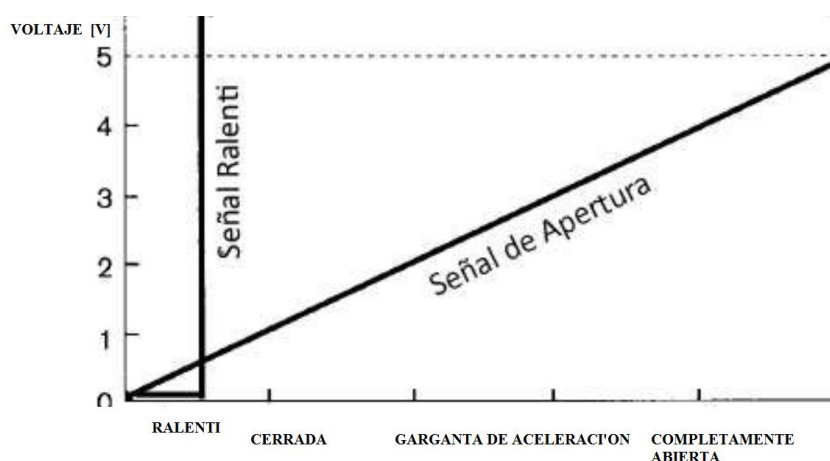


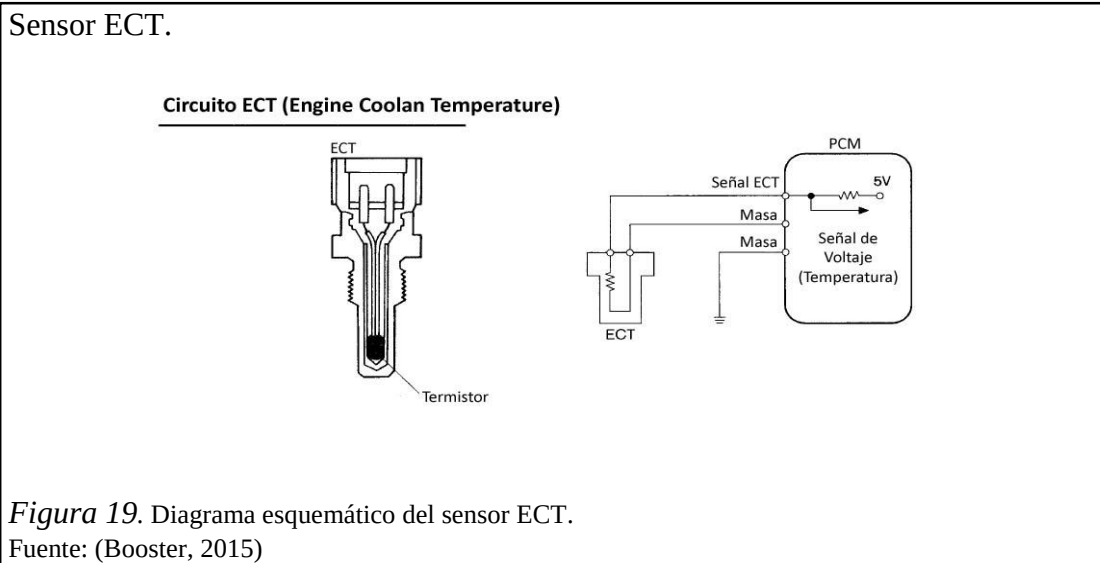
Figura 18. Forma de onda referencial del sensor TPS.

Fuente: (Booster, 2015)

2.3.1.4. Sensor de temperatura del líquido refrigerante del motor (ECT).

Este sensor se encarga de medir la temperatura del líquido refrigerante del motor, se ubica dentro del bloque del motor. Su estructura consta de un termistor NTC es decir con coeficiente de temperatura negativo. Al existir un cambio de temperatura varía la resistencia del sensor provocando un cambio del valor de voltaje que lee la PCM, este cambio se da de forma inversamente proporcional, es decir mientras la temperatura aumenta el voltaje de salida disminuye y viceversa. Con la señal de este sensor la PCM administra de mejor forma la inyección, al regular la mezcla aire-

combustible. A continuación en la figura 19, se aprecia un diagrama esquemático de este sensor.



2.3.1.5. Sensor de temperatura del aire de admisión (IAT).

Tiene como función medir la temperatura de aire que ingresa por el múltiple de admisión, se encuentra ubicado en la entrada del colector de admisión y el principio de su funcionamiento es similar al sensor ECT. Además trabaja conjuntamente con el sensor antes mencionado para realizar comprobaciones de operación, especialmente cuando el vehículo tiene un arranque en frío.

2.3.2. Señales de salida.

Dentro del sistema de encendido DIS solo se generará una señal de salida, la misma que sirve para controlar la activación de las bobinas de encendido.

2.3.2.1. Módulo electrónico de encendido.

Es una tarjeta electrónica que cumple la función del distribuidor, se encarga de enviar la señal de control para que la base del transistor conmute sus terminales (emisor-colector) permitiendo el flujo de corriente eléctrica por el primario de la bobina de encendido. Esta señal es enviada por la PCM y se determina con los valores obtenidos de los periféricos como son:

- Sensor medidor de flujo de aire
- Sensor de presión del múltiple de admisión.

- Sensor de posición del cigüeñal

2.3.2.2. Cartografía del sistema de encendido.

El mapa cartográfico se ocupa para realizar correcciones de funcionamiento en el encendido, mediante el almacenamiento de datos en la memoria de la PCM, los cuales representan una condición específica que se determina mediante la relación de los sensores MAP y CKP, las cuales representan la carga del motor y las RPM (revoluciones de giro por minuto). Estos valores influyen directamente en los grados de avance en el encendido de la chispa. Es decir que la PCM tiene la capacidad de responder de forma eficiente a cualquier condición que se presente en los sensores MAP y CKP, esto lo realiza mediante una proyección geométrica representada en la figura 20 donde los ejes representan a las siguientes variables.

- Eje X (abscisa) a la velocidad del motor en RPM.
- Eje Y (ordenadas) a la depresión del múltiple de admisión.
- Eje z a los grados de avance o retraso de la señal de encendido en función de la carrera del pistón, en el punto muerto superior.

Cartografía del sistema de encendido electrónico integral.

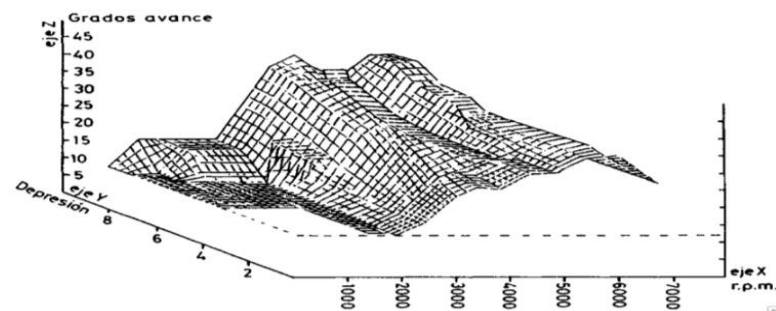


Figura 20. Gráfica tridimensional del sistema de encendido electrónico integral.

Fuente: (Albert, 1991, p. 82)

CAPÍTULO 3

CONSTRUCCIÓN MECÁNICA DEL MÓDULO DEL SISTEMA DE ENCENDIDO ELECTRÓNICO DIS.

3.1. Módulo didáctico del sistema de encendido electrónico DIS.

Mediante la construcción del módulo del sistema de encendido electrónico DIS se conseguirá una estructura física que permita integrar a todos los elementos que lo componen, mostrándolos de una forma ordenada y clara, facilitando la interacción con los usuarios, siendo una herramienta complementaria en el proceso de enseñanza de electrónica automotriz. Este módulo permitirá aplicar e incrementar los conocimientos de los estudiantes sobre las temáticas relacionadas al sistema de encendido electrónico DIS.

La construcción de este módulo partirá de la determinación de los elementos con los que se trabajará, los cuales se citan a continuación.

Elementos del sistema de encendido electrónico DIS.

- Bobina de encendido.
- Bujías.
- Cables de bujías.
- Polea del cigüeñal o rueda dentada.
- Sensor CKP inductivo.

Elementos electrónicos.

- Taladro.
- Tarjetas electrónicas.
- Tarjeta de programación Arduino Mega 2560.
- Relé electromecánico.
- Pantalla LCD 2x16.
- Conectores.
- Fuentes de energía.

Elementos mecánicos.

- Tabla triplex 9 [mm].

- Pilares de madera.
- Soportes metálicos.

Es importante mencionar que los elementos correspondientes al sistema de encendido son los que posee el vehículo Chevrolet Corsa Wind.

3.1.1. Rueda fónica.

La rueda dentada o rueda fónica es un elemento mecánico que internamente está compuesto de un material metálico. Se ubica dentro de los engranajes del cigüeñal y tiene un giro angular solidario al mismo. La principal función que cumple es de interactuar con el sensor CKP para que este monitoree su velocidad y posición cuando se encuentra girando. En este punto es importante destacar que la rueda que se usará para este proyecto posee 60 dientes menos 2. Los dientes faltantes se usarán para la sincronización del encendido. A continuación en la figura 21, se indica una imagen de este elemento.

Rueda dentada o rueda fónica.



Figura 21. Rueda dentada del vehículo Chevrolet Corsa Wind.

Elaborado por: Oscar Moreno.

3.1.2. Construcción del acople mecánico de la rueda fónica.

Como la rueda dentada es un elemento orientado a integrarse al giro dentro de los engranajes en el cigüeñal y como en su estructura no posee un mecanismo que le permita tener un giro solidario con un elemento externo, se procedió a soldar un eje

metálico cilíndrico de forma perpendicular a la rueda dentada tal como se visualiza en la figura 22.

Acoplamiento mecánico de un eje a la rueda dentada.



Figura 22. Acoplamiento mecánico de un eje a la rueda dentada.
Elaborado por: Oscar Moreno.

Este mecanismo permitirá tener un giro solidario entre el taladro y la rueda dentada. Para obtener mayor fijación se colocó una chumacera entre la rueda y la base que sostiene al taladro como un punto de apoyo adicional incrementando la estabilidad del sistema implementado. A continuación en la figura 23, se representa el resultado de este proceso.

Acoplamiento mecánico.



Figura 23. Acoplamiento mecánico entre la chumacera y la rueda dentada.
Elaborado por: Oscar Moreno.

La chumacera con el taladro se fijan a una plancha metálica cuadrada de 6 [mm] de espesor y 36 [cm] de lado.

3.1.3. Soporte del sensor CKP.

Es muy importante ubicar a una corta distancia al sensor inductivo CKP de la rueda ya que si esto no se cumple la lectura de señal que este genera se vería afectada. La

distancia típica entre estos dos elementos es de 0.5 a 2 [mm]. Para lo cual se implementó un mecanismo metálico que consta de tres varillas las cuales permiten girar y desplazar la posición del sensor, estas varillas esta unidas a la plancha metálica tal como se observa en la figura 24.

Acople metálico del sensor CKP.



Figura 24. Unión física del sensor CKP a la plancha metálica.

Elaborado por: Oscar Moreno.

3.1.4. Estructura del módulo.

El módulo será fabricado de madera, utilizando tabla triplex de 9 [mm] de espesor, las dimensiones que se determinó para integrar a los elementos que lo componen son las siguientes.

- 48 [cm] Base.
- 49 [cm] Altura.
- 40 [cm] Profundidad.

La construcción del módulo partirá al unir la placa metálica que soporta al taladro con la base de madera, tal como se muestra en la figura 25.

Base de madera.



Figura 25. Base de madera que integra a la placa metálica con la estructura del módulo.

Elaborado por: Oscar Moreno.

Luego de integrar al soporte del taladro con la base de madera se colocó las paredes laterales y posterior del módulo, incluyendo dos pilares ubicados de forma horizontal a 20 [cm] de la base que servirán para asentar una placa de madera, aislando el funcionamiento del taladro con los demás elementos electrónicos. En la figura 26, se indica lo antes descrito.

Construcción de la estructura del módulo.



Figura 26. Colocación de las paredes laterales y posterior del módulo.

Elaborado por: Oscar Moreno.

Los elementos que se colocaran en la parte frontal del módulo son los siguientes:

- Bobinas de encendido.
- Cables de bujía.
- Conectores banana hembra.
- Pantalla LCD 2x16.
- Perilla giratoria de control de velocidad.

- Rueda dentada.
- Bujías.

Los mismos que se organizaron de la siguiente forma, tal como se ve en la figura 27

Módulo del sistema de encendido electrónico DIS.



Figura 27. Distribución de elementos en la pared frontal del módulo.
Elaborado por: Oscar Moreno.

3.2. Generación y procesamiento de señales.

Los valores de los sensores y actuadores utilizados en este proyecto fueron obtenidos a través de mediciones realizadas en el vehículo Chevrolet Aveo Sedan 1600cc.

3.2.1. Diseño del controlador de velocidad Dimmer.

El diseño electrónico del módulo parte al determinar que el actuador que realizara el giro de la rueda dentada será el motor eléctrico de un taladro, el mismo que tiene características que se representan en la tabla 1.

Tabla 1.
Características técnicas del taladro Petrul.

Características de operación del taladro Petrul.	
Característica	Unidad
Revoluciones Max	2600 RPM
frecuencia de trabajo	50-60 [Hz]
Voltaje	120 [V]
Potencia	400 [W]

Nota.

Elaborado por: Oscar Moreno.

Como el mecanismo de control de velocidad en el vehículo es mecánico y este se dirige mediante el pedal de aceleración, es necesario implementar un sistema que reproduzca este control de forma análoga en el taladro eléctrico. El circuito electrónico que se escogió para realizar esta función es un control de fase o comúnmente llamado Dimmer, siendo este el que permitirá alterar la velocidad de giro en la rueda dentada.

El Dimmer es un dispositivo que permite modificar la cantidad de energía alterna entregada a elementos eléctricos como : luminarias, ventiladores etc, permitiendo un recorte en la señal de voltaje desde 180 a 0 grados en cada semiciclo de forma ideal, modificando el voltaje promedio [AC] entregado a la carga (taladro) y repercutiendo de forma directa a las RPM de la rueda dentada. El principal elemento de control de Dimmer es el semiconductor TRIAC, el cual realiza el recorte de la señal de voltaje [AC], adicionalmente éste posee varias formas de control pero la que se usará es mediante intensidad de corriente de compuerta. Esta corriente se producirá con el potenciómetro R1, a través de una red RC en cascada (ver la figura 27), la cual permite un rango más amplio de conducción aproximadamente de (170 a 10) grados de la onda senoidal de voltaje AC. Es importante mencionar que el potenciómetro R1 posee 6 pines de conexión, es decir son dos potenciómetros logarítmicos controlados por la misma perilla, de los cuales uno se utilizará para la generación de las señales de los sensores TPS y MAP.

Por lo tanto, se determinará la corriente que consume la carga para dimensionar el disparo del TRIAC BT-139.

Ecuación 1. Cálculo de la corriente nominal de la Carga IL

$$IL = \frac{P}{V}$$

$$IL = \frac{400\text{ W}}{120\text{ V}} = 3.34[\text{A}]$$

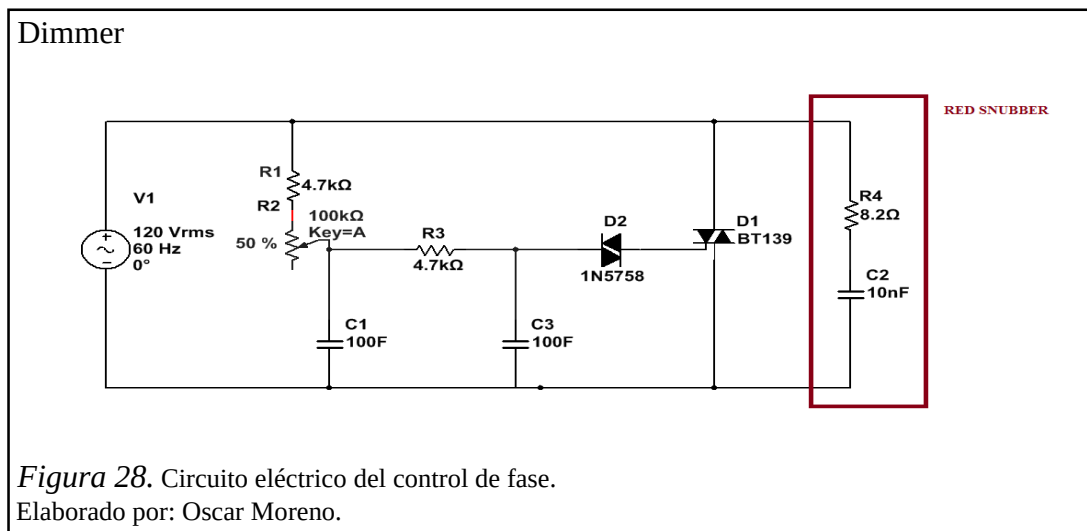
Por lo tanto, se deberá cumplir que se debe tener un desfase de $\alpha=0^\circ$ cuando $IL=3.34$ [A]. Para asegurar el disparo del TRIAC se tendrá que la corriente de compuerta $I_{gt}=25$ [mA] por lo que la resistencia R1 se calculará de la siguiente manera.

Ecuación 2. Cálculo de la resistencia R1 para asegurar la conducción en TRIAC.

$$R1 = \frac{V_{rms}}{I_{gt}}$$

$$R1 = \frac{120V}{25mA} = 4.8[K\Omega]$$

Además como se necesita lograr un desplazamiento del ángulo de disparo se estableció una red RC en cascada con un potenciómetro de 100 [KΩ] que permitirá lograr un recorte máximo de la señal de voltaje [AC]. En la figura 28, se aprecia el circuito eléctrico que se utilizó para la implementación del Dimmer.



A continuación se calculará los valores de operación la red de protección Snubber. La red Snubber sirve para proteger al tiristor de sobretensiones y absorber el remanente de energía generadas en cargas inductivas como las de un motor eléctrico.

Ecuación 3. Cálculo la resistencia de carga R_L que se genera en el taladro.

$$R_L = \frac{120 V}{3.35 A} = 36.4[\Omega]$$

Se tiene que considerar que la corriente de descarga es de 3 veces la corriente consumida por el dispositivo, se tomó el valor de 15 [A].

Ecuación 4. Cálculo de la resistencia R_S producida por la corriente de descarga.

$$R_S = \frac{120[V]}{ITD}$$

$$R_S = \frac{120[V]}{15[A]} = 8[\Omega]$$

Ecuación 5. Cálculo del capacitor una Red Snubber

$$C = \frac{0.6328 * R_S * V_S * dt}{dv(R_S * R_L)}$$

$$C = \frac{0.6328 * 36.4 * 120 * 1 \times 10^{-6}}{200 * (36.4 + 8)^2} = 7.10[nF]$$

3.2.2. Obtención y acondicionamiento de la señal del sensor CKP.

La señal del sensor inductivo CKP se produce mediante su interacción con la rueda dentada, para lo cual se debe colocar al sensor a una corta distancia y ángulo correcto, sumado al movimiento de la rueda dentada. Si no se cumple con estos factores no se obtendrá la señal de este sensor. Las características de la señal producida, como son amplitud y periodo, están determinadas por la velocidad de giro de la rueda dentada. Por lo tanto si se tiene un alto régimen de revoluciones el periodo de la señal en cada diente decrece y la amplitud aumenta, sucede lo contrario al disminuir la velocidad. A continuación en la figura 29, se expone la señal generada, adicional se nota el cruce por los dos dientes faltantes.

Forma de onda del sensor CKP.

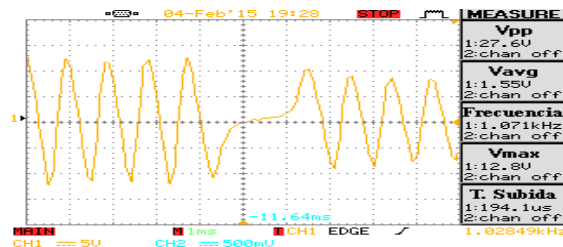


Figura 29. Señal analógica del sensor CKP.

Elaborado por: Oscar Moreno.

Un aspecto importante que se observó es que la amplitud de la señal generada no es constante, esto se debe a la disposición mecánica irregular de la rueda, en la figura 30 se indica lo antes descrito considerando que la señal tomada se generó en una revolución.

Señal analógica del sensor CKP en una revolución.

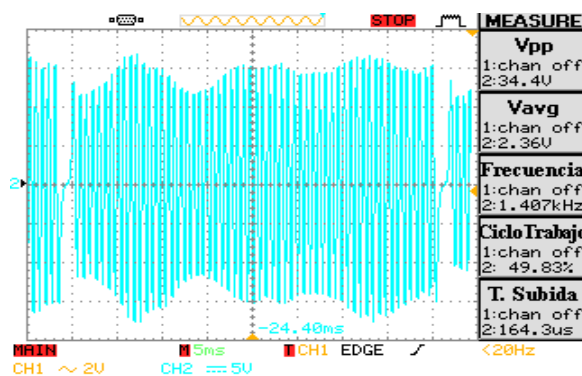
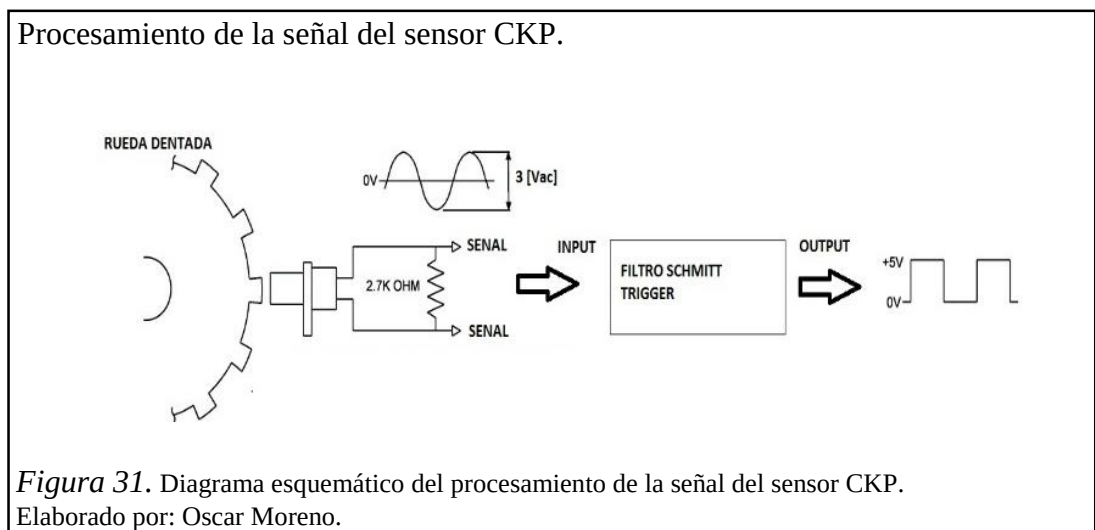


Figura 30. Señal analógica del sensor CKP medida en una revolución.

Elaborado por: Oscar Moreno.

La señal analógica de este sensor se la acondicionará a una señal digital cuadrada para incrementar la fiabilidad en su procesamiento y tener un mayor control sobre la misma. El circuito que se implementó para este propósito consta del integrado 74LS14, mediante el uso de dos compuertas digitales negadoras conectadas en serie, a esta configuración se la conoce como el comparador Smith Trigger.

El circuito Smith Trigger básicamente es un comparador con histéresis que posee dos voltajes de referencia umbral: superior e inferior. El establecimiento de los voltajes umbral permitirá que solo exista un cambio en la salida cuando el voltaje de entrada atraviese los dos estados umbral. Esto evitará que se produzcan falsos valores en la salida generados por ruido. Los valores típicos de voltaje umbral superior e inferior vienen dados por la tecnología de construcción de los circuitos integrados, mediante mediciones se determinó que los mismos son (2,8 y 3,9) [V DC]. A continuación se establece un diagrama esquemático de este proceso en la figura 31.



Además es importante notar que en la figura 32 existe una segunda compuerta negadora C2 conectada en serie, la misma tiene el propósito de invertir nuevamente a la señal de salida del circuito Smith Trigger, debido a que si solo se usara una compuerta negadora la relación entre las señales de entrada y salida resultaría inversa.

Comparador Smith Trigger.

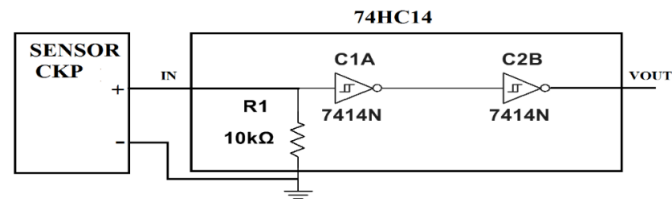


Figura 32. Diagrama de conexión del circuito comparador Smith Trigger.
Elaborado por: Oscar Moreno.

A continuación se observa en la figura 33 la construcción de la señal cuadrada con el establecimiento de voltajes umbral, una vez construido el circuito de la figura 32.

Comparación de señales.



Figura 33. Comparación de la señal analógica de entrada con la señal digital cuadrada de salida.
Elaborado por: Oscar Moreno 5 V DC/Div T=2.5 [ms]

La señal digital cuadrada resultante del sensor CKP se visualiza en la figura 34, además se identifica el cruce por los dos dientes faltantes.

Forma de onda del sensor CKP.

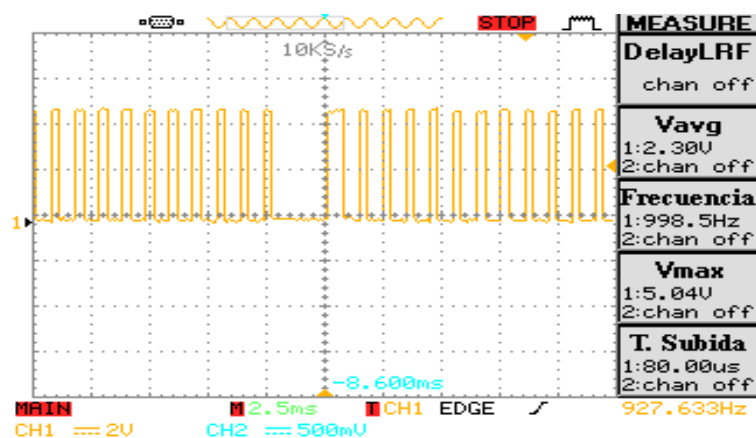


Figura 34. Señal digital del sensor CKP.
Elaborada por Oscar Moreno.

3.2.3. Generación de la señal del sensor TPS.

En este punto es importante nombrar que sólo se realizará una simulación de los sensores MAP y TPS manteniendo parámetros nominales que tengan concordancia con el funcionamiento real en el vehículo, es decir, que estas señales no afectan ningún proceso en el desarrollo de este proyecto.

Para la generación de esta señal se obtuvo los valores nominales de funcionamiento del sensor los cuales serán reproducidos y se exponen en la tabla 2.

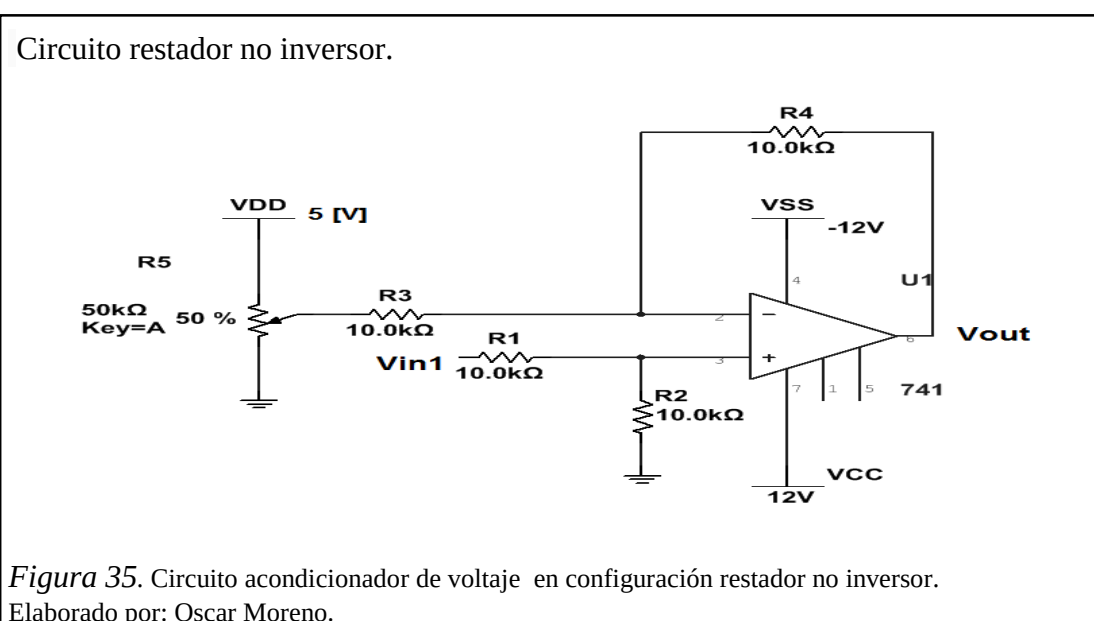
Tabla 2.
Valores de operación del sensor TPS.

Aleta de aceleración	TPS
Apertura [%]	Voltaje [V DC]
0	0,6
50	2,504
100	4,511

Nota.

Elaborado por: Oscar Moreno.

Para la simulación se tomó la señal de voltaje variable generada en el pin intermedio del potenciómetro, ya que el giro del potenciómetro implica variación en la velocidad de la rueda dentada debido al uso compartido del potenciómetro que controla la corriente de compuerta en el Dimmer. Por lo tanto, solo fue necesario acondicionar a estos valores mediante amplificadores operacionales en configuración restador no inversor para conseguir que estos se acerquen a los reales. En la figura 35, se muestra el circuito amplificador en configuración restador no inversor.



Ecuación 6. Cálculo del voltaje de salida del circuito restador no inversor.

$$V_{out} = V_{in1} - V_{in2} * \frac{R_4}{R_3}$$

3.2.4. Generación de la señal del sensor MAP.

Para la generación de esta señal se utilizó los valores de la tabla 3.

Tabla 3.
Valores de operación del sensor MAP.

SENSOR MAP	
PRESION [Kpa]	VOLTAJE [V]
20	0,55
40	1,7
60	2,7
70	3,3

Nota.

Elaborado por: Oscar Moreno.

La simulación de esta señal parte de la obtención del voltaje del pin intermedio del potenciómetro logarítmico usado para este propósito. Este valor de voltaje será procesado con el microcontrolador PIC16f877A, mediante el software de programación MikroC, para lo cual se hará uso del conversor análogo digital que posee el microcontrolador, el cual tiene una resolución de 10 bit permitiendo almacenar la variable leída en un rango de valores de (0 a 1024). Mediante este proceso se tendrá un mejor control de la variable almacenada, esto es necesario debido a que más adelante en el desarrollo de este proyecto se generarán fallos de funcionamiento de este sensor, lo que implica que se producirán valores diferentes a los que genera el potenciómetro.

Para lograr lo antes mencionado es necesario reconstruir la señal de voltaje que ingresa al microcontrolador, la señal reconstruida debe tener una alta resolución debido que tiene que ser lo más parecida a la producida por el potenciómetro, lo cual es un impedimento para la infraestructura del microcontrolador, por lo tanto, se vuelve necesario incluir dentro del diseño electrónico a un dispositivo que realice esta función de forma dedica.

El dispositivo que cumple estas características es el integrado DAC MCP4922, que es un conversor digital análogo de 12 bit que trabaja mediante comunicación serial SPI (Serial Peripheral Interface) por sus iniciales en inglés.

En la figura 36 se establece el diagrama de conexión entre el microcontrolador y el MCP4922.

Circuito electrónico de generación del sensor MAP

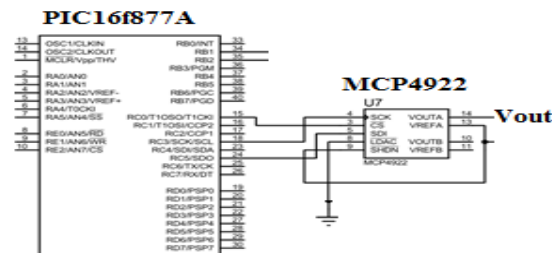


Figura 36. Conexión del microcontrolador PIC16f877A con el integrado MCP4922.
Elaborado por: Oscar Moreno.

Mediante la comunicación SPI el microcontrolador envía el valor de voltaje leído del potenciómetro con un rango de valores (0 a 1024), pero se debe tomar en cuenta la resolución del integrado MCP4922 es de 12 bit, es decir que sus valores de operación van desde 0 hasta 4096, por lo tanto, es necesario realizar un escalamiento y multiplicar por cuatro al datos enviado por el microcontrolador. En la figura 37, se explica mediante un diagrama de flujo la estructura de programación de lo antes descrito.

Diagrama de flujo

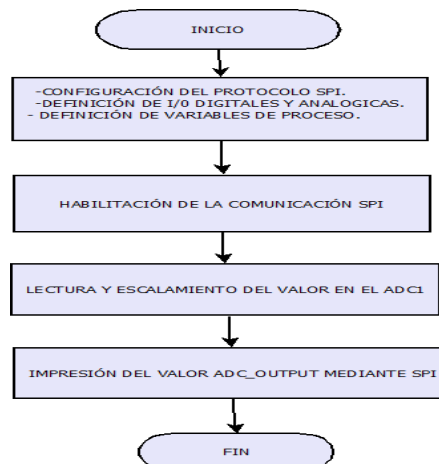
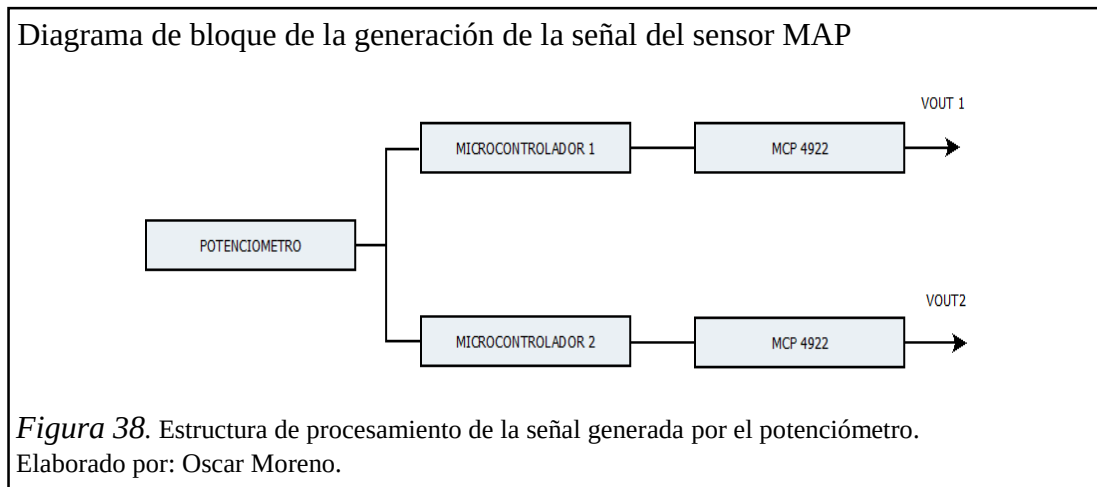


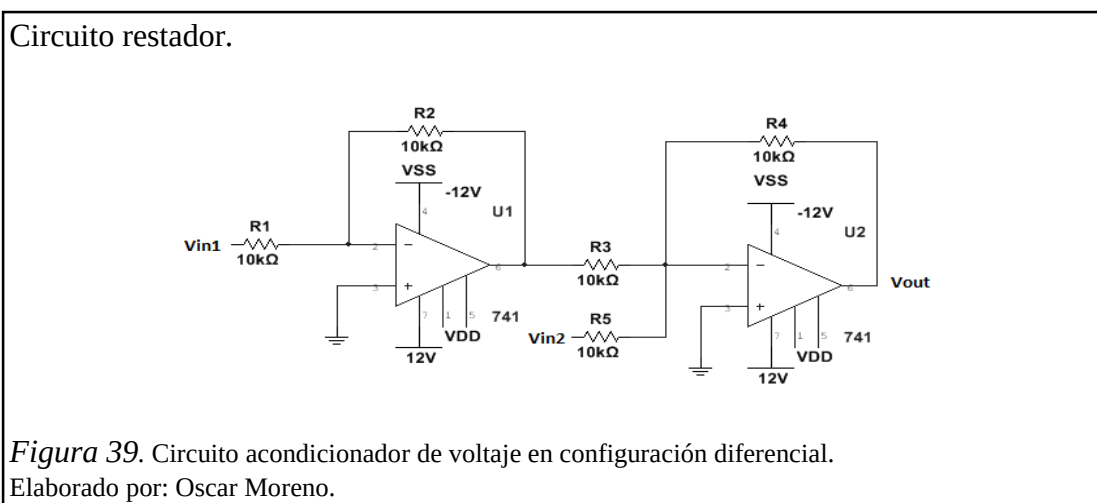
Figura 37. Estructura de la comunicación SPI entre el PIC 16f877A y la DAC MCP4922.
Elaborado por: Oscar Moreno.

Para reproducir con exactitud la señal del sensor MAP se procesó de forma paralela la señal proveniente del potenciómetro con dos microcontroladores, tal como se observa en la figura 38.



La estructura de programación de los microcontroladores es similar, pero con la diferencia que el microcontrolador1 imprime el valor enviado a la DAC con un retraso de 200 [ms] generando un desfase entre las señales de voltaje Vout1 y Vout2.

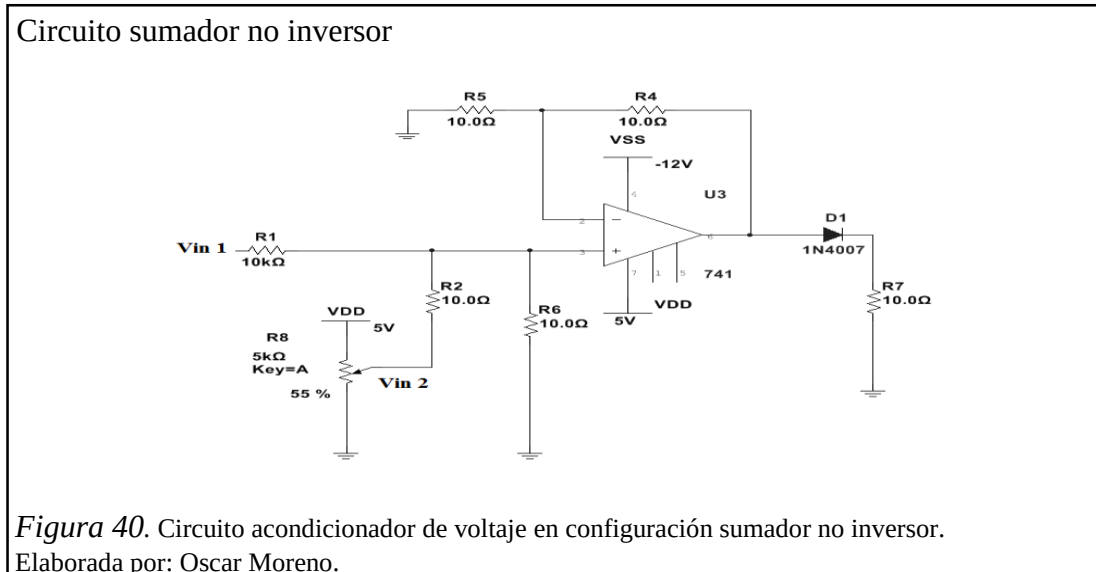
Las señales de voltaje Vout1 y Vout2 se restaron mediante el uso de amplificadores operacionales en configuración diferencial, consiguiéndose que cuando el potenciómetro permanece en una posición fija el resultado de la resta es 0 [V DC], pero al existir un giro del potenciómetro se genera una diferencia de voltaje, este valor es proporcional a la cantidad de giro que se tenga, teniendo como máximo un voltaje de 3.5 [V DC] en la salida de circuito restador, este valor es positivo cuando se tiene un cambio de posición en forma horaria o una aceleración de la rueda dentada y negativo en forma anti horaria o desaceleración de la rueda dentada. En la figura 39, se visualiza el circuito restador.



Ecuación 7. Cálculo del voltaje de salida del circuito restador.

$$V_{out} = V_{in1} - V_{in2}$$

Como los niveles de voltaje obtenido no se apegan a los nominales del sensor MAP, es necesario ingresar a una etapa sumadora a la señal, ya que en el vehículo este permanece el 0.5 [V DC] cuando no existe ninguna aceleración súbita. A continuación se muestra el circuito de sumador no inversor que se utilizó para este propósito en la figura 40.



Ecuación 8. Cálculo del voltaje del circuito restador no inversor.

$$V_{out} = R4 \left(\frac{V1}{R1} + \frac{V2}{R2} \right) * \frac{(R6+R5)}{R5}$$

3.2.5. Generación de las señales de encendido.

Antes de producir las señales de encendido es importante entender como estas se generan en el vehículo, asumiendo que se emulará el funcionamiento de un motor de cuatro cilindros con bobinas de encendido transistorizadas tipo DIS, la cual tiene un par de bobinas dentro de cuerpo es decir, una bobina se usa para generar chispa en dos bujías, por lo tanto se necesitará producir dos señales por cada revolución representando 180 grados de giro de la rueda dentada.

Ecuación 9. Cálculo del ángulo de desfase para el encendido.

$$\text{ángulo de encendido} = \frac{720^\circ}{\text{Número de cilindros}}$$

$$\text{ángulo de encendido} = \frac{720^\circ}{4} = 180^\circ$$

Dando el siguiente orden de encendido que se aprecia en la tabla 4 en un ciclo del cigüeñal, es decir dos giros de la rueda dentada.

Tabla 4.

Orden de encendido para un motor de cuatro cilindros.

Giro del cigüeñal en grados	Cilindro n° 1	Cilindro n° 2	Cilindro n° 3	Cilindro n° 4
0°-180°	Explosión	Escape	Compresión	Admisión
180°-360°	Escape	Admisión	Explosión	Compresión
360°-540°	Admisión	Compresión	Escape	Explosión
540°-720°	Compresión	Explosión	Admisión	Escape

Nota: (Erazo & Mena, 1999)
Elaborado por Oscar Moreno.

Esta disposición en el encendido (1, 3, 4, 2) se mantendrá independientemente de las RPM a la que gire la rueda dentada, además en el desarrollo de este proyecto no se realizará variantes como son el adelanto y retraso del encendido.

Para la generación de las señales de encendido se trabajará con la señal digital del sensor CKP la cual ingresará a dos microcontroladores como son:

- ATmega328P programado mediante el software Bascom Avr.
- PIC16f628A programado mediante el software Microcode.

El microcontrolador 16f628A se usará para determinar la velocidad de giro de la rueda dentada, valor que se imprimirá en una pantalla LCD 2x16.

Con el microcontrolador ATmega328P se determinará la posición de la rueda dentada, es decir detectar dientes faltantes y contar los intermedios. Se dividió este proceso debido a la alta frecuencia de trabajo que implica interactuar con la rueda dentada, por lo que no es recomendable realizar este proceso con un solo microcontrolador ya que se perdería información. Los parámetros nombrados

anteriormente se usarán para reproducir las características de funcionamiento del sistema de encendido electrónico DIS.

3.2.5.1. Medición de las RPM de giro de la rueda dentada.

La medición de las RPM con las que gira la rueda se determinará al contar el número de pulsos que ingresan al puerto RB0 del microcontrolador PIC6f628A durante un segundo, utilizando la herramienta COUNT que posee el lenguaje de programación Microcode, este valor es impreso en una pantalla LCD 2x16, en la figura 41 se establece el diagrama de flujo que describe la lógica de programación.

Diagrama de flujo del programa implementado en el PIC16f628A.

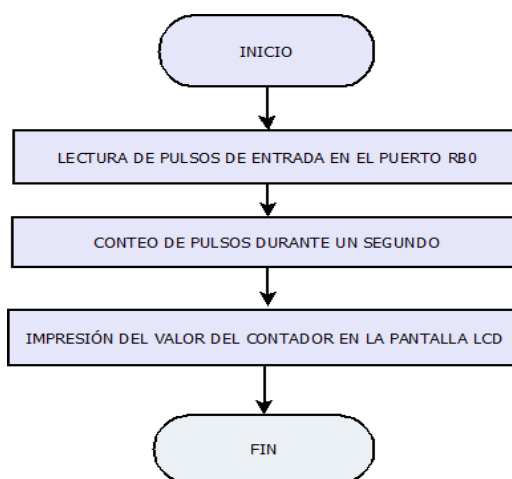


Figura 41. Estructura de programación para realizar el conteo de las RPM.

Elaborado por: Oscar Moreno.

En la figura 42 se expone el diagrama de conexión del microcontrolador PIC16f628A con la LCD 2x16.

Diagrama esquemático de conexión.

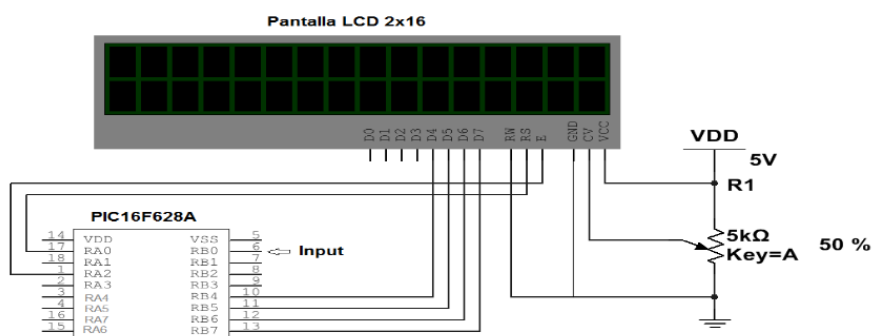


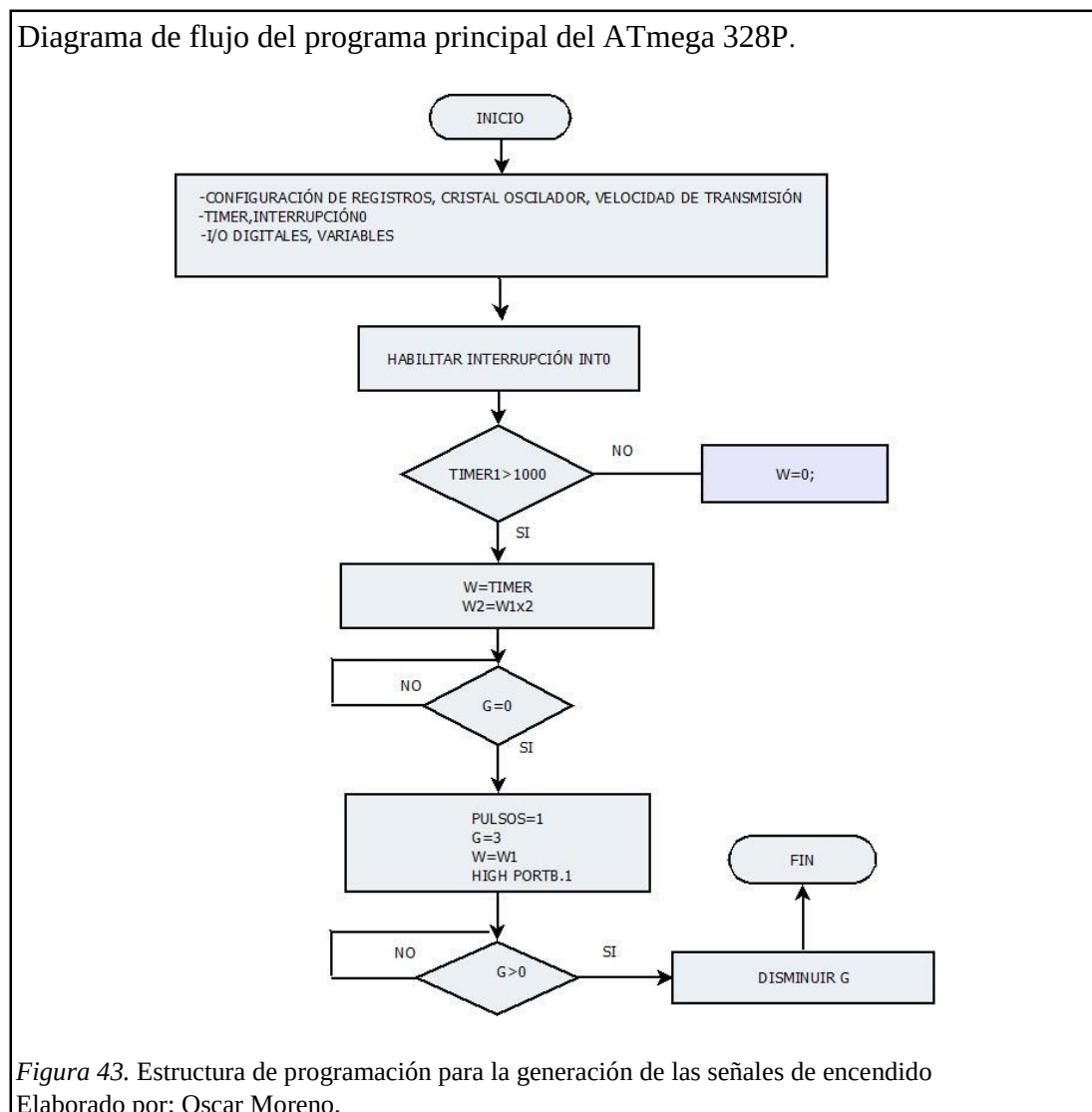
Figura 42. Diagrama de conexión electrónica entre el PIC16f628A y la pantalla LCD 2x16.

Elaborado por: Oscar Moreno.

3.2.5.2. Generación electrónica de las señales de encendido.

El microcontrolador ATmega328P se encarga de monitorear la posición de la rueda dentada. Este proceso se realiza mediante el uso de herramientas de programación como son: interrupciones y timer. Inicialmente se detecta el período de los pulsos generados en cada diente de la rueda mediante de flanco de bajada.

Existe un período similar en 58 dientes, pero al medir los dos dientes faltantes se produce un cambio brusco en la duración del flanco ya que este transcurre el doble de tiempo, el microcontrolador mediante la comparación de estos periodos reinicia el conteo de los dientes, este conteo se realiza en una subrutina. Esta secuencia de programación se explica en el diagrama de flujo mostrado en la figura 43



La subrutina de interrupción inicia cuando el programa principal detecta un cambio en la duración del periodo generado en el sensor CPK, cuando esta subrutina es

llamada inicia el conteo de los dientes, mediante este procedimiento se generaran las dos señales de salida que específicamente se dan cuando la rueda se encuentra en los dientes 1 y 30. La duración de estas señales es de 150 [us], este tiempo se establece en relación al periodo mínimo generado en un diente, el cual es 191[us] a máxima velocidad 2600 RPM. En la figura 44, se establece el diagrama de bloque que describe la programación utilizada para este propósito.

Diagrama de la estructura de programación.

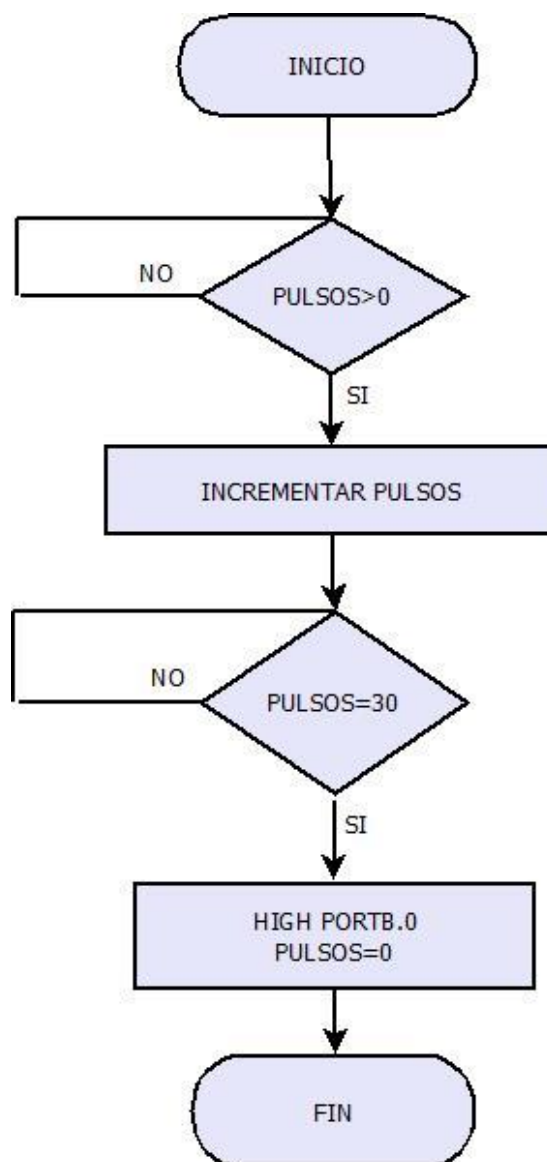


Figura 44. Figura 43. Secuencia lógica de programación de la interrupción.
Elaborado por: Oscar Moreno.

Luego de la generación de las señales de encendido para los dos pares de bobinas, es necesario que estas se adapten a valores similares a los que posee el vehículo, a este valor de activación se lo conoce como tiempo Dwell y tiene una duración de 3 [ms].

Como la señal que produce el microcontrolador es menor se necesitará incrementarlo para obtener el valor requerido, este procedimiento se realizó con un temporizador LM555 en configuración monoestable.

La configuración monoestable del temporizador LM555 permite obtener a la salida una señal cuadrada con un periodo fijo determinada de forma independiente a la duración del pulso de flanco descendente de entrada.

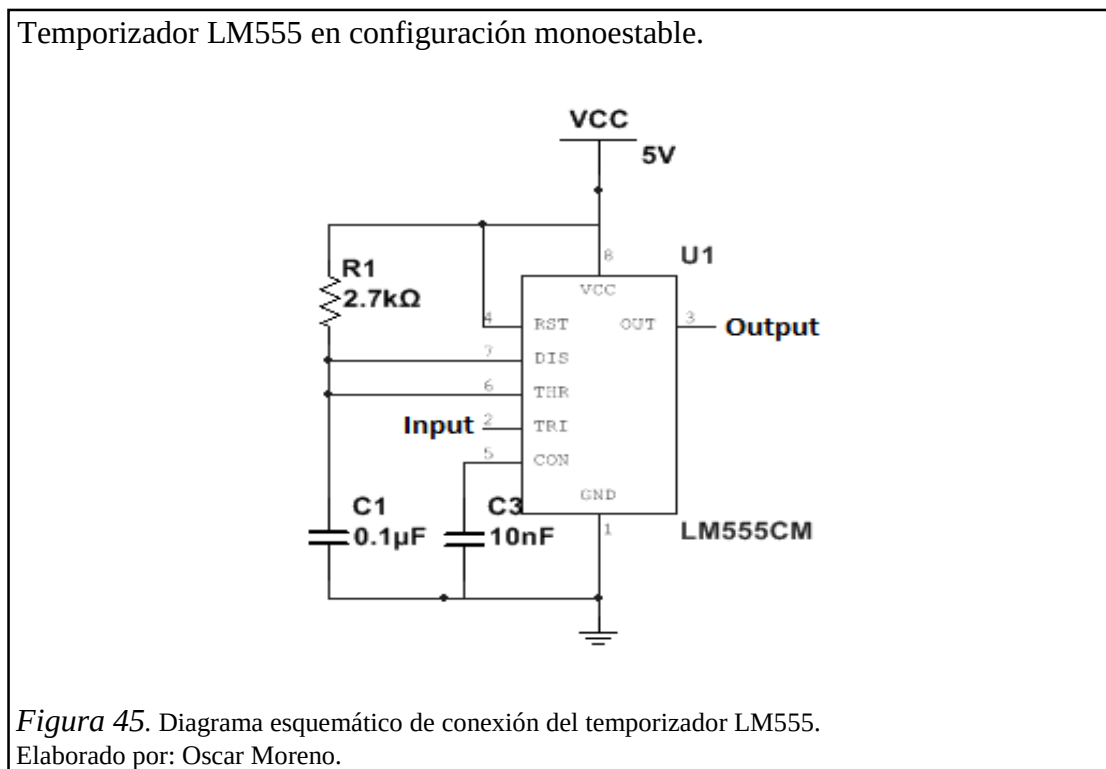
Ecuación 10. Cálculo del ancho de pulso generado por el LM555 en configuración monoestable.

$$t = 1.1(R1 * C1)$$

$$t = 1.1(2.7K\Omega * 1\mu F)$$

$$t = 3[ms]$$

A continuación en la figura 45 se muestra el diagrama de conexión del Temporizador.



Debido a que el temporizador necesita un pulso invertido, se utilizó una compuerta negadora 74LS14 para cumplir este propósito.

A continuación se muestran las señales de encendido con un tiempo de activación de 3 [ms] generadas en el diente 1 y 30, a través de las figuras 46 y 47.

Señal de encendido.

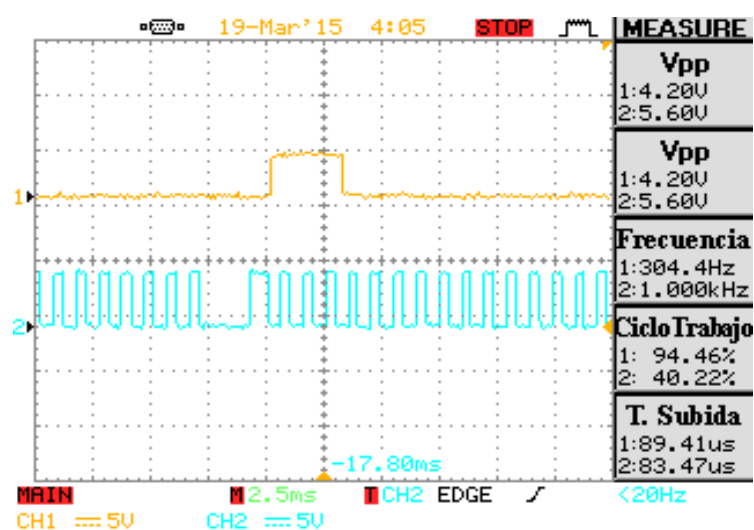


Figura 46. Señal de encendido para las bobinas producida en el diente 1.
Elaborado por: Oscar Moreno.

Señales de encendido para las bobinas en el diente 30.

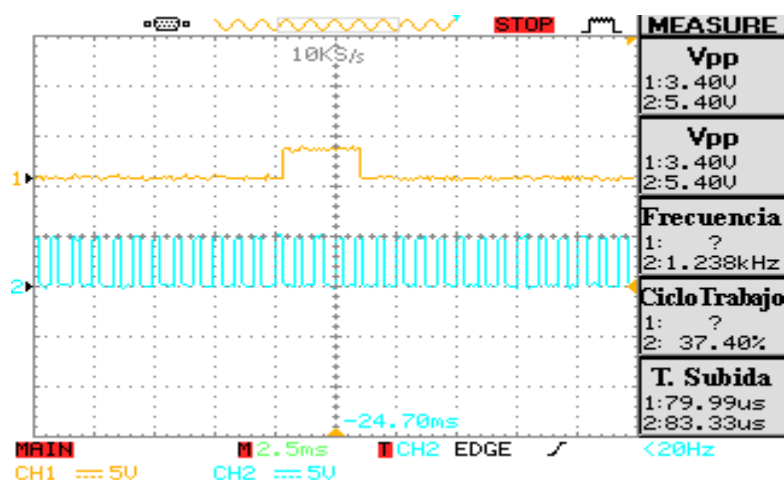


Figura 47. Señal de encendido para las bobinas producida en el diente 30.
Elaborado por: Oscar Moreno.

Posterior a la generación de las señales para el encendido se procedió a la conexión física del cuerpo de encendido el cual está conformado por las bobinas de encendido, cables de bujía, bujías y señales de activación. La distribución de las bujías debe mantener la secuencia (1, 3, 4, 2) que se estableció para el encendido. Además se indica un mapa de pines de conexión de la bobinas. En la figura 48, se observa lo antes descrito.

Cuerpo de encendido.

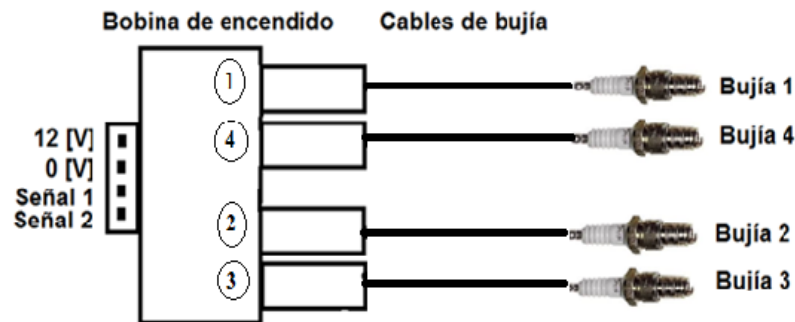


Figura 48. Pines de conexión de la bobina de encendido.

Elaborado por: Oscar Moreno.

3.3. Generación de fallos.

Este subcapítulo se encargará de generar fallos controlados, los mismos se realizarán de forma digital y física. Los fallos provocados de forma digital implica alterar la programación de la tarjeta electrónica para conseguir valores anormales de operación, este tipo de fallo solo se realizará en el sensor MAP. A su vez un fallo físico significa que no existirá intercambio de información entre los dispositivos que conforman la tarjeta electrónica al no tener un cable conductor que los una.

El objetivo de generar fallos radica en el entrenamiento de los estudiantes, al resolver a averías que se presentan en este tipo de encendido electrónico, incentivando a desarrollar un criterio lógico electrónico mediante el uso de este prototipo. El funcionamiento de estos fallos es de forma aislada, es decir solo se producen en una variable, sin afectar proceso general del módulo.

3.3.1. Fallo del sensor MAP.

Se realizará dos tipos de fallos los cuales representan las siguientes condiciones.

- Ausencia de voltaje de referencia VCC 5 [V DC].
- Eliminación de voltaje común GND 0 [V DC].

La primera condición provoca que la salida de voltaje del sensor sea un valor fuera del rango normal de funcionamiento que se muestra en la tabla 3, el mismo será casi 0 [V DC], el cual permanecerá fijo independientemente del funcionamiento del

prototipo. De forma análoga con la segunda condición se obtendrá un valor aproximado a 4 [V DC].

La simulación de estas formas anormales de trabajo se realizó a través de programación con los microcontroladores uno y dos utilizados en la generación de la señal, es decir se programó tres casos, donde los dos primeros responde a los fallos y el ultimo es el funcionamiento normal, además es importante decir que la estructura de programación es similar para los dos microcontroladores pero con valores de impresión enviados hacia la MCP4922 son diferentes. A continuación la figura 49 representa un diagrama de flujo que explica este procedimiento.

Diagrama de flujo de la generación de fallos.

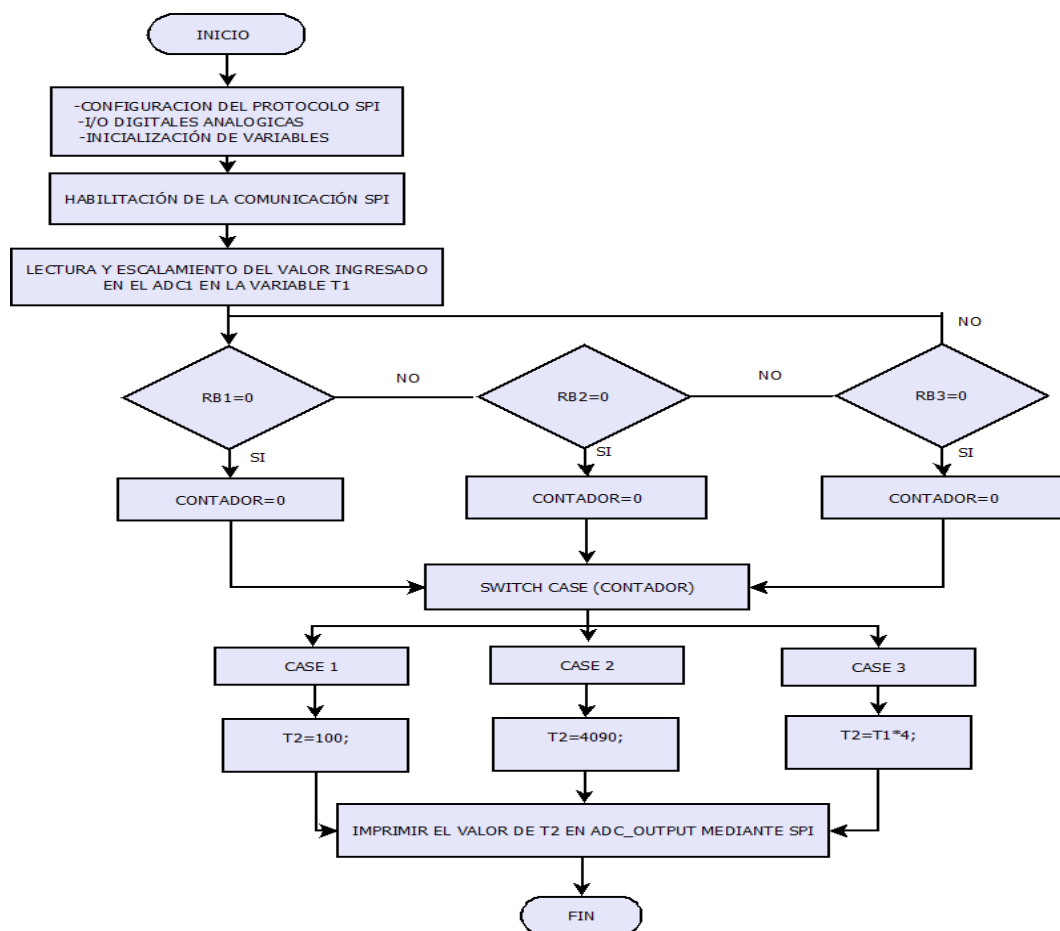


Figura 49. Estructura de programación del microcontrolador PIC16f877A para la generación de fallos.

Elaborado por: Oscar Moreno.

En este punto es necesario citar que no se realizan fallos en el funcionamiento del sensor TPS porque su funcionamiento no afecta a la generación de las señales de encendido.

3.3.2. Fallos físicos.

Esto tipo de fallos se producen muy a menudo en un vehículo, debido al ambiente que genera su funcionamiento en el cual existe: polvo, alta temperatura, fuga de líquidos, etc. Lo que provoca el deterioro de elementos eléctricos y electrónicos. Los elementos que sufrirán desconexiones en este módulo son los siguientes.

- Señales de encendido para las bobinas.
- Sensor CKP.

El dispositivo que se utilizará para esta función es un relé electromecánico que funciona a 12 [V DC], posee dos tipos de conexión los cuales son.

- Normalmente abierto NA.
- Normalmente cerrada NC.

En la figura 50, se observa lo antes descrito.

Relé electromecánico.

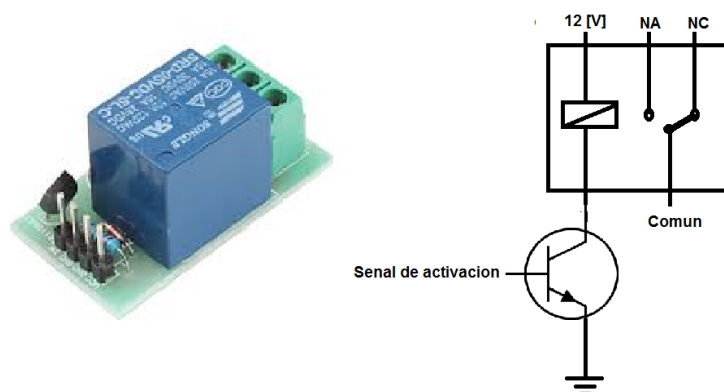


Figura 50. Diagrama esquemático de un relé electromecánico.

Elaborado por: Oscar Moreno.

Mediante el uso del contacto NC se controlará la activación de los fallos, cuando el relé cambie de estado. La señal de control se producirá mediante la interfaz HMI en el software Labview. Este tipo de conexión se realizará con los elementos nombrados anteriormente, además cabe mencionar que a través la interfaz HMI se podrá generar los fallos como también solucionarlos, es decir que el contacto se vuelva a cerrar. A continuación en la figura 51, se indica el diagrama eléctrico de

conexión para la generación de fallos entre los dispositivos: Arduino, PICS y relés electromecánicos.

Diagrama esquemático de conexión de la tarjeta Arduino Mega 2560.

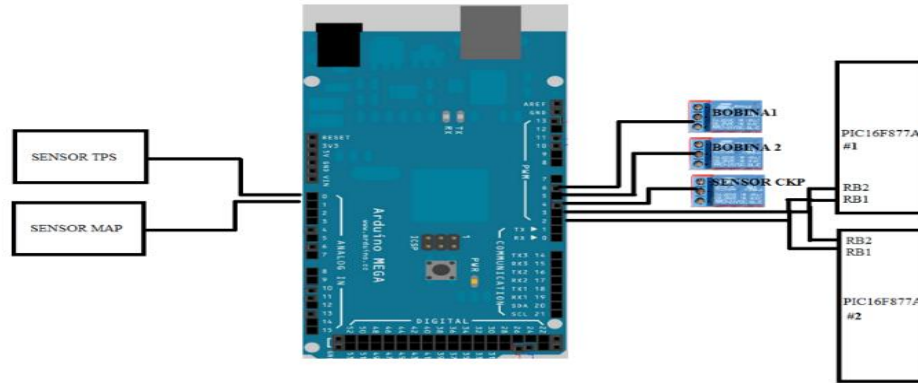


Figura 51. Diagrama de eléctrico para la generación de fallos.
Elaborado por: Oscar Moreno.

3.4. Diseño de la interfaz HMI.

El desarrollo de la interfaz HMI se realizará en el software de programación Labview el cual es un entorno de programación gráfica orientada a la instrumentación electrónica operando en diversos tipos de aplicaciones. Su entorno se divide en dos partes, panel frontal y diagrama de bloques. En el panel frontal está orientado a interactuar con el usuario haciendo uso de indicadores, botones, perillas, etc. A su vez el diagrama de bloques permite la programación gráfica mediante estructuras asociadas a las variables existentes en el panel frontal. En la figura 52, se observa estas dos estructuras.

Pantallas del software Labview.

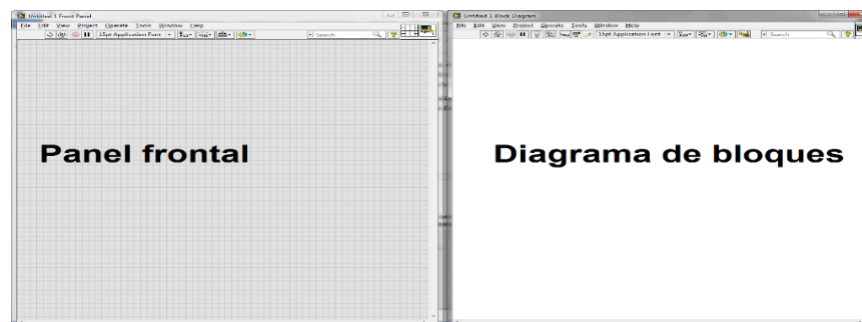


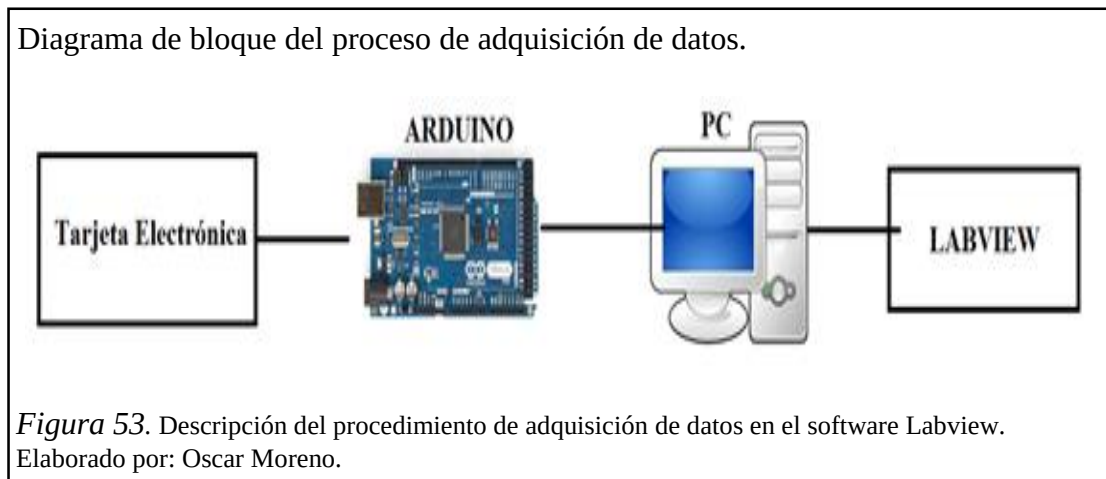
Figura 52. Panel frontal y Diagrama de bloques del software Labview.
Elaborado por: Oscar Moreno.

3.4.1. Adquisición y procesamiento de datos.

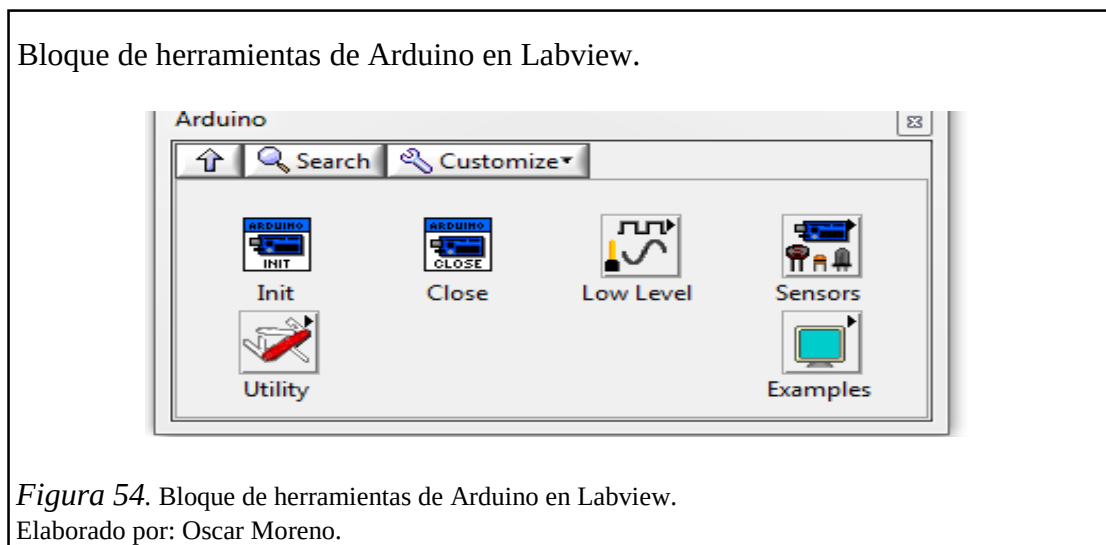
La adquisición de datos se realizará mediante el dispositivo Arduino Mega 2560 ya que este posee una amplia disposición de I/O digitales y analógicas. Además esta tarjeta interactúa con el software Labview a través de comunicación serial USB mediante las siguientes librerías.

- Kit de drives VISA.
- VIPM (VI package manager).
- Labview Interface for Arduino (LIFA).

En la figura 53, se realiza un diagrama esquemático de este proceso.

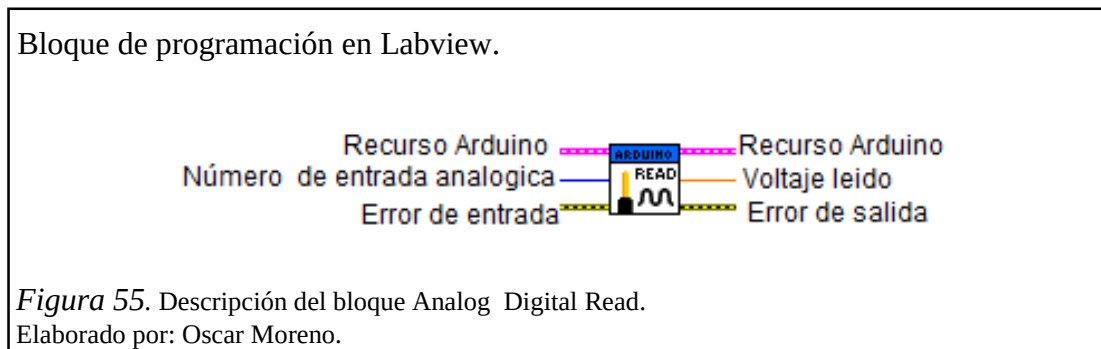


Con instalación de las librerías antes nombradas se incorpora un bloque de herramientas orientado para operar la infraestructura de la tarjeta Arduino la cual se observa en la figura 54.

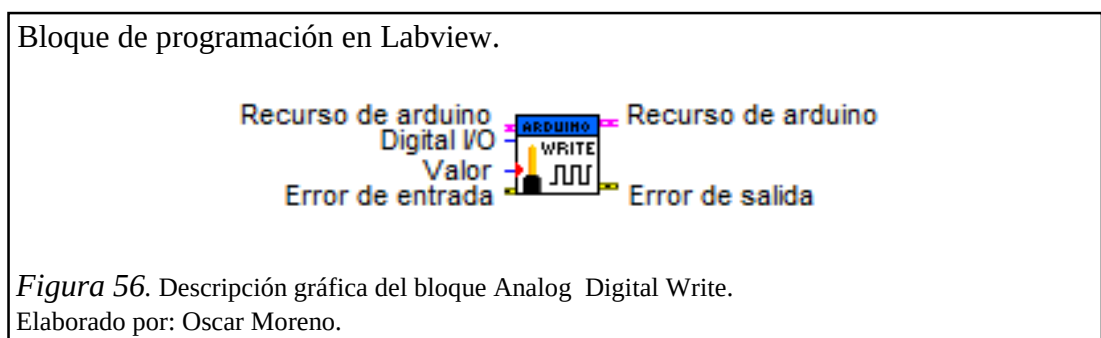


Dentro de estos bloques existen dos que son de interés para el desarrollo de este proyecto, debido a que permitirán leer las variables del sistema y controlar a la tarjeta electrónica. Y son los siguientes: Arduino Analog Read, Arduino Digital Write Pin.

El bloque de entradas analógicas para Arduino Analog Read permite almacenar el valor de voltaje leído en una variable entera con la que se podrá realizar operaciones matemáticas. En la figura 55, se expone la descripción del bloque Analog Read.



A su vez mediante el bloque de escritura de variables digitales Digital Write Pin, se establecerá la señal de control de fallos las cuales se conectarán a los relés que se establecen como interruptores realizando la conexión y desconexión de cables eléctricos. Como es necesario que el funcionamiento de módulo regrese a su funcionamiento normal, se introdujo opciones de solución a los fallos generados. En la figura 56, se visualiza la descripción del bloque Analog Digital Write.



3.4.2. Procesamiento de datos.

Las variables analógicas con las que se trabajará, son los voltajes generados por los sensores MAP y TPS, los cuales serán mostrados mediante indicadores dentro del panel frontal. Los valores digitales de escritura tendrán como función la activación y desactivación de fallos, a través de las señales enviadas a los relés, junto con la

conexión hacia la tarjeta electrónica de control para provocar fallos mediante software.

Como es necesario visualizar mediante indicadores los valores de los sensores pero en unidades reales.

- Sensor MAP en presión del múltiple de admisión [Kpa]
- Sensor TPS [%] de apertura de la mariposa de aceleración.

Para lo cual, se procedió a realizar un el escalonamiento de forma matemática para establecerlos con exactitud. Por lo tanto, se tomará los valores de funcionamiento simulados por la tarjeta electrónica.

Ecuación 11. Interpolación lineal.

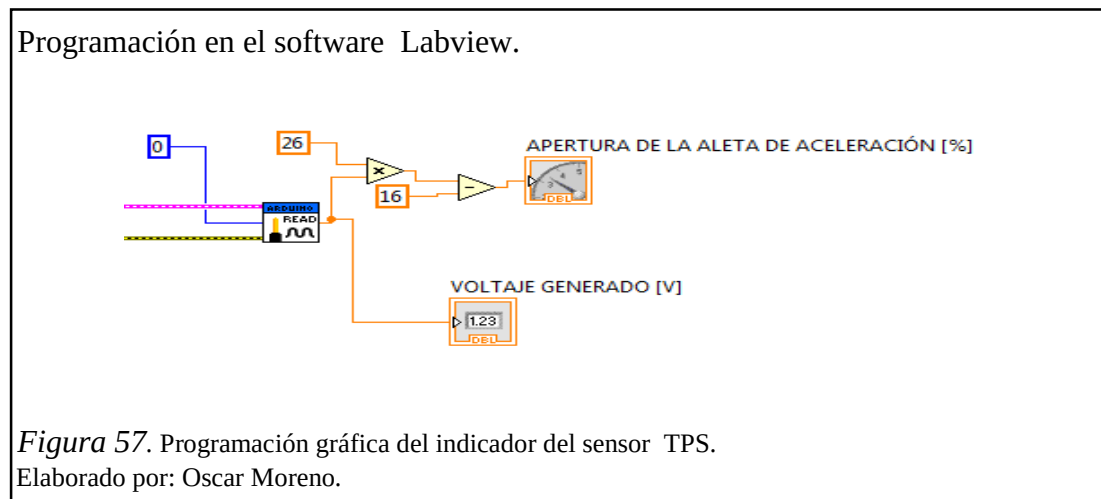
$$y = \frac{(x-x_1)}{x_2-x_1} (y_2 - y_1) + y_1$$

Ecuación 12. Interpolación del sensor TPS.

$$y=25.64x-15.38$$

Donde y =valor %, x= valor voltaje.

A través de la figura 57, se observa la programación gráfica en el software Labview del indicador para el sensor TPS.

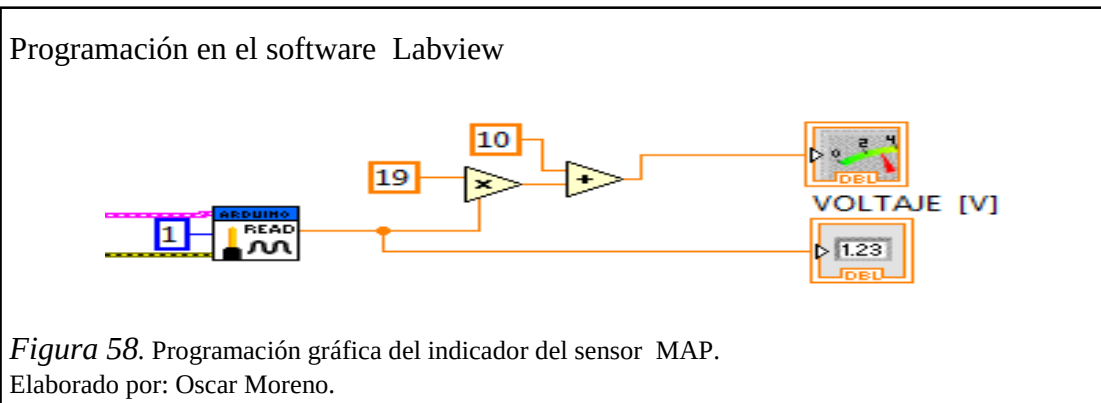


Ecuación 13. Interpolación lineal del sensor MAP.

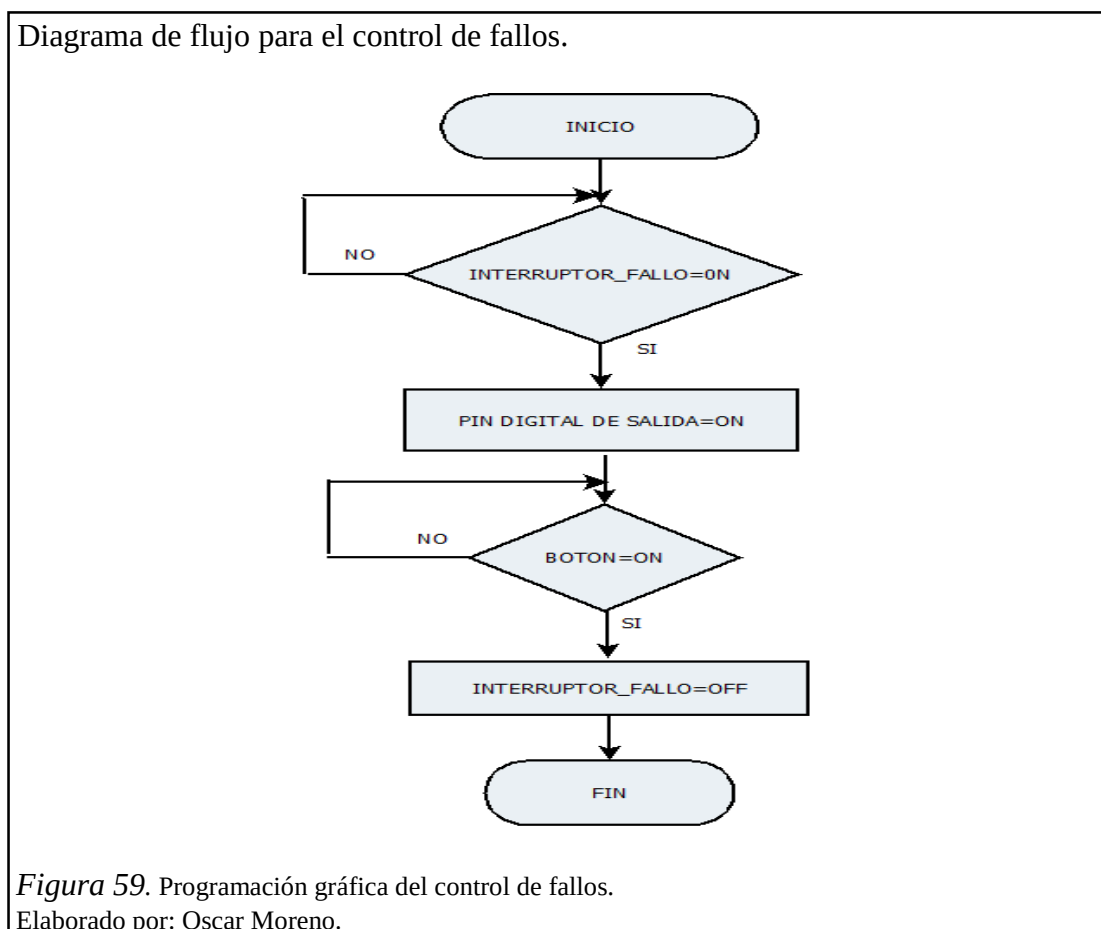
$$y=18.18x+10.$$

Donde y=valor [Kpa], x= [voltaje].

En la figura 58, se aprecia la programación gráfica para visualizar los valores del sensor MAP.



La generación de fallos está realizada mediante herramientas propias de las librerías del software Labview como son interruptores, botones pulsadores. A través de su manipulación se activa la señal que se envía a los relés a través de los puertos digitales que tiene la tarjeta Arduino, tanto de activación como de desconexión. Este proceso se realizó de forma simultánea e independiente para cada fallo programado. A continuación en la figura 59, se explicará este procedimiento mediante un diagrama de flujo.



3.4.3. Diseño de la interfaz gráfica.

Esta ventana interactiva tiene como función enlazar al módulo con los usuarios, en él se podrá visualizar las variables que posee el sistema simulado con sus respectivas unidades de medición, además de controlar la generación de fallos.

También se incluye como un mecanismo adicional donde se podrá encontrar información del funcionamiento del sistema simulado, describiendo a los sensores y actuadores e indicando las causas por la que se produce un fallo.

Cabe indicar que la mayor parte de información de este prototipo se encuentra en la maqueta porque ahí se ubican los elementos electrónicos. Resulta necesario aclarar que es indispensable trabajar en conjunto con un osciloscopio debido a que dentro de la interfaz HMI no se encontrará una herramienta que permita observar la forma de onda de las variables a través del tiempo.

3.4.3.1. Panel principal.

Esta ventana cumple la función de una portada junto a un menú que indica las demás pantallas de navegación que posee esta interfaz las mismas son: TPS, MAP, SENSOR CKP, BOBINAS DE ENCENDIDO y FALLOS.

Otro parámetro importante radica que en esta ventana se encuentra un cuadro de diálogo que muestra las configuraciones de comunicación de la tarjeta Arduino con el software Labview, junto a una perilla para controlar la velocidad del motor del taladro eléctrico. A continuación en la figura 60, se establece lo antes descrito.



3.4.3.2. Pantalla del sensor TPS.

En esta pantalla se muestra mediante indicadores el porcentaje de apertura de la aleta de aceleración y el voltaje generado. Además está compuesta de una imagen descriptiva de sensor junto a la definición teórica del mismo. En la figura 61, se representa esta pantalla.

Pantalla del sensor TPS.

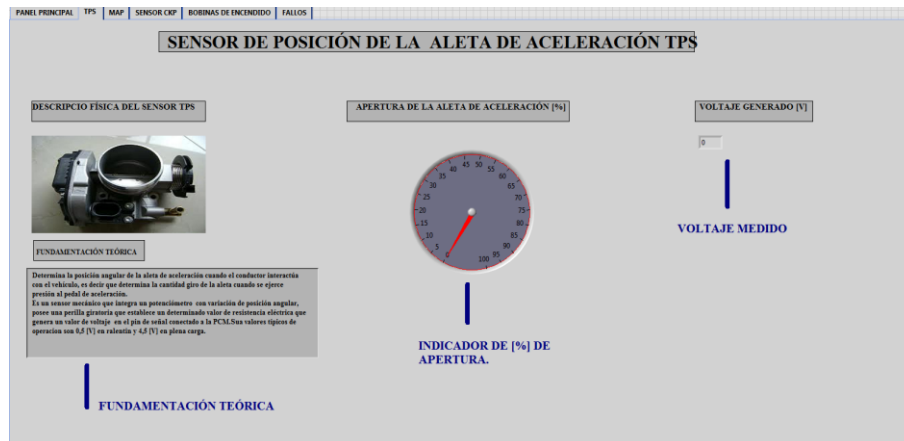


Figura 61. Pantalla del sensor TPS.
Elaborado por: Oscar Moreno.

3.4.3.3. Pantalla del sensor MAP.

Su distribución es igual a la pantalla del sensor TPS, pero se adicionan dos perillas de control de fallos y un cuadro de diálogo que indica el estado de funcionamiento del sensor. Tal como se ve en la figura 62.

Pantalla del sensor MAP.

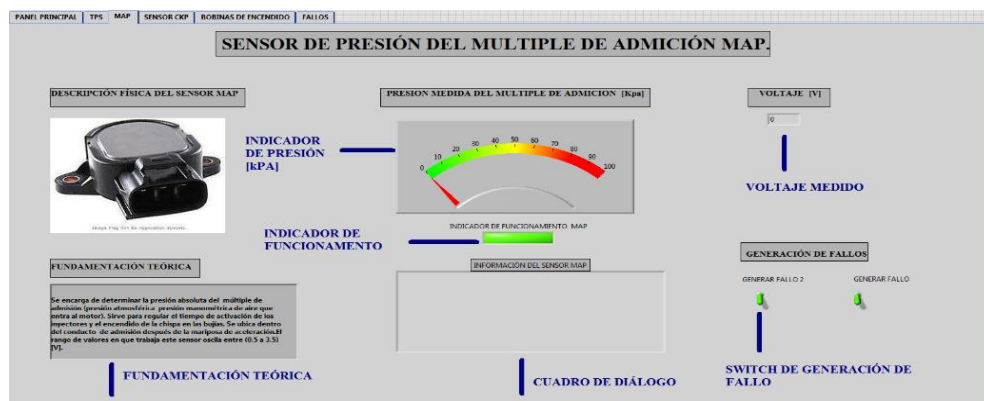


Figura 62. Pantalla del sensor MAP.
Elaborado por: Oscar Moreno.

3.4.3.4. Pantalla del sensor CKP.

La estructuración gráfica es similar a las pantallas descritas anteriormente, como se puede apreciar en la figura 63.

Pantalla del sensor CKP.

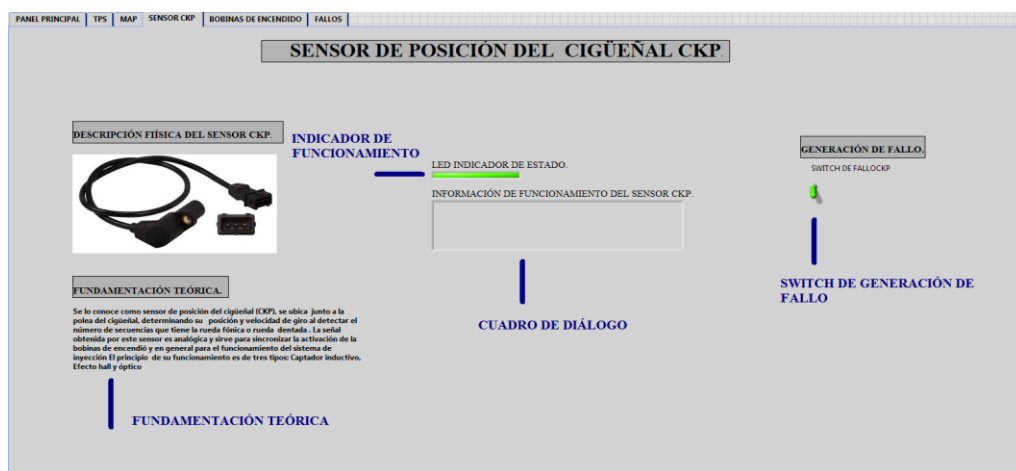


Figura 63. Pantalla del sensor CKP.
Elaborado por: Oscar Moreno.

3.4.3.5. Pantalla de las bobinas de encendido.

En esta pantalla se indican las características de este actuador. Un cuadro de diálogo que muestra su funcionamiento y las perillas de generación de fallo en la señales de encendido. En la figura 64, se expone dichos parámetros.

Pantalla de las bobinas de encendido.

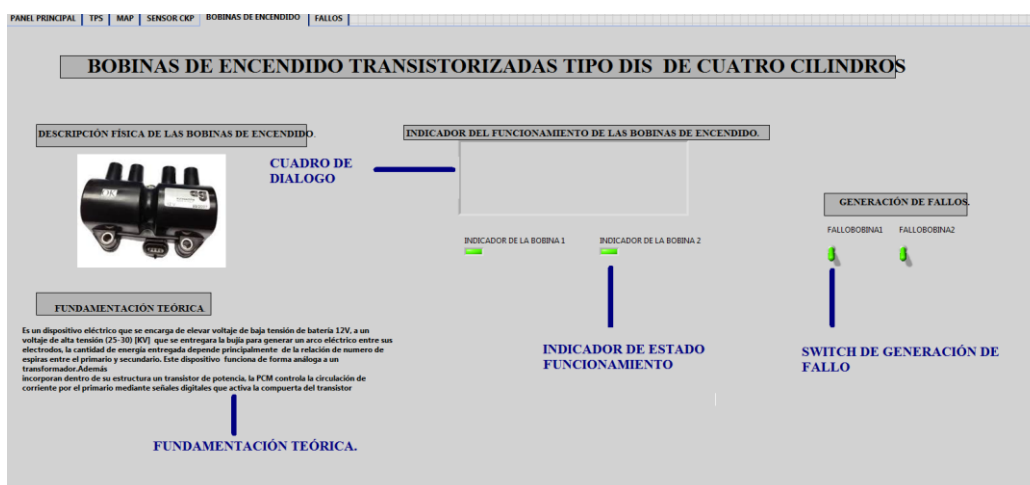


Figura 64. Pantalla de las bobinas de encendido.
Elaborado por: Oscar Moreno.

3.5 Diseño e Implementación de las tarjetas electrónicas de control.

En este subcapítulo se realizará el diseño e implementación de las placas PCB (Printed Circuit Board) por sus siglas en inglés, de las que estará compuesto el módulo de encendido electrónico. Se dividió en cuatro placas a todo el sistema electrónico, debido a la función que tenía cada circuito en el procesamiento y generación de las señales. Las mismas se distribuyeron de la siguiente forma.

- Placa PCB Dimmer.
- Placa PCB Generación del sensor MAP.
- Placa PCB de amplificadores operacionales.
- Placa PCB de generación de las señales de encendido.

Este diseño se implementó mediante el uso del software Proteus junto sus dos herramientas como son: Isis y Ares, los cuales están orientados a mostrar diagrama esquemáticos o planos eléctricos, así como también de asociar los componentes que tiene un circuito permitiendo construir el enrutado para el cableado que tendrá cada placa junto la proyección en 3D de cada uno de los circuitos. Esto ayudará a tener una mejor comprensión de la estructura física de cada uno de los procesos inmersos en este proyecto.

3.5.1. Implementación de la placa PCB del circuito de control de fase Dimmer.

En la figura 65, se observa el diagrama esquemático de la etapa de potencia que controla la velocidad del taladro a través de la herramienta Isis del software Proteus.

Diagrama esquemático.

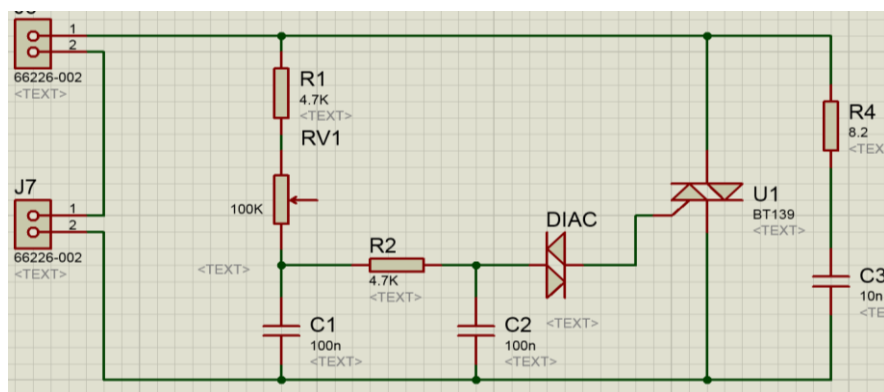


Figura 65. Diagrama esquemático del circuito de potencia realizado en Isis.
Elaborado por: Oscar Moreno.

A través de la figura 66, se indica el diagrama de enrutamiento de la placa junto a una imagen en 3D que presenta la distribución de pines que posee el Dimmer.

Diagrama en Ares y 3D de la placa electrónica del Dimmer.

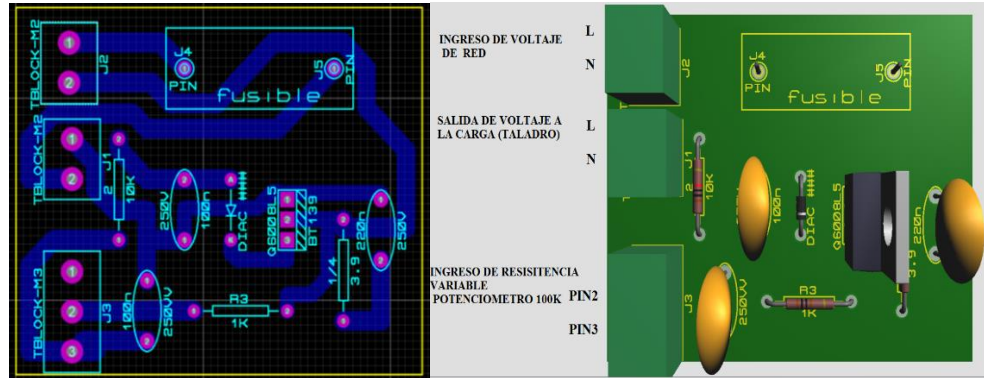


Figura 66. Diagrama en Ares y 3D de la placa electrónica del Dimmer.
Elaborado por: Oscar Moreno.

3.5.2. Implementación de la placa PCB del circuito de generación del sensor MAP.

Como se nombró en el subcapítulo 3.2.5 se utilizó dos microcontroladores que trabajan en conjunto con los integrados MCP4922. Mediante la figura 67, se indica las características que comparten como es la entrada de voltaje variable en su pin conversor ADC.

Diagrama esquemático de la generación de la señal del sensor MAP.

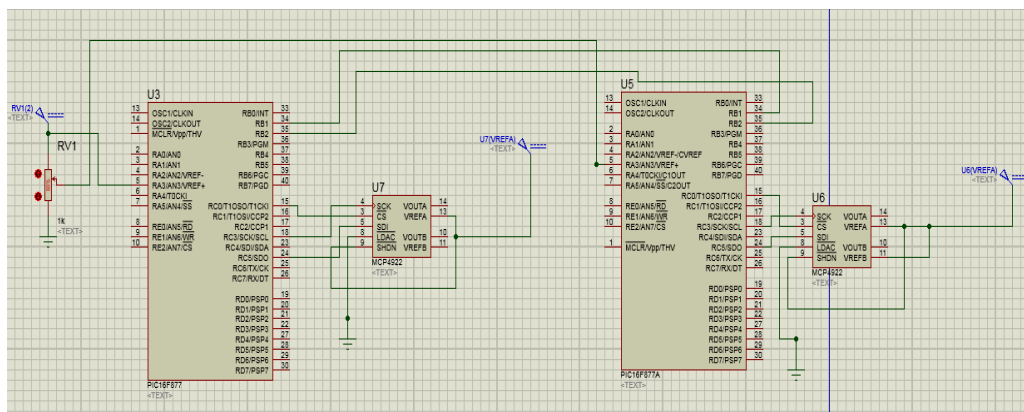


Figura 67. Diagrama eléctrico de la generación de la señal del sensor MAP.
Elaborado por: Oscar Moreno.

A través de la figura 68, se expone un diagrama realizado en Ares junto con el mapa de pines de la placa PCB del circuito del sensor MAP.

Diagrama en Ares y 3D de la generación del sensor MAP.

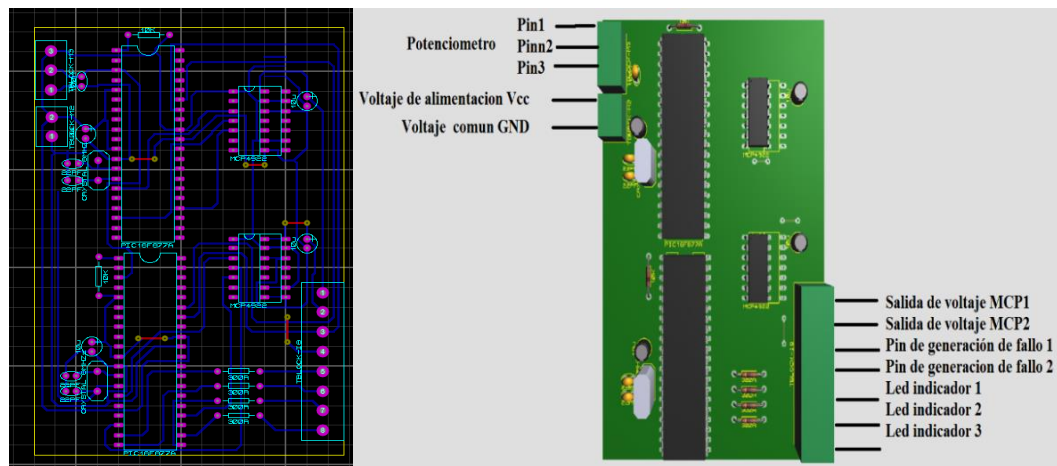


Figura 68. Diagrama en Ares y 3D de la generación del sensor MAP.

Elaborado por: Oscar Moreno.

3.5.3. Implementación de la placa PCB de amplificadores Operacionales.

Esta placa integra los amplificadores operacionales utilizados para acondicionar las señales de los sensores MAP y TPS, la cual se observa en la figura 69.

Diagrama esquemático.

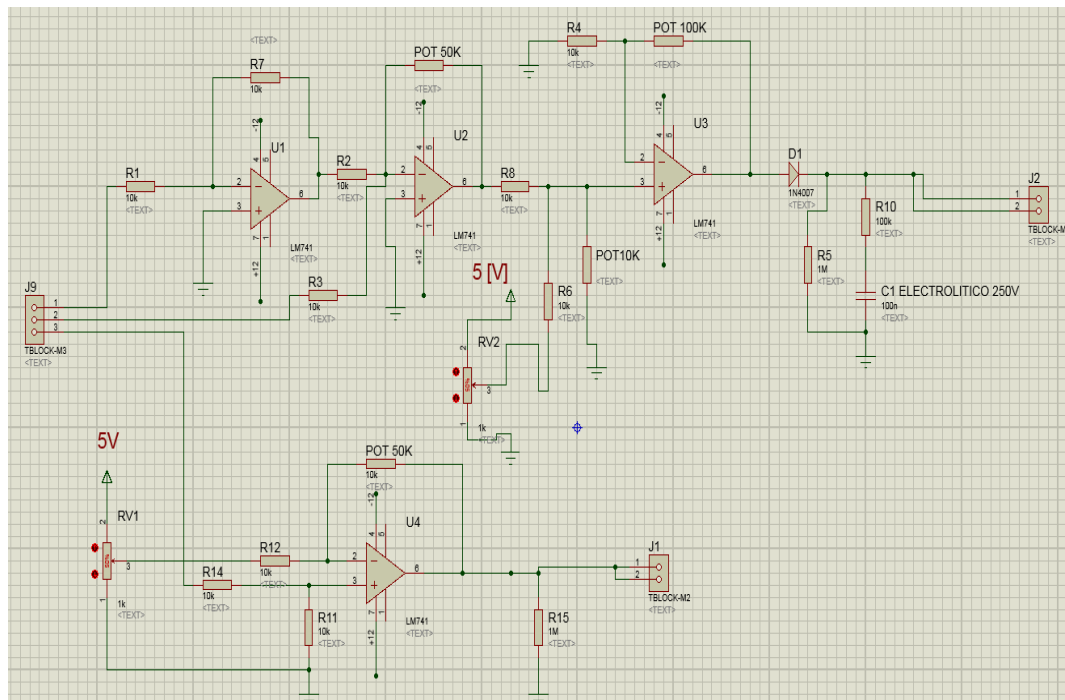


Figura 69. Diagrama eléctrico de la placa que contiene los amplificadores operacionales

Elaborado por: Oscar Moreno.

La figura 72 establece el diagrama de conexión de los dispositivos con la placa junto con el enrutamiento de cables.

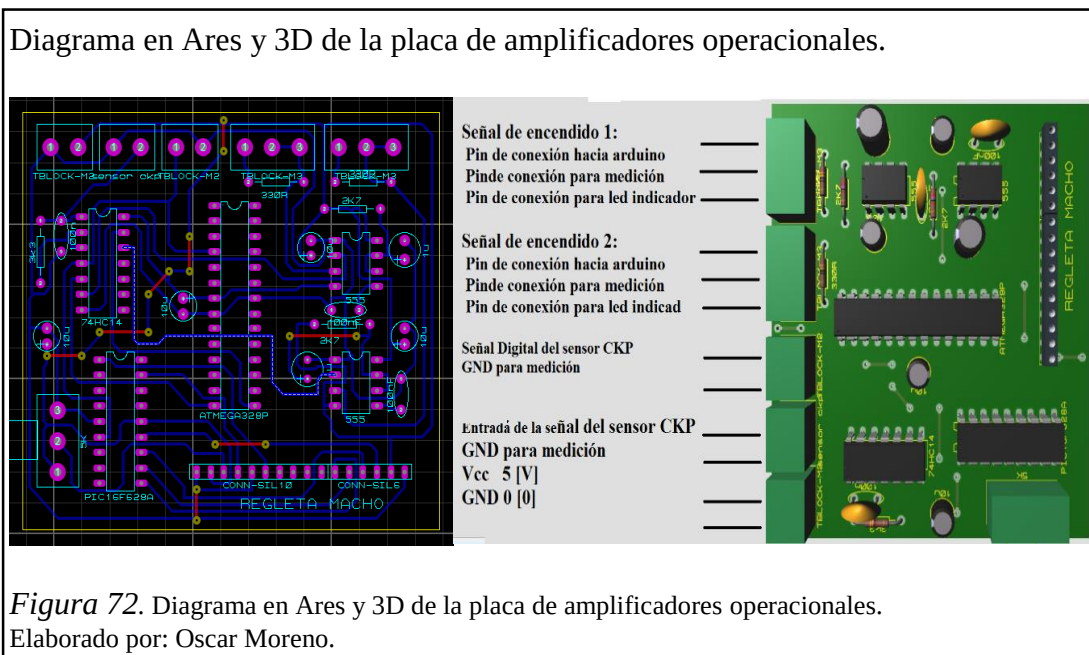


Figura 72. Diagrama en Ares y 3D de la placa de amplificadores operacionales.
Elaborado por: Oscar Moreno.

3.6. Manual técnico del módulo de encendido electrónico DIS.

Es importante conocer las acciones necesarias para tener un uso correcto del módulo al controlar su funcionamiento y realizar mediciones junto con la interfaz HMI implementada en el software Labview.

3.6.1. Configuración de comunicación entre la tarjeta Arduino y el software Labview.

Previo al ingreso a la interfaz HMI se tiene que cargar las librerías que permitan actuar a al dispositivo Arduino como una tarjeta de adquisición de datos para Labview. Inicialmente tiene que existir conexión física entre la PC y la tarjeta mediante un cable USB. Posterior a esta conexión se tiene que abrir el software de programación para Arduino (Arduino IDE 1.6.1) donde se seleccionará el número de puerto serial COM y el tipo de tarjeta a utilizar. Estos pasos visualizan en la figuras 73 y 74.

IDE Arduino.

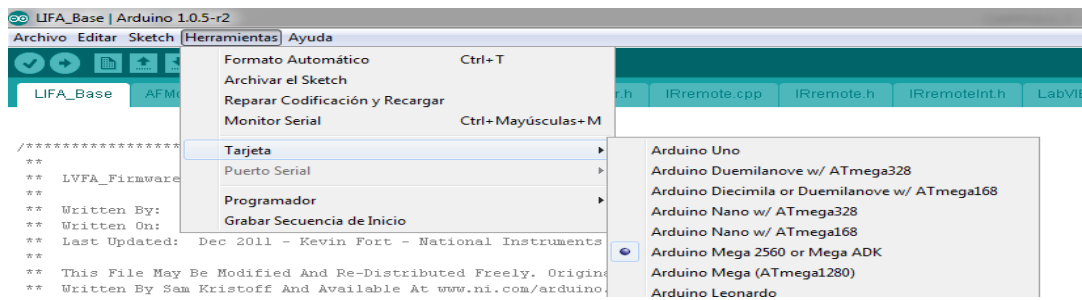


Figura 73. Selección del tipo de tarjeta a utilizar.

Elaborado por: Oscar Moreno.

IDE Arduino

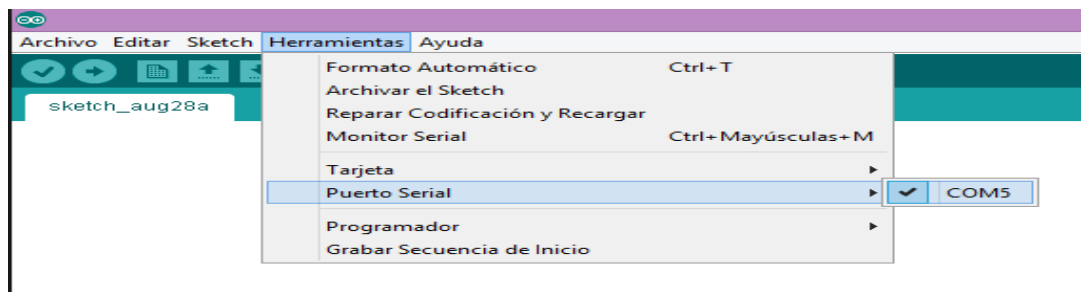


Figura 74. Selección del puerto serie para para comunicación.

Elaborado por: Oscar Moreno.

Luego de haber realizado los dos pasos anteriores se procederá a cargar el archivo de programación LIFA_BASE a la tarjeta Arduino, siendo este el que permita el intercambio de información con Labview, a continuación se describe en la figura 75 lo antes citado.

IDE Arduino.

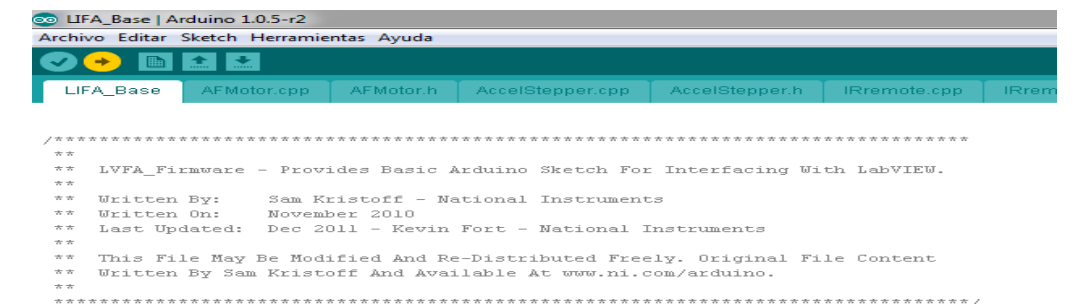
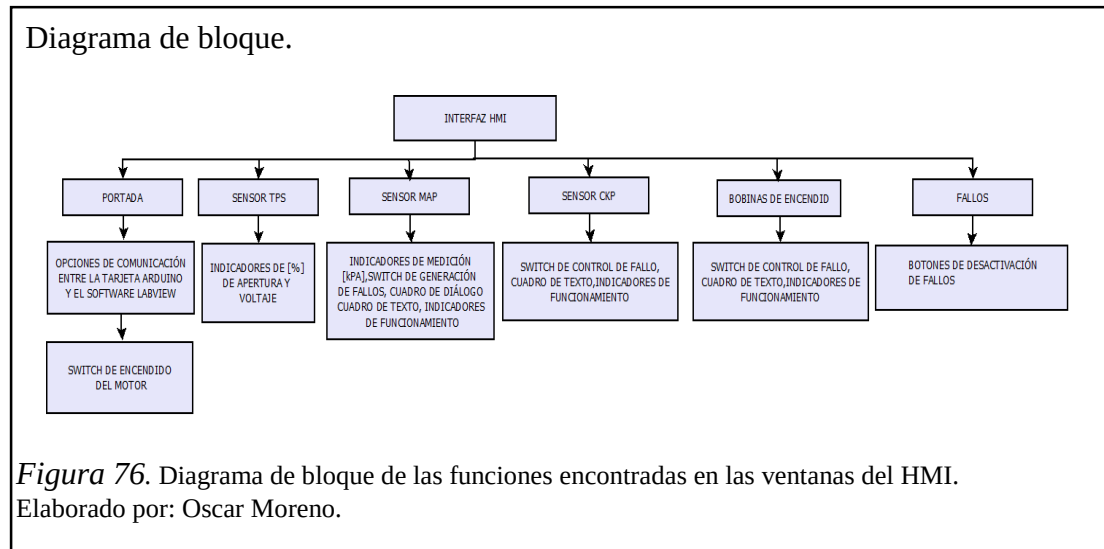


Figura 75. Programación del archivo LIFA_BASE en la tarjeta Arduino.

Elaborado por: Oscar Moreno.

3.6.2. Manejo de la interfaz HMI.

En la figura 76, se visualiza un diagrama de bloques que contiene las herramientas de la interfaz HMI.



3.6.2.1. Configuraciones de comunicación en la interfaz HMI.

Esta explicación partirá en la ventana de portada dentro de la interfaz HMI, donde se configurará los parámetros de comunicación entre la tarjeta Arduino y el software Labview.

Inicialmente se seleccionará el puerto serial USB, además el tipo de tarjeta a usar. En la figura 77 se observa cómo realizar las acciones descritas anteriormente.



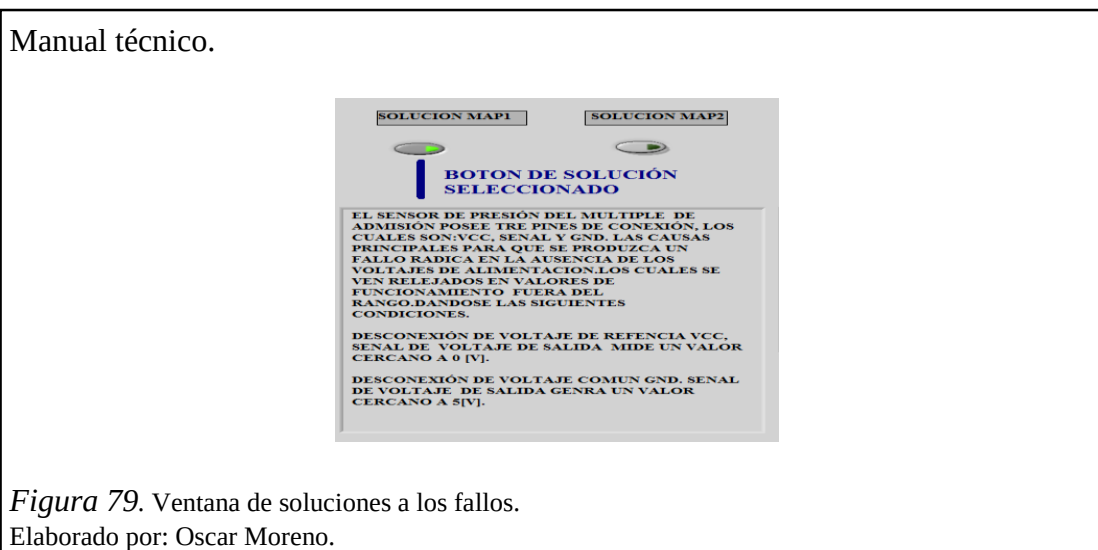
Posterior a este paso es necesario girar la perilla de control de velocidad, permitiendo que el mismo empiece a girar. Además es necesario recalcar que está siempre tiene que encontrarse en posición mínima al encender el módulo, para evitar un posible arranque brusco del taladro, evitando posibles daños a la tarjeta electrónica.

3.6.2.2. Navegación dentro de la interfaz.

El proceso de generación de fallos empieza por activar el switch destinado para este efecto, en cualquiera de las ventanas de los sensores y actuadores. Inmediatamente después se activará un led indicador en color rojo que desplegará un mensaje de advertencia como se expone en la figura 78.



Luego de la generación de fallo, en el cuadro de diálogo indica revisar la ventana donde se encuentra la lista de soluciones para los fallos, en esta se tendrá que leer las posibles opciones de solución y determinar cuál es la correcta. A continuación en la figura 79 se describirá lo antes mencionado.



Como se observa la flecha en la figura 79, se marcó la opción número uno, esto se realizó después de observar los valores de medición del sensor, sumado a la explicación generada en la ventana de fallos. Posterior a esta acción regresar a la ventana del sensor MAP para verificar que la opción marcada ha sido la correcta. Como la opción marcada fue la correcta los indicadores y cuadro de dialogo muestran el funcionamiento normal del sensor. Tal como se visualiza en la figura 80.

Manual técnico.

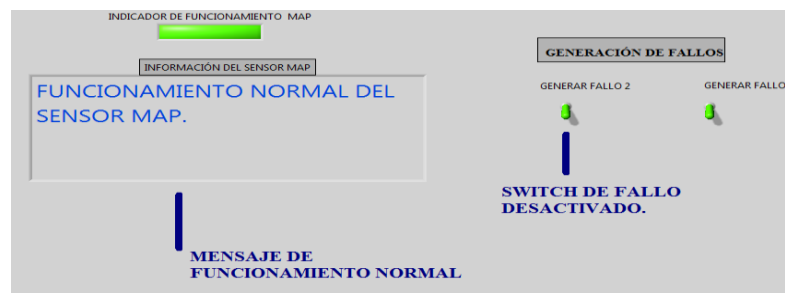


Figura 80. Ventana del sensor MAP en funcionamiento normal.
Elaborado por: Oscar Moreno.

El proceso descrito anteriormente es similar para el control de los fallos en todas las variables que intervienen en esta interfaz, tanto para sensores y actuadores.

3.6.3. Manejo del hardware del módulo de encendido.

La explicación de la operación del módulo partirá al indicar que el control de velocidad del motor eléctrico del taladro se realizará a través del giro angular de la perilla que se indica en la figura 81.

Manual técnico.



Figura 81. Perilla giratoria de control de velocidad.
Elaborado por: Oscar Moreno.

La medición de las variables generadas en el módulo se podrá realizar de dos formas a través del uso de dispositivos orientados para este propósito como son: multímetro y osciloscopio mediante conectores banana hembra ubicados en la maqueta tal como se representa en la figura 82.

Manual técnico.



Figura 82. Conectores banana hembra para medición de las señales generales.
Elaborado por: Oscar Moreno.

Las formas de onda del sensor CKP junto con las de encendido solo se podrán medir con un osciloscopio. A continuación en la figura 83, se muestra este procedimiento.

Manual técnico.

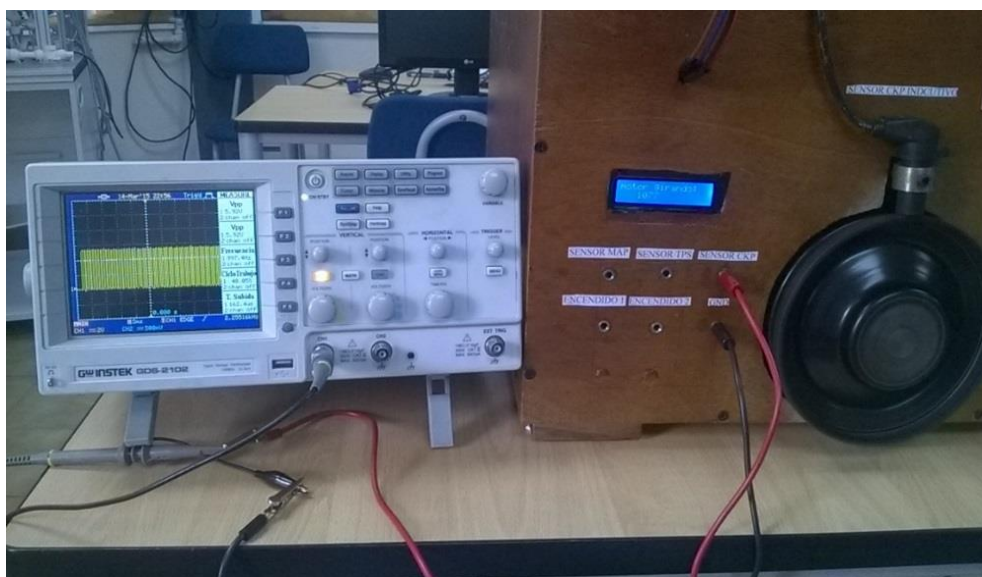


Figura 83. Medición de la señal del sensor CKP con un osciloscopio.
Elaborado por: Oscar Moreno.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS.

El objetivo de este capítulo es analizar el comportamiento del módulo tanto en la parte electrónica como en lo mecánico, relacionando los valores simulados junto con las señales de salida para el encendido.

4.1. Pruebas mecánicas.

4.1.1. Control de velocidad del motor eléctrico del taladro.

El análisis mecánico del módulo partirá al establecer una relación entre el voltaje [AC] que recibe el taladro en función de las RPM de giro, esto es necesario debido al método de control de velocidad que se utilizó. Como los datos obtenidos en la medición de las RPM presentan fluctuaciones, se adquirió valores de esta magnitud en un intervalo de 8 segundos, a los que se procesó mediante la fórmula de la media aritmética o promedio para establecer el valor más representativo de RPM. Se realiza esta acción porque el voltaje [AC] que entrega el Dimmer al taladro permanece fijo.

Ecuación 14. Cálculo de la media aritmética.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

El resultado de este procedimiento se visualiza en la figura 84.

Relación entre voltaje [AC] y RPM.

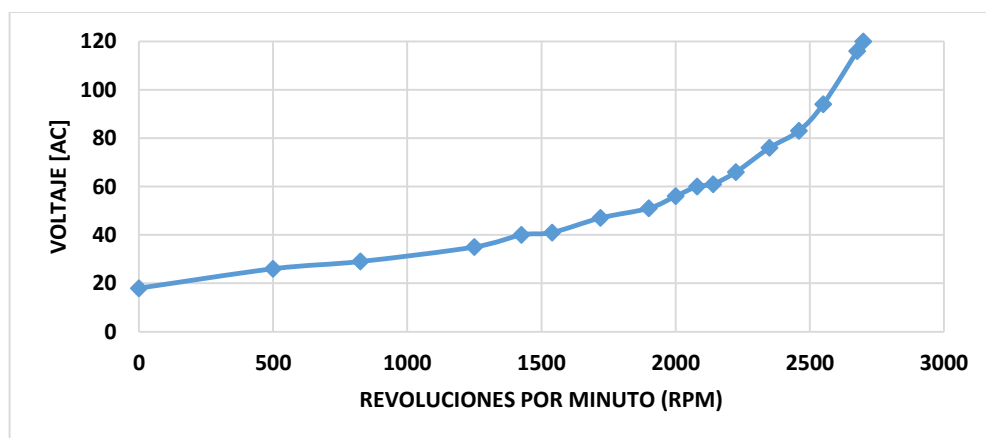


Figura 84. Gráfica de voltaje en la carga vs RPM.
Elaborado por: Oscar Moreno.

Además se determinó que el tiempo necesario para que la velocidad de la rueda dentada se establezca es de 4 segundos luego de la perilla de control se fije en una posición determinada.

También es importante nombrar que el taladro responde a una aceleración súbita en 3 segundos cuando su velocidad varía desde 800 hasta 2500 RPM.

4.2. Pruebas de la tarjeta electrónica.

4.2.1. Sensor TPS.

Se estableció una relación entre el voltaje simulado del sensor TPS con el porcentaje de apertura de la aleta de aceleración, para lo cual se asumió como 0% a 800 RPM y 100% a 2500 RPM. Dando como resultado la gráfica que se aprecia en la figura 85.

Señal de voltaje del sensor TPS.

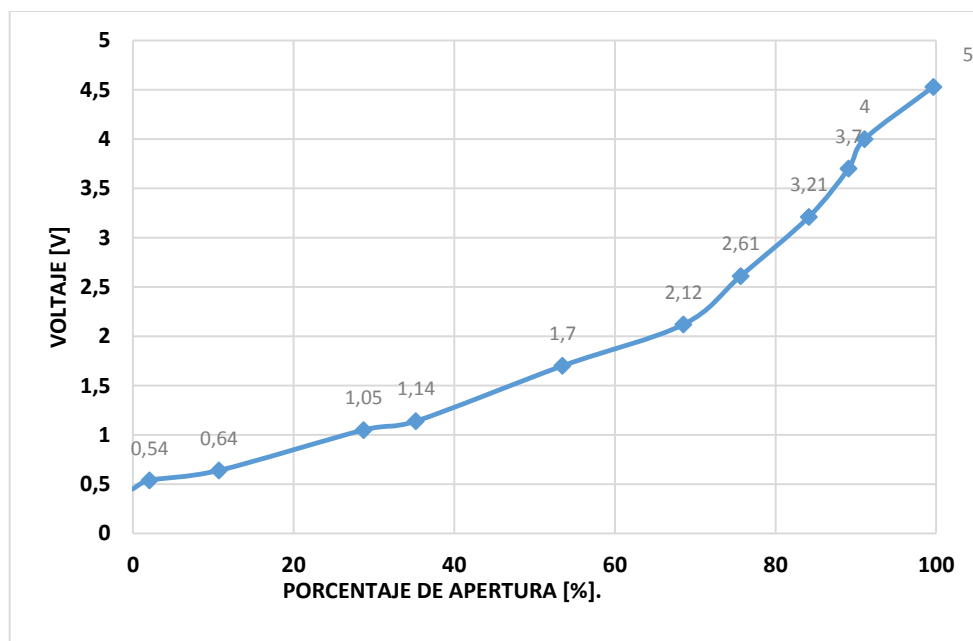


Figura 85. Gráfica de voltaje VS porcentaje de apertura del sensor TPS.
Elaborado por: Oscar Moreno.

A continuación en la figura 86, se observa la señal generada del sensor TPS, cabe acotar que la señal graficada se obtuvo después de realizar variaciones de velocidad.

Señal simulada del sensor TPS

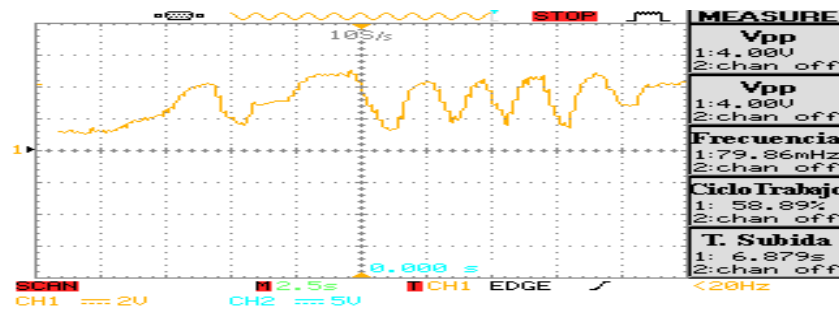


Figura 86. Señal simulada del sensor TPS.

Elaborado por: Oscar Moreno.

4.2.2. Sensor MAP.

Por la naturaleza de funcionamiento de esta señal, no se puede realizar una relación entre el voltaje simulado con las RPM, si no que esta se establece mediante un cambio brusco de velocidad, por lo tanto, se tiene que existirá un valor pico máximo de 3.5 [V DC] cuando se tenga una aceleración súbita, pero cuando no existe aceleración el voltaje se mantendrá en 0.55 [V DC]. También es importante nombrar que los picos de voltaje se producen en cortos periodos de tiempo, el mismo que es de 200 [ms], a continuación la figura 87 representa la gráfica de voltaje VS Presión.

Señal de voltaje del sensor MAP

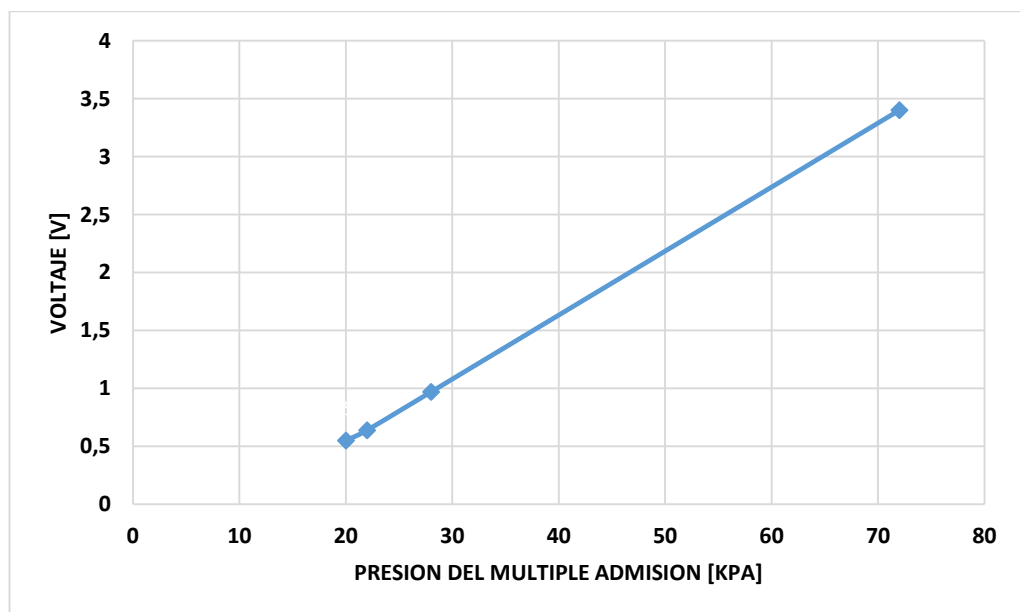


Figura 87. Gráfica de voltaje VS Presión del sensor MAP.

Elaborado por: Oscar Moreno

En la figura 88, se representa la señal de voltaje del sensor MAP simulada.

Señal de salida del sensor MAP simulada.

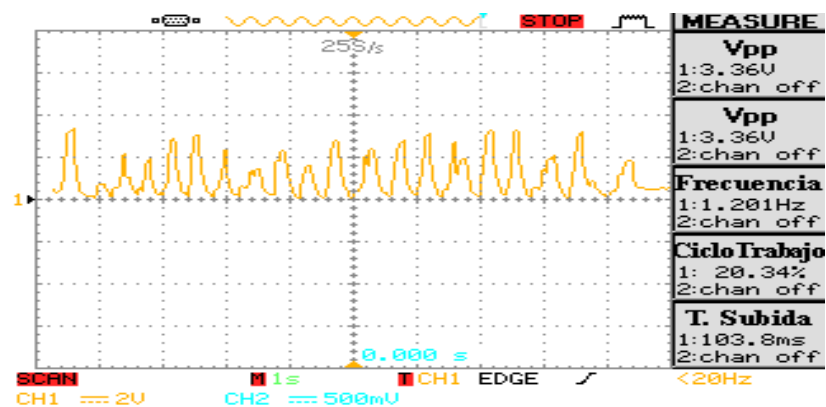


Figura 88. Señal de salida del sensor MAP simulada.
Elaborado por: Oscar Moreno.

4.2.3. Señales de salida para el encendido.

La generación de las señales de encendido se medirán al establecer frecuencia con que se producen, las cuales vienen dadas por la velocidad de giro de la rueda dentada, a continuación en la figura 89, se expone la gráfica que relaciona a estas dos variables.

Gráfica de frecuencia vs RPM de las señales de encendido.

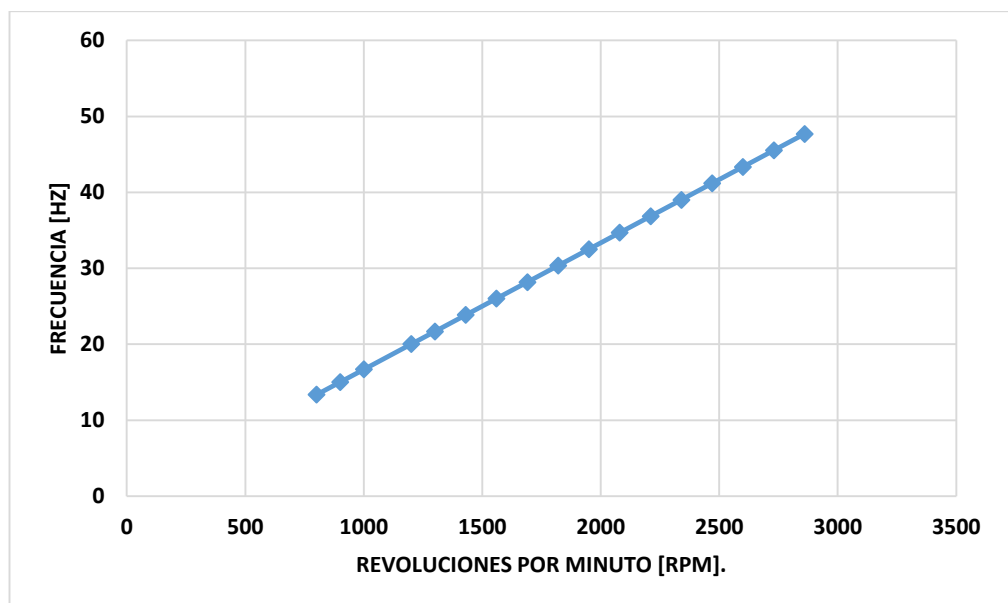


Figura 89. Gráfica de frecuencia vs RPM de las señales de encendido.
Elaborada por: Oscar Moreno.

Para notar un cambio en la frecuencia es necesario comparar las gráficas de las señales de encendido de las dos bobinas cuando se presentan variaciones en las RPM, esto se observa en la figura 90.

Señales de encendido para las bobinas.

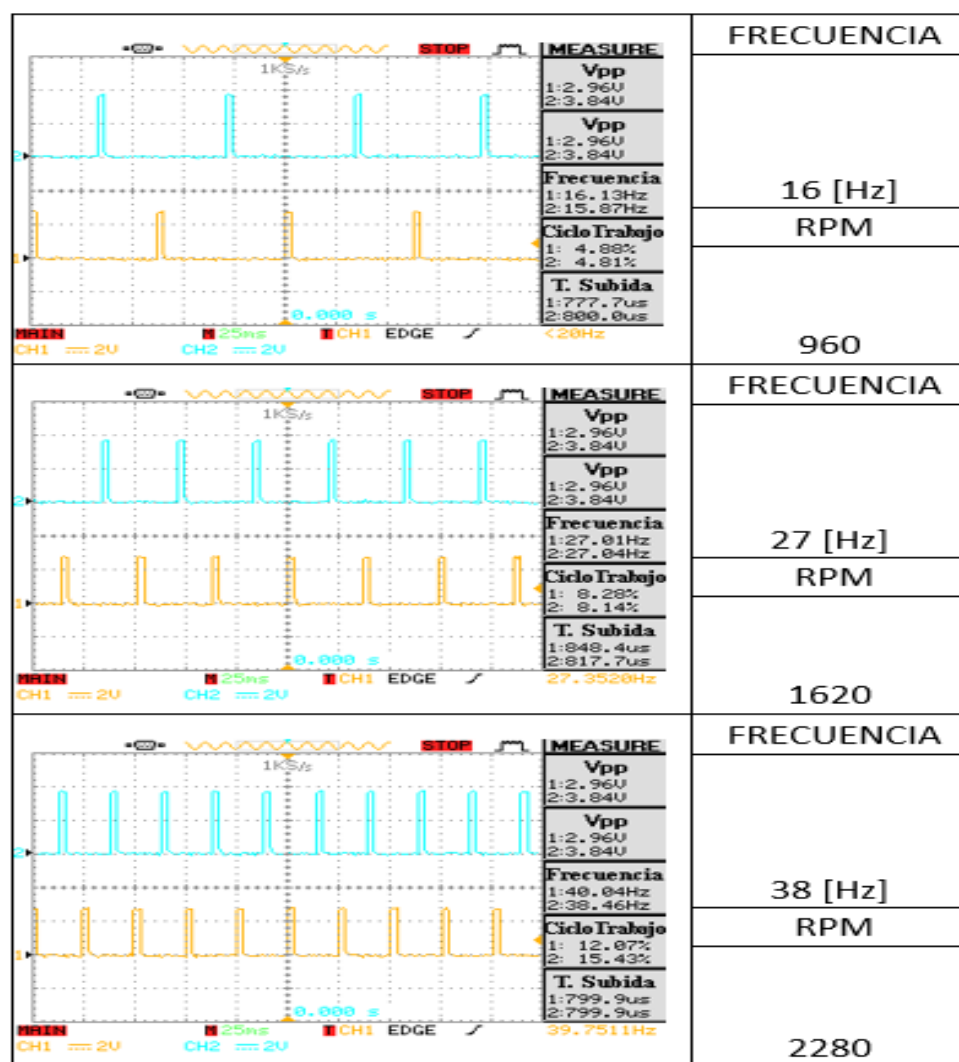


Figura 90. Señales de encendido para las bobinas.
Elaborada por: Oscar Moreno.

A través de lo expuesto en la figura 90, se logra diferenciar que mientras exista mayor velocidad de giro en la rueda dentada la frecuencia de encendido aumenta, es decir, que el tiempo de separación entre cada pulso de encendido disminuye.

Mediante el uso de un multímetro se corroboró que la corriente continua consumida por la bobina de encendido transistorizada tipo DIS es de 0.98 [A] en el momento en que se produce el arco eléctrico entre los electrodos de las bujías.

4.3. Presupuesto.

Para la elaboración de este proyectos se generaron los siguientes costos en la adquisición de materiales, los citan a continuación en la tabla 5.

Tabla 5.
Presupuesto.

Costos del proyecto.			
Equipos y materiales	Cantidad	P/U	TOTAL
Bobinas de encendido	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Bujías	4	\$ 3,00	\$ 12,00
Cables de bujía	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Taladro	1	\$ 75,00	\$ 75,00
Elementos mecánicos	1	\$ 150,00	\$ 150,00
Elementos electrónicos	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Tarjeta Arduino	1	\$ 80,00	\$ 80,00
Maqueta del modulo	1	\$ 250,00	\$ 250,00
		TOTAL	\$ 752,00

Nota: Solo se asumió los costos de los equipos utilizados.
Elaborado por: Oscar Moreno.

CONCLUSIONES

El mecanismo implementado (taladro) que utilizó para emular el funcionamiento del motor del vehículo presenta oscilaciones de ± 50 RPM a bajas relaciones y ± 10 RPM en altas revoluciones esto se genera porque internamente existen engranajes mecánicos dentro de la estructura del motor eléctrico del taladro los cuales afectan al giro provocando fluctuaciones, siendo necesario un tiempo de estabilización de cuatro segundos cuando se realicen pruebas con una velocidad de giro angular constante.

Se determinó que los rangos de operación de los elementos (sensores y actuadores) que se integraron en la construcción del módulo del sistema de encendido electrónico DIS están limitados a un intervalo de (800 a 2500) RPM, representando un 41% del valor real producido en el vehículo, provocando que se acondicione los valores de operación simulados de los sensores MAP Y TPS en un 100% de su escala de funcionamiento.

Se estableció que la corriente consumida por el primario de la bobina de encendido utilizada para módulo de encendido es de aproximadamente 1 [A] lo que establece el 10% de su capacidad total, este bajo consumo se genera porque para producir el arco eléctrico en la bujía solo debe romper el dieléctrico del aire.

La variación de frecuencia de con que se generan las señales digitales cuadradas para encendido vienen directamente relacionadas a la velocidad de giro de la rueda dentada, las cuales operan en un intervalo de 13 [Hz] hasta 42 [Hz], manteniendo constante el tiempo de activación Dwell de 3 [ms], variando solamente el periodo de separación entre las señales de encendido.

RECOMENDACIONES.

Para mejorar el funcionamiento del sistema se podrá utilizar una tarjeta de adquisición de datos para Labview DAQ, la misma que permitirá visualizar en tiempo real a todas las señales simuladas mediante software, sin necesidad de usar un osciloscopio ya en este tipo de tarjeta se tiene una mayor frecuencia de trabajo.

Modificar el tipo de actuador utilizado para producir el giro de la rueda dentada, a un dispositivo que no presente fluctuaciones de velocidad producidas por efectos mecánicos. Pero que responda de forma rápida a variaciones de velocidad producidas por un controlador electrónico designado para este efecto.

Seguir los pasos que se indican en el manual técnico para realizar un uso correcto del módulo.

No realizar un funcionamiento continuo del módulo mayor a 15 minutos para evitar posibles elevaciones de temperatura en el motor eléctrico del taladro.

Al momento de intentar cambiar una bujía se tiene que tomar en cuenta existe un cable de conexión a voltaje común soldado en la estructura metálica del cable de bujía.

LISTA DE REFERENCIAS

- Albert, M. (1991). Encendido electrónico. En M. Albert, Encendido electrónico (págs. 52-62). Barcelona: Ediciones Alfaomega.
- An Engineer's Blog. (05 de 03 de 2015). Obtenido de <http://scottsnowden.co.uk/?p=221>.
- BERU. (2008). Informacion sobre bobinas de encendido. Tecnologia de encendido, 24.
- Beto Booster. (2005). Secretos del Encendido Electronico. NUK publicaciones .
- Beto, Booster. (s.f.). Curso de sensores MAP.
- Boch Corporation. (2008). Bujías de encendido. Tecnología de punta, 1-14.
- Booster, B. (03 de 03 de 2015). Encendido Electrónico. Obtenido de <http://www.encendidoelectronico.com/vista.php?id=45>
- Bosch Corporation . (2008). Sistemas de Encendio .
- Clasf. (03 de 03 de 2015). Obtenido de <http://www.clasf.co.ve/q/cable-bujia-chevrolet-spark-4-cil-mot-valve/>
- Cooper Automotive. (1996). Ignition System. Technical Bulletin, 1-4.
- e-auto. (03 de 03 de 2015). Obtenido de http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=227
- Jiménez, J. (2012). Análisis de operación y comportamiento de sistemas chispa perdida y cop. Quito.
- M D H MOTORS. (03 de 03 de 2015). Obtenido de <http://mdhmotors.com/pico-technology>.
- pico technology. (03 de 03 de 2015). Obtenido de <http://www.picoauto.com/waveform/Actuators/ThrottlePosition/wave21.html>
- recambing.blog. (03 de 03 de 2015). Obtenido de <http://www.recambing.es/blog/tag/bujias/>
- SUZUKI MOTOR CORPORATION. (1999). Manual de servicio Chevrolet Aveo.
- Toyota. (s.f.). Inyeccion Electrónica de combustible.