



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**DISEÑO DE UN BANCO DIDÁCTICO DEL SISTEMA DE ENCENDIDO DEL
MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO PARA EL APOYO EN EL PROCESO DE
ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Automotriz

**AUTORES: MARLON DAVID TACURI ERAS
JAVIER KLEIN AVILA PEÑAFIEL**

TUTOR: ING. MARCELO ESTRELLA GUAYASAMIN, PHD.

Guayaquil – Ecuador

2025

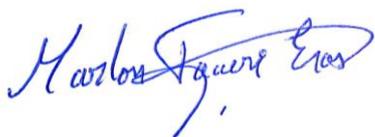
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Marlon David Tacuri Eras con documento de identificación N° 0953529187 y Javier Klein Avila Peñafiel con documento de identificación N° 0950157222; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 25 de Febrero del año 2025

Atentamente,



Marlon David Tacuri Eras

0953529187



Javier Klein Avila Peñafiel

0950157222

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Marlon David Tacuri Eras con documento de identificación No. 0953529187 y Javier Klein Avila Peñafiel con documento de identificación No. 0950157222, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño de un banco didáctico del sistema de encendido del motor de encendido provocado, para el apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje en instituciones educativas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 25 de Febrero del año 2025

Atentamente,



Marlon David Tacuri Eras

0953529187



Javier Klein Avila Peñafiel

0950157222

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. Marcelo Xavier Estrella Guayasamín, PhD con documento de identificación N° 1714460761, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN BANCO DIDÁCTICO DEL SISTEMA DE ENCENDIDO DEL MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO, PARA EL APOYO EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS, realizado por Marlon David Tacuri Eras con documento de identificación N° 0953529187 y por Javier Klein Avila Peñafiel con documento de identificación N° 0950157222, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 25 de Febrero del año 2025

Atentamente,



Marcelo Xavier Estrella Guayasamín

1714460761

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y a mis padres, que son los pilares fundamentales en mi vida, gracias a su enseñanza, esfuerzo y dedicación, me han formado como una excelente persona, dándome su apoyo y su cariño incondicional siempre.

Marlon Tacuri Eras

Este trabajo se lo dedico a Dios, mis padres y familia por ser quienes me han apoyado en todo momento, gracias a su esfuerzo y sacrificio me han ayudado a mejorar como ser humano, con su apoyo y cariño me han guiado por el buen camino, la cual estaré eternamente agradecido.

Javier Avila Peñafiel

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por iluminar mi camino, y acompañarme durante todo el proceso de desarrollo del proyecto. Por brindarme la fortaleza e iluminar mi mente permitiendo afrontar y superar mis retos, ayudándome a formar como persona y crecer cada día.

Agradezco a mi madre y mi padre por siempre brindarme su apoyo y su amor, por siempre estar presente en cada momento de mi vida, dándome el mejor ejemplo de valentía, esfuerzo y dedicación.

También quiero agradecer al Ing. Marcelo Estrella por darnos la oportunidad de ser nuestro tutor de tesis y habernos brindado su apoyo y asesorías durante el transcurso de desarrollo del proyecto, gracias a su conocimiento nos ha permitido llevar a cabo este trabajo.

Finalmente agradecer al personal docente de la universidad, que nos has brindado su conocimiento durante el transcurso de mi estudio académico.

Marlon Tacuri Eras

En este proyecto quiero dar gracias a Dios y la Virgen por haberme bendecido en toda esta etapa de estudios universitarios, en especial por los maravillosos padres que me han tocado quienes han sido el pilar fundamental en toda mi vida.

Para mis padres quienes han sido mi mayor apoyo en mis estudios, mi madre Emperatriz quien ha sabido brindarme su amor y consejo en todo momento, a mi padre Javier, quien ha sido mi guía en este proceso de aprendizaje, ambos me dieron el apoyo que siempre necesité y estaré eternamente agradecido con ellos por su consejo en cada etapa de mi vida.

De la misma forma estaré siempre agradecido con mi novia Micaela quien ha sido un apoyo incondicional y siempre ha estado conmigo en cada momento, de igual manera a nuestra hija Katalina quien ha sido mi inspiración que con su sonrisa ha alegrado cada uno de mis días.

Javier Avila Peñafiel

RESUMEN

El presente proyecto aborda la problemática del limitado acceso a herramientas didácticas actualizadas en el ámbito automotriz, debido a los elevados costos de equipos comerciales y su escasa disponibilidad en los centros educativos, ya que la mayoría de estos dispositivos no se encuentran en el mercado local. Esta situación dificulta la formación educativa de ingenieros y técnicos en sistemas modernos de encendido, resaltando la necesidad de desarrollar herramientas educativas más accesibles que conserven la funcionalidad de los sistemas comerciales.

En el proyecto, se diseñó un banco didáctico del sistema de encendido de motores de encendido provocado (MEP) como una herramienta de enseñanza y aprendizaje para instituciones educativas. Este banco permite simular el funcionamiento del sistema de encendido, junto con la generación de señales de sensores, como el de posición del cigüeñal (CKP), árbol de levas (CMP), detonación (KS), además del funcionamiento de las bobinas de encendido tipo COP y DIS y la simulación de principales fallas de cada componente.

Para su desarrollo, se implementó tecnología Arduino en la integración de los circuitos electrónicos, lo que permite la simulación de señales y la generación de fallas controladas para su análisis y diagnóstico. El proyecto incluyó la identificación de los sistemas de encendido de los vehículos más comercializados en Ecuador, el desarrollo de circuitos electrónicos, además de un diseño de banco didáctico con planos constructivos y la elaboración de un prototipo funcional para validar la propuesta.

Finalmente, se realizó un análisis técnico-económico para evaluar la viabilidad de su implementación en instituciones educativas, considerando costos, alcance, limitaciones y ventajas en comparación con los equipos comerciales. Como resultado, el banco didáctico se presenta como una alternativa viable y accesible para la formación académica en el área automotriz, proporcionando una herramienta práctica para la enseñanza de los sistemas de encendido modernos.

Palabras claves: banco didáctico, microcontrolador, circuitos electrónicos, diseño.

ABSTRACT

This project addresses the problem of limited access to updated educational tools in the automotive field, due to the high cost of commercial equipment and its limited availability in educational centers, since most of these devices are not available in the local market. This situation hinders the educational training of engineers and technicians in modern ignition systems, highlighting the need to develop more accessible educational tools that preserve the functionality of commercial systems.

In the project, a didactic bench of the ignition system of the spark ignition engines (MEP) was designed as a teaching and learning tool for educational institutions. This bench allows simulating the operation of the ignition system, together with the generation of sensor signals, such as crankshaft position (CKP), camshaft (CMP), detonation (KS), as well as the operation of the COP and DIS ignition coils and the simulation of the main failures of each component. For its development, Arduino technology was implemented in the integration of electronic circuits, which allows the simulation of signals and the generation of controlled faults for analysis and diagnosis. The project included the identification of the ignition systems of the most commercialized vehicles in Ecuador, the development of electronic circuits, as well as the design of a didactic bench with construction plans and the elaboration of a functional prototype to validate the proposal.

Finally, a technical-economic analysis was carried out to evaluate the feasibility of its implementation in educational institutions, considering costs, scope, limitations and advantages compared to commercial equipment. As a result, the didactic bench is presented as a viable and accessible alternative for academic training in the automotive area, providing a practical tool for teaching modern ignition systems.

Key words: didactic bench, microcontroller, electronic circuits, design.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ABSTRACT	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
GLOSARIO	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Problema.....	18
1.2. Objetivos Generales y Específicos	21
a. Objetivo General	21
b. Objetivos específicos.....	21
2. CAPÍTULO II. MARCO TEORICO	22
2.1. Desarrollo del Sistema de encendido	22
2.2. Tipos de sistema de encendido	23
2.2.1. Sistemas de encendido electrónico	23
2.2.2. Sistema de encendido DIS de chispa perdida	24
2.2.3. Sistema DIS de bobina simple.....	25
2.2.4. Sistema DIS de bobina con transistor incorporado.....	26
2.3. Sistema de encendido con bobina Independiente (Coil-On-Plug).....	26
2.3.1. Sistema de encendido COP de bobina simple	27
2.3.2. Sistema de encendido COP con transistor incorporado.....	28
2.3.3. Sistema de encendido COP con módulo incorporado	28
2.4. Sensores y actuadores.....	29
2.4.1 Sensor de posición del árbol de levas (CMP).....	29
2.4.2 Sensor de posición del cigüeñal (CKP).....	31
2.4.3 Sensor de detonación (KS)	32
2.4.4 Bobina de Encendido COP	34
2.4.5 Bobina de Encendido DIS	34
2.5 Fallos principales del sistema de encendido.....	35
2.6 Sistemas de encendido de los vehículos más comercializados en el Ecuador.....	36
2.7 Herramientas didácticas para el aprendizaje practico.....	39

2.7.1.	Parámetros del banco didáctico	39
2.7.2	Bancos didácticos comerciales del sistema de encendido	39
2.8.	Microcontroladores	41
2.8.1	Uso de microcontroladores en la fabricación de un banco didactico a bajo costo.	41
2.8.2	Desarrollo de un simulador educativo para la mejora de aprendizaje	41
2.8.3	Aplicaciones del microcontrolador Arduino Mega 2560	41
2.8.4	Aplicación de C++ para la programación del Arduino Mega	42
2.8.5	Programa Arduino IDE	42
2.8.6	Desarrollo de circuitos eléctricos en el programa Proteus.....	43
3.	CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	44
3.1.	Criterios de diseño del banco didáctico.....	44
3.2.	Sistemas de encendido de los autos mas comercializados en el Ecuador.....	45
3.3.	Desarrollo del hardware	48
3.3.1.	Representación del sistema de encendido COP y DIS	48
3.3.2.	Sistema de alimentación.....	49
3.3.3.	Sistema de Control	50
3.3.4.	Señales de entrada al Banco	51
3.3.5.	Señales de salida del Banco.....	51
3.3.6.	Representación del sistema de fallos del banco.....	52
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	53
4.1.	Diseño de circuitos eléctricos del sistema de encendido.....	53
4.1.1.	Circuito del sistema de encendido COP	53
4.1.2.	Circuito del sistema de encendido DIS	54
4.1.2.1	Cálculo de la resistencia del sistema de control de bobina DIS	55
4.1.3	Diseño del circuito del sensor CKP y CMP	56
4.1.4	Diseño del sistema fallos del banco didáctico	58
4.2	Proceso de creación de placas PCB.....	59
4.2.1	Circuito de alimentación	60
4.2.2	Circuito de control.....	60
4.3	Diseño 3D del banco didáctico.....	64
4.3.1	Diseño de las ruedas dentadas del CKP y CMP	66
4.4	Elementos electrónicos que conforma el banco didáctico.....	68
4.5	Ensamblaje de componentes del banco didáctico.....	70
4.6	Conexiones de los componentes Arduino en el banco didáctico.....	72
4.6.1	Conexiones de los componentes Automotrices en el banco didáctico	74
4.7	Pruebas de funcionamiento.....	77
4.7.1	Descripción de los equipos de medición	77

4.7.2	Prototipo del Banco didáctico	77
4.7.3	Procedimientos de conexión.....	79
4.8	Pruebas de Funcionamiento para medición de voltajes.....	79
4.8.1	Prueba de funcionamiento para oscilogramas del banco didáctico	83
4.8.2	Sección de fallos de elementos del sistema de encendido.....	88
4.9	Análisis de viabilidad técnico- económico del banco didáctico.....	94
4.9.1	Descripción técnica del banco	94
4.9.2	Funcionalidades del prototipo	96
4.9.3	Evaluación de la adaptabilidad.....	97
4.9.4	Disponibilidad de componentes	97
4.9.5	Estimación de costos	98
4.9.6	Costos de fabricación	100
4.9.7	Costos indirectos	100
4.9.8	Comparación con alternativas existentes de bancos didácticos:.....	100
4.9.9	Análisis comparativo.....	101
4.9.10	Beneficios Económicos y Educativos del banco didáctico	103
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
5.1	Conclusiones.....	104
5.2	Recomendaciones	105
6.	REFERENCIAS.....	107
7.	ANEXOS.....	111
7.1	Pruebas prototipo del banco didactico.....	111
7.2	Circuitos eléctricos realizado en Proteus.....	112
7.3	Láminas de construcción del diseño del banco didáctico.....	117
7.4	Código de Arduino del banco didáctico	149

GLOSARIO

Microcontrolador: es una placa de desarrollo programable que contiene un procesador, memoria, para implementarlo como controlador en el diseño del banco didáctico.

CKP (Crankshaft Position Sensor): Sensor que monitorea la posición del cigüeñal para sincronizar la inyección de combustible y el encendido.

CMP (Camshaft Position Sensor): Sensor que detecta la posición del árbol de levas para gestionar el tiempo de apertura de válvulas y la sincronización del motor.

KS (Knock Sensor): Sensor que detecta detonaciones anómalas en el motor para ajustar el avance de encendido y evitar daños.

COP (Coil on Plug): Sistema de encendido que integra la bobina directamente en cada bujía, eliminando cables de alta tensión.

DIS (Distributorless Ignition System): Es un sistema de encendido electrónicos modernos. Este tipo de bobina se utiliza en motores que no cuentan con un distribuidor mecánico tradicional para gestionar la distribución de la chispa a las bujías.

ECU (Engine Control Unit): Unidad electrónica que gestiona y controla diversos parámetros del motor para optimizar su rendimiento y emisiones.

PCM (Powertrain Control Module): Módulo que combina el control del motor (ECU) y la transmisión, coordinando ambos sistemas para un funcionamiento eficiente del tren motriz.

MEP (Motor de encendido provocado): Es una denominación que hace referencia a un tipo de motor de combustión interna en el que la ignición de la mezcla aire-combustible se realiza mediante una chispa provocada por una bujía.

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Sistemas de encendido electrónico	22
Fig. 2. Clasificación del sistema de encendido.....	23
Fig. 3. Diagrama del sistema de encendido DIS	24
Fig. 4. Circuito eléctrico del sistema de encendido DIS.....	25
Fig. 5. Circuito eléctrico del sistema DIS, con bobina simple.....	25
Fig. 6. Diagrama eléctrico de la bobina con transistor incorporado.	26
Fig. 7. Esquema eléctrico del sistema de encendido con bobinas independientes	27
Fig. 8. Circuito de funcionamiento del sistema COP de bobina simple	27
Fig. 9. Circuito de funcionamiento del sistema COP con transistor incorporado.....	28
Fig. 10. Circuito eléctrico del sistema COP con modulo incorporado	29
Fig. 11. Esquema eléctrico del sensor CMP.	30
Fig. 12. Conexión del osciloscopio y Oscilograma del Sensor CMP	30
Fig. 13. Diagrama eléctrico del sensor CKP inductivo, y pines de conexión.....	31
Fig. 14. Diagrama eléctrico del sensor CKP efecto hall, y pines de conexión.	31
Fig. 15. Conexión del osciloscopio y oscilograma del Sensor CKP.....	32
Fig. 16. Diagrama eléctrico del sensor KS, y conexiones del sensor	33
Fig. 17. Conexión del osciloscopio y oscilograma del sensor KS	33
Fig. 18. Conexión del osciloscopio y señal de la bobina COP.	34
Fig. 19. Conexión del osciloscopio y señal de la bobina DIS.	34
Fig. 20. Ventas de vehículos en la provincia del Guayas.	37
Fig. 21. Microcontrolador Arduino Mega2560	41
Fig. 22. Diagrama de flujo de la metodología del proyecto técnico	44
Fig. 23. Diagrama eléctrico del sistema de encendido del vehículo Kia soluto y Kia picanto.....	46
Fig. 24. Diagrama eléctrico del sistema de encendido del vehículo Kia soluto y Kia picanto.....	46
Fig. 25. Diagrama eléctrico del sistema de encendido del vehículo Kia Sportage y Chevrolet Aveo family.....	47
Fig. 26. Diagrama de bloques general del sistema de encendido del banco didáctico	47
Fig. 27. Diagrama de bloques del sistema de encendido COP	49
Fig. 28. Diagrama de bloques del sistema de alimentación general del banco.....	50
Fig. 29. Diagrama de bloques del sistema de control del banco.....	50
Fig. 30. Diagrama de bloques de las señales de entrada del banco	51
Fig. 31. Diagrama de bloques de la señales de salida del banco	51
Fig. 32. Diagrama de flujo del proceso del sistema de fallos del banco.....	52
Fig. 33. Circuito de funcionamiento del sistema COP realizado en proteus	53
Fig. 34. Circuito de funcionamiento del sistema de encendido DIS realizado en proteus	54

Fig. 35. Diseño del circuito del sensor CKP inductivo.....	57
Fig. 36. Circuito de módulo de relés, para fallas del sistema	58
Fig. 37. Esquema de todo el sistema eléctrico del banco didáctico.....	59
Fig. 38. Proceso de diseño de placas PCB	60
Fig. 39. Diseño en proteus del circuito de alimentación.....	60
Fig. 40. Diseño en proteus del circuito de control.....	61
Fig. 41. Diseño de placa PCB, del circuito de alimentación y control	61
Fig. 42. Placa PCB construida del circuito de alimentación.....	62
Fig. 43. Vista esquemática en proteus del circuito eléctrico la maqueta	62
Fig. 44. Diseño de la placa PCB del circuito general de la maqueta	63
Fig. 45. Placa PCB construida del circuito de control.....	63
Fig. 46. Vista 3D del diseño del banco didáctico, de la parte frontal de la maqueta y el recubrimiento posterior.....	64
Fig. 47. Acotaciones de la parte frontal del banco didáctico.....	64
Fig. 48. Diseño 3D de la base del banco didáctico	65
Fig. 49. Acotaciones de la base del banco didáctico	65
Fig. 50. Diseño de ruedas dentadas realizadas en inventor.	66
Fig. 51. Colocación de los Jack banana en el banco.....	70
Fig. 52. Determinación de posición de elementos dentro de la maqueta.....	70
Fig. 53. Ensamblaje de los sensores en el diseño del banco didáctico	71
Fig. 54. Distribución de los componentes del banco didáctico	71
Fig. 55. Distribución de elementos del sistema de encendido en diseño 3D.....	72
Fig. 56. Vista frontal del banco didáctico.....	78
Fig. 57. Identificación de los puntos de medición del banco.....	80
Fig. 58. Conexión de los plug banana para obtener señal de sensores	81
Fig. 59. Conexión de los plug banana para representar el sistema de encendido DIS.....	82
Fig. 60. Conexión de las cables plug banana para representación del sistema COP	83
Fig. 61. Ubicación del teclado para colocar códigos de fallos	89
Fig. 62. Comprobación de voltajes del sensor CMP	89
Fig. 63. Comprobación de voltajes del sensor CKP	92
Fig. 64. Comprobación de falla del sensor KS	93
Fig. 65. Conexiones para comprobación de fallos de la bobina DIS	93
Fig. 65. Conexiones para comprobación de fallos de la bobina COP	94

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I . Códigos de falla principales del sistema de encendido	36
TABLA II . Sistemas de encendido que más predomina en los vehículos	38
TABLA III . Automóviles más vendidos en el año 2014	38
TABLA IV . Información de los principales fabricantes de bancos didácticos	40
TABLA V. Descripción de los pines de conexión de Arduino y bobinas	54
TABLA VI. Descripción de los pines de conexión del arduino mega	55
TABLA VII. Elementos electrónicos que conforma el banco didactico.....	68
Tabla VIII. Elementos electrónicos que conforma la maqueta	69
TABLA IX. Conexiones de los diferentes componentes arduino	73
TABLA X. Conexiones de los componentes automotrices	75
TABLA XI. Descripción de los diferentes partes que conforma el banco didáctico	78
TABLA XII. Voltajes obtenidos de las mediciones de sensores	80
TABLA XIII. Valores del sensor CMP obtenido del prototipo del banco didáctico	84
TABLA XIV. Comparación de oscilogramas del sensor CMP.....	84
TABLA XV. Valores del sensor CKP, obtenido del prototipo del banco didáctico	85
TABLA XVI. Comparación de señal del sensor CKP	85
TABLA XVII. Oscilograma del sensor KS obtenido del prototipo del banco didáctico	86
TABLA XVIII. Comparación de señales del sensor KS	86
TABLA XIX. Oscilograma obtenido del pulso de la bobina del banco didáctico	87
TABLA XX. Oscilograma obtenido de los pines de conexión de la bobina del banco didáctico ..	88
TABLA XXI. Códigos de falla, representados en el banco didactico.....	89
TABLA XXII. Elementos que conforma el banco didáctico	94
TABLA XXIII. Elementos electronicos que conforma el prototipo de banco didáctico	95
TABLA XXIV. Software que fueron usados para el desarrollo del proyecto.....	96
TABLA XXV. Listado de materiales y precios	99
TABLA XXVI. Costos de fabricación para la construcción del prototipo	100
TABLA XXVII. Costos indirectos del desarrollo del proyecto.....	100
TABLA XXVIII. Descripción de los bancos didácticos	101
TABLA XXIX. Desarrollo comparativo de las criterios principales para la evaluación de los bancos didácticos	102

ÍNDICE DE ECUACIONES

(Ecuación 1).....	55
(Ecuación 2).....	56
(Ecuación 3).....	66

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los bancos didácticos desempeñan un papel fundamental en el fortalecimiento de la educación práctica en diversas disciplinas de la ingeniería. Estas herramientas han trascendido como soluciones innovadoras que permiten a los estudiantes interactuar con sistemas reales y modernos, proporcionando un puente efectivo entre la teoría y la práctica [1]. En diferentes áreas de ingeniería como mecánica, electrónica, automotriz y la mecatrónica, los bancos han demostrado ser esenciales para facilitar la comprensión de conceptos complejos, fomentar el aprendizaje activo y estimular el desarrollo de competencias técnicas aplicadas [5]. Además, su impacto se extiende más allá del ámbito educativo, promoviendo el pensamiento crítico y preparándolos para enfrentar los desafíos del mundo laboral [6].

En el ámbito de la ingeniería automotriz, los bancos didácticos se han convertido en una herramienta esencial para la formación de estudiantes, especialmente en el estudio de sistema de encendido[8]. Entre los avances más destacados se encuentran los sistemas de encendido con bobina independiente (Coil On Plug, COP) la cual ha revolucionado los motores modernos debido a su alta eficiencia, confiabilidad y contribución al rendimiento general de los automóviles, por otra parte el sistema de encendido DIS (Distributorless Ignition System), prescinde del distribuidor, utilizando múltiples bobinas para encender grupos de cilindros. La implementación de herramientas didácticas que integren estas tecnologías avanzadas ofrece numerosos beneficios en el ámbito educativo, facilitando un aprendizaje más interactivo y práctico, permitiendo a los estudiantes experimentar con sistemas reales y adquirir competencias técnicas [2].

Sin embargo, la implementación de bancos didácticos enfrenta retos importantes. Una de las principales limitaciones es el alto costo asociado con el desarrollo y adquisición de estos equipos, especialmente aquellos que incluyen tecnologías avanzadas como los sistemas COP y DIS. Esto dificulta que muchas instituciones educativas puedan acceder a ellos, ampliando la brecha entre la teoría y la práctica en la formación de los estudiantes [3]. Para superar este obstáculo, es crucial diseñar alternativas de bancos didácticos de bajo costo que mantengan la funcionalidad y calidad necesarias para garantizar una experiencia educativa completa, que permitan a los estudiantes acceder a herramientas didácticas efectivas y alineadas con las demandas de la industria automotriz actual [4].

1.1. Problema

La adquisición de herramientas didácticas está limitada por múltiples factores económicos y estructurales en el entorno educativo, debido a la poca presencia de estos equipos en instituciones, afectando a la brecha entre la teoría y la práctica en la formación de los estudiantes, impactando negativamente la calidad de la educación en los métodos de enseñanza, lo que provoca una disminución en el interés de los estudiantes en su desarrollo académico [1].

El Ecuador, no está exento de esta problemática, impidiendo que instituciones educativas públicas con especialidades técnicas automotrices puedan adquirir estos equipos, provocando una baja disponibilidad en los laboratorios, limitando las oportunidades de brindar nuevos enfoques de aprendizaje práctico [5]. Estas tecnologías también imponen una carga económica a la hora de proporcionar y mantener un espacio práctico adecuado para el uso y almacenamiento de estos equipos, ya que la mayoría de estos son grandes y ocupan espacio, lo que genera costos adicionales sobre la institución [6].

Sin embargo, como se evidencia en investigaciones y sondeos realizados en diversas instituciones educativas de la ciudad de Guayaquil, muchas carecen de bancos didácticos actualizados que faciliten el aprendizaje práctico de los sistemas de encendido, naciendo la necesidad de desarrollar herramientas didácticas que permitan la adquisición de habilidades prácticas y el conocimiento técnico sobre estos sistemas [6]-[7]-[5]-[6].

- Antecedentes

Las herramientas didácticas se han convertido en una herramienta esencial para el aprendizaje práctico en diversas áreas de la ingeniería, abordando de manera efectiva los desafíos de la educación tecnológica moderna. A nivel global, varios estudios demuestran que la implementación de bancos didácticos en entornos educativos es fundamental para que los estudiantes adquieran conocimientos prácticos, ya que estas herramientas permiten comprender conceptos tecnológicos modernos en diferentes áreas de la ingeniería y simular tareas prácticas, incrementando notablemente la motivación de los estudiantes dando como resultado una mejora en el proceso de aprendizaje [8], [9], [10], [11].

En la actualidad, la industria de la ingeniería automotriz se encuentra en un proceso continuo de actualización, impulsado por el rápido avance de nuevas tecnologías, entre los sistemas automotrices que han experimentado mayores avances se destaca el sistema de encendido con

bobina independiente (Coil On Plug), un sistema importante que está presente en la mayoría de los motores actuales [12]. Es fundamental que los estudiantes comprendan a fondo las tecnologías emergentes y el funcionamiento integral de este sistema, dado su papel crucial en el rendimiento y la eficiencia del automóvil [2]. No obstante, estas tecnologías actuales tienden a ser considerablemente costosas en la implementación de bancos didácticos que cuenten con los sistemas de encendido modernos, limitando la capacidad de adquisición por parte de instituciones educativas [3].

En el mercado actual, existen diversos fabricantes de bancos didácticos, como son Lucas Nulle, Yesa01, Alecop y Delorenzo, que poseen la característica de simular el sistema de encendido: con componentes automotrices reales, capacidad para medir señales eléctricas, visualización de funcionamiento y simulación de fallas [13] ;Sin embargo, por las características sofisticadas estos equipos tienen precios que oscilan entre los \$3000 y \$6000, lo que representa un costo considerablemente elevado para muchas instituciones educativas que desean adquirirlos. Esto resalta la necesidad de diseñar un banco didáctico de bajo costo, que mantenga las funciones principales de los equipos de alta gama que existen en el mercado, pero con un precio accesible que se ajuste a las capacidades económicas de las instituciones, permitiendo la implementación de herramientas didácticas de calidad para la enseñanza técnica [4].

En respuesta a las diversas ventajas del uso de banco didácticos y las limitaciones económicas que impiden la adquisición de equipos didácticos modernos, y considerando la situación de varias instituciones en Guayaquil, surge la necesidad de diseñar un banco didáctico de bajo costo que fortalezca la enseñanza y aprendizaje sobre el sistema de encendido del motor de encendido provocado (MEP), ofreciendo una formación técnica acorde a las necesidades actuales de la industria automotriz.

- Importancia y alcances

Este estudio es importante realizarlo ya que permite aprender sobre los parámetros de funcionamiento del sistema de encendido junto con sus componentes, estudiando las señales características y las fallas del sistema, en la cual se propone una alternativa de bajo costo a través de la implementación de bancos didácticos. Además, permite mejorar las destrezas y habilidades prácticas de los estudiantes proporcionando una formación más sólida y alineada con las exigencias del ámbito laboral actual.

Los principales beneficiarios de este proyecto son los estudiantes de centros educativos automotrices de formación artesanal, que tendrán la oportunidad de adquirir y mejorar sus habilidades prácticas en el sistema de encendido a través del uso de banco didáctico. La utilización de componentes de bajo costo, como microcontroladores, permite que la experiencia de aprendizaje sea más actualizada y accesible, favoreciendo a un mayor número de estudiantes. Además, el proyecto podría beneficiar indirectamente a otras instituciones educativas de la ciudad de Guayaquil, en las cual la universidad UPS pueda realizar proyectos de vinculación, donde se podrá fomentar el desarrollo tecnológico al proporcionar una herramienta versátil y rentable entre estudiantes y educadores.

- Delimitación

El proyecto se llevará a cabo en la Ciudad de Guayaquil, en la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Centenario, durante el período 65, correspondiente al año académico 2024-2025 y cumplirá con el rigor académico estipulado por la universidad, esto incluye una revisión exhaustiva de los fundamentos teóricos, una justificación detallada de los criterios de diseño del equipo y un análisis profundo de los resultados obtenidos.

1.2. Objetivos Generales y Específicos

a. Objetivo General

Diseñar un banco didáctico del sistema de encendido del motor de encendido provocado, para el apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje en instituciones educativas

b. Objetivos específicos

1. Identificar los sistemas de encendido de los vehículos más comercializados del Ecuador
2. Integrar los circuitos electrónicos del sistema de encendido del MEP con cada una de sus funcionalidades y generación de fallos implementando tecnología Arduino
3. Elaborar un prototipo del banco didáctico utilizando tecnología Arduino para la validación del diseño mediante pruebas experimentales
4. Analizar la viabilidad técnico económico del banco didáctico propuesto como herramienta de aprendizaje.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEORICO

2.1. Desarrollo del Sistema de encendido

El sistema de encendido desempeña una función crucial al generar la chispa que inicia la combustión de la mezcla de aire y combustible dentro de los cilindros de un motor de gasolina. Este proceso se lleva a cabo mediante la Unidad de Control Electrónico (ECU) del vehículo, que colabora con bobinas de encendido, sensores y un módulo de ignición, asegurando así una combustión precisa y ordenada. A diferencia del sistema tradicional, donde la chispa se distribuye mecánicamente a través de un distribuidor, el sistema electrónico coordina estas funciones sin la necesidad de componentes mecánicos.

En contraste con los sistemas convencionales, los elementos que conforman el sistema de encendido electrónico están diseñados de manera diferente, lo que permite un funcionamiento más exacto gracias a la precisión de los componentes electrónicos. Aunque ambos sistemas cumplen la misma finalidad de encendido, el sistema electrónico ofrece una mayor eficiencia y control en el proceso [14].

Al establecer un sistema de encendido electrónico, es esencial considerar la disposición y estructura de las bobinas, dado que estas varían según el tipo de encendido utilizado. En el caso del sistema de encendido independiente, cada cilindro está equipado con su propia bobina; en el sistema simultáneo, una sola bobina se encarga de dos cilindros empleando el método de chispa perdida; y en el sistema tipo Hall, se utiliza una única bobina para todos los cilindros [14].

A continuación, en la fig. 1, se muestra los componentes generales de un sistema de encendido por ruptor Bosch SZ:

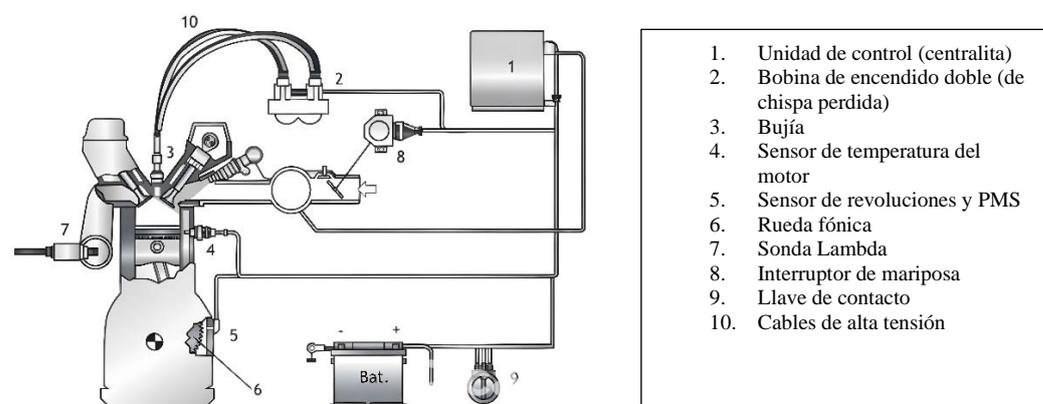


Fig. 1. Sistemas de encendido electrónico [15].

2.2. Tipos de sistema de encendido

En los motores MEP, es esencial contar con un sistema que controle la generación de la chispa que da inicio a la combustión y que también distribuya esa chispa a cada cilindro conforme al orden de encendido específico del motor. El sistema de encendido debe ser capaz de gestionar y mantener la ignición bajo todas las condiciones de operación del motor. Las mejoras en los sistemas de encendido pueden clasificarse según su modo de funcionamiento, para el desarrollo del proyecto técnico se aborda conceptos del sistema de encendido electrónico.

2.2.1. Sistemas de encendido electrónico

Con el desarrollo de la tecnología automotriz, se integran dispositivos electrónicos que ofrecen mayor precisión, eficiencia y confiabilidad. Elementos clave como los sensores de efecto Hall y los sensores inductivos desempeñan un papel fundamental en la detección y sincronización del encendido. Estos sensores, en conjunto con módulos electrónicos y controladores, garantizan una gestión precisa del momento en que debe generarse la chispa en la cámara de combustión, optimizando así el rendimiento del motor y reduciendo las emisiones contaminantes. Los sistemas de encendido electrónico sin ruptor, como el DIS (Distributorless Ignition System) y el COP (Coil-On-Plug), representan soluciones avanzadas de gestión integral del encendido, la cual se clasifican y se distinguen en función de la configuración de la bobina de encendido empleada [14]. En la figura 2 se presenta la clasificación del sistema de encendido:

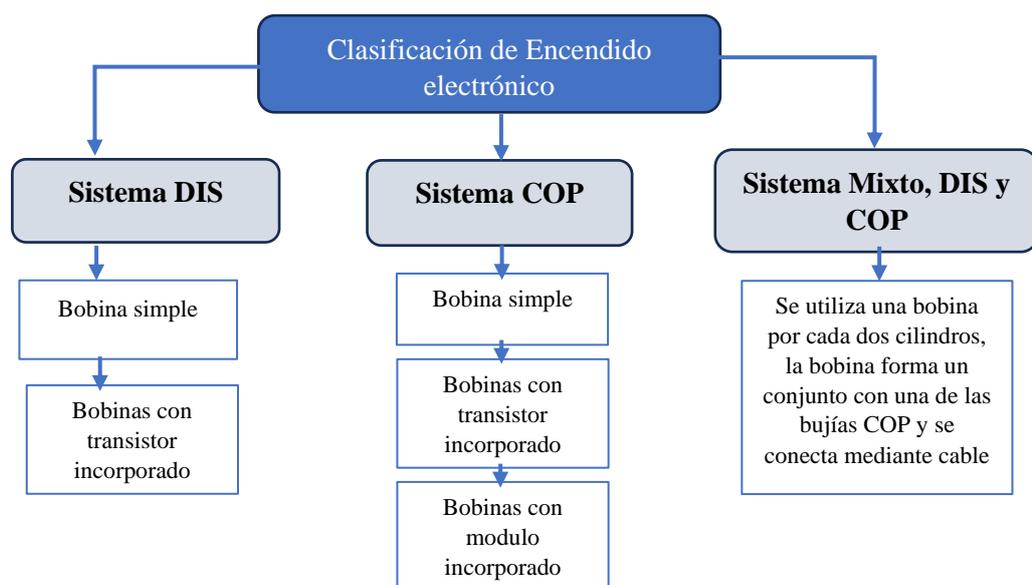


Fig. 2. Clasificación del sistema de encendido

2.2.2. Sistema de encendido DIS de chispa perdida

Este sistema de encendido electrónico que dependiendo del fabricante utiliza bobinas en pares para suministrar la chispa a los cilindros de un motor. Este sistema prescinde del uso de un distribuidor mecánico tradicional, empleando en su lugar sensores electrónicos, como el sensor CKP y CMP para determinar el momento preciso de ignición. El sistema se caracteriza por contar con una bobina para cada par de cilindros opuestos en el ciclo de trabajo, donde una chispa se genera simultáneamente en dos cilindros durante cada evento de encendido [14], la cual la ECU se encarga de enviar pulsos de activación en el momento indicado de acuerdo a la lectura de los sensores. En la figura 3 se representa el diagrama de los elementos que conforman el sistema de encendido DIS de un motor de 6 cilindros:

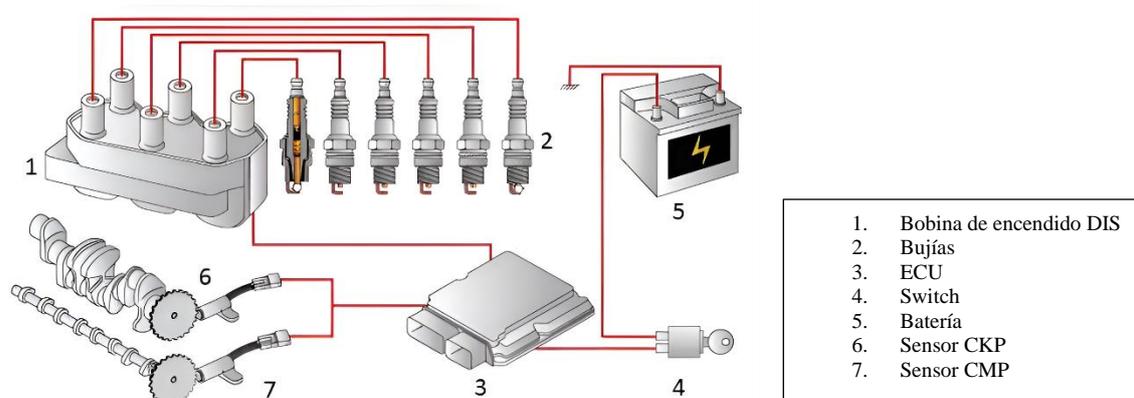


Fig. 3. Diagrama del sistema de encendido DIS [16].

En este tipo de sistema ocurre un fenómeno donde la corriente del circuito secundario atraviesa dos bujías simultáneamente. Como resultado, en una parte del circuito la corriente es ascendente, mientras que en la otra es descendente. Los cables de alta tensión transmiten la corriente solo al cilindro que está en el tiempo de compresión, mientras que en el otro cilindro la chispa se genera sin producir ningún efecto, de ahí que este sistema se denomina Chispa Perdida. En la figura 4 se presenta el diagrama eléctrico de la bobina.

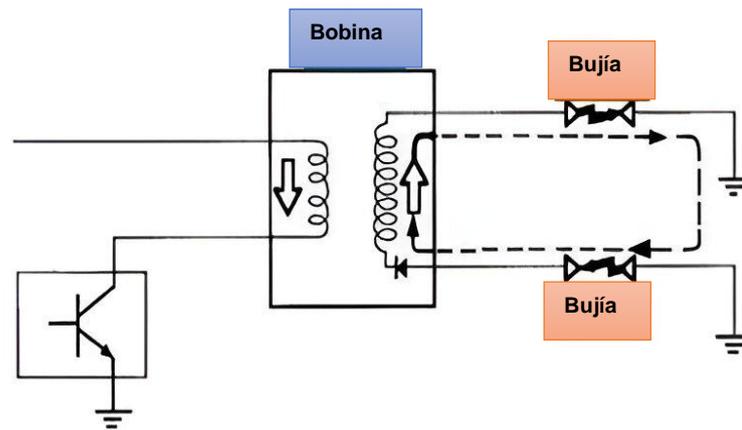


Fig. 4. Circuito eléctrico del sistema de encendido DIS [17].

2.2.3. Sistema DIS de bobina simple

Este sistema es el que una sola bobina de encendido genera la chispa para un par de cilindros del motor. Este diseño es común en motores de cuatro cilindros con una configuración de chispa perdida, donde una bobina alimenta dos bujías al mismo tiempo, optimizando la simplicidad del sistema. Los principales componentes incluyen la batería de 12V, que suministra energía. La bobina, con sus devanados primario y secundario, almacena y transforma la energía en alto voltaje necesario para generar la chispa. Las bujías, conectadas en pares, reciben este voltaje para generar la chispa. El sistema es gestionado electrónicamente por la PCM, controla un transistor, enviando pulsos al circuito de la bobina en el momento adecuado. Esto colapsa el campo magnético del devanado primario, induciendo un alto voltaje en el devanado secundario que se dirige hacia las bujías. En la figura 5 se presenta el diagrama eléctrico de este sistema.

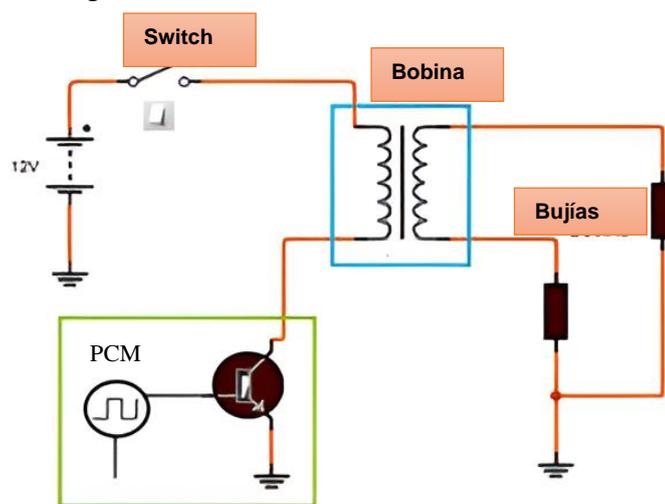


Fig. 5. Circuito eléctrico del sistema DIS, con bobina simple [17].

2.2.4. Sistema DIS de bobina con transistor incorporado

La característica fundamental de estas bobinas es el incorporar el transistor de potencia en su cuerpo, puede haber también transformadores por separado al igual que las bobinas simples, pero generalmente se tienen del tipo Rochester o dobles. En caso de incorporar el transistor de potencia, la ECU solo enviará a las bobinas una serie de pulsos de señal de potencia que excitan el transistor, para cortar el circuito primario y así generar el salto de chispa en las bujías. La figura 6, muestra el diagrama eléctrico de este tipo de bobinas en cuyo interior se encuentran los transistores de potencia:

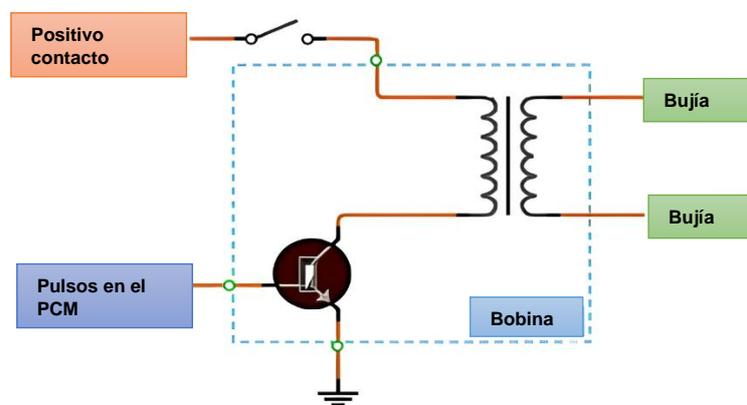


Fig. 6. Diagrama eléctrico de la bobina con transistor incorporado [17].

2.3. Sistema de encendido con bobina Independiente (Coil-On-Plug)

El sistema de encendido COP, su principal objetivo es maximizar la eficiencia de la combustión, mejorar el rendimiento del motor, reducir las emisiones contaminantes y optimizar el consumo de combustible.

El sistema COP se distingue por su capacidad para gestionar el encendido de cada cilindro de manera individual y sincronizada, en lugar de usar un solo sistema de encendido para todos los cilindros, el sistema COP asigna una bobina de encendido directamente a cada bujía. Esto permite un control mucho más exacto del momento en que se produce la chispa en cada cilindro, lo que es crucial para una combustión eficiente [14]. A continuación, en la figura 7, se presenta la vista general del circuito eléctrico del sistema de encendido de un motor de 6 cilindros:

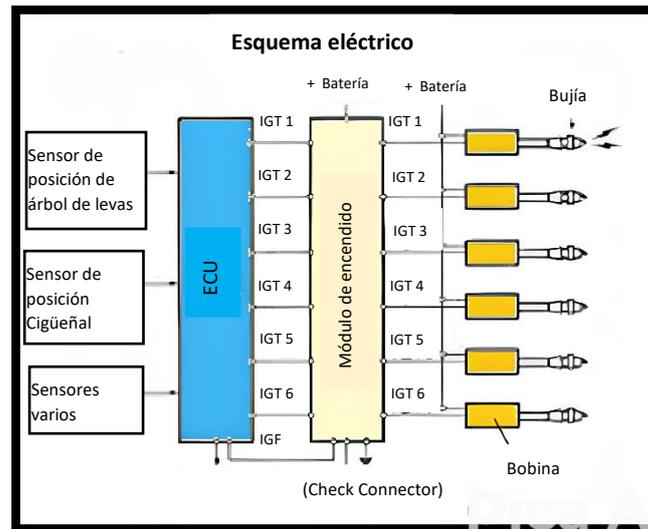


Fig. 7. Esquema eléctrico del sistema de encendido con bobinas independientes [14].

2.3.1. Sistema de encendido COP de bobina simple

Este sistema tiene una configuración básica que cuenta con dos pines de conexión: un terminal positivo alimentado con 12V proveniente del relé principal y una conexión a masa. La tensión de 12V alimenta el bobinado primario, mientras que la masa es controlada por un transistor de potencia dentro (ECU) mediante pulsos. El bobinado secundario comparte el terminal positivo con el primario y la alta tensión generada se dirige al electrodo central de la bujía, permitiendo la descarga eléctrica hacia el electrodo de masa, completando el ciclo de encendido [14], el circuito de este sistema de encendido se muestra la figura 8.

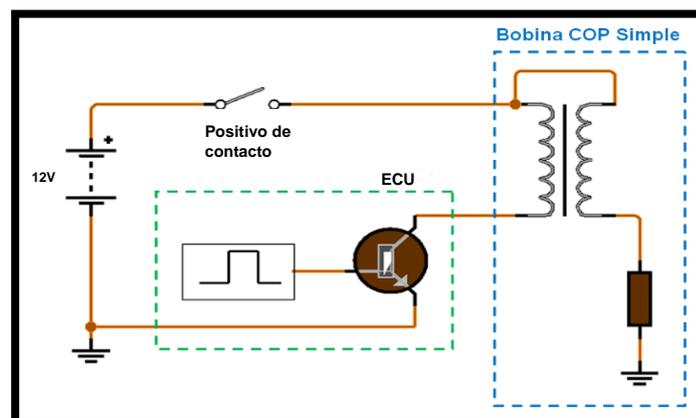


Fig. 8. Circuito de funcionamiento del sistema COP de bobina simple [18].

2.3.2. Sistema de encendido COP con transistor incorporado

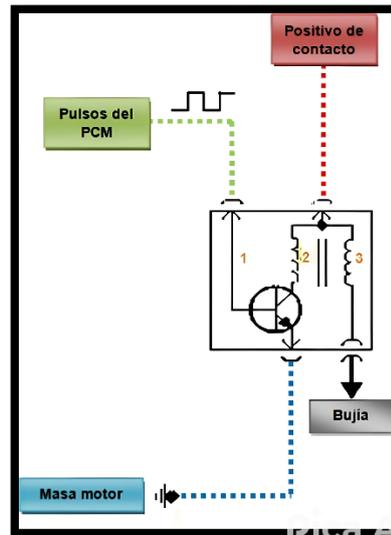


Fig. 9. Circuito de funcionamiento del sistema COP con transistor incorporado [18].

En la figura 9, se presenta la bobina con transistor incorporado, este sistema que simplifica el sistema eléctrico, ya que las bobinas incorporan un transistor en el mismo cuerpo, lo que permite que la ECU controle el encendido mediante pulsos. A diferencia del sistema de Chispa Perdida, este sistema utiliza una bobina por cada cilindro y tiene tres pines de conexión: un positivo, una masa y una señal de pulsos desde la ECU hacia el transistor [14].

2.3.3. Sistema de encendido COP con módulo incorporado

En los vehículos modernos, este tipo de sistema incluyen un módulo incorporado capaz de enviar una señal de retroalimentación a la ECU. El funcionamiento se basa en la señal que se genera cuando ocurre correctamente la inducción en el circuito primario de la bobina de encendido. Esto se logra mediante un circuito especializado que envía dicha señal al computador cada vez que este emite un pulso al transistor de potencia, asegurando así el correcto funcionamiento del sistema [15]. Una característica distintiva de estas bobinas es que cuentan con 4 pines de conexión.

El proceso para generar la chispa es similar al de las bobinas de 3 pines con transistor incorporado. La principal diferencia radica en que las bobinas de 4 pines poseen un circuito integrado que permite enviar una señal al computador cada vez que se produce la inducción en el circuito primario, proporcionando así un control más preciso del sistema de encendido [15]. El diagrama eléctrico de este sistema se presenta en la figura 10.

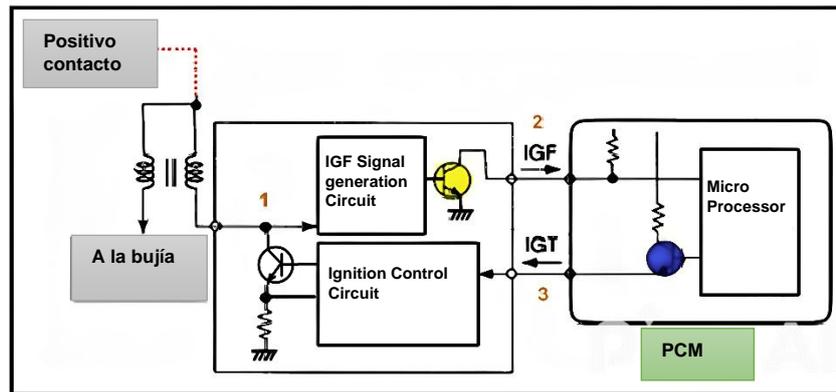


Fig. 10. Circuito eléctrico del sistema COP con módulo incorporado [15].

2.4. Sensores y actuadores

Los sensores son dispositivos que emiten señales, que pueden ser por una variación de tensión, temperatura o presión. Los utilizados en el sistema de encendido pueden ser de tipo: inductivo, efecto hall o piezoeléctricos. En cambio, los actuadores automotrices son dispositivos que convierten señales eléctricas o electrónicas en movimientos mecánicos dentro del sistema de control del motor de un vehículo [19].

Existen tres sensores y actuadores que forman parte fundamental en el funcionamiento de este sistema de encendido electrónico, estos son:

- Sensor de régimen de giro del motor (CKP).
- Sensor de posición del árbol de levas (CMP).
- Sensor de detonación (KS).
- Bobina

2.4.1 Sensor de posición del árbol de levas (CMP)

El Sensor CMP (por sus siglas en inglés Camshaft Position Sensor), detecta la posición del árbol de levas, que controla la apertura y cierre de las válvulas en el motor. Envía esta información a la ECU para que pueda determinar la fase del ciclo de combustión en cada cilindro, sincronizando el encendido. Los pines del sensor se identifican por: el Pin de alimentación que recibe un voltaje constante (5V o 12V) desde la ECU o el sistema eléctrico del vehículo. Pin de señal: Transporta la señal generada por el sensor a la ECU. Pin de tierra (masa): Conecta el sensor al sistema de tierra del vehículo, cerrando el circuito eléctrico y

asegurando una referencia estable para las señales. En la figura 11 se observa más a detalle los esquemas eléctricos y pines del sensor CMP:

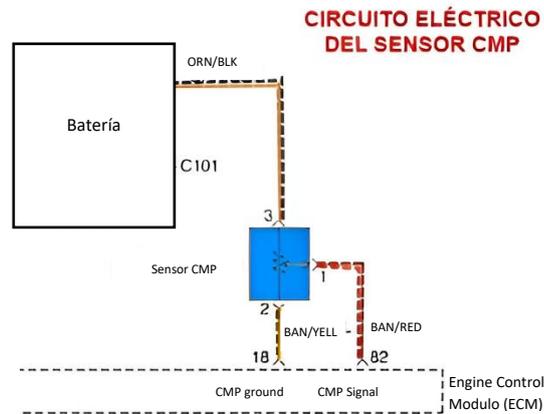
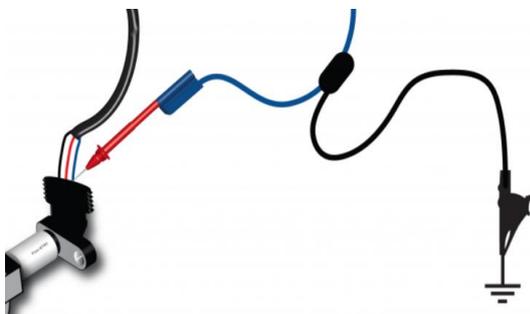
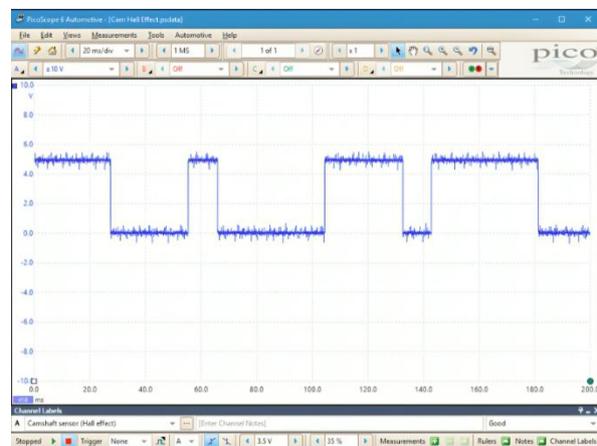


Fig. 11. Esquema eléctrico del sensor CMP [20].

Está ubicado cerca del árbol de levas, generalmente en la tapa de válvulas. En la (fig. 12a), se observa la conexión de las puntas de pruebas y en la (fig. 12b), el oscilograma característico del sensor que es de efecto hall, la onda cuadrada se forma cuando el sensor detecta el paso de dientes en una rueda vinculada al árbol de levas, lo que genera la alternancia entre los estados alto (5v) y bajo voltaje (0V).



(a)



(b)

Fig. 12 . (a) Conexión del osciloscopio y (b) Forma de Onda Sensor CMP de efecto HALL [21].

2.4.2 Sensor de posición del cigüeñal (CKP)

El Sensor CKP (por sus siglas en inglés Crankshaft Position Sensor), monitorea la posición del cigüeñal y la velocidad de rotación del motor. Opera bajo el principio de inducción electromagnética, generando un voltaje de salida proporcional a la velocidad de rotación del cigüeñal.

En términos de conexión, los sensores inductivos suelen tener dos terminales: uno para el conductor de señal (salida) y otro para tierra (gnd), en algunos casos, pueden incluir un blindaje conectado a tierra para reducir interferencias electromagnéticas en términos de conexión, los sensores inductivos suelen tener dos terminales: uno para el conductor de señal (salida) y otro para tierra (gnd), todo esto se muestra en la figura 13.

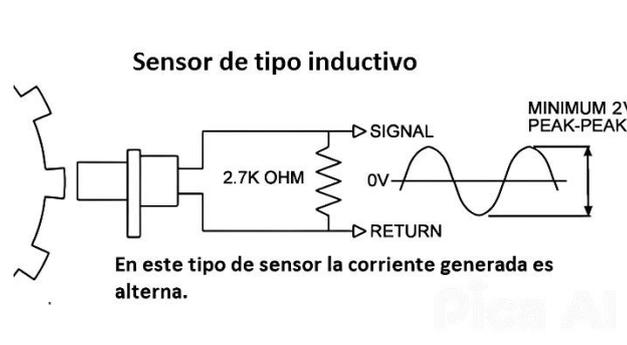


Fig. 13. Diagrama eléctrico del sensor CKP inductivo, y pines de conexión [22].

El sensor CKP de efecto Hall utiliza el fenómeno del efecto Hall para detectar la posición y velocidad angular del cigüeñal. Este sensor emplea un elemento semiconductor sensible al campo magnético y un circuito electrónico integrado. A medida que el cigüeñal gira, el campo magnético varía en el sensor, generando una señal digital (de onda cuadrada) que se comunica con la ECU. Los sensores de efecto Hall suelen contar con tres pines de conexión: alimentación (Vcc), señal (OUT) y tierra (GND), los pines de conexión del sensor se representan en la figura 14.

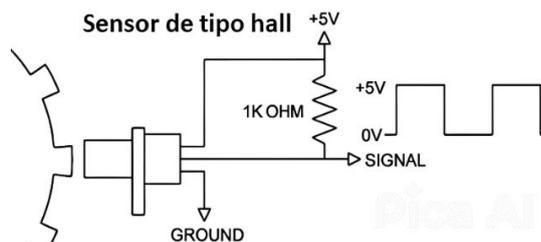


Fig. 14. Diagrama eléctrico del sensor CKP efecto hall, y pines de conexión [22].

Proporciona a la ECU datos precisos sobre la ubicación de los pistones en el ciclo de combustión. Junto con la información del sensor CMP, permite a la ECU determinar el momento óptimo de encendido para una combustión eficiente. El CKP suele estar ubicado en la parte inferior del motor, cerca del cigüeñal [6]. En la (fig. 15a), se presenta la conexión del osciloscopio para obtener la onda característica del sensor, la cual es de tipo sinusoidal (fig. 15b), cuando el sensor es de tipo inductivo, o de onda cuadrada cuando es de efecto hall, como se muestra en la (fig. 15c), además de las conexiones del sensor efecto hall en la (fig. 15c).

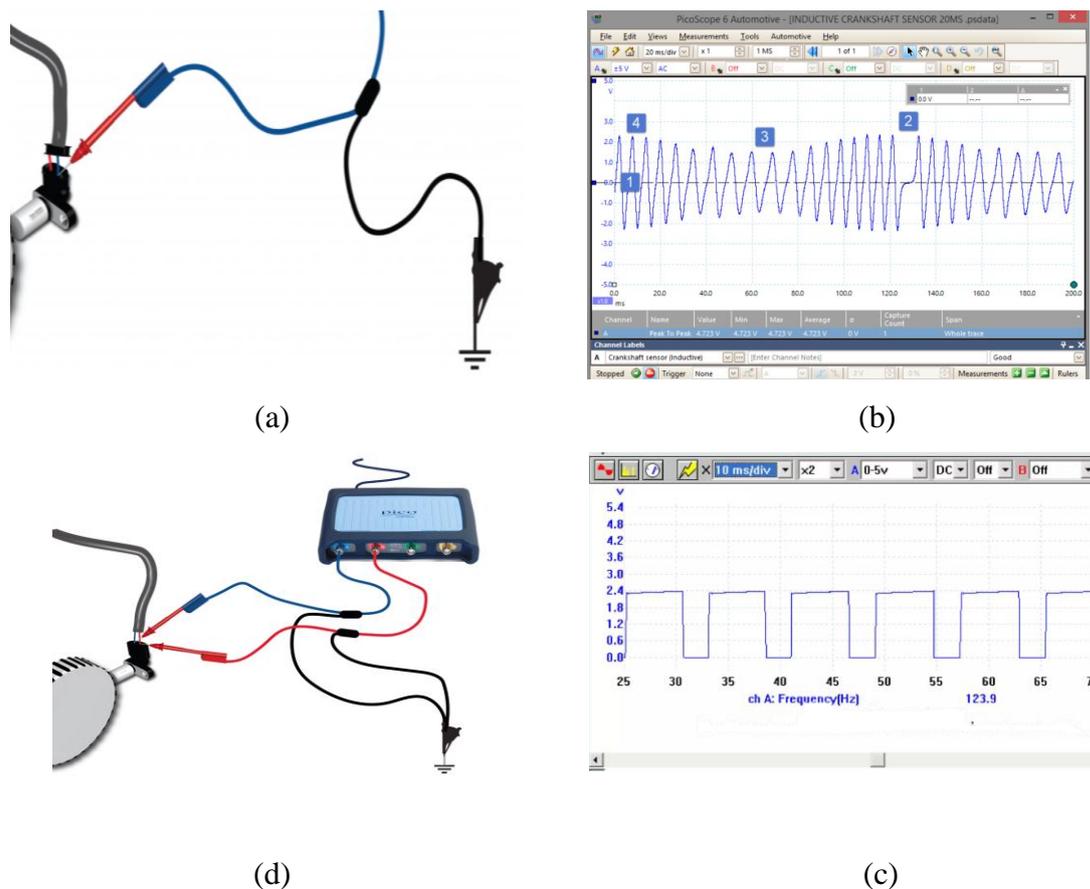


Fig. 15. (a) Conexión del osciloscopio, (b) oscilograma del Sensor CKP inductivo, (c) oscilograma CKP efecto hall, (d) conexión de osciloscopio sensor efecto hall [23].

2.4.3 Sensor de detonación (KS)

El sensor KS, (por sus siglas en inglés Knock Sensor), detecta vibraciones y ruidos causados por detonaciones en el motor, un fenómeno peligroso que ocurre cuando la mezcla de aire y combustible se enciende de manera incontrolada. Al detectar una detonación, el sensor envía una señal a la ECU para ajustar el momento de encendido, evitando daños al motor y optimizando su rendimiento. Los sensores KS suelen tener dos terminales principales: señal (SIGNAL) y tierra (GND). En la mayoría de los diseños, no requieren una fuente de

alimentación externa, ya que generan su propia señal a través del efecto piezoeléctrico. En la figura 16 se presenta el esquema eléctrico y pines de conexión del sensor.

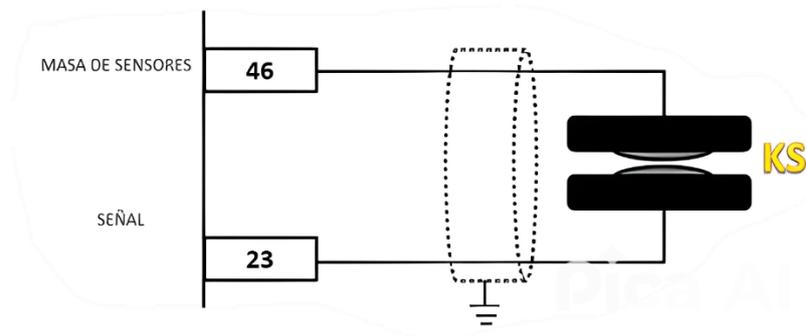


Fig. 16. Diagrama eléctrico del sensor KS, detonación y conexión del sensor [24]

El sensor suele estar ubicado en el bloque del motor, cerca de su parte media o inferior [6]. En la (fig. 17a), se observa la conexión del osciloscopio y en la (fig.17b) el oscilograma, el sensor es de tipo piezoeléctrico, en la cual se muestra un pico alto en la señal, en una fracción de tiempo muy corto, lo que indica la detección de una detonación o una vibración significativa en el motor.

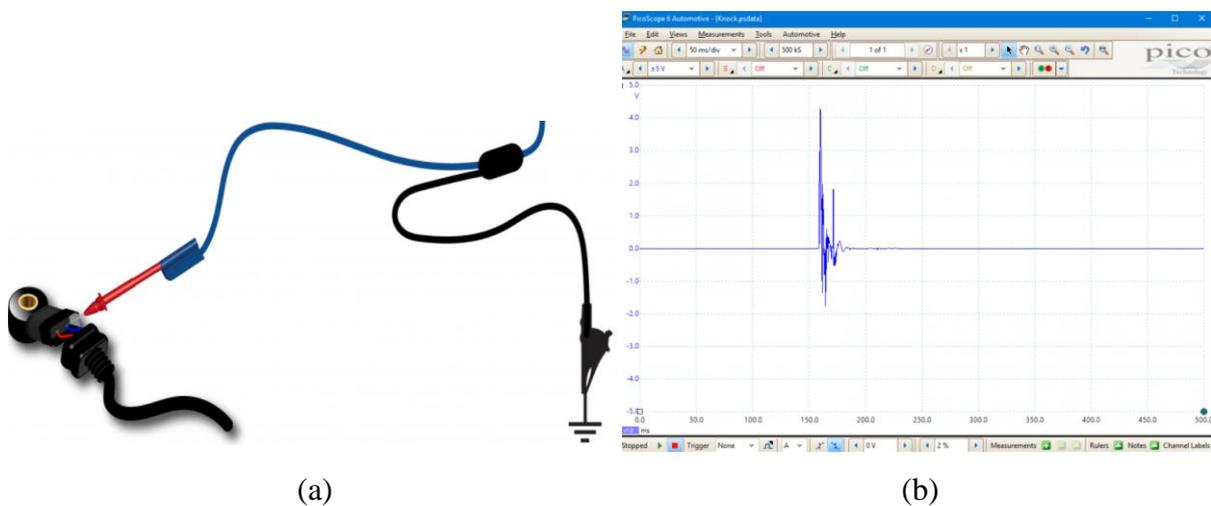
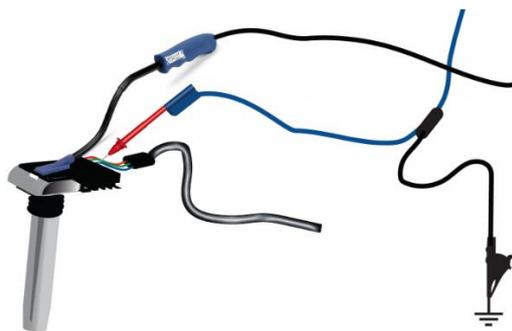
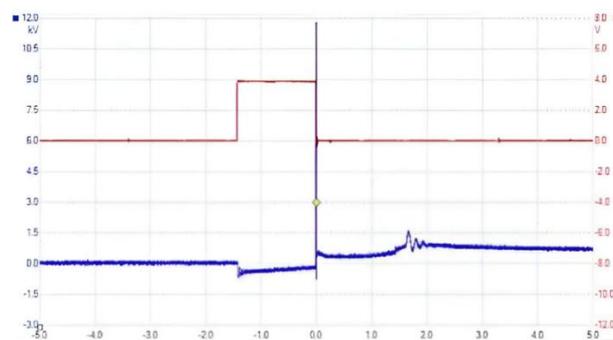


Fig. 17. (a) Conexión del osciloscopio y (b) Forma de Onda Knock Sensor [25].

2.4.4 Bobina de Encendido COP



(a)

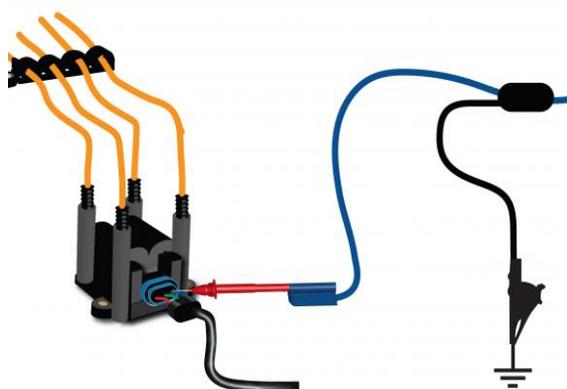


(b)

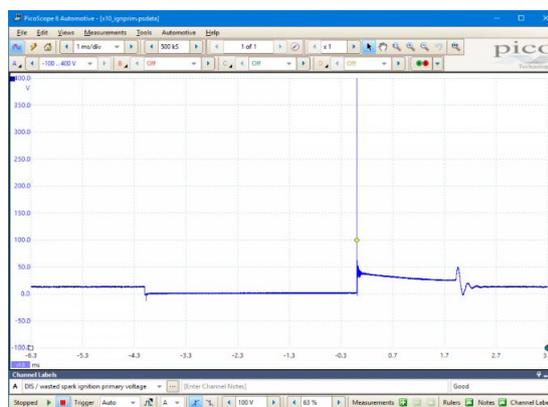
Fig. 18. (a) Conexión del osciloscopio y (b) Forma de onda de la bobina COP [26].

La bobina de encendido COP (Coil-On-Plug) transforma la baja tensión de la batería en alta tensión directamente sobre cada bujía. Este diseño permite una sincronización precisa del encendido, mejorando la eficiencia de la combustión y proporcionando una chispa más fuerte [14]. En la (fig. 18a), se presenta la conexión y la (fig. 18b) es el oscilograma característico de la bobina, la cual se observa un aumento gradual de la tensión, que representa cuando se interrumpe la corriente en el primario hay un pico de tensión, es cuando el campo magnético colapsa rápidamente, induciendo una alta tensión en el secundario que genera la chispa en la bujía. La onda cuadrada del oscilograma, representa la señal de baja tensión que cambia entre cero voltios y aproximadamente 5 voltios. Cuando la señal de disparo es alta, hace que la bobina se encienda. Los puntos de encendido (cero a 5 voltios) y apagado (5 voltios a cero) están determinados por el módulo de control electrónico (ECM) del vehículo.

2.4.5 Bobina de Encendido DIS



(a)



(b)

Fig. 19. (a) Conexión con el osciloscopio y (b) Forma de onda de la bobina DIS [27].

Este tipo de bobina cuenta con tres conexiones principales: alimentación, tierra y señal de control. Se emplea un osciloscopio conectado con la punta de prueba positiva conectada al pin de control de la bobina, mientras que la punta de prueba negativa se conecta a la tierra, ya sea en el pin correspondiente de la bobina o en el chasis del vehículo.

En la (fig. 19b) se presenta el oscilograma la cual cuenta con distintas fases. Durante la carga, se observa un aumento en el voltaje a medida que fluye la corriente en el circuito primario. Cuando el transistor se apaga, se genera un pico de alto voltaje negativo debido al colapso del campo magnético. Finalmente, se registran una serie de oscilaciones de menor amplitud, conocidas como oscilaciones de amortiguamiento, que son características del comportamiento inductivo del sistema.

2.5 Fallos principales del sistema de encendido

Los códigos de falla de un vehículo son identificadores numéricos o alfanuméricos generados por el sistema de diagnóstico a bordo (OBD, por sus siglas en inglés). Estos códigos son emitidos por la unidad de control electrónico (ECU) del vehículo para señalar problemas en sus sistemas electrónicos o mecánicos. Conocer los códigos de falla es fundamental porque facilita el diagnóstico rápido y preciso de los problemas del vehículo, además que permite poder identificar el problema que se presenta en un sensor o actuador en específico [28].

Para la simulación los fallos dentro del diseño del banco didáctico, se tomará como guía los códigos de fallas comunes que representa a cada sensor y actuador que conforme el sistema, junto con los valores característicos cuando se encuentra en falla, permitiendo que el banco didáctico sea más didáctico al momento de interactuar con el equipo. Las fallas que se tomaran en cuenta son lo que alimentación (Voltajes) y resistencias en los sensores y la bobina. A continuación, se presenta en la Tabla I los códigos de falla principales:

TABLA I . Códigos de falla principales del sistema de encendido [29]

Códigos de falla	Descripción
Sensor CMP	
P0340	Indica que el ECM no detecta una señal adecuada del sensor CMP, lo que puede deberse a cableado defectuoso, conector suelto, sensor CMP defectuoso o fallo en la alimentación.
P0341	La señal del sensor CMP está fuera de los parámetros esperados por el ECM, lo que puede ser causado por un sensor CMP defectuoso, problemas en el cableado o una sincronización incorrecta del motor.
Sensor CKP	
P0335	Este código señala que hay una señal ausente o intermitente del sensor CKP, lo que puede deberse a un sensor defectuoso, problemas de cableado o problemas con la rueda dentada del cigüeñal.
P0336	Indica que la señal del sensor CKP no está dentro del rango esperado por el ECM, posiblemente debido a desgaste o daño en la rueda dentada, problemas en el cableado o un sensor CKP defectuoso.
Sensor Knock	
P0325	Este código indica que el ECM no detecta una señal correcta del sensor de detonación, lo que puede ser causado por un sensor defectuoso, problemas en el cableado o conector, o un fallo en la alimentación.
P0327	Señala que la señal del sensor de detonación es demasiado baja, lo que puede indicar un problema con el sensor o el circuito, generalmente debido a un sensor defectuoso, problemas en el cableado o una conexión inadecuada.
Bobina de encendido	
P0350	Indica un fallo general en el circuito de la bobina de encendido, que puede afectar a una o más bobinas, generalmente debido a fallos en la bobina, problemas en el cableado o un fallo en la alimentación de la bobina.
P0351 - P0358	Cada uno de estos códigos se asocia con un cilindro diferente, indicando un problema en el circuito de la bobina para ese cilindro, posiblemente causado por una bobina defectuosa, problemas en el cableado específico del cilindro o problemas de conexión.

2.6 Sistemas de encendido de los vehículos más comercializados en el Ecuador

En Ecuador, el parque automotor está compuesto en su mayoría por vehículos importados, es común encontrar una diversidad de tecnologías de encendido que van desde sistemas tradicionales de distribuidor hasta modernos sistemas de encendido por bobinas independientes.

Los vehículos más comercializados en Ecuador tienden a incorporar sistemas de encendido que ofrecen un equilibrio entre eficiencia, costo y facilidad de mantenimiento, factores clave en un contexto donde el precio del combustible y los costos de reparación son consideraciones importantes para los usuarios. Por lo tanto, comprender los sistemas de encendido más utilizados en los vehículos que circulan en Ecuador es fundamental para conocer a detalle las necesidades del mercado local y las tendencias globales en la industria automotriz. En la figura 20, se aprecia la cantidad de modelos de vehículos más vendidos en los años 2023 [30].

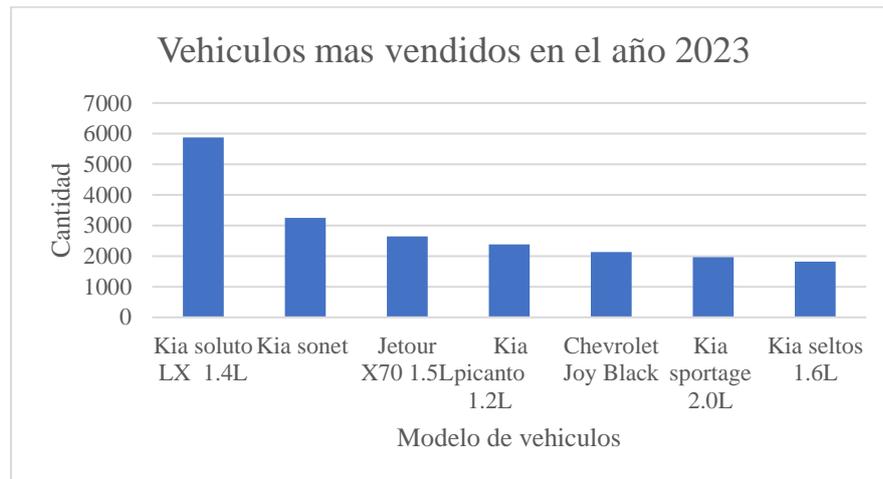


Fig. 20. Ventas de vehículos en la provincia del Guayas [30].

La AEADE (Asociación de Empresas automotrices en el Ecuador), desempeña un papel fundamental en la recopilación, análisis y difusión de datos estadísticos relacionados con la comercialización de vehículos en el Ecuador. Estas estadísticas incluyen indicadores clave como el volumen de ventas mensuales y anuales, la participación de mercado de las diferentes marcas, los segmentos de vehículos más demandados y la evolución de las preferencias del consumidor.

La información recopilada por la AEADE es vital para los actores del sector automotor, ya que les permite tomar decisiones estratégicas basadas en tendencias reales del mercado. También es importante conocer los diferentes tipos de sistemas de encendido que actualmente predomina más en los vehículos, y así poder determinar el sistema que está presente en los diferentes modelos de autos. A continuación, en la Tabla II, se aprecia una recopilación de datos de los vehículos más vendidos:

TABLA II . Sistemas de encendido que más predomina en los vehículos [30]

Modelos de autos 2023	Tipo de sistemas
Kia Soluta	
Kia Sonet	
Jetour X70	
Kia Picanto	Bobina COP (Coil on plug)
Chevrolet Joy black	
Kia Sportage 2.0 L	
Kia Seltos	

En el mercado automotriz ecuatoriano en el año 2024, el sistema de encendido que predomina en la mayoría de los vehículos modernos es el sistema Coil-On-Plug (COP), es ampliamente utilizado en modelos recientes de marcas como Kia y Chevrolet, entre otras.

Por otro parte, los sistemas de encendido DIS, han tenido una importante presencia en el mercado automotriz ecuatoriano durante la última década debido a su confiabilidad y eficiencia, se ha implementado en vehículos de marcas ampliamente comercializadas en Ecuador, como Chevrolet, Toyota, Hyundai y KIA. Además, el sistema DIS sigue siendo una tecnología vigente gracias a su adaptabilidad a las normativas medioambientales y su compatibilidad con vehículos de combustión interna de bajo costo, que aún dominan el mercado automotriz ecuatoriano. Hace 10 años los vehículos más vendidos del ecuador poseen este tipo de sistemas [31], así lo muestra en Tabla III la cual posee información de ventas extraídas de la fuente AEADE:

TABLA III . Automóviles más vendidos en el año 2014 [30].

Marca	Modelo	Unidades vendidas
Chevrolet	Sail	11.514
Chevrolet	Aveo Family	9.386
Chevrolet	Aveo Emotion	3.643
Kia	RIO R	2.469
Hyundai	Accent	2.444

2.7 Herramientas didácticas para el aprendizaje práctico

En el ámbito educativo, uno de los principales desafíos es la transmisión de conocimientos exclusivamente a través de la palabra, sin el apoyo de recursos didácticos que faciliten el aprendizaje de los estudiantes.

El desarrollo de herramientas educativas, como maquetas didácticas, contribuye significativamente al proceso de enseñanza y aprendizaje en asignaturas que requieren combinar teoría y práctica. Estas herramientas no solo fortalecen las habilidades prácticas de los alumnos, sino que también promueven nuevas estrategias pedagógicas para los docentes. Las maquetas desempeñan un papel crucial en la formación de los estudiantes, ya que despiertan un interés generalizado y fomentan la participación activa dentro del aula [32].

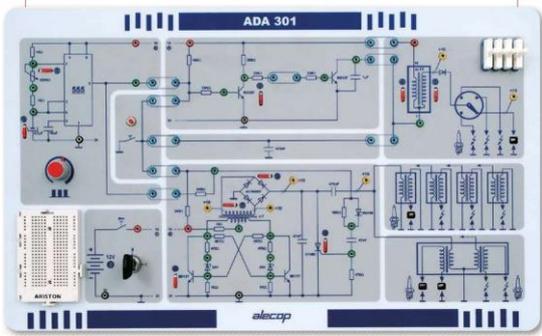
2.7.1. Parámetros del banco didáctico

Las maquetas se consideran parte de los recursos de aprendizaje convencionales, y su diseño debe cumplir con ciertos parámetros clave. Cuando la maqueta está orientada a un área educativa vinculada al área automotriz, es fundamental incorporar un criterio adicional relacionado con la seguridad de los estudiantes durante la ejecución de las prácticas [33]. Además, se puede incluir la estética como un aspecto complementario, estrechamente ligado a la calidad de los materiales empleados, junto con otro criterio importante que es la funcionalidad, ya que la maqueta debe representar de manera clara el funcionamiento de los diferentes circuitos del sistema de encendido, además debe representar correctamente las características y capacidades del sistema en términos de uso, operación y función.

2.7.2 Bancos didácticos comerciales del sistema de encendido

Los bancos didácticos del sistema de encendido son dispositivos educativos diseñados para simular y demostrar el funcionamiento real del sistema de encendido de un vehículo en un entorno controlado [34]. Estos bancos permiten a los estudiantes observar y manipular componentes del sistema de encendido, como la batería, la bobina, las bujías, los diferentes sensores, actuadores y el módulo de control electrónico, en un formato accesible y seguro [2]. Algunos de los bancos didácticos más conocidos en el mercado automotriz se los presenta en la tabla IV:

TABLA IV . Información de los principales fabricantes de bancos didácticos

Descripción	Diagrama
<p>Engine control</p> <p>Modelo: NAME: YESA-7203 (Korea)</p> <p>El banco didáctico posee la característica de poder medir los voltajes y resistencias reales de los sensores y actuadores del sistema, además de visualizar los oscilogramas característicos, y generar fallos principales. Cuenta con los siguientes elementos principales:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sensor CKP, y módulo de experimentación del sensor CMP 2. Potenciómetro en el acelerador y sensor de velocidad experimental 3. Experimento con sensor de temperatura del refrigerante y sensor de golpeteo 4. Experimento de sensor de oxígeno de escape y bobina de encendido 	 <p>Grafica 1. Banco didáctico Yes01 del sistema de encendido. [35].</p>
<p>Alecop</p> <p>Modelo: ADA 301 (España)</p> <p>La aplicación dispone de diferentes circuitos electrónicos combinables entre ellos para realizar el montaje de los distintos sistemas empleados en el diseño de circuitos de encendido: Generación de chispa por ruptor. Generación de chispa por circuito transistorizado. Generación de chispa por descarga de condensador</p>	 <p>Grafica 2. Maqueta didáctica del sistema de encendido. [36].</p>
<p>De Lorenzo</p> <p>Modelo: DL DM91 (Italia)</p> <p>Este panel de demostración representa la estructura y funcionamiento del sistema de encendido del motor basado en componentes reales de seis sistemas de encendido, sistema de encendido temporizado mecánico, sistema de encendido electrónico de efecto Hall, encendido electrónico magnético, sistema de encendido electrónico de disparo óptico sistema de encendido sin distribuidor, (cada bobina de encendido sirve para dos bujías), sistema de encendido sin distribuidor.</p>	 <p>Grafica 3. Banco didáctico DeLorenzo [37].</p>

2.8. Microcontroladores

2.8.1 Uso de microcontroladores en la fabricación de un banco didáctico a bajo costo.

Un estudio realizado en la universidad de Malta se implementó el uso de microcontroladores en el control electrónico de motores, como la ECU desarrollada con el modelo Mega, permite una gran flexibilidad en la investigación y optimización de motores de combustión interna. Gracias a su capacidad de gestionar motores de hasta 17,000 rpm y su conectividad mediante CAN, Bluetooth y WiFi, facilita la calibración y análisis del motor. El desarrollo del microcontrolador programable permitió al sistema integrado desarrollado es estable. La interfaz gráfica de usuario ofrece facilidad de uso, calibración de sensores y capacidad de calibración del motor sobre la marcha a un precio accesible, por lo económico que resulta la fabricación con uso de controladores Arduino [38].

2.8.2 Desarrollo de un simulador educativo para la mejora de aprendizaje

En un estudio realizado en Indonesia en la Universidad de Yogyakarta, se desarrolló un simulador como medio didáctico para la enseñanza del sistema de encendido electrónico, el simulador fue creado con el objetivo de facilitar a los estudiantes la comprensión y práctica del sistema de encendido electrónico. Las dificultades que encuentran los alumnos en el aprendizaje de la electrónica del sistema de encendido, les resulta más fáciles al momento de aprender con herramientas didácticas [39]. Estas herramientas permiten aprender conceptos teóricos y técnicos, ayudando en su proceso de aprendizaje de los estudiantes, permitiendo fortalecer los conocimientos obtenidos[40].

2.8.3 Aplicaciones del microcontrolador Arduino Mega 2560

El Arduino Mega 2560 es una placa de microcontrolador poderosa y versátil que se ha convertido en una piedra angular en diversas aplicaciones tecnológicas, incluida la industria automotriz. Su flexibilidad, amplias capacidades y facilidad de programación la convierten en una plataforma ideal para desarrollar, probar y analizar funciones automotrices[41]. En la figura 21, se presenta el microcontrolador:

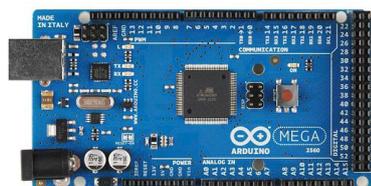


Fig. 21. Microcontrolador Arduino Mega2560 [42].

En aplicaciones automotrices, el Arduino Mega 2560, se utiliza como un módulo intermedio eficaz para la implementación y análisis en tiempo real de las funciones del Módulo de Control de la Carrocería (BCM). Esta configuración permite un control y monitoreo precisos de varias funciones vehiculares. Al emplear herramientas avanzadas los ingenieros pueden realizar pruebas, verificaciones y diagnósticos exhaustivos de los sistemas, asegurando así su confiabilidad [43].

2.8.4 Aplicación de C++ para la programación del Arduino Mega

El lenguaje de programación C++ es un lenguaje de propósito general, orientado a objetos, que se utiliza ampliamente en el desarrollo de software de sistemas, aplicaciones y, en particular, en la programación de microcontroladores como las placas Arduino.

Beneficios de usar C++ en Arduino:

1. Control preciso del hardware: C++ permite interactuar directamente con los pines, periféricos y registros de los microcontroladores, facilitando la manipulación exacta del hardware.
2. Eficiencia: C++ ofrece una ejecución rápida y un uso eficiente de los recursos del microcontrolador, lo cual es crucial en entornos con limitaciones de memoria y procesamiento, como los de Arduino.
3. Compatibilidad y comunidad: C++ es ampliamente soportado y hay una extensa comunidad que proporciona bibliotecas, ejemplos y soporte, lo que facilita el desarrollo de proyectos con Arduino [44].

2.8.5 Programa Arduino IDE

El Arduino IDE (Integrated Development Environment) es un entorno de desarrollo integrado que permite a los usuarios escribir, compilar y cargar programas en las placas Arduino. Es una herramienta esencial para la programación de microcontroladores Arduino y está diseñada para ser accesible tanto para principiantes como para desarrolladores avanzados. Las características principales son:

1. Escritura del Código: El Arduino IDE proporciona un editor de texto simple donde los usuarios pueden escribir su código en un lenguaje basado en C/C++.

2. **Compilación:** Una vez que el código está escrito, el IDE lo compila, convirtiéndolo en código máquina que el microcontrolador de la placa Arduino puede entender. Durante la compilación, el IDE también verifica el código en busca de errores sintácticos.

Después de la compilación, el código es cargado en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino a través de un cable USB. El microcontrolador entonces ejecuta el programa cargado. El Arduino IDE es compatible con una amplia gama de placas Arduino, desde modelos básicos como el Arduino Uno hasta placas más avanzadas como el Arduino Mega, Nano, y otras variantes [43]

2.8.6 Desarrollo de circuitos eléctricos en el programa Proteus

Proteus es un software de diseño y simulación electrónica ampliamente utilizado en el ámbito educativo, así como en el desarrollo profesional de proyectos electrónicos. Este programa combina herramientas para el diseño de esquemáticos, la simulación de circuitos y la creación de PCB (placas de circuito impreso). Su versatilidad lo convierte en una opción ideal para diseñar, probar y verificar circuitos antes de proceder a su implementación física.[45].

Para el desarrollo del proyecto, proteus se presenta como una herramienta fundamental. Su capacidad para simular el sistema antes de implementarlo permite validar el diseño y detectar errores en una etapa temprana del proyecto, lo que reduce significativamente los costos asociados a componentes y fabricación, además de poder simular cada una de las conexiones para su correcta implementación.

3. CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

En esta sección se explica los procedimientos, técnicas y enfoques que se utilizarán para llevar a cabo el proyecto técnico. A continuación, en la figura 22, se presenta un diagrama de flujo donde se aprecia cada uno de los procesos a seguir dentro del desarrollo del proyecto técnico.

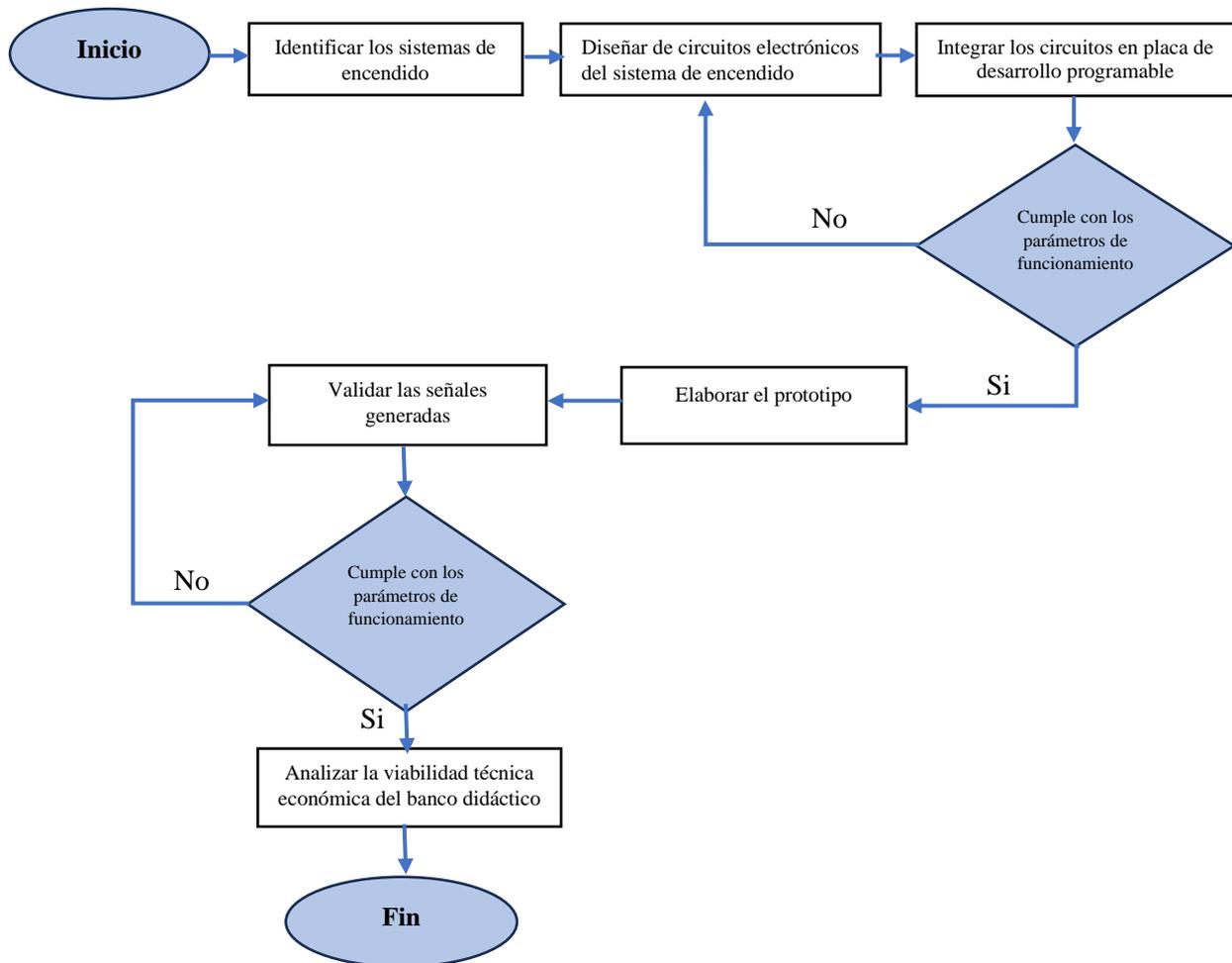


Fig. 22. Diagrama de flujo de la metodología del proyecto técnico

Cada una de las secciones que se menciona dentro del diagrama de flujo se tomará en cuenta para desglosar los conceptos y procedimientos, que permitirá llevar a cabo la parte metodológica del proyecto.

3.1. Criterios de diseño del banco didáctico

El banco didáctico del sistema de encendido tiene como propósito simular el sistema de encendido de vehículos modernos con motores MEP. Se aplica el sistema de encendido DIS, además del sistema COP implementado una bobina automotriz para cada sistema, las demás

bobinas del sistema COP son simuladas por el microcontrolador. Cuenta con los sensores CKP, CMP, KS cada uno de estos elementos está acompañado de puntas de prueba para la medición de señales, además de la visualización de oscilogramas, cuenta con un apartado de fallas inducidas a cada elemento que conforma el sistema de encendido, la cual se simula las fallas principales de alimentación y resistencias.

Para validar el funcionamiento del sistema, se desarrolla un prototipo experimental del banco didáctico, la cual lleva los demás elementos descritos anteriormente, para verificar el correcto desempeño del sistema de encendido y la respuesta de los sensores ante diversas condiciones operativas. Finalmente, para la fabricación del banco didáctico definitivo, se elabora un diseño (3D) y los respectivos planos técnicos, asegurando una construcción alineada con los objetivos educativos del proyecto.

Además, cabe recalcar como criterios de diseño el equipo debe tener una interfaz de usuario amigable e intuitiva, con indicadores claros y fáciles de entender para cada uno de los elementos que conformará el sistema de encendido. A nivel general el banco didáctico, se plantea que pueda contar un teclado numérico, para poder ingresar los códigos característicos de falla, con una pantalla LCD que permitirá visualizar cada uno de los valores ingresados.

Se contará con un regulador de voltaje que permitirá conectarlo al tomacorriente domestico funcionando el equipo mientras está conectado a la corriente, contara con la placa de desarrollo programable que es capaz de procesar los datos que se programe para llevar a cabo todas las funciones del sistema de encendido. Con estos criterios se procedió a la elección y adquisición de los elementos electrónicos del equipo.

3.2. Identificación de los sistemas de encendido de los autos más comercializados en el Ecuador

El presente proyecto contempla la implementación de dos sistemas de encendido, DIS y COP ambos con bobinas simples, y cuyo diagrama eléctrico fue presentado en el marco teórico, la cual sirve como guía para proceder con el diseño de circuitos eléctricos y conexiones. Con los diagramas eléctricos de los vehículos más vendidos en el Ecuador durante el año 2023, permitirá identificar cual es sistema de encendido que está presente en los vehículos modernos, además de los elementos principales que lo conforman. A continuación, se presentan los diagramas del sistema de encendido del Top 6 de vehículos más comercializados en el Ecuador de la figura 23-25.

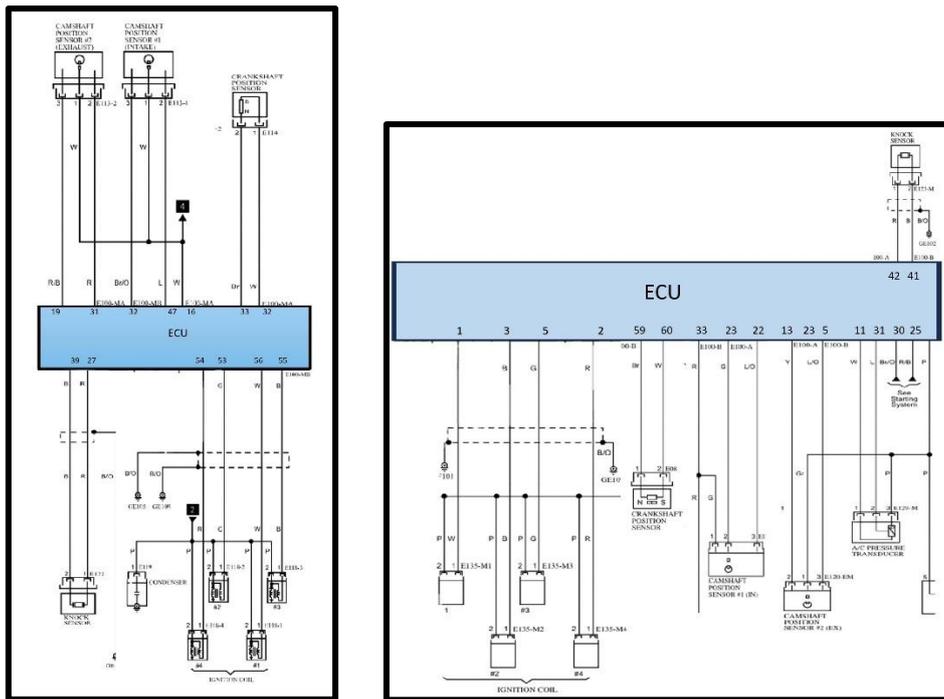


Fig. 23. Diagrama eléctrico del sistema de encendido del vehículo Kia soluto y Kia picanto[46].

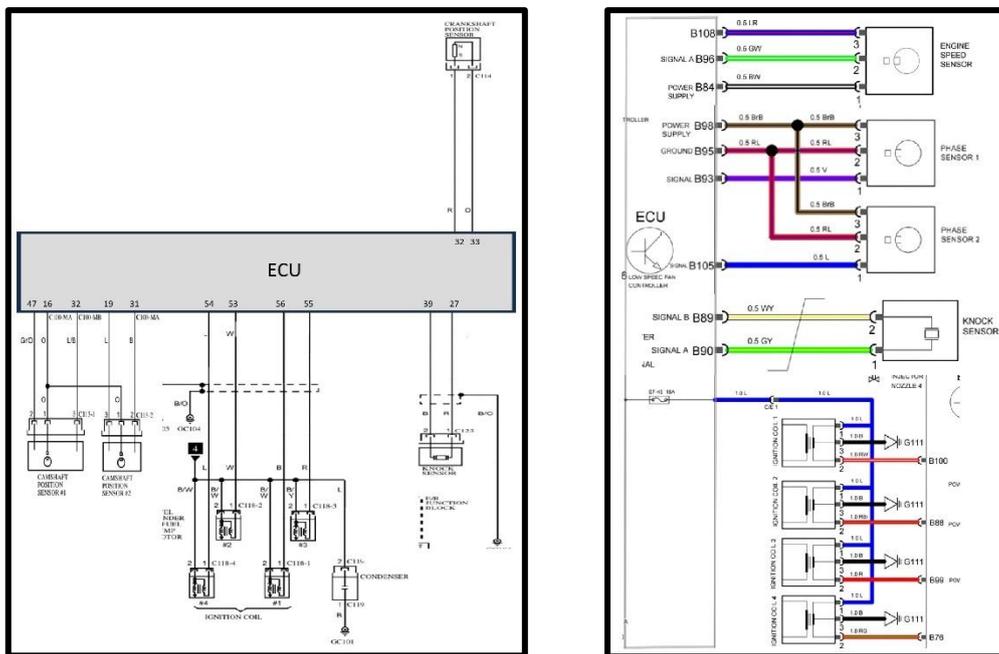


Fig. 24. Diagrama eléctrico del sistema de encendido del vehículo Kia soluto y Kia picanto [46].

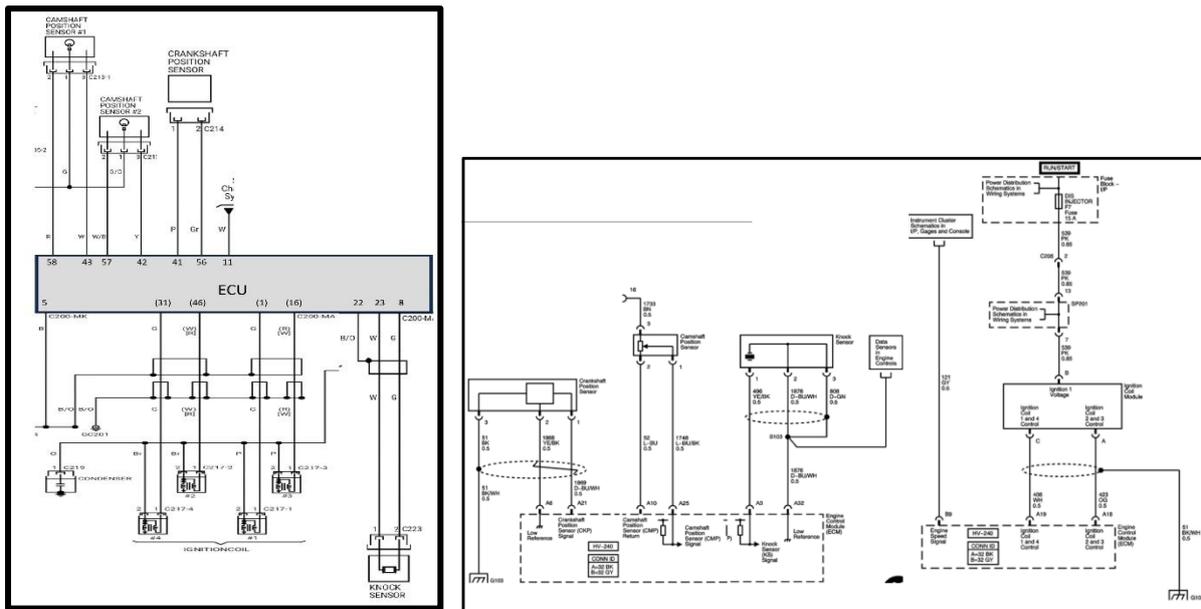


Fig. 25. Diagrama eléctrico del sistema de encendido del vehículo Kia Sportage y Chevrolet Aveo family [46].

A continuación, en la figura 26, en base a los diagramas electricos de automoviles anteriormente presentados, se desarrolla un diagrama de bloques que representa a nivel general los elementos principales que conforma el banco didactico, en este caso para el desarrollo se considero los sensores principales de sincronización que enviaran las señales al Microcontrolador para despues gestionar los datos y controlar el salto de la chispa las bobinas y poder representar el funcionamiento, cabe recalcar que ambos sistemas de bobinas funcionaràn por separado, alternando su encendido cuando se lo requiera.

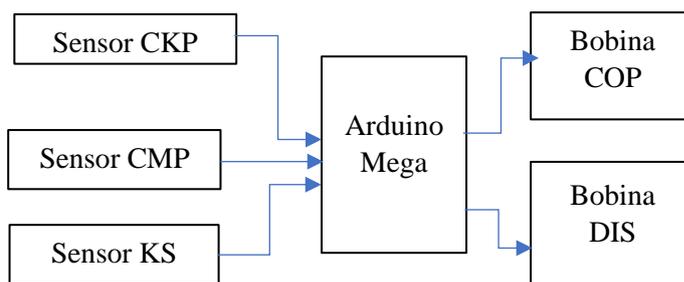


Fig. 26. Diagrama de bloques general del sistema de encendido del banco didáctico

3.3. Desarrollo del hardware

Se utilizan diagramas de bloques como una herramienta clave para visualizar y planificar el desarrollo de cada fase de las conexiones físicas y electrónicas necesarias para el desarrollo de la maqueta. Estos diagramas permiten desglosar el sistema en componentes principales, facilitando la comprensión de su funcionamiento global y las interacciones entre las distintas partes. Es fundamental considerar la simbología estándar utilizada en los diagramas, ya que cada elemento gráfico representa una función específica dentro del sistema.

A través del diagrama, se representa el proceso de funcionamiento del banco didáctico, estableciendo grupos esenciales en su construcción como: Sistema de encendido COP y DIS, alimentación, control y salida de señales simuladas de sensores del banco, entradas de señales de ejecución al banco y sistema de fallos, esta información sirve como base para la elaboración del software en Proteus.

3.3.1. Representación del sistema de encendido COP y DIS

El sistema cuenta con un potenciómetro que simula el acelerador, enviando señales al microcontrolador Arduino para ajustar las RPM del motor de 12 V, que ira de manera interna. El sensor de efecto Hall (CMP) detecta la posición de la rueda dentada, la cual va girar a la par de la rueda dentada, el sensor inductivo (CKP) indica la posición del diente faltante, ambos sincronizando el ciclo de encendido. Además, el sensor de golpeteo no estará conectado directamente al Arduino, ya que solo será un elemento por separado, cabe recalcar que estos sensores serán utilizados para el sistema COP y DIS, así mismo como las conexiones, además cuenta con un interruptor para poder intercambiar el funcionamiento entre ambos sistemas.

El microcontrolador Arduino procesa las señales recibidas de los sensores y las utiliza para controlar un módulo de potencia que activa las bobinas de encendido. El sistema incluye una salida para una bobina física, que genera chispas reales, y salidas simuladas que representan otros cilindros, utilizando indicadores visuales como LEDs. Esto permite observar y analizar el orden de encendido de forma didáctica.

Un segundo microcontrolador gestiona una pantalla LCD que muestra información clave del sistema como los códigos de fallos ingresados. En la figura 27 se presenta con un diagrama de bloques las conexiones del sistema.

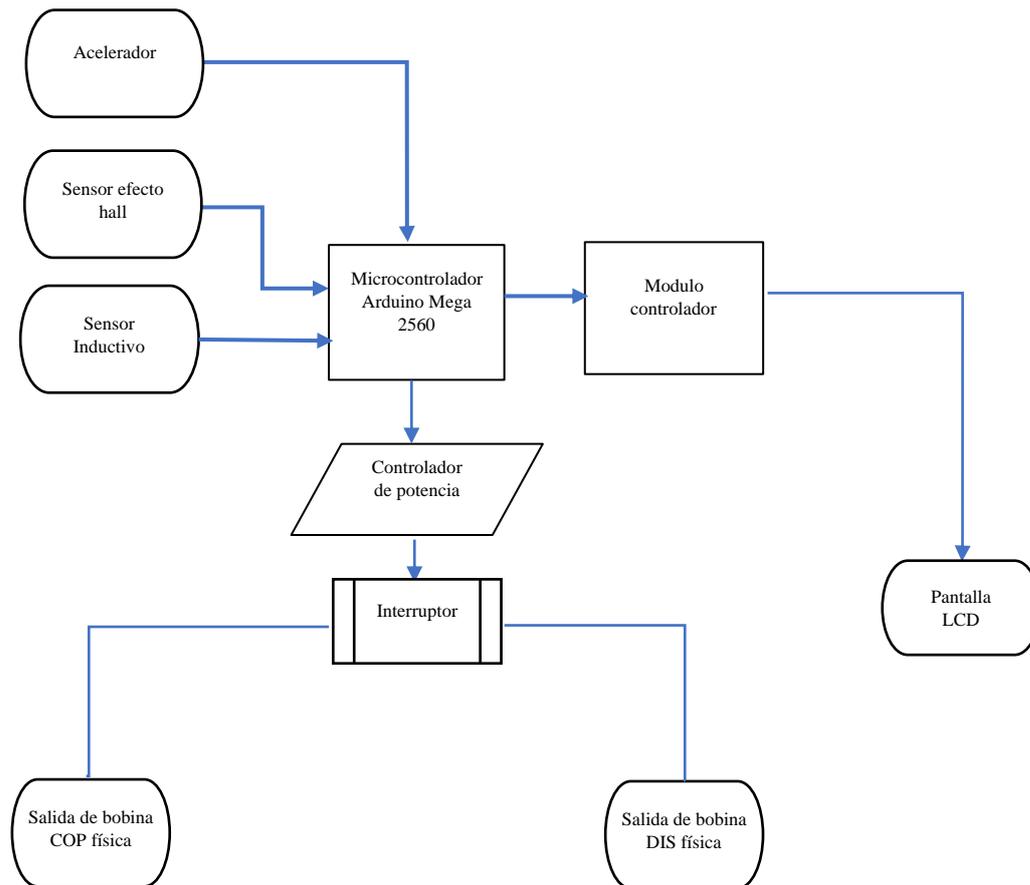


Fig. 27. Diagrama de bloques del sistema de encendido DIS y COP

3.3.2. Sistema de alimentación

El banco didáctico cuenta con una fuente de alimentación de 12V, 10A en CC que alimenta a los elementos principales del Arduino Mega2560, y los módulos del sistema de fallos, junto con la alimentación de sensores y motor, además posee un regulador de 5V que permite la alimentación del sistema de control del banco. Además, cuenta con una fuente alimentación aparte de 12V, 3 A en CC, esta solo conecta la bobina COP y DIS, debido al consumo de corriente de esta bobina, por lo que se optó conectar otra fuente por separado. En el siguiente diagrama de bloques de la figura 28 se representa la conexión del sistema:

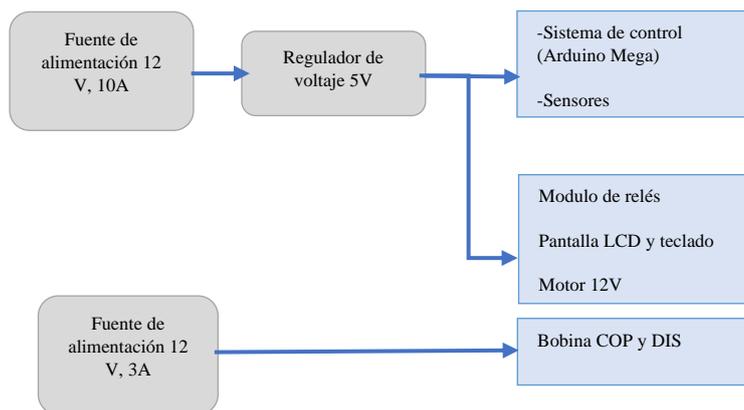


Fig. 28. Diagrama de bloques del sistema de alimentación general del banco

3.3.3. Sistema de Control

Controlado a través de una interfaz que utiliza un teclado matricial, el sistema envía instrucciones a la tarjeta Arduino Mega, lo que permite seleccionar los diferentes tipos de fallos en los sensores y el actuador, además el Arduino permite gestionar las señales correspondientes de los diferentes componentes que conforma el sistema de encendido. En el diagrama de bloques de la figura 29, se identifica los diversos elementos que están interconectados dentro del sistema de control:

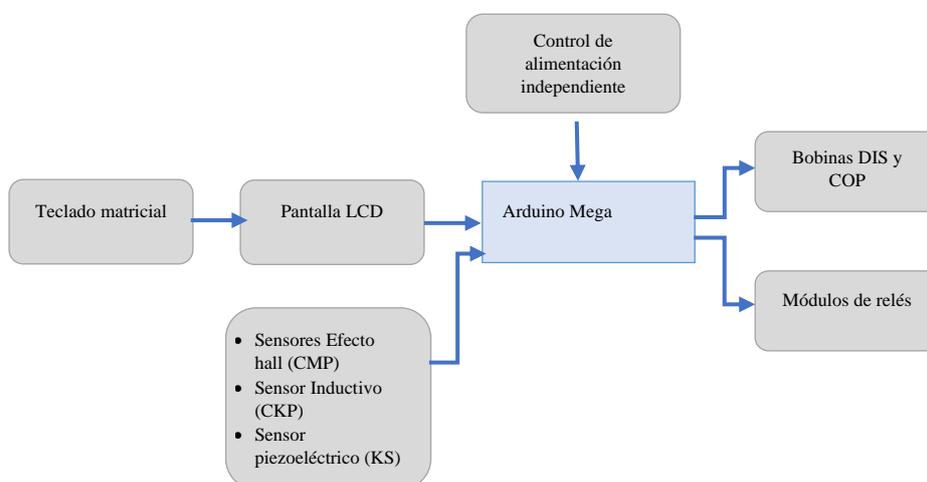


Fig. 29. Diagrama de bloques del sistema de control del banco

3.3.4. Señales de entrada al Banco

La placa electrónica se encarga de interpretar las señales provenientes de los sensores y potenciómetros, los cuales están conectados junto con otros componentes eléctricos del sistema. Estas señales permiten monitorear y analizar el funcionamiento del sistema en tiempo real mediante indicadores LED, que emulan el encendido de las bujías en un motor. Adicionalmente, la placa procesa los datos para ajustar los parámetros operativos, proporcionando una representación visual del comportamiento del sistema de encendido, a través de la figura 30, se representa las conexiones de estas señales de entrada:

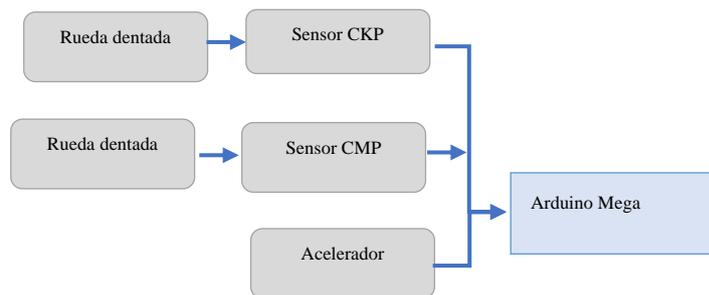


Fig. 30. Diagrama de bloques de las señales de entrada del banco

3.3.5. Señales de salida del Banco

El banco emite señales tanto digitales como analógicas, cuyos parámetros de funcionamiento se ajustan mediante la manipulación de potenciómetros, simulando así las condiciones operativas del sistema de encendido de un vehículo. Estas señales se transmiten a los diferentes componentes de la maqueta, como actuadores y otros módulos, a través del puerto de salida del microcontrolador, junto con sus respectivas líneas de conexión como se lo presenta en la figura 31 del siguiente diagrama de bloques:

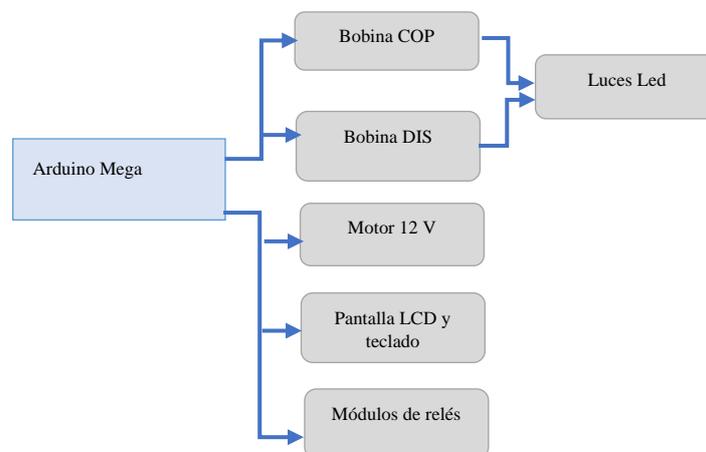


Fig. 31. Diagrama de bloques de las señales de salida del banco

3.3.6. Representación del sistema de fallos del banco

El diagrama de flujo representa el sistema de fallos implementado en un banco didáctico del sistema de encendido, en el cual se simulan y diagnostican fallas en los sensores CKP, CMP y KS, así como en las bobinas DIS y COP

El proceso inicia con el funcionamiento normal del sistema. A partir de este estado, el usuario introduce un código de falla a través de un teclado, el cual es visualizado en una pantalla LCD para confirmar la entrada, esto activa el módulo relés, en la cual se realiza hasta identificar con precisión el tipo de fallo. Una vez identificado el problema, el usuario ingresa nuevamente el código de activación en el teclado, lo que permite restablecer el relé y devolver el sistema a su estado de funcionamiento normal. En la siguiente figura 32 se muestra el proceso del sistema de fallos de la maqueta.

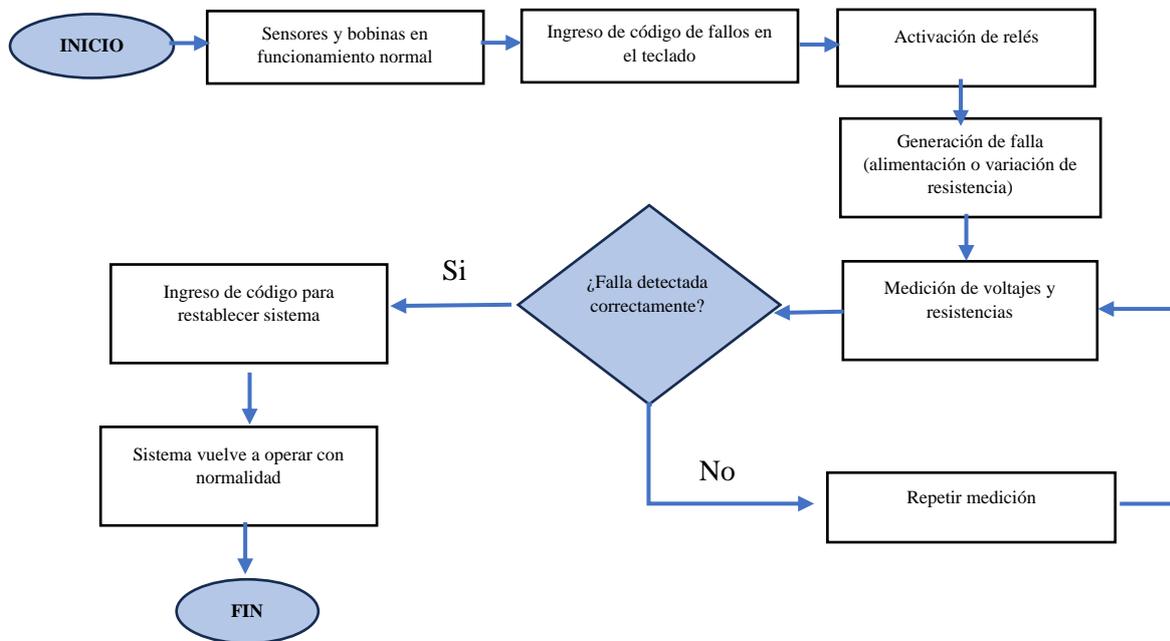


Fig. 32. Diagrama de flujo del proceso del sistema de fallos del banco

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Diseño de circuitos eléctricos del sistema de encendido

4.1.1. Circuito del sistema de encendido COP

El circuito del sistema de encendido mostrado en la figura 34 se utiliza un Arduino como controlador principal, en conjunto con diversos componentes electrónicos que permiten simular el funcionamiento de un sistema de encendido COP (Coil-On-Plug). El Arduino genera las señales necesarias para controlar los transistores MOSFET, los cuales actúan como interruptores electrónicos que gobiernan el paso de corriente hacia las bobinas de encendido. Estas bobinas tienen la función de generar un alto voltaje para producir la chispa en las bujías simuladas. Para proteger tanto al Arduino como a los transistores, se incluyen resistencias de polarización en las compuertas de los MOSFET, limitando la corriente y asegurando la estabilidad del circuito. En la figura 33 se presenta el diseño realizado en proteus, junto con las conexiones de las bobinas hacia los pines del Arduino, para una mejor visualización la imagen se encuentra en anexos.

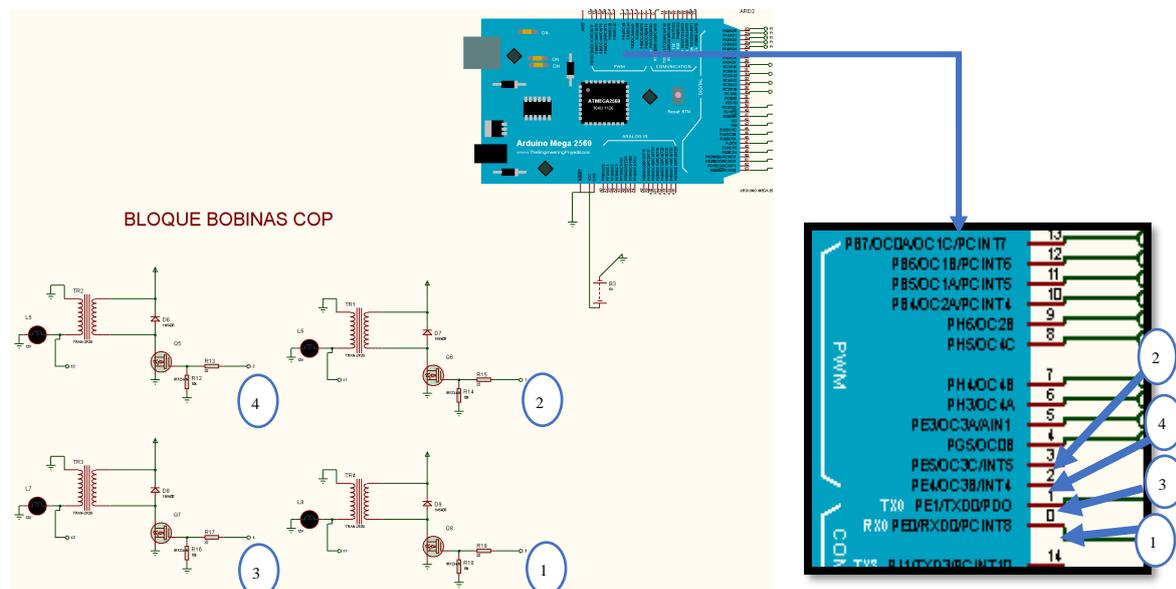


Fig. 33. Circuito de funcionamiento del sistema COP realizado en proteus

Se presenta un esquema eléctrico de las conexiones de los pines de las bobinas hacia el Arduino mega para que estos se puedan activar los transistores de la bobina DIS, para el respectivo funcionamiento de las bobinas. Se presenta en la tabla V los pines de conexión.

TABLA V. Descripción de los pines de conexión de Arduino y bobinas

N# de pin arduino	Descripcion de pines de conexión de bobinas	N# de pin bobinas	Descripcion de pines de conexión de bobinas
1	Entrada digital, salida PWM.	1	Señal de la bobina Cop 1
2	Entrada digital, salida PWM.	3	Señal de la bobina Cop 2
3	Entrada digital, salida PWM.	4	Señal de la bobina Cop 3
4	Entrada digital, salida PWM.	2	Señal de la bobina Cop 4
VCC	Alimentación de 5V Arduino		
GND	Tierra del Arduino		

4.1.2. Circuito del sistema de encendido DIS

El circuito está controlado por un Arduino, que se conecta a través de los pines digitales (D2 y D3) a los transistores de canal N, modelo IRFZ44N (Q1 y Q2). El Arduino recibe señales de entrada de los generadores de señales en los pines de (4-5), que mandan pulsos PWM para que las bobinas se activen. Estas señales permiten al microcontrolador calcular el momento exacto en que se deben activar las bobinas.

El funcionamiento del sistema se basa en la activación de los transistores por las señales enviadas por el Arduino. Este proceso se realiza de manera sincronizada para garantizar el encendido adecuado en cada cilindro.

Adicionalmente, el circuito incluye una fuente de alimentación de 12V (B1) que alimenta las bobinas y el Arduino, en la figura 34, se observa a detalle el circuito y las conexiones del sistema, para una mejor visualización la imagen se encuentra en anexos.

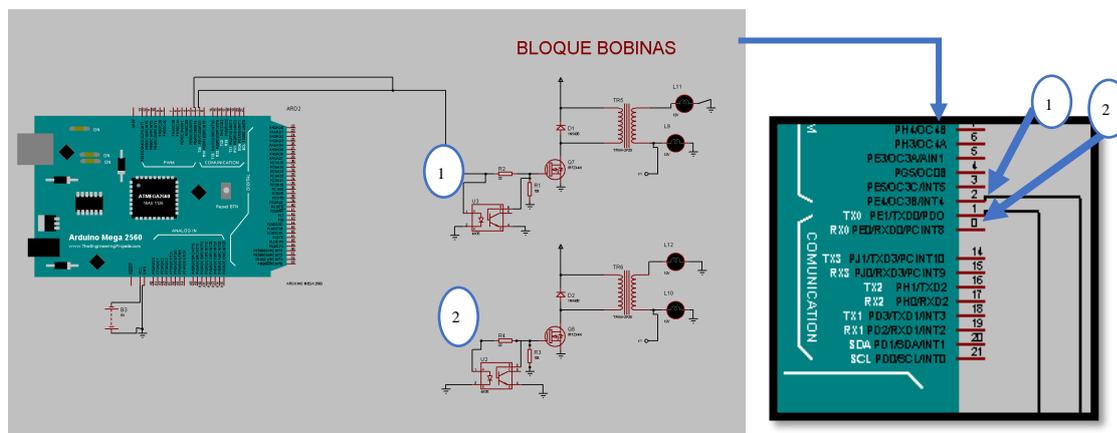


Fig. 34. Circuito de funcionamiento del sistema de encendido DIS realizado en proteus

Para conocer las diferentes descripciones de los pines de conexión se redactó una tabla VI indicando de manera específica los pines además de visualizarlo en la figura 34 del diagrama eléctrico.

TABLA VI. Descripción de los pines de conexión del arduino mega

N# de pin arduino	Descripcion de pines de conexión de bobinas	N# de pin bobinas	Descripcion de pines de conexión de bobinas
1	Entrada digital, salida PWM.	1	Señal de la bobina DIS
2	Entrada digital, salida PWM.	3	Señal de la bobina DIS
VCC	Alimentación de 5V Arduino		
GND	Tierra del Arduino		

Considerando que la corriente empleada superó 1 amperio, se optó por utilizar un transistor de potencia modelo IRFZ44N, el cual presenta una configuración tipo NPN. Según las especificaciones técnicas proporcionadas en su datasheet, se confirmó que los parámetros de operación del componente se encuentran dentro de los rangos adecuados para el correcto funcionamiento del sistema [47].

Para calcular la corriente IC en el circuito, se aplica la Ley de Ohm, como se presenta en la ecuación 1 [47].

$$IC = \frac{V}{R} \quad (\text{Ecuación 1}) [47]$$

El voltaje representa el valor de la fuente de alimentación de la bobina DIS, el cual es de 12V.

La resistencia corresponde al valor del circuito primario de la bobina DIS, siendo su límite máximo de 6 Ω para garantizar su correcto funcionamiento.

Es fundamental conocer la corriente que circula por el punto donde se instalará el transistor, ya que este actuará como un interruptor. En este caso, la corriente medida fue de 2 A, por lo que se optó por una fuente de 3 A para alimentar la bobina. Esta elección se hizo considerando un margen de seguridad, evitando posibles fallas debido a un suministro de corriente insuficiente. El parámetro principal para la selección del transistor es la corriente IC, asegurando así su adecuada operación dentro del sistema.

4.1.2.1 Cálculo de la resistencia del sistema de control de bobina DIS

A continuación se presenta el cálculo de la resistencia en ohmios que permite operar al transistor en modo corte saturación (conmutador). En la ecuación 2 [47] se visualiza los valores

a tomar en cuenta. Se conoce el voltaje y la corriente, razón por la cual se puede emplear la Ley de Ohm $I=V/R$.

$$R = \frac{V-0,7}{\frac{I}{hF_e}} \quad (\text{Ecuación 2}) [47]$$

Resistencia (R): Corresponde al valor de resistencia obtenido mediante cálculo.

- Voltaje (V): Es la tensión suministrada por el pin del microcontrolador Arduino mega, que suele ser de 5V. Sin embargo, es necesario restar 0.7V, ya que esta es la caída de tensión estándar entre la base y el emisor de un transistor, parámetro identificado en la hoja de datos del transistor como Vb (voltaje base).
- Corriente (I): Representa la corriente demandada por el circuito que se desea activar o desactivar, en este caso 2A, también está presente la corriente (IB) suministrada por el Arduino hacia la base del transistor. Según las especificaciones del microcontrolador, este valor corresponde a 100 mA [47].
- hFe: Es el factor de amplificación de corriente del transistor, también conocido como ganancia de corriente. Este valor es proporcionado por el fabricante y puede ser verificado con un multímetro. Antes de determinar la resistencia del sistema, se calcula que la ganancia es de 20Hfe [47].

Resultado de cálculo de resistencia: 43Ω

Como no existe un valor comercial exacto de la resistencia se utilizó el valor de la resistencia superior disponible en el mercado (47 ohmios).

4.1.3 Diseño del circuito del sensor CKP y CMP

Para la generación de la señal del CKP, en la simulación del programa Proteus, se utiliza una fuente de voltaje como entrada primaria, junto con un arreglo de resistencias y amplificadores operacionales (U1 y U2). Estos componentes generan una señal que emula el comportamiento de un sensor CKP inductivo, produciendo una onda que varía según la posición y la velocidad simulada. El amplificador operacional U1 está configurado como un amplificador inversor, mientras que U2 se encarga de ajustar la señal para que sea proporcional a la entrada analógica.

1. Conversión de señal PWM a analógica: En esta sección, el circuito convierte las señales PWM (generadas por el Arduino) en señales analógicas más suaves mediante un filtro pasivo RC (compuesto por una resistencia y un capacitor) seguido por un amplificador

operacional (U3). Este bloque permite suavizar las señales digitales y convertirlas en un formato más adecuado para emular sensores analógicos, lo cual es crítico para el funcionamiento del sistema.

2. Interfaz con el Arduino: El Arduino actúa como el controlador central del circuito. Recibe la señal del potenciómetro a través del pin A0 y genera la señal PWM que se utiliza en la etapa de conversión. Además, el microcontrolador puede procesar las señales del sensor CKP simulado y enviar información a otros sistemas o módulos relacionados con el encendido. La figura 35 posee la información descrita del diseño del circuito, para poder visualizar mejor el circuito se encuentra en la parte de anexos

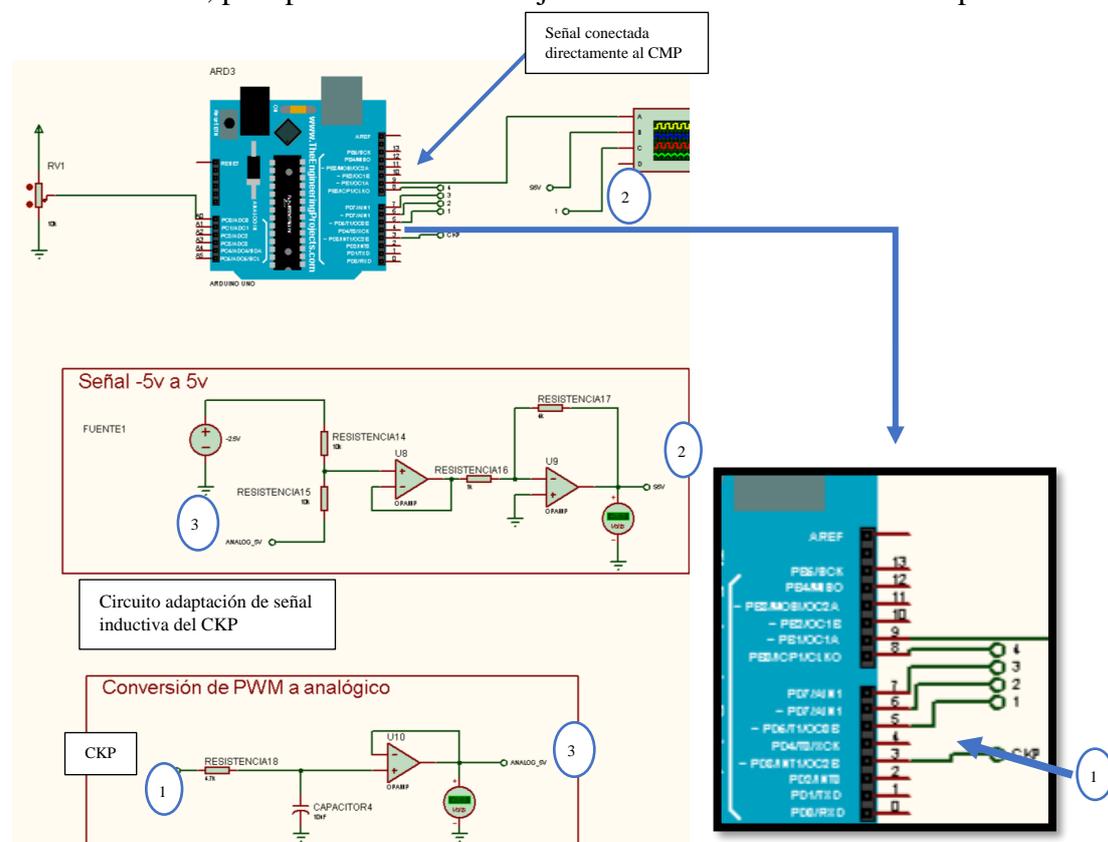


Fig. 35. Diseño del circuito del sensor CKP inductivo

Para el sensor CMP puede conectarse directamente al microcontrolador Arduino Mega debido a su capacidad para generar señales digitales PWM, compatibles con los pines de entrada digital del microcontrolador. Para la conexión, se debe tomar en cuenta el pin de salida del sensor ("OUT" o "Signal"), que se conecta a un pin digital del Arduino Mega, como D2 o D3, que admiten interrupciones para un conteo preciso de los pulsos generados. Además, se deben considerar los pines de alimentación del sensor: VCC, que se conecta a un pin de 5V del Arduino Mega, y GND, que se conecta al pin de tierra (GND) del microcontrolador.

4.1.4 Diseño del sistema fallos del banco didáctico

El sistema está compuesto por una pantalla LCD 16x2 muestra mensajes relacionados con las instrucciones del usuario y códigos de fallo. Un teclado matricial permite ingresar códigos específicos para activar los fallos simulados, mientras que un microcontrolador central interpreta estas entradas y controla las salidas hacia los relés y la pantalla. Los módulos de relés, conectados al microcontrolador, realizan interrupciones o modificaciones en los circuitos eléctricos, lo que genera las fallas programadas, para sensor y bobina que conforma el sistema de encendido será conectado a dos relés para representar la falla por alimentación y resistencia. Finalmente, el circuito cuenta con una fuente de alimentación que proporciona energía a todos los componentes, en la figura 36 se representa el circuito con las diferentes conexiones del sistema de fallos, para una mejor visualización la imagen se encuentra en anexos.

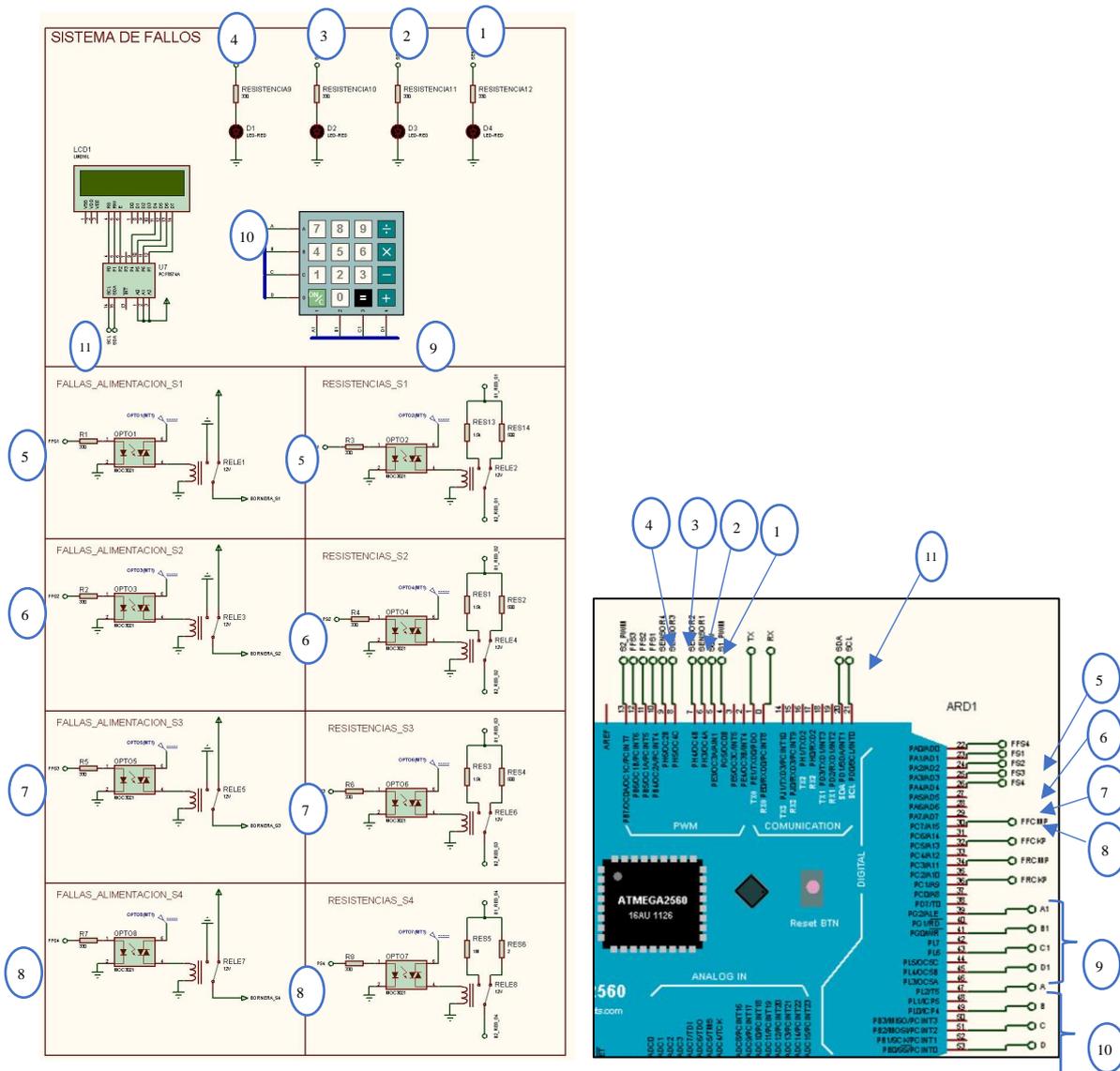


Fig. 36. Circuito de módulo de relés, para fallas del sistema

Tomando en cuenta cada una de las conexiones de los sistemas para el funcionamiento del sistema de encendido, además del circuito de alimentación del sistema que va estar conectado de manera independiente para el sistema de sensores y módulos de relés, y aparte con las bobinas de encendido, se realizó un esquema general de todo el circuito que conforma el banco didáctico. En la figura 37 se representa el diseño de las conexiones completo del banco, para una mejor visualización la imagen está en la parte de anexos del documento:

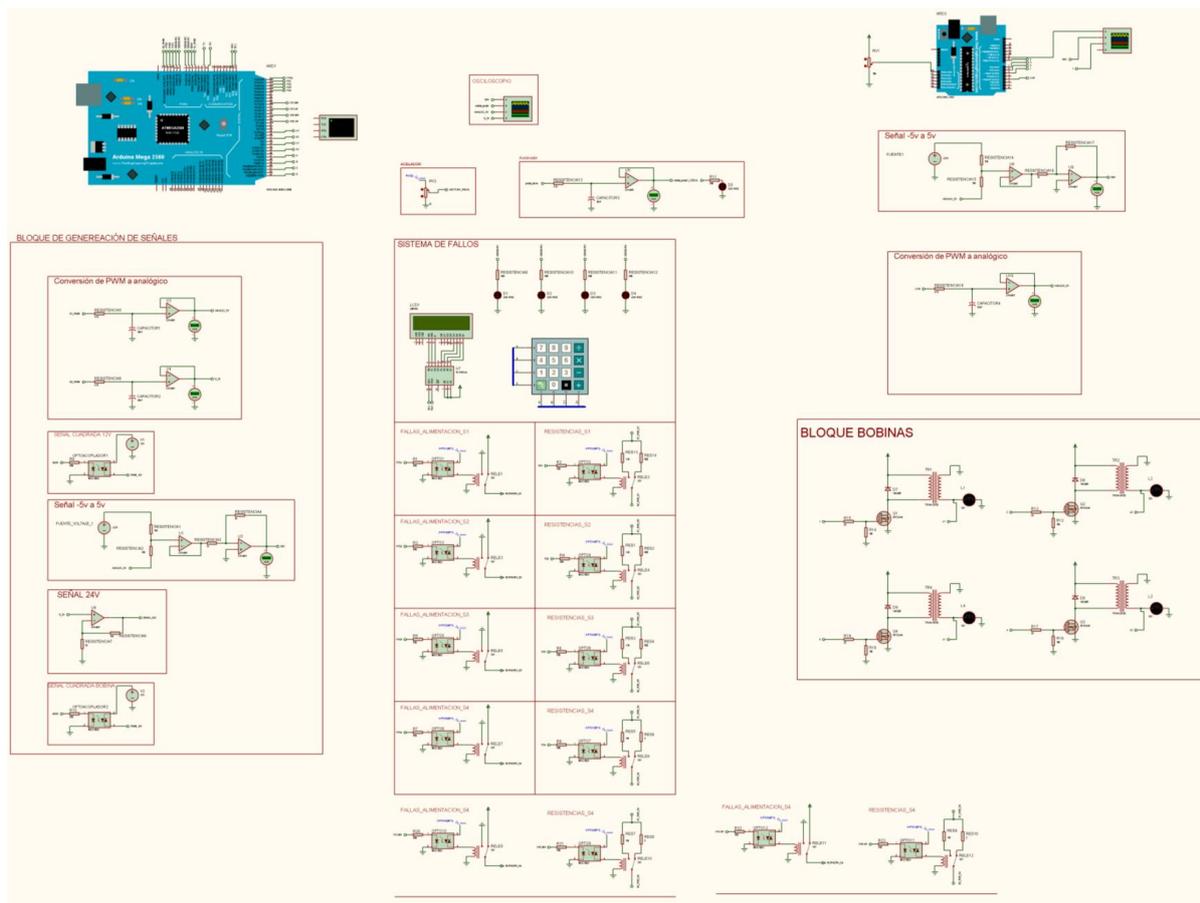


Fig. 37. Esquema de todo el sistema eléctrico del banco didáctico

4.2 Proceso de creación de placas PCB

El diseño de placas PCB en Proteus comienza con la creación del esquema eléctrico, donde se establece la conexión virtual entre componentes como resistencias, condensadores, transistores y microcontroladores. Este esquema es fundamental porque define el funcionamiento lógico del circuito. Posteriormente, cada componente virtual se asocia con su representación física, incluyendo dimensiones y encapsulados específicos, para garantizar su correcta ubicación. En la figura 38 se presenta el proceso para la creación de las PCB.

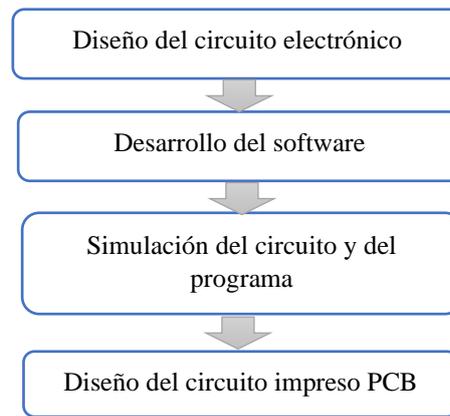


Fig. 38. Proceso de diseño de placas PCB [45]

Para el diseño de esta PCB se procedió a realizarla por partes, a su vez se hacen varias PCB puesto que el diseño está sujeto a cambios. No se optó por un diseño tipo shield por el mismo motivo. En total se tendrán 2 PCB, la primera pcb será la principal donde se tendrá el circuito de alimentación, circuito de control (Salidas a relé), conexiones a teclado y pantalla y conexión de sensores incluyendo potenciómetro. El segundo PCB será toda la parte de control de actuadores, es decir, el circuito que controlará bobinas y el motor que se está usando.

4.2.1 Circuito de alimentación

Se realiza un circuito de alimentación que permita tener una alimentación dual en todo el circuito, una de 12v y otra de 5v. El circuito 7805 es aquel que permite convertir 12v a 5v de manera estable, adicionalmente se le agrega dos capacitores que permiten que la salida de 5v sea estable, todo esto se detalla en la figura 39.

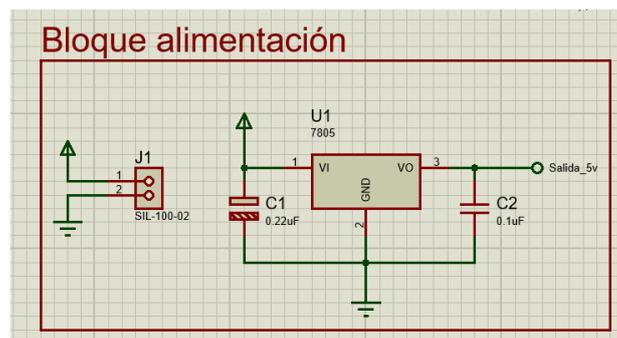


Fig. 39. Diseño en proteus del circuito de alimentación

4.2.2 Circuito de control

Para estas conexiones se tomó en cuenta lo siguiente, las conexiones del Arduino al PCB, del PCB a elementos (conexiones en PCB) y las conexiones a las borneras (salidas físicas). Los relés no se incluyeron en este circuito ya que estos cuentan con su propio circuito que ya está elaborado al adquirirlo.

En conexiones al Arduino se incluyen las conexiones de pantalla, teclado, potenciómetro (acelerómetro) y los sensores cmp y ckp. Para que el Arduino pueda leer la señal del sensor CMP, se usó un circuito para acondicionar la señal, dicho circuito es el del componente PC817. Los demás terminales de conexión en pcb es solo para conectar a pantalla, teclado y potenciómetro. En salidas físicas se puso terminales para la señal de los sensores ya mencionados y salidas 2 de 12v y 5v de cada una respectivamente. En la figura 40-41-42 se presente el procedimiento para el diseño de la placa PCB.

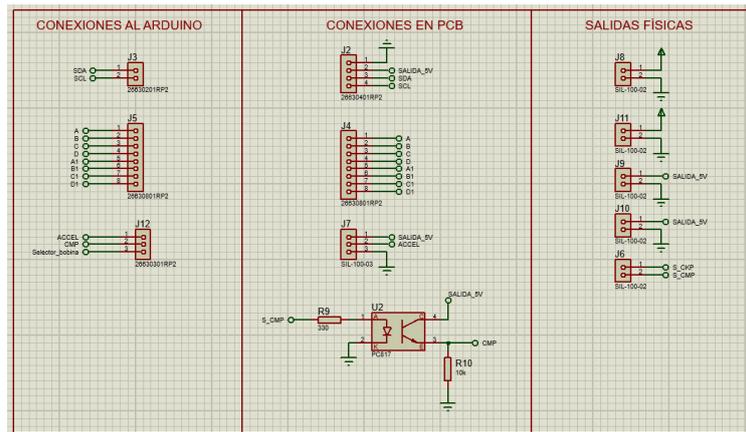


Fig. 40. Diseño en proteus del circuito de control

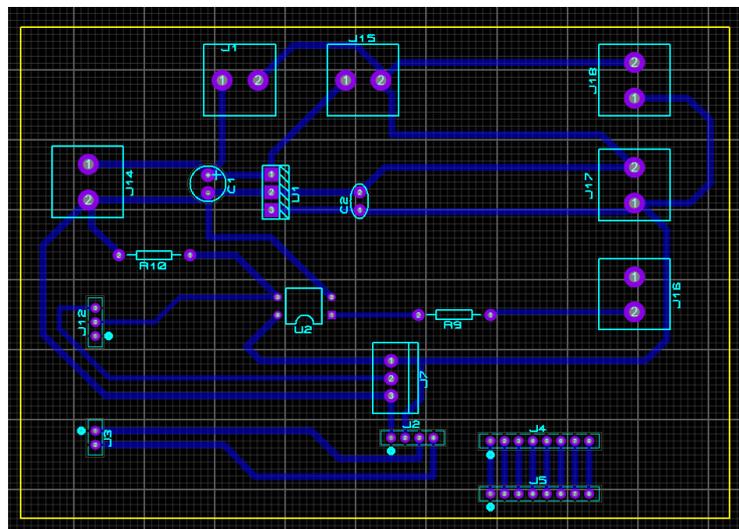


Fig. 41. Diseño de placa PCB, del circuito de alimentación y control



Fig. 42. Placa PCB construida del circuito de alimentación

Para esta Pcb juntamos los circuitos de fallas, el circuito para los relés, el circuito para los leds y el circuito para las bobinas, así mismo se incluye circuitos para salidas/entradas físicas para la maqueta, para la falla de alimentación solo se puso una salida puesto que para la conexión a relé no será necesario usar PCB. La salida de los leds tiene la señal y tierra para que puedan prender, además, para los fallos por resistencias se hace un punto común y solo se hace uso de dos resistencias para ahorrar espacio. En la figura 43-44-45 se presenta un esquema general del diseño de la placa Pcb.

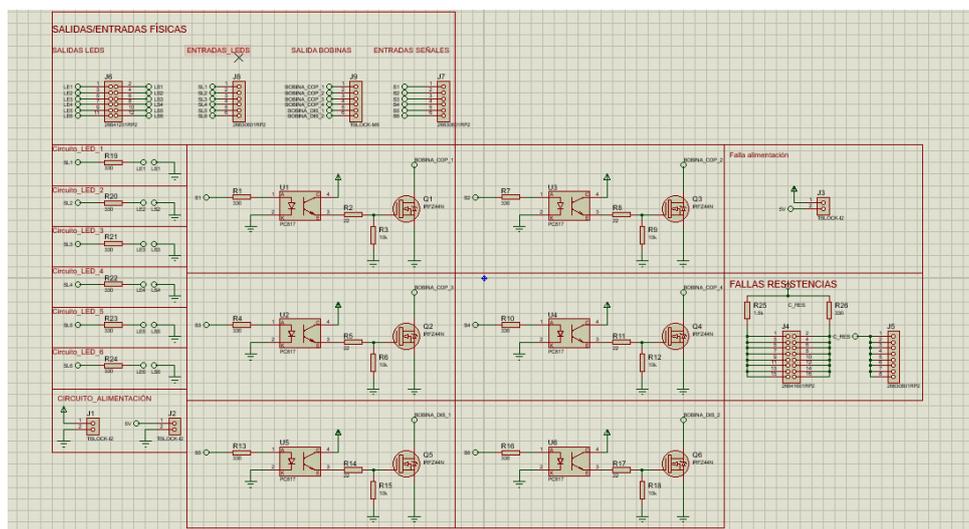


Fig. 43. Vista esquemática en proteus del circuito eléctrico la maqueta

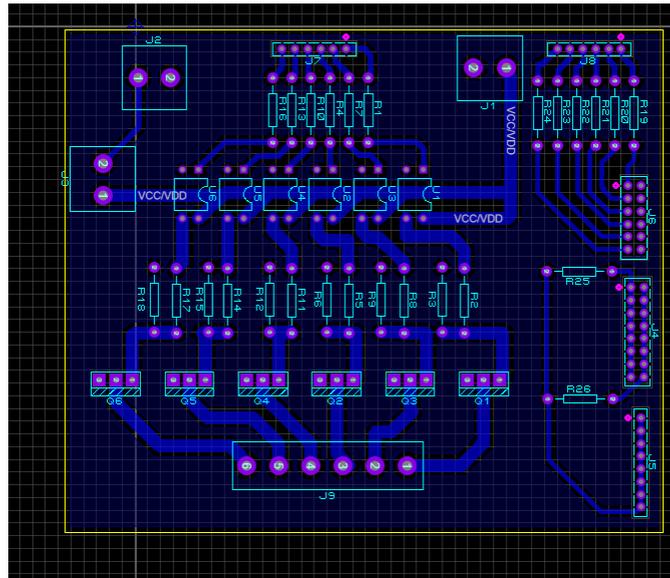


Fig. 44. Diseño de la placa PCB del circuito general de la maqueta



Fig. 45. Placa PCB construida del circuito de control

4.3 Diseño 3D del banco didáctico

El diseño 3D del banco didáctico se lo desarrollo en el programa Inventor Autodesk es un proceso técnico que permite crear un modelo virtual detallado, tomando como referencia los bancos didácticos comerciales existentes y sus funcionalidades. Este enfoque asegura que el banco didáctico sea funcional, ergonómico y cumpla con los objetivos educativos establecidos. Para comenzar, se realiza una investigación exhaustiva sobre los bancos didácticos disponibles en el mercado. Esto incluye observar su estructura, dimensiones, disposición de los componentes y funcionalidad general. A continuación, en la figura 46 se muestra las dimensiones del banco didáctico que se desea construir.

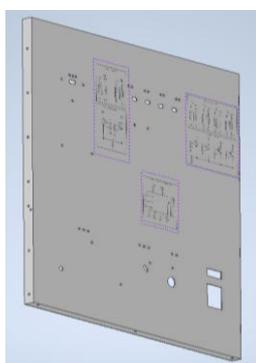


Fig. 46. Vista 3D del diseño del banco didáctico, de la parte frontal de la maqueta y el recubrimiento posterior.

La parte exterior de la maqueta tiene unas dimensiones 960 mm de alto y ancho de 1060mm, posee dobleces en sus costados de 40 mm de grosor, que permitirá encajar en la caja de recubrimiento posterior para que pueda caber los diferentes elementos electrónicos la cual se consideró para poder diseñarlo. En la figura 47 se presenta las acotaciones, para una mejor visualización de las acotaciones se detalle las acotaciones en anexos:

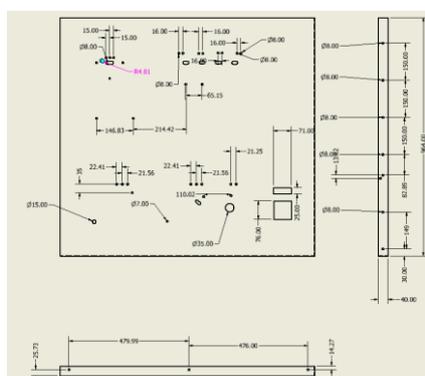


Fig. 47. Acotaciones de la parte frontal del banco didáctico

El panel principal del banco la cual llevara los elementos del sistema de encendido, va a reposar en una mesa, que será colocada como base para sostener el peso además de poder trabajar de manera ergonómica a una altura adecuada, además cuenta con espacios y puntos de perforación para unirlos con la estructura principal del banco. A continuación, en la figura 48, se presenta la vista general en 3D realizado en Inventor Autodesk.

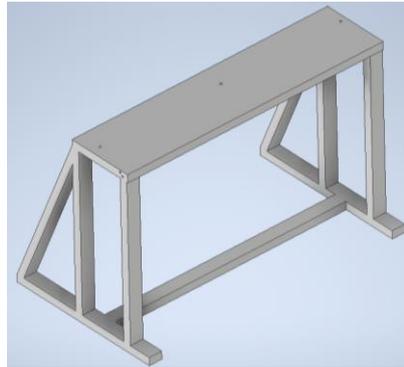


Fig. 48. Diseño 3D de la base del banco didáctico

La base tiene forma de mesa la cual permitirá asentar el panel principal de la maqueta donde van a estar ensamblados los diferentes elementos del sistema de encendido, la cual cuenta con unas medidas principales de 250 mm de ancho y 1016 mm de largo, además de contar con una altura de 66 mm, permitiendo elevar el panel y que permitirá una mejor operación del mismo al momento de realizar pruebas y trabajos didácticos. En la figura 49 se presenta las acotaciones de la base del banco didáctico, para una mejor visualización las acotaciones se encuentran en la sección de anexos.

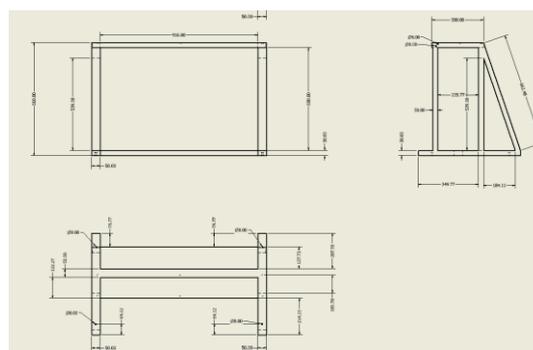


Fig. 49. Acotaciones de la base del banco didáctico

4.3.1 Diseño de las ruedas dentadas del CKP y CMP

Para el diseño de las ruedas dentadas, se tomó en cuenta las dimensiones del banco didáctico, En este caso se definió diseñar la rueda del CMP más pequeña con un diámetro de 120 mm, que posee 4 dientes y la rueda dentada para el sensor CKP siendo más grande con un diámetro de 200 mm, posee 36 dientes, las cuales están unidas a una polea para que transmita el giro. En a la siguiente figura 50 se observa el diseño 3D de las ruedas dentadas.

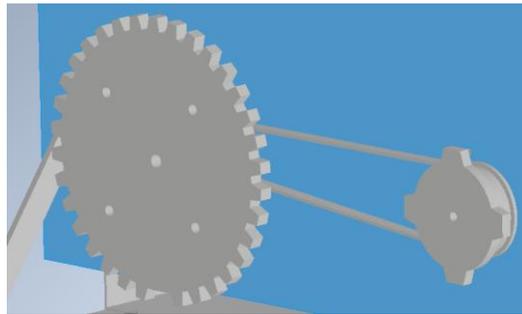


Fig. 50. Diseño de ruedas dentadas realizadas en inventor.

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 DIS y COP, por lo tanto, se necesitará producir señales por cada revolución que giren las ruedas dentadas.

Se realizó una compensación de la Relación de Transmisión a Través de las Poleas que van hacer girar a las ruedas dentadas.

Para la construcción del prototipo se diseñó ruedas más pequeñas debido a las dimensiones más compactas del banco, pero van a cumplir el mismo y el serán el mismo cálculo para permitir el funcionamiento que las ruedas dentadas del diseño del banco didáctico final, al momento de sincronización de giro. Las dimensiones de las ruedas dentadas para el prototipo cuentan con las siguientes medidas:

- CKP (Cigüeñal) → Diámetro de 20 mm
- CMP (Árbol de levas) → Diámetro de 40 mm

La relación de transmisión entre poleas es:

$$\frac{D_{cmp}}{D_{ckp}} = \quad (\text{Ecuación 3}) [47]$$

$$\frac{D_{cmp}}{D_{ckp}} = \frac{40}{20} = 2:1$$

Esto significa que, sin importar la cantidad de dientes en las ruedas dentadas, el cigüeñal girará exactamente dos veces por cada vuelta del árbol de levas. El número de dientes en las ruedas dentadas no afecta directamente la sincronización, sino la resolución y frecuencia de la señal del sensor. el diseño de las poleas compensa esta diferencia y permite que la sincronización sea precisa en el encendido del motor.

4.3.2 Sincronización de los dientes

- **Rueda CKP (11 dientes):**
 - Cada diente representa un ángulo de **32.72°** ($360^\circ / 11$).
 - El sensor CKP detecta cada diente para determinar la posición del cigüeñal.
- **Rueda CMP (4 dientes):**
 - Cada diente representa un ángulo de **90°** ($360^\circ / 4$).
 - El sensor CMP detecta cada diente para determinar la posición del árbol de levas.
- **Sincronización:**
 - Para garantizar la sincronización, el diente de referencia de la rueda CMP debe alinearse con un diente específico de la rueda CKP en el punto muerto superior (PMS) del cilindro 1.

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

4.4 Elementos electrónicos que conforma el banco didáctico

En la tabla VII y VIII, se detallan la descripción, cantidad, e imágenes de los materiales empleados en el proceso de construcción del banco de didáctico del sistema de encendido.

TABLA VII. Elementos electrónicos que conforma el banco didáctico

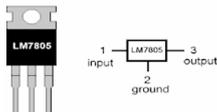
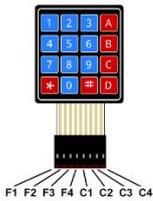
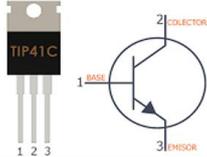
Descripción de materiales	Cantidad	Imagen del elemento
Microcontrolador ATmega2560	1	
Modulo de relés de 4 canales 5v sku-aa026	3	
Regulador de voltaje	1	
Regulador de voltaje	2	<p data-bbox="911 992 1050 1003">LM7805 PINOUT DIAGRAM</p> 
Modulo LCD 16*2 azul + i2c incorporado	1	
Teclado matricial con Flex 4x4	1	
Diodo rectificador	4	

Tabla VIII. Elementos electrónicos que conforma la maqueta

Descripción de materiales	de	Cantidad	Imagen del elemento
Transistor		3	
Optoacoplador		3	
Resistencia entre 1 a 100 ohmios		20	
Módulo de motor Driver		1	
Motorreductor HPCB-12V		1	
Potenciómetro Monovalente		1	
Interruptor de dos posiciones		1	
Jack banana		32	
Plug banana		32	
Cable N#22		20 mt	

4.5 Ensamblaje de componentes del banco didáctico

Se empezó por la colocación de los jack banana dentro de cada perforación que se realizó previamente a medida, para que puedan entrar de manera precisa, estos jack banana son los que servirá como punta de pruebas para las respectivas mediciones, en la figura 51 se puede apreciar la ubicación de los mismos:

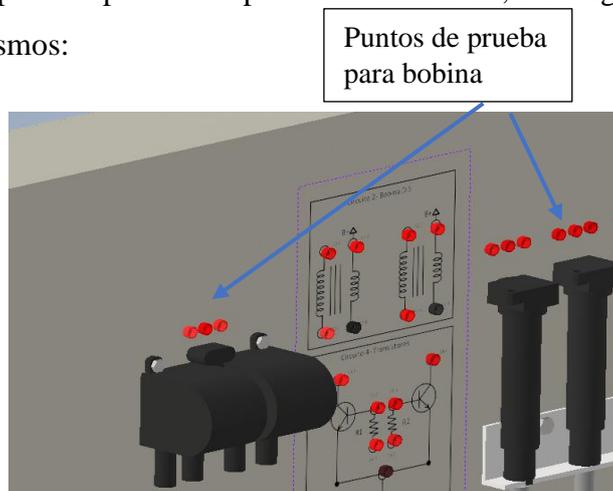


Fig. 51. Ubicación de los Jack banana en el banco.

Se determina las ubicaciones de los elementos que conforma el banco didáctico, se procede a colocar la bobina DIS y COP que están empernadas en la placa metálica para que queden firmes. En la figura 52 se visualiza la distribución de elementos que conforma el sistema de encendido, acompañado de los cables y sus bujías:

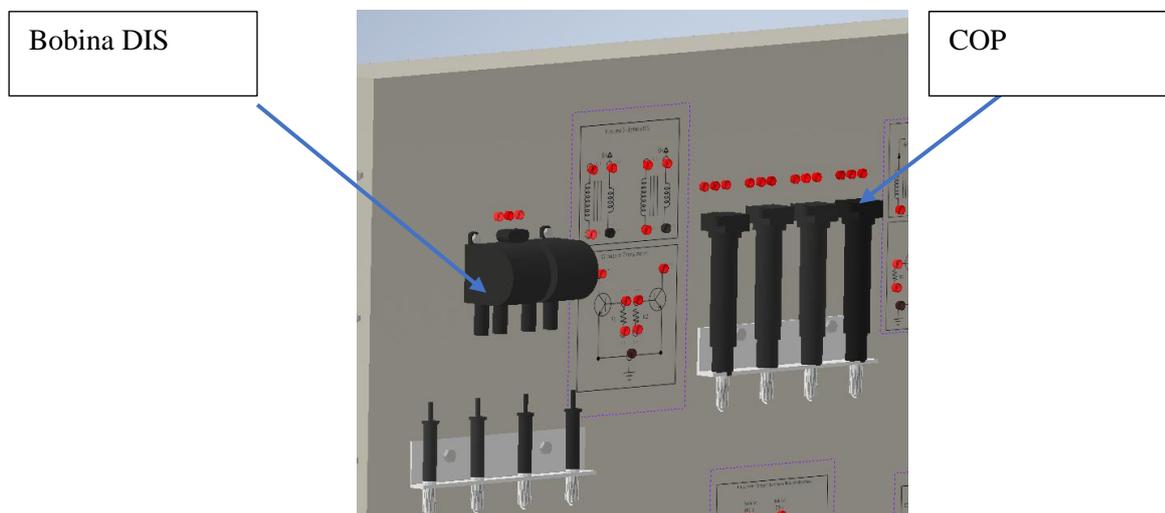


Fig. 52. Determinación de posición de elementos dentro de la maqueta

Para la conexión de los componentes eléctricos se colocaron debajo de la placa metálica delantera.

Previamente es importante tener colocado los diferentes Jack banana en cada una de las perforaciones realizadas, la cual se visualiza en la figura 53, todo esto acompañado de las

conexión de los sensores de CMP, CKP y KS en sus diferentes lugares previamente ya establecidos, pasando después por la conexión del módulo de relés y al microcontrolador Arduino Mega que están alimentados por la fuente de alimentación de 12V a 10 A, en la figura 56 se presenta en ensamble de los demás componentes dentro del diseño 3D del banco didáctico.

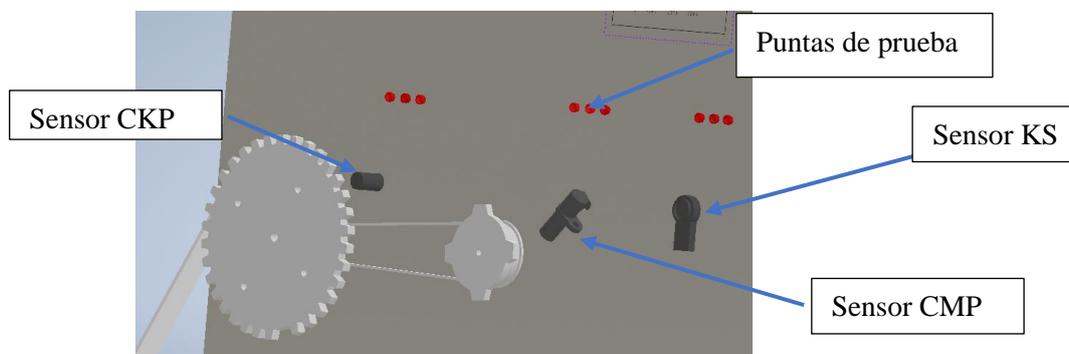


Fig. 53. Ensamblaje de los sensores en el diseño del banco didáctico

Posteriormente, se procede a ensamblar los componentes como el teclado matricial, que permite el ingreso de códigos de falla y puedan simular las fallas principales de alimentación y resistencias de los sensores automotrices. El teclado permitirá visualizar el código ingresado. Para el cambio del sistema DIS a sistema COP, se implementa un switch que permite prender un sistema por separado. Acompañado a su derecha se ensambló un potenciómetro para variar la velocidad de la rueda dentada, junto con un interruptor que permite encender o apagar el Arduino mega. En la figura 54, se presenta la distribución de los elementos del banco didáctico.

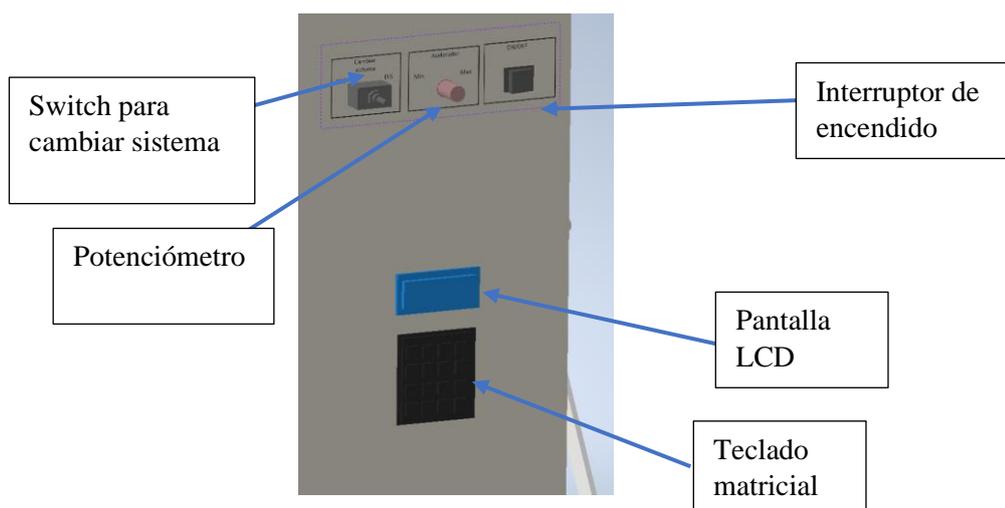


Fig. 54. Distribución de los componentes del banco didáctico

Para una mejor visualización de los diseños del banco didáctico se encuentra las láminas acotadas en la sección de anexos.

Después de conectar los diferentes elementos del sistema de encendido del banco, se visualiza la ubicación de cada sistema, además de las conexiones eléctricas previamente. En la figura 55 se aprecia la distribución de los sensores y bobinas del sistema, con su respectivo ensamblaje, para una mejor visualización el diseño se encuentra en la sección de anexos del documento.

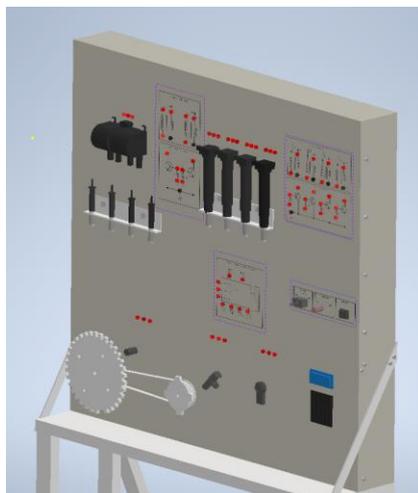


Fig. 55. Distribución de elementos del sistema de encendido en diseño 3D

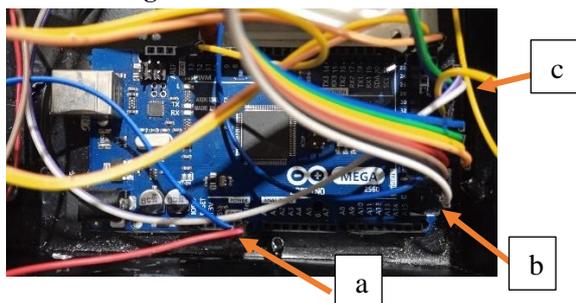
4.6 Conexiones de los componentes Arduino en el banco didáctico

Para las demás conexiones de los componentes se empleó el cable número 22 de color azul, para todos los circuitos de la maqueta, en la cual cada uno de estos es importante conocer las conexiones específicas para que la maqueta funcione de manera correcta. A continuación, en la tabla IX se visualiza las conexiones detalladas de los componentes Arduino.

TABLA IX. Conexiones de los diferentes componentes arduino

Descripción de materiales	Imagen del elemento
Regulador de voltaje	<p>a. Display de 7 segmentos , Muestra el voltaje de entrada o salida, dependiendo de la configuración.</p> <p>b. Salida de voltaje (OUT+) y (OUT-) Proporciona el voltaje reducido, ajustable desde 1.25V hasta 37V DC, dependiendo del modelo.</p> <p>c. Entrada de voltaje (IN+) y (IN-) Se conecta a una fuente de alimentación de 4V a 40V DC (comúnmente 12V o 24V).</p> <p>d. Botón de selección Permite cambiar entre la visualización del voltaje de entrada y salida.</p>
Modulo de relés	<p>a. Conexión al modulo de relés de fallos por alimentación de la bobina Cop, física y fallos por resistencia</p> <p>b. Conexión al módulo de relés de fallos de alimentación de la bobina DIS física y fallos por resistencia</p> <p>c. Cables de conexión de alimentación y control de señales del módulo de relé al Arduino mega.</p>
Modulo de relés	<p>a. Cables de conexión para alimentación y control de señales de relé</p> <p>b. Relés destinados a la falla de alimentación y resistencia de la bobina DIS</p> <p>c. Relés destinados a la falla de alimentación y resistencia de la bobina DIS</p>

Arduino mega

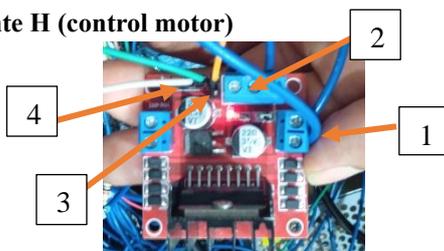


a. Conexión del primer módulo de falla de sensores

b. Conector de la pantalla LCD y teclado matricial

c. Conexión de los módulos de relés para falla en las bobinas.

Puente H (control motor)



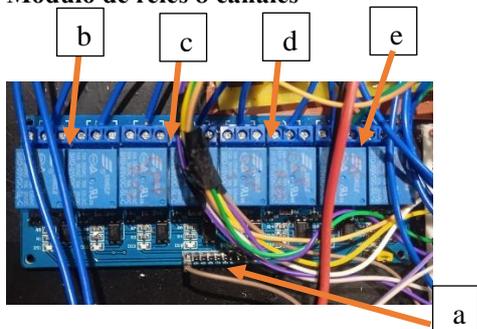
1. Conectado directamente al motor de 12V, con caja reductora

2. Las tres borneras, es para alimentación del motor que puede ser de 5 a 12 voltios

3. El cable naranja es la que manda señal de PWM del Arduino al motor para controlarlo

4. Son los cables que permiten darle sentido al motor.

Modulo de relés 8 canales



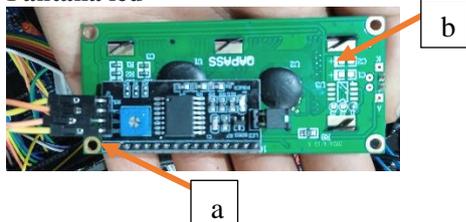
a. Conexión para alimentación y control del modulo

b. Relés para la falla de alimentación y resistencia del sensor CKP

c. Relés para la falla de alimentación y resistencia del sensor CMP

d. Relés para la falla de alimentación y resistencia del sensor KS

Pantalla led



a. Conector de control de la pantalla

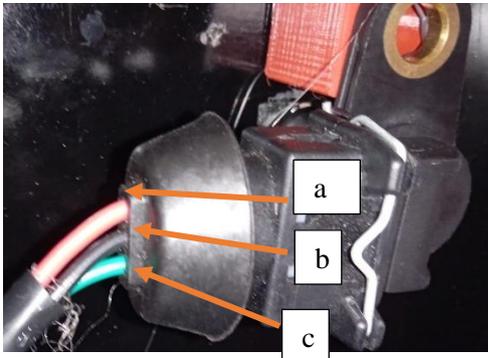
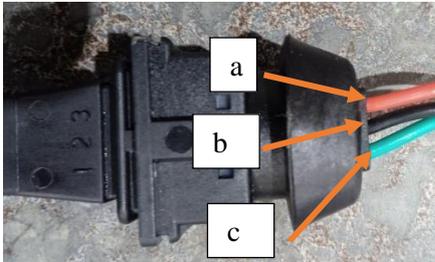
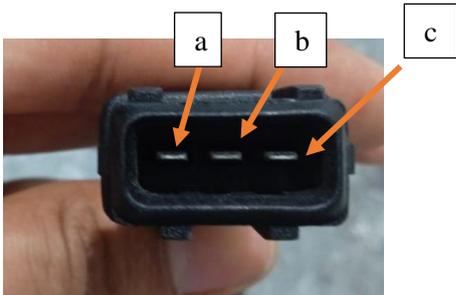
b. Parte posterior de la pantalla LCD

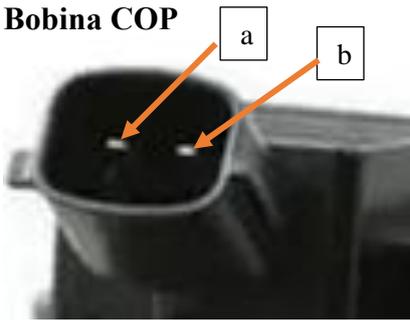
4.6.1 Conexiones de los componentes Automotrices en el banco didáctico

En la Tabla X se presentan las conexiones de los cables de los principales sensores y actuadores utilizados en la maqueta didáctica, incluyendo el sensor CMP de tres pines, el sensor CKP inductivo de dos pines y el sensor KS de tres pines, así como las bobinas de encendido, que operan a 12V. En cuanto a las bobinas, se consideran dos tipos: la bobina DIS de tres pines y la bobina COP de dos pines, ambas sin transistor incorporado, lo que implica la necesidad de un módulo de control externo para su activación. La correcta identificación y conexión de estos

componentes es fundamental para su integración con el Arduino Mega 2560, que se encargará de la generación y procesamiento de señales, así como con los módulos de relés, que permitirán la simulación de fallas en el sistema. Conocer estas conexiones es crucial para garantizar un funcionamiento coordinado del sistema de encendido, ya que cualquier error en la gestión de las señales podría afectar la sincronización entre sensores y actuadores.

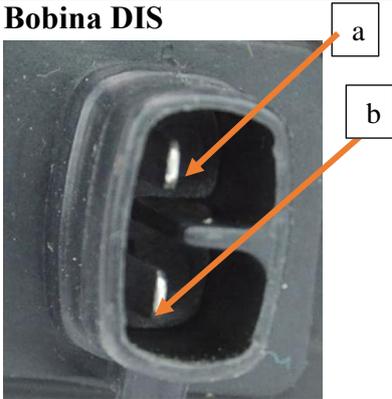
TABLA X. Conexiones de los componentes automotrices

Descripción de materiales	Imagen del elemento
<p>Sensor CMP</p> 	<p>a. Cable color naranja conexión con tierra del sensor</p> <hr/> <p>b. Cable color negro, conexión con señal del sensor que va directo al módulo de relés y Arduino mega</p> <hr/> <p>c. Cable color verde, conexión de alimentación de sensor que va directo a la fuente de alimentación</p>
<p>Sensor CKP</p> 	<p>a. Cable color naranja, conexión de ensamblaje del sensor, en este caso no se lo ocupa</p> <hr/> <p>b. Cable color negro, conexión de señal del sensor, este va directo al Arduino mega</p> <hr/> <p>c. Cables color verde, conexión de tierra del sensor</p>
<p>Sensor KS</p> 	<p>a. Cable color naranja, conexión de ensamblaje del sensor, en este caso no se lo ocupa</p> <hr/> <p>b. Cable color negro, conexión de señal del sensor, este va directo al Arduino mega</p> <hr/> <p>c. Cables color verde, conexión de tierra del sensor</p>

Bobina COP

a. Cable color rojo, alimentación de la bobina COP

b. Cable de color negro, conexión a tierra de la bobina, también controla los pulsos de activación que son enviados del Arduino

Bobina DIS

a. Cable de alimentación conectado a la fuente del banco didáctico

b. Cable de tierra, también conectado a señal de Arduino que manda pulsos de activación.

4.7 Pruebas de funcionamiento

4.7.1 Descripción de los equipos de medición

Se utilizó un osciloscopio Micsig, un instrumento de diagnóstico avanzado que facilitó la visualización de los oscilogramas característicos de los sensores y actuadores involucrados en el sistema. La capacidad del osciloscopio de capturar y analizar formas de onda en tiempo real.

Adicionalmente, se empleó un multímetro digital, herramienta indispensable para la medición de magnitudes eléctricas como voltajes y resistencias en los distintos circuitos del banco didáctico. Este dispositivo fue utilizado para comprobar la alimentación de los sensores, la continuidad de los circuitos y la resistencia de los componentes.

4.7.2 Prototipo del Banco didáctico

Se desarrolló un prototipo de banco que permite simular el funcionamiento del sistema de encendido, en la cual incorpora los principales elementos que conforma este sistema en la cual se destaca: una bobina DIS y una Bobina COP automotriz, junto con los sensores CMP, CKP y KS, permitiendo trabajar con valores reales de este sistema. El prototipo se lo desarrollo con el objetivo de comprobar del funcionamiento y realizar medición de señales, el cual es fundamental identificar y familiarizarse con cada uno de los componentes del equipo. En la figura 56 se aprecia la identificación de los diferentes sistemas del banco

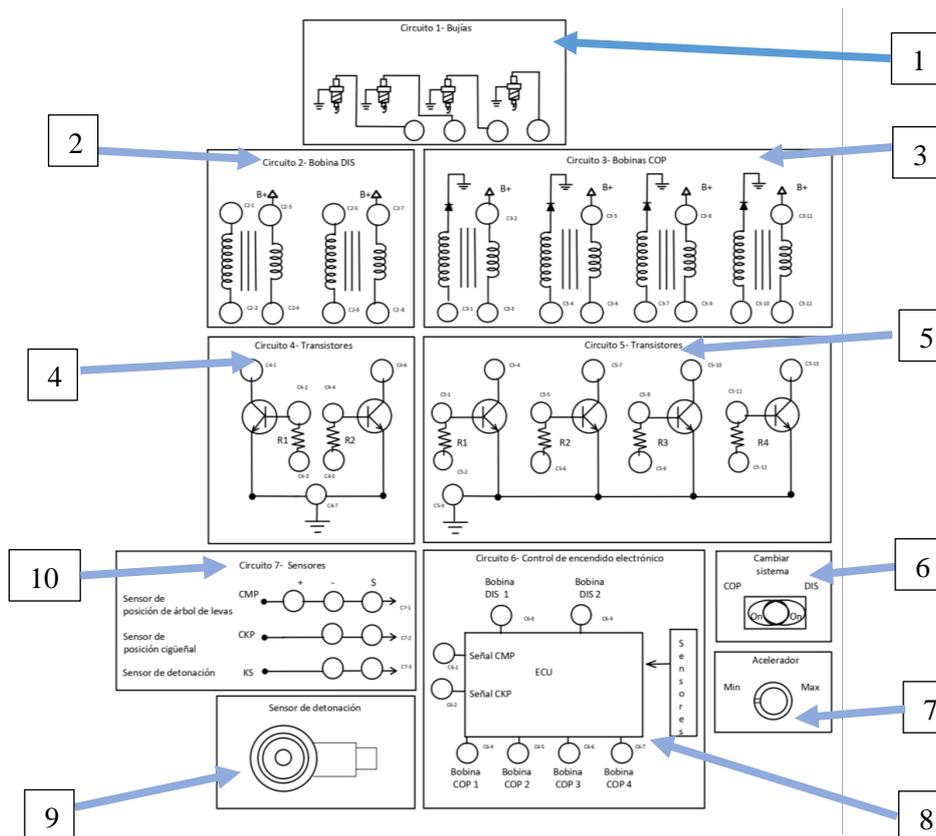


Fig. 56. Vista frontal del banco didáctico

En la siguiente tabla XI se define cada una de las secciones que conforma el banco didáctico, para tener conocimiento cuales son los sistemas de conexión que lo conforma:

TABLA XI. Descripción de los diferentes partes que conforma el banco didáctico

N#	Designación
1	Circuito de bujías, las cuales simulan a través de las luces led
2	Circuito de bobinas DIS
3	Circuito de bobinas COP
4	Transistores de bobina DIS
5	Transistores de bobinas COP
6	Switch de cambiar sistema
7	Acelerador
8	Módulos de gestión de señales
9	Sensor KS
10	Puntas de pruebas para los sensores del sistema

4.7.3 Procedimientos de conexión

- Conectar la fuente de alimentación del banco (12V - CC) a una toma eléctrica.
- Se habilita la interfaz de la pantalla y estará encendido todos los circuitos de la maqueta
- Para empezar con el funcionamiento de la maqueta se procede a seleccionar el interruptor de tipo de sistema, ya sea en bobinas COP y DIS.
- Conectar las líneas de comunicación y enlazar los terminales de intercomunicación a los Jack banana a través de los cables físicos de conexión.
- Una vez conectado se procede a hacer mediciones de señales de voltaje y resistencias en los diferentes sistemas de la maqueta.
- Para poner en marcha la maqueta se procede girar la perrilla del acelerador.
- Se coloca la perrilla a baja revoluciones para observar de manera detallada como giran las ruedas dentadas del CKP y CMP.
- Se procede a medir señales con el osciloscopio de cada elemento que conforma la maqueta
- Para la sección de fallos inducidos, es necesario colocar el código de falla para poder activar el relé que simula la falla de alimentación y resistencia.
- Se vuelve a ingresar el código de falla correspondiente para arreglar y seguir con la toma de datos y funcionamiento de la maqueta.

4.8 Pruebas de Funcionamiento para medición de voltajes.

Para la toma de datos, previamente se requiere identificar los puntos para la respectiva medición. En la figura 57 se aprecia la ubicación donde se requiere medir, a su vez se conecta las puntas de prueba del multímetro para obtener los valores característicos de cada elemento. Se requiere mantener conectado las puntas como se lo muestra en la figura 57 para visualizar correctamente los valores:

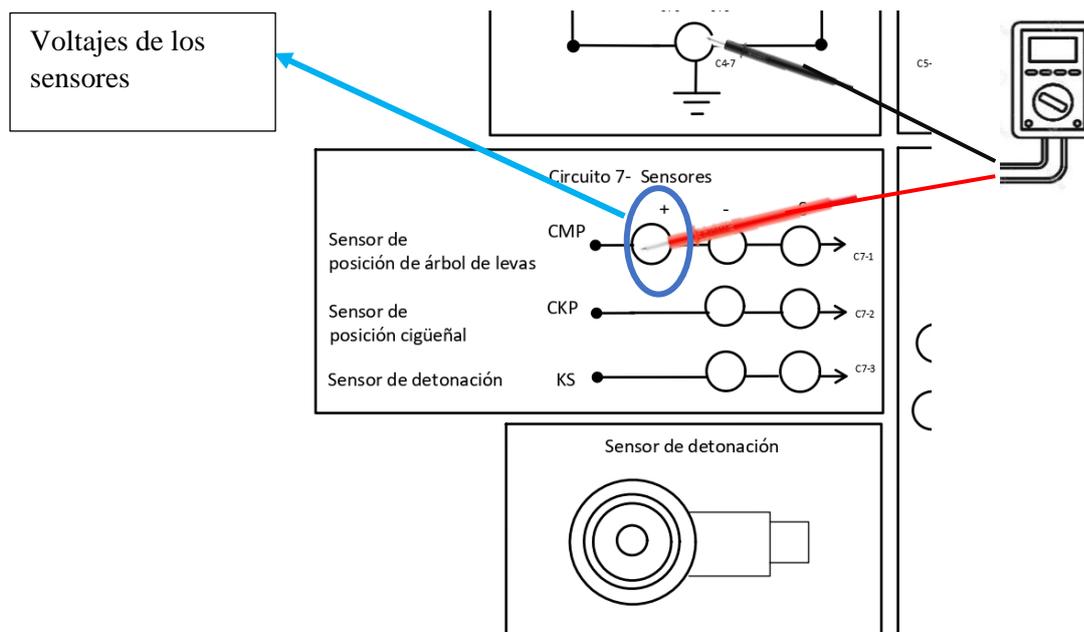


Fig. 57. Identificación de los puntos de medición del banco

Luego de haber realizado el proceso de identificación de los pines de prueba, se procedió a realizar el proceso de medición de voltajes para cada sensor y bobina, en este caso se adjunta en tabla los valores obtenidos durante la prueba, se adjunta en la tabla XII.

TABLA XII. Valores aproximados de voltajes de los componentes del banco

Voltaje obtenido con multímetro	Descripción
	Señal del Sensor CMP
	Alimentación del sensor CMP
	Sensor CKP, es inductivo no posee alimentación



Señal del Sensor KS



Bobinas de encendido

Después de obtener las respectivas mediciones de voltaje y procesar los datos, se contempla que los sensores están trabajando de manera correcta en sus valores adecuados a su funcionamiento, luego se procede con las pruebas de obtención de oscilogramas característicos de cada sensor, se requiere encender el banco y seguir el diagrama de conexión para que pueda funcionar de manera correcta. Se conectó los cables plug banana en los puntos indicados, para obtener el oscilograma, en la figura 58 se aprecia el proceso de conexión:

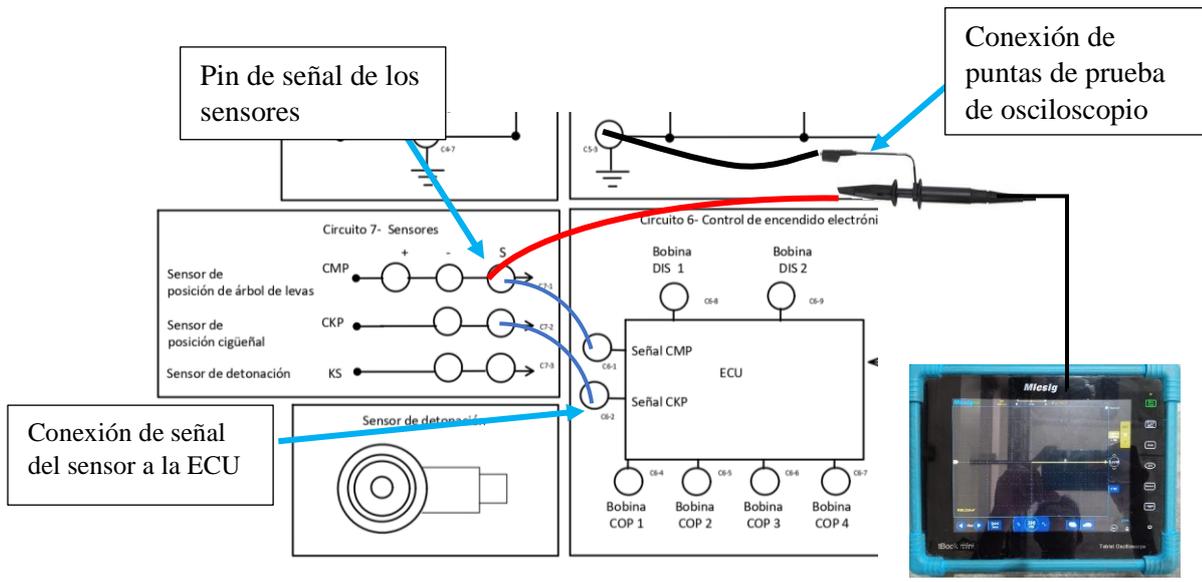


Fig. 58. Conexión de los plug banana para obtener señal de sensores

Posteriormente de haber conectado los cables plug banana para obtener el oscilograma característico para cada sensor, se requiere la conexión del sistema de encendido DIS general, para que el sistema pueda entrar en funcionamiento. Se toma un cable de conexión de los pines de señal de los sensores y se conecta hacia la ECU, encargado de gestionar las señales, luego pasa hacia los transistores que son los encargados de mandar los pulsos de activación hacia las bobinas, luego pasan por su conexión hacia el diagrama de las bujías, que son las luces led que

representan la activación de la chispa. Es importante realizar las conexiones para que la rueda del sensor CMP pueda girar y se pueda sacar las respectivas señales. En la figura 59 se presenta las conexiones realizadas con los cables colocados para representar el sistema DIS.

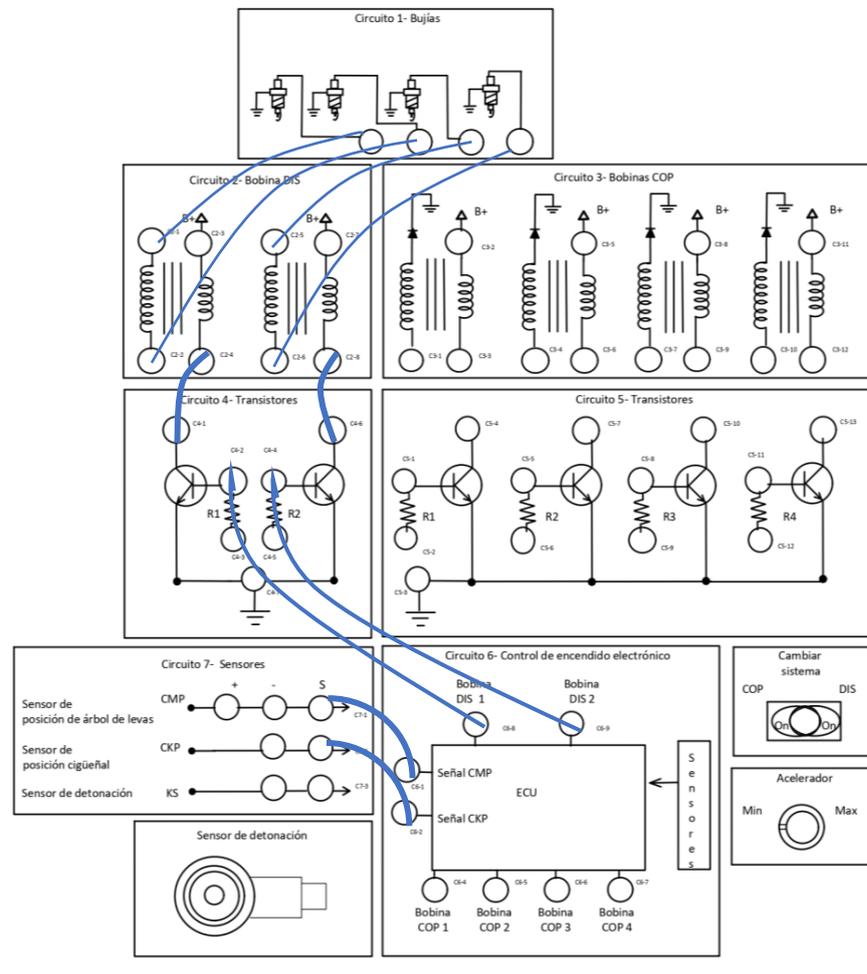


Fig. 59. Conexión de los plug banana para representar el sistema de encendido DIS.

Por otra parte, para representa el sistema de encendido COP, se requiere hacer otras conexiones para que el sistema pueda funcionar de manera correcta, en este caso se requiere cambiar los cables de control de la ECU, y mandar directamente a los puntos de bobina, que estos sean conectados hacia los diferentes transistores correspondientes, para pasar por la conexión de las bobinas, que son conectadas con el diagrama de bujías del sistemas, todo esto se lo realiza para poder sacar los respectivos oscilogramas y señales características. En la figura 60, se representa el diagrama de conexión para el sistema COP.

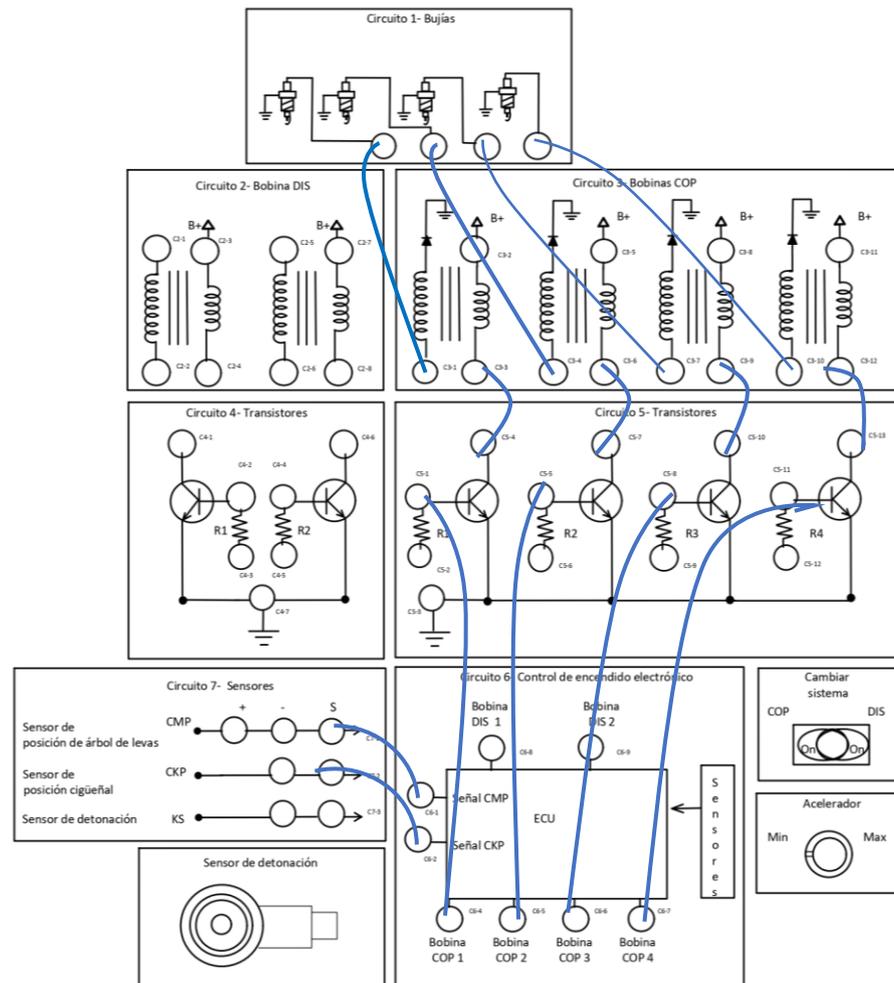


Fig. 60. Conexión de los cables plug banana para representación del sistema COP

4.8.1 Prueba de funcionamiento para oscilogramas del banco didáctico

Cabe recalcar que para la medición de señales se tiene que tener en cuenta las conexiones de los diferentes elementos que conforma el banco didáctico, anteriormente mencionadas, para obtener su respectivo oscilograma, tal como se muestran en las siguientes tablas XIII:

TABLA XIII. Valores aproximados del sensor CMP obtenido del prototipo del banco didáctico

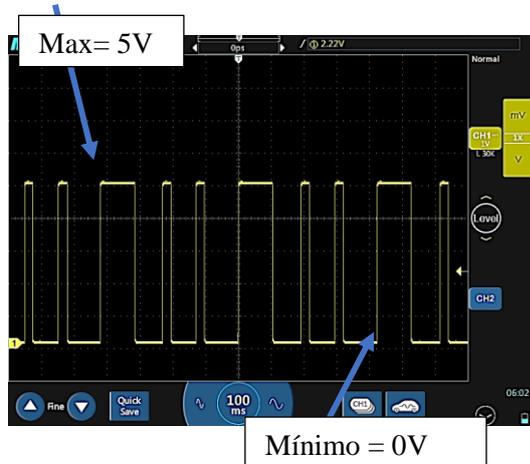
Sensor	V (max)	V (min)	Frecuencia (HZ)
Sensor CMP	5	0	1250

Para verificar que el oscilograma obtenido del prototipo del banco didáctico sea preciso y represente fielmente el comportamiento real de los sensores y actuadores automotrices, se realizó una comparación de señales utilizando la biblioteca de oscilogramas de PicoScope. Esta herramienta permite visualizar y analizar las formas de onda características de cada sensor y actuador, proporcionando una referencia confiable para evaluar el desempeño del sistema desarrollado.

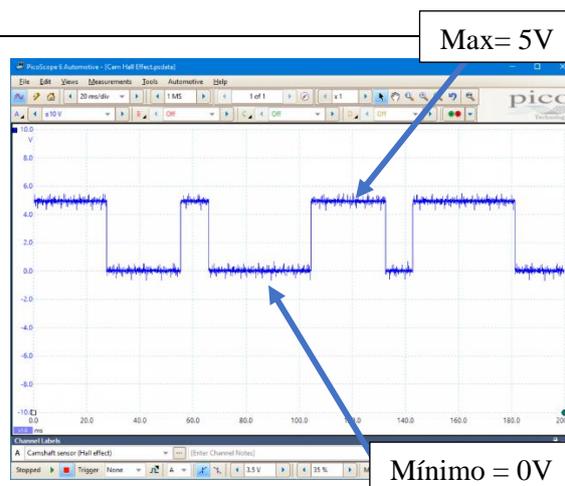
En la tabla XIV, se presenta el proceso de validación, se observó que la señal generada por el sensor CMP en el banco didáctico presenta una variación de voltaje de 5V a 0V, lo cual coincide con el oscilograma de referencia de PicoScope. Esta correspondencia indica que el sensor está operando dentro de los parámetros óptimos de funcionamiento, asegurando su correcto desempeño dentro del sistema de encendido.

TABLA XIV. Comparación de oscilogramas del sensor CMP

Oscilograma obtenido del banco del sensor CMP



Oscilograma del sensor obtenido de biblioteca picoscope



Para obtener el oscilograma característico del sensor CKP hay que tener en cuenta que este es inductivo, la cual posee un pin de señal, otro pin de tierra, y el pin restante es de blindaje. Durante la medición de señal se pudo constatar que el sensor manda correctamente la onda senoidal, en este caso a un voltaje bajo de 2 V máximo y 1 V mínimo (presentados en la tabla 12) debido a que la rueda metálica es pequeña y no genera la suficiente señal igual que un vehículo real, pero se simula de manera correcta la forma de la onda, en la tabla XV se presentan los valores.

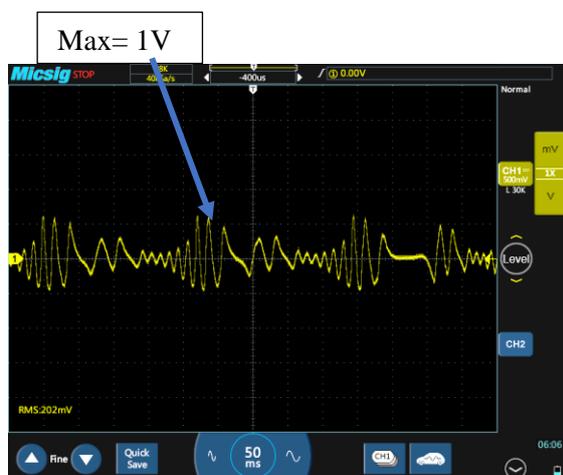
TABLA XV. Valores aproximados del sensor CKP, obtenido del prototipo del banco didáctico

Sensor	V (max)	V (min)
Sensor CKP	2	1

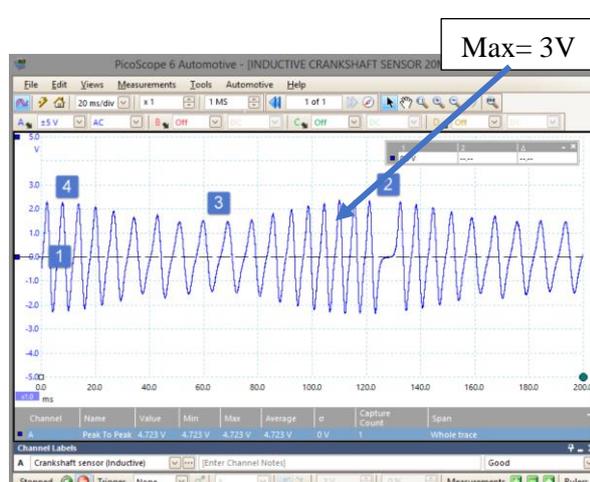
Durante la medición del sensor CKP, se observó que la señal captada en el banco didáctico varía en un rango de 2V a 1V, mientras que en el oscilograma de PicoScope, la variación se encuentra entre 3V y 5V. Esta diferencia se debe principalmente al diseño de la rueda dentada, que en el prototipo es de menor tamaño en comparación con la utilizada en un motor real, lo que influye en la intensidad de la señal inducida por el sensor y simula el giro del cigüeñal a escala reducida. A pesar de esta variación, la forma de onda y la frecuencia de la señal se mantienen dentro valores aproximados, en la tabla XVI se presenta los oscilogramas obtenidos.

TABLA XVI. Comparación de señal del sensor CKP

Oscilograma obtenido del banco, del sensor CKP



Oscilograma del sensor obtenido de biblioteca picoscope



Para llevar a cabo la obtención del oscilograma característico del sensor KS hay que tener en cuenta que este es piezoeléctrico, posee pines igual que el sensor CKP la cuales son: pose un pin de señal, otro pin de tierra, y el pin restante es de blindaje. Durante la medición de señal hay que darles golpes para que estos sean visualizados en la pantalla, se pudo constatar que el sensor manda correctamente su señal, en este caso a un voltaje bajo de 4 V máximo y 1 V mínimo (presentados en la tabla XVII).

TABLA XVII. Valores aproximados del sensor KS obtenido del prototipo del banco didáctico

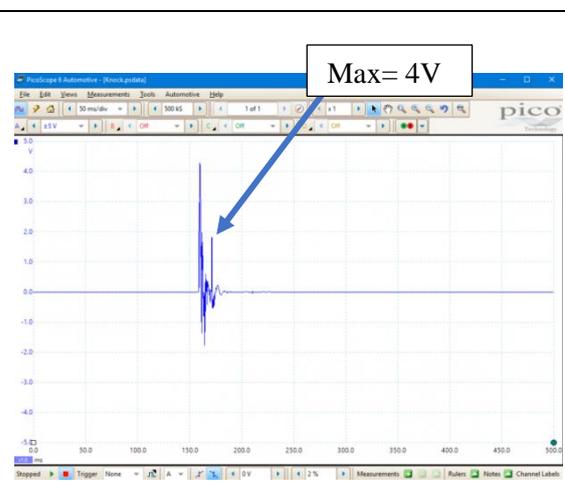
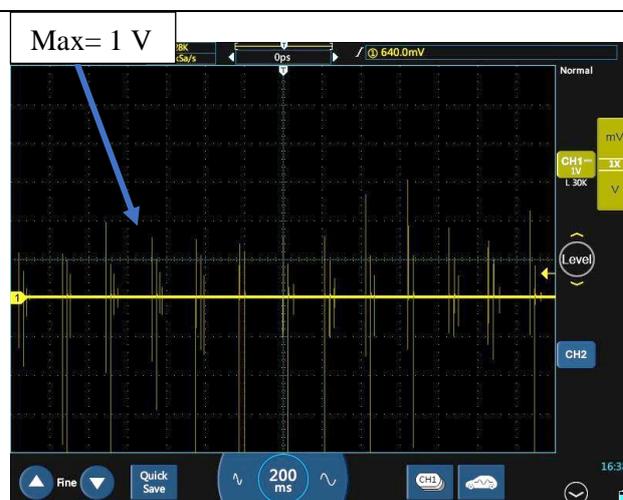
Sensor	V (max)	V (min)
Sensor KS	4	1

Para validar la precisión del oscilograma generado en el prototipo del banco didáctico, se llevó a cabo una comparación de señales con los registros almacenados en la biblioteca PicoScope. Para el sensor KS (Knock Sensor), se observó que la señal captada en el banco didáctico presenta una variación de 1V a 3V, lo que coincide con las formas de onda registradas en PicoScope. Esta correspondencia sugiere que el sensor KS responde adecuadamente a las vibraciones simuladas en el prototipo, generando pulsos eléctricos proporcionales a la intensidad de las oscilaciones mecánicas. La similitud entre ambas señales confirma que el sistema replica con precisión el comportamiento real del sensor de detonación, tal como se muestra en la tabla XVIII.

TABLA XVIII. Comparación de señales del sensor KS

Oscilograma obtenido del banco, del sensor CKP

Oscilograma del sensor obtenido de biblioteca picoscope



Para la medición de las bobinas, se podrá observar los pulsos del transistor, se los obtiene a través del arduino mega, ya que este es el encargado de enviar pulsos hacia las bobinas para que estas se activen, en la cual se podrá medir a través de las puntas de mediciones del banco didáctico. A continuación, en la tabla XIV se presenta el oscilograma obtenido del transistor

TABLA XIX. Oscilograma obtenido del pulso de la bobina del banco didáctico

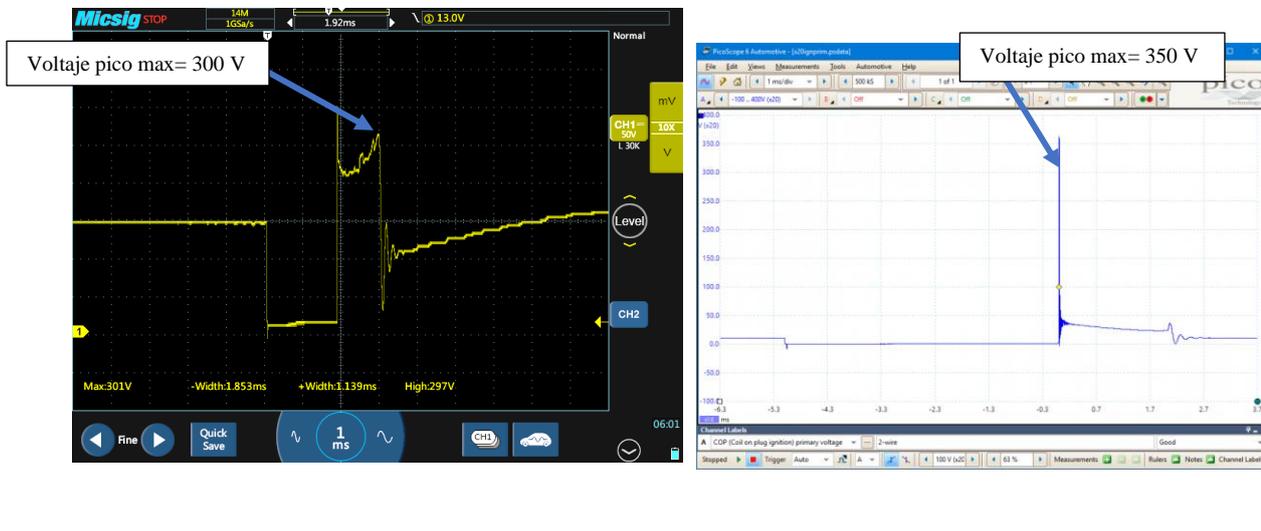
Transistor	Frecuencia mínima (Hz)	Frecuencia máxima (Hz)
Pulsos enviados del microcontrolador	6,85	10,17 HZ

Cabe recalcar que, para obtener el oscilograma característico de las bobinas, se requiere poner una punta de prueba directamente a los pines de conexión de la bobina DIS y COP, debido a que las puntas de prueba están conectadas directamente de los pulsos que mandan el microcontrolador Arduino, hacia los jack banana que son las puntas de prueba para medir señales. Se requiere colocar con la punta de prueba de osciloscopio, de señal y tierra en los lugares correspondientes de la bobina y banco, en la tabla se presenta el oscilograma obtenido en comparación con los oscilogramas de la biblioteca picooscope, que nos permite obtener mediciones reales, los resultados se obtienen en la tabla XX.

TABLA XX. Oscilograma obtenido de los pines de conexión de la bobina del banco didáctico

Oscilograma obtenido del banco, de las bobinas

Oscilograma del sensor obtenido de biblioteca picoscope



Como se puede observar el oscilograma característico de la bobina posee la misma forma de onda que el oscilograma de picoescope, en este caso cambio los voltajes pico obtenidos del banco didáctico, debido a que este posee una fuente de voltaje menor, en comparación con los amperajes y voltajes altos que se manejan en un automóvil real, debido a las limitaciones de simulación dentro de un prototipo de banco didáctico, hay ligeros cambios en las mediciones de señales

4.8.2 Sección de fallos de elementos del sistema de encendido

El prototipo del banco didáctico diseñado para la enseñanza y aprendizaje del sistema de encendido posee una sección dedicada a la simulación de fallos, con el objetivo de permitir a los usuarios identificar y analizar las posibles averías que pueden presentarse en un sistema.

Para su operación, el usuario debe ingresar un código específico en el teclado, se lo presenta en la figura 61, el cual está predefinido para cada tipo de falla a simular. Una vez ingresado el código, la pantalla del sistema proporcionará una confirmación visual indicando si la falla ha sido activada correctamente. Este proceso permite una interacción dinámica y

didáctica, facilitando la comprensión del impacto de cada fallo en el funcionamiento del sistema de encendido.

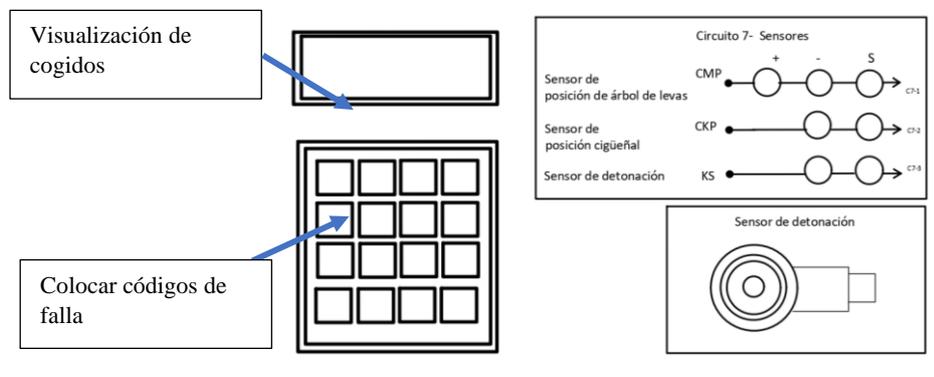


Fig. 61. Ubicación del teclado para colocar códigos de fallos

Para simular las fallas de los diferentes elementos del sistema, se estableció códigos definidos para poder identificarlos y emular los fallos, para el desarrollo del prototipo del banco didáctico en la tabla XXI, se presenta los códigos de falla principales:

TABLA XXI. Códigos de falla, representados en el banco didactico

Código	Elemento en falla	Descripción
A01	Sensor CMP	Falla de alimentación
A02	Sensor CMP	Falla de resistencia
B01	Sensor CKP	Falla de alimentación
B02	Sensor CKP	Falla de resistencia
D01	Sensor KS	Falla de alimentación
*01	Bobina DIS	Falla de señal
*02	Bobina COP	Falla de señal

Es importante conocer cada uno de los códigos para poder simular los fallos correspondientes a cada elemento, además que, para volver el sistema a su funcionamiento normal, se requiere volver a ingresar el mismo código una vez de comprobar cuál es la falla encontrada en los elementos del banco didáctico. Cabe recalcar que cada uno de los fallos funcionar de manera correcta, simulando los fallos principales de sistema de encendido, de los diferentes sensores.

4.8.2.1 Falla del sensor CMP

Se debe tener en cuenta que se presenta cada falla en los pines de conexión del sensor CMP

- Pin de alimentación: no hay alimentación de (12 voltios a 0 Voltios) o bajo voltaje de 5 V.
- Pin de señal: Como el pin de alimentación, va estar de 5 a 0 V, el pin de señal no manda ninguna señal al momento que entrar en fallo el de alimentación.
- Pin de tierra: Se simula un falso contacto en tierra, (falla de resistencia en masa del pin) se colocó una resistencia para que varíe el voltaje de tierra, cuando el voltaje de tierra es normal 0,06 V, cuando está en falla debe estar en 0,5 a 1 V. En la figura 62 se presenta las conexiones para comprobar la falla del sensor.

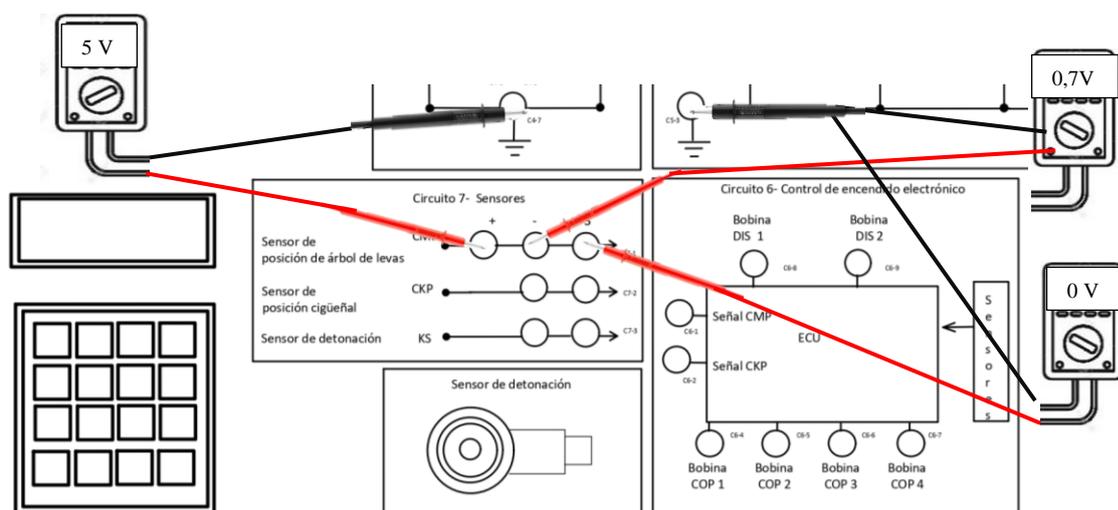


Fig. 62. Comprobación de voltajes en fallo del sensor CMP

4.8.2.2 Fallos del sensor CKP

Pin de señal: Se colocó un relé, para cortar la línea de señal, para indicar que hay señal, y posteriormente no se pueda medir los dientes de la rueda dentada.

Pin de tierra: Se colocó un relé para simular el falso contacto en tierra, colocando una resistencia) y que varía el voltaje de tierra. En la figura 63, se muestra las conexiones realizadas.

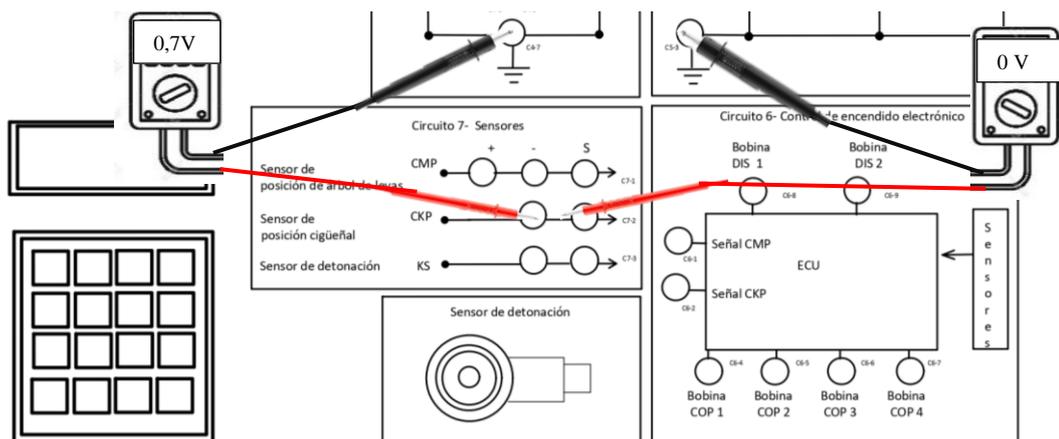


Fig. 63. Comprobación de voltajes del sensor CKP

4.8.2.3 Fallo del sensor KS

Pin de señal: Se colocó un relé, para cortar la línea de señal, para indicar que hay señal, y posteriormente no se pueda obtener mediciones de voltaje

Pin de tierra: Se colocó un relé para simular el falso contacto en tierra, colocando una resistencia) y que varía el voltaje de tierra. En la figura 64 se aprecia las conexiones para validar los fallos generados.

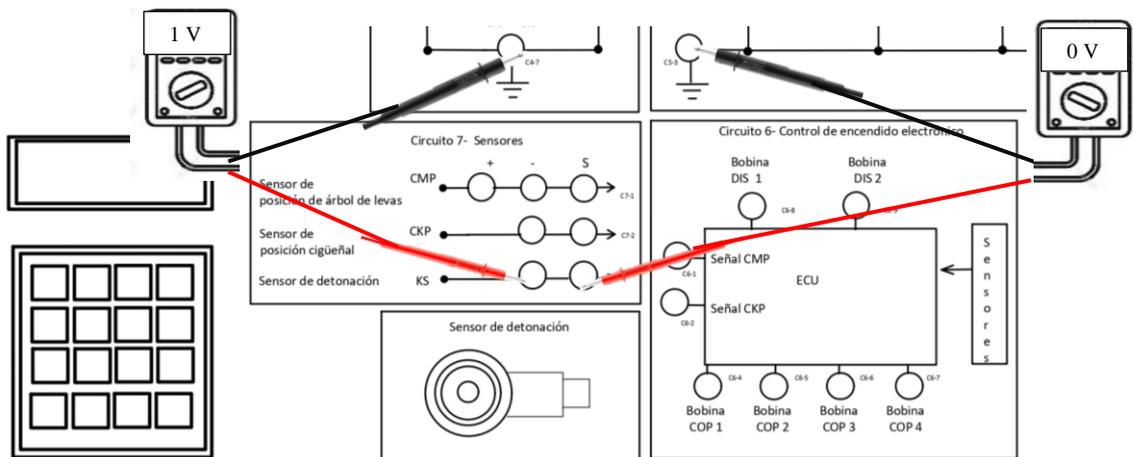


Fig. 64. Comprobación de falla del sensor KS

4.8.2.4 Falla de la bobina DIS

Para la bobina DIS posee dos pines, en la cual un pin es de alimentación y el otro pin de tierra, en la cual se implementó las fallas por falta de alimentación de las bobinas, a continuación, se aprecia las mediciones y conexiones con el multímetro, en la figura 65 se aprecia las conexiones:

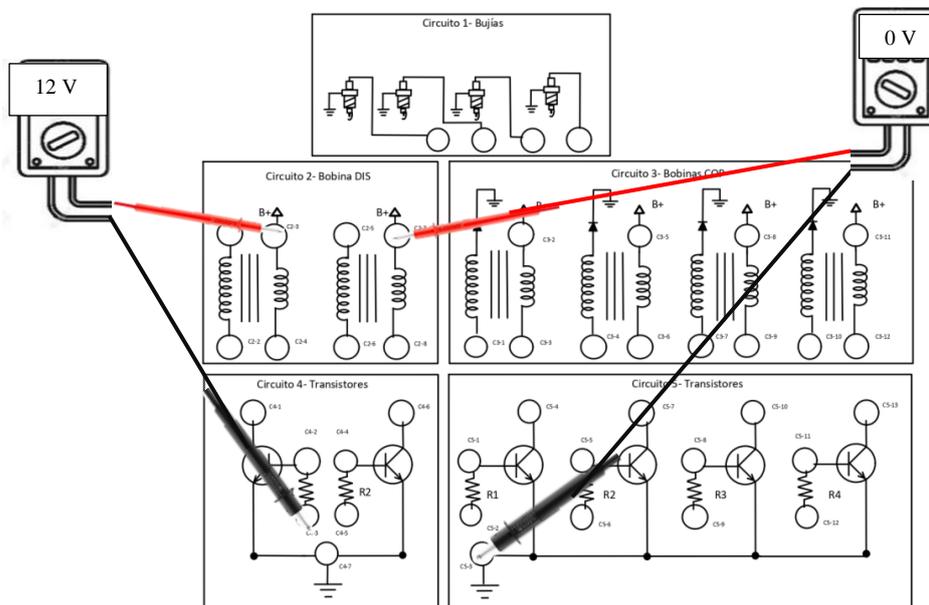


Fig. 65. Conexiones para comprobación de fallos en bobina DIS

4.8.2.5 Falla de la bobina COP

Para la bobina COP posee dos pines, en la cual un pin es de alimentación y el otro pin de tierra, solo que esta posee una bobina en su interior que sale a una conexión de bujía, en la cual se implementó las fallas por falta de alimentación de las bobinas, a continuación en la figura 66, se aprecia las mediciones y conexiones con el multímetro.

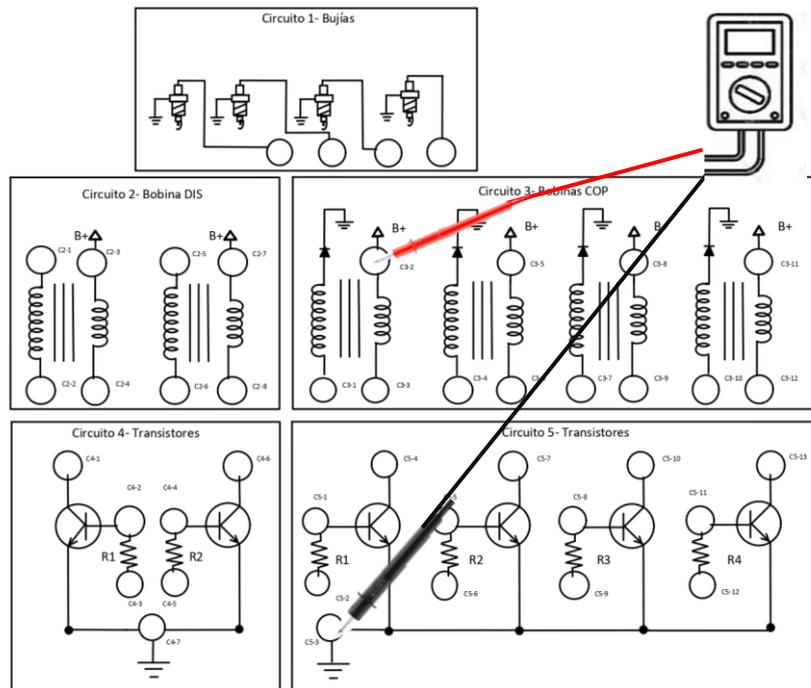


Fig. 66. Conexiones para comprobación de fallos de la bobina COP

4.9 Análisis de viabilidad técnico- económico del banco didáctico

El estudio de viabilidad económica es un proceso esencial al evaluar la implementación de un prototipo de banco didáctico de bajo costo en instituciones educativas. Este análisis tiene como objetivo determinar si el desarrollo y la implementación de banco didáctico que son económicamente factibles y cómo se comparan con las opciones comerciales, donde también se involucra la evaluación de varios factores financieros y no financieros para asegurar que la inversión en el prototipo propuesto sea rentable y sostenible a largo plazo.

4.9.1 Descripción técnica del banco

El banco didáctico cuenta con diferentes elementos automotrices como los sensores y bobinas, la cual permite trabajar con valores reales a lo que son usados en vehículos, además cuenta con elementos electrónicos Arduino, que se encarga de procesar y gestionar la parte de señales para el correcto funcionamiento del sistema: Los componentes principales utilizados se lo describe en la tabla XXII:

TABLA XXII. Elementos que conforma el banco didáctico

Elementos automotrices	Descripción
Bobina DIS	Bobina automotriz para un motor de cuatro cilindros, con una conexión de tres pines. Recibe dos señales, las cuales están compartidas de dos en dos y un pin de alimentación.
Bobina COP	Bobina que posee dos pines sin transistor, cada una es independiente para cada cilindro.
Sensor CKP	De tipo inductivo, utilizado para detectar la posición del cigüeñal y proporcionar la señal de referencia para la sincronización del encendido.
Sensor CMP	De efecto Hall, que detecta la posición del árbol de levas y contribuye a la sincronización del sistema.
Sensor KS	Encargado de detectar detonaciones en el motor para ajustar el tiempo de encendido.
Bujías	Elementos que generar la chispa y que van conectadas de las bobinas.

Para la parte electrónica del banco, en su mayoría se usó componentes Arduino y microcontroladores, las cuales desempeñan un rol fundamental para la gestión eléctrica y

conexiones de los elementos del sistema, para que estos cumplan con su función asignada. Los elementos que se usaron se describen a continuación en la tabla XXIII:

TABLA XXIII. Elementos electrónicos que conforma el prototipo de banco didáctico

Elementos electronicos	Descripción
Microcontrolador Arduino Mega	Actúa como la unidad central de control, procesando las señales de los sensores y gestionando las órdenes hacia las bobinas
Módulos de relés	Facilitan la conmutación de señales y la simulación de fallos en el sistema
Potenciómetro	Controla la velocidad de rotación de las ruedas fónicas, emulando diferentes condiciones de operación del motor.
Ruedas fónicas de plástico	Simulan los dientes del cigüeñal y del árbol de levas para la lectura por parte de los sensores CKP y CMP
Motor de 12V	Acciona las ruedas fónicas, permitiendo la simulación del movimiento rotacional del motor
Luces LED	Simulan la chispa generada en las bujías, proporcionando una representación visual del encendido
Fuente de alimentación de 12V	Proporciona energía a todos los componentes electrónicos y actuadores
Plug banana	Puntos para medir señales de los diferentes elementos.
Jack banana	Pines de conexión para pruebas de elementos.

Por otra parte, el software desempeña un papel fundamental en el desarrollo del banco didáctico, ya que es el componente que integra y gestiona las señales y funciones del hardware. En la siguiente tabla XXIV se presenta los programas principales para el desarrollo del prototipo:

TABLA XXIV. Software que fueron usados para el desarrollo del proyecto.

Elementos automotrices	Descripción
Arduino IDE	A través del programa, se desarrollan las líneas de código necesarios para procesar las señales de entrada (como las lecturas de los sensores CKP y CMP) y generar las señales de salida (como la activación de las bobinas y los LEDs que simulan la chispa).
Proteus Design Suit	Se empleó en la etapa de diseño y simulación previa a la implementación física del prototipo. Este software permite visualizar el comportamiento del circuito eléctrico y electrónico, verificar la lógica de programación y detectar posibles errores antes de ensamblar los componentes reales.
Autodesk Inventor	Se empleó para el proceso de diseño estético 3D de la maqueta, la parte de la carcasa que cubre de manera externa el prototipo, permitiendo definir las medidas necesarias para su construcción.

4.9.2 Funcionalidades del prototipo

El banco didáctico ofrece una serie de funcionalidades que lo convierten en una herramienta versátil y práctica para el aprendizaje.

1. Simulación de sistemas de encendido:

- Permite la simulación del funcionamiento tanto del sistema COP como del DIS, proporcionando flexibilidad para estudiar diferentes tecnologías de encendido.
- Los sensores CKP y CMP detectan la posición de las ruedas fónicas, cuyo movimiento es controlado por el motor de 12V y ajustable mediante el potenciómetro.
- El microcontrolador Arduino Mega procesa las señales de los sensores, asegurando la sincronización precisa entre la posición del cigüeñal y el árbol de levas. Esto permite enviar señales adecuadas a las bobinas, lo que genera la chispa simulada en las luces LED.

2. Sección de generación de fallos:

- Integra una funcionalidad para simular fallos eléctricos y electrónicos en los sensores y actuadores del sistema.

- Permite a los estudiantes medir variaciones en voltajes, resistencias y señales, desarrollando habilidades para diagnosticar y solucionar problemas en sistemas reales.

3. Visualización y aprendizaje práctico:

- La representación visual del parpadeo de las luces LED emula el encendido de las bujías, facilitando la comprensión del proceso de encendido.
- Incluye un teclado matricial y una pantalla LCD opcional para mostrar parámetros clave, como velocidad del motor o estado de los sensores.

4.9.3 Evaluación de la adaptabilidad

El diseño del banco didáctico es altamente adaptable y modular, ofreciendo flexibilidad para futuras actualizaciones y ampliaciones:

1. Integración de nuevas tecnologías:

- Además de la bobina COP real, es posible incluir bobinas adicionales u otros componentes automotrices reales, adaptando el banco a tecnologías más avanzadas.

2. Actualizaciones electrónicas:

- Gracias al uso del microcontrolador Arduino Mega, el sistema puede ser reprogramado para incorporar nuevas funcionalidades o protocolos de diagnóstico.

3. Expansión del sistema:

- El banco permite agregar sensores, actuadores y módulos adicionales, como controladores electrónicos modernos, para cubrir una mayor variedad de sistemas automotrices.

4.9.4 Disponibilidad de componentes

Se verificó que todos los materiales necesarios y demás componentes electrónicos, están ampliamente disponibles en el mercado ecuatoriano.

La adquisición de los materiales se realizó en tiendas locales especializadas en componentes automotrices y electrónicos, lo que asegura un acceso rápido y directo sin

depender de importaciones prolongadas. Adicionalmente, se verificó la presencia de estos componentes en plataformas de compra online como Mercado Libre y Mouser.ec, las cuales ofrecen opciones de compra en caso de requerir reposición o actualización de los componentes.

Esta disponibilidad local garantiza que el proyecto pueda ser replicado y mantenido fácilmente por otras instituciones educativas en la ciudad de Guayaquil, reduciendo los costos y tiempos asociados a la adquisición de materiales y fortaleciendo la sostenibilidad técnica del prototipo.

4.9.5 Estimación de costos

La estimación de costos es una etapa crucial dentro del análisis económico de un proyecto técnico, ya que permite determinar los recursos económicos necesarios para su desarrollo e implementación. Este proceso consiste en identificar, cuantificar y valorar todos los costos asociados al proyecto, asegurando que se realice de manera eficiente y con una adecuada gestión de recursos.

La estimación de costos es el cálculo detallado y estructurado de los gastos que se generarán a lo largo de las diferentes fases del proyecto, desde la adquisición de materiales hasta la ejecución final y mantenimiento. Este análisis proporciona una visión clara del presupuesto necesario y sirve como base para evaluar la viabilidad económica del proyecto.

Este rubro incluye el cálculo del costo unitario y total de todos los elementos técnicos requeridos para la construcción del proyecto. Se centra en los insumos y dispositivos esenciales para el diseño y funcionamiento del sistema, en la tabla XXV, se muestra el listado de precios y materiales.

TABLA XXV. Listado de materiales y precios del banco didáctico

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (\$)	Precio total (\$)
1	Modulo Arduino Mega 2560	20,00	20,00
16	Resistencias 330 Ohmio	0,04	0,72
2	Modulo de relay de 4 canales 5v	4,24	8,48
2	Modulo de relay de 8 canales	7,23	14,46
1	Regulador de voltaje	4,15	4,15
2	integrado optoacoplador	0,62	1,25
1	modulo lcd 16*2 azul + i2c incorporado	6,03	6,03
.2	cable jumper (20cm) macho-hembra 10 hilos	0,71	1,43
2	cable jumper (20cm) macho - macho 10 hilos.	0,71	1,43
2	protoboard 2 ter 1260puntos 4 distrib	13,66	27,32
1	teclado matricial con flex 4x4	5,85	5,85
10	resistencia 1.5 Kh	0,04	0,45
14	Jack banana negro pequeño	0,40	5,60
20	Jack banana Rojo pequeño	0,40	8,00
10	Plug banana negro	0,45	5,00
26	Plug banana rojo	0,45	11,70
1	Nema 23 Motor A Pasos 1.2nm motor	39,00	39,00
2	PC817 Serie H5 Sharp	0,31	0,62
3	IRFZ44N Serie 510P	1,56	4,69
1	Cable poder	1,79	1,79
3	Resistencias 220 OHM	0,05	0,15
1	Potenciometro	0,75	0,75
1	25 mt, de cable N#22 azul	0,15 x mt	3,00
1	25 mt, de cable N#16 blanco	0,15 x mt	3,00
1	Fuente de alimentación 12 V	15,00	15,00
1	Bobina DIS	30,00	30,00
4	Cables de bobinas	4,00	20,00
8	Bujias	3,00	24,00
4	Bobina COP	25,00	100,00
4	Conectores de sensor y bobina	4,50	18,00
1	Sensor CKP	25,00	25,00
1	Sensor CMP	25,00	25,00
1	Sensor KS	25,00	25,00
	Total		455,00

4.9.6 Costos de fabricación

Incluye todos los gastos relacionados con la construcción del banco didáctico, desde la preparación hasta el ensamblaje final. Este rubro engloba herramientas, mano de obra, y costos adicionales relacionados con la manufactura los cuales se muestran en la tabla XXVI.

TABLA XXVI. Costos de fabricación del banco didáctico

Cantidad	Descripcion	Precio Unitario (\$)	Precio total (\$)
2	Planchas 1, 20 x1,50 m, hierro galvanizado	15,00	30,00
100	Remaches	0,03	3,00
2	Litro Pintura adherente	2,50	5,60
3	Litro Pintura negra	2,80	8,40
3	Lija #1000	0,50	1,50
1	Vinil negro (recubrimiento)	4,10	4,10
3	Tubo metálico rectangulares	15,00	45,00
	Corte laser	60,00	40,00
	Doblado de metal	15,00	15,00
	Mano de obra		304,00
	Total		456,60

4.9.7 Costos indirectos

Son aquellos gastos que no están directamente vinculados a los materiales o a la fabricación del banco didáctico, pero que son esenciales para el desarrollo del proyecto, mostrados en la tabla XXVII.

TABLA XXVII. Costos indirectos del desarrollo del proyecto

Descripcion	Precio (\$)
Transporte	60,00
Laptop	750,00
Total	810,00

4.9.8 Comparación con alternativas existentes de bancos didácticos:

Es un análisis técnico y funcional que permite evaluar cómo el banco didáctico propuesto se posiciona frente a productos similares disponibles en el mercado educativo. Este proceso implica identificar bancos didácticos existentes, analizar sus características, costos y funcionalidades, y determinar las ventajas y desventajas comparativas del nuevo diseño.

Además de revisar y evaluar estas herramientas que simulen el sistema de encendido, identificando diferencias en términos de tecnología, accesibilidad, y efectividad pedagógica. A continuación, en la siguiente tabla XXVIII se presenta los diferentes bancos didácticos comerciales del sistema de encendido, acompañado de sus características principales, contrastando con el prototipo de banco que fue realizado en el proyecto.

TABLA XXVIII. Descripción de los bancos didácticos

Bancos didácticos	Presencia en el mercado global	Características técnicas principales	Precio aproximado	Beneficio del producto
YESA-7203	Se encuentran en América Latina, Gran parte de Europa, y Asia	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Simular y visualizar los oscilogramas y voltajes característicos, ✓ Genera los fallos de los principales sensores y actuadores del motor 	2,000 a 4000 \$	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es muy compacto, lo que permite colocarlo en cualquier lugar. ✓ Posee elementos electrónicos y microcontroladores que permite ahorrar espacio en el equipo. ✓ Posee elementos didácticos móviles para sensores y actuadores.
ALECOP Modelo: ADA 301	España, América Latina y África	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dispone de circuitos electrónicos de 3 distintos sistemas encendidos. ✓ Puntos de testeo para la realización de medidas en los diferentes circuitos. ✓ Montar circuitos electrónicos básicos. ✓ Diagnosticar y reparar averías simples en sistemas electrónicos del automóvil. 	1500 a 3000\$	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es muy compacto, lo que permite colocarlo en cualquier lugar. ✓ Posee elementos electrónicos que permite simular las señales del sistema de encendido. ✓ Posee diagramas interactivos para conexión, con puntas de prueba para conectar entre los sensores del sistema
De Lorenzo Modelo: DL DM91	Italia, España y algunos países de América del Sur	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Equipado con sistema inteligente de ajuste de fallos, incluye ajuste de fallos y localización de averías. ✓ Se puede conectar a una tensión de 220V AC que se transforma en una tensión continua de 12V ✓ Posee terminales de detección para identificar señales eléctricas ✓ Dispone de sensores y bobinas automotrices que permite trabajar con señales reales ✓ Cuenta con sistema de fallos, que permite simular los fallos principales del sistema ✓ Medición con puntas pruebas 	3500\$ a 4000 \$	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Posee elementos del sistema de encendido tamaño real, que se usan en el automóvil. ✓ Permite conectar los diferentes sensores para simular la señal y los fallos característicos
Prototipo del banco didáctico	Ecuador, Guayaquil	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuenta con sistema de fallos, que permite simular los fallos principales del sistema ✓ Medición con puntas pruebas 	393,26 \$	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Maqueta compacta, ya que permite ser transportada de manera fácil ✓ Posee elementos didácticos, como ruedas fónicas y diagramas, permitiendo un mejor aprendizaje

4.9.9 Análisis comparativo

Es un proceso sistemático que permite evaluar y contrastar las características de diferentes maquetas didácticas utilizadas como herramientas educativas. Este análisis tiene como objetivo

identificar la opción más adecuada en términos de rendimiento pedagógico, accesibilidad económica y adaptabilidad técnica. En la siguiente tabla se presenta un análisis comparativo, considerando varios criterios que reflejan las necesidades específicas del proyecto enfocado en el desarrollo de la maqueta de sistemas de encendido. Los criterios seleccionados permiten analizar las diferentes perspectivas, evaluando su costo, funcionalidad, adaptabilidad, durabilidad y facilidad de uso, en la tabla XXIX se muestra el desarrollo comparativo.

TABLA XXIX. Desarrollo comparativo de los criterios principales para la evaluación de los bancos didácticos

Criterios	YESA-7203	ALECOP ADA 301	De Lorenzo DL DM91	Diseño del banco didáctico
Costo		\$ 1,500 a		
Aproximado (\$)	\$ 2,000 a 4,000	3,000	\$ 3,500 a 4,000	\$ 911,00
Simulación de Fallas	Sí	Parcial	Sí	Sí
Compatibilidad	Alta	Media	Alta	Alta (Componentes actualizables)
Adaptabilidad	Media	Media	Baja	Alta (Diseño flexible y modular)
Durabilidad	Alta	Alta	Alta	Media (Materiales económicos)
Nivel de Realismo	Muy alto (emulación completa)	Alto	Muy alto (Componentes reales)	Medio (Simulación y emulación)
Disponibilidad	Limitada	Media	Limitada	Alta (Componentes locales)
Facilidad de Uso	Media (Avanzado)	Alta	Media	Alta (Diseño educativo)
Capacitación Requerida	Alta	Media	Alta	Media

- En cuanto a los costos, el modelo YESA-7203 presenta un precio elevado debido a la inclusión de materiales de alta calidad y funcionalidades avanzadas, mientras que el ALECOP ADA 301 ofrece un equilibrio entre precio y funcionalidades, aunque es menos personalizable. Por otro lado, el modelo De Lorenzo DL DM91 representa una alta inversión, ya que está diseñado para aplicaciones industriales y académicas avanzadas. En contraste, el prototipo realizado destaca por ser significativamente más económico,

utilizando componentes accesibles en el mercado local, lo que lo hace una opción ideal para instituciones con recursos limitados.

- En términos de limitaciones, tanto el YESA-7203 como el De Lorenzo DL DM91 presentan desafíos relacionados con su disponibilidad, debido a su alto costo y la complejidad técnica que implica su adquisición y uso. El ALECOP ADA 301, tiene menor flexibilidad para actualizaciones o integración de nuevas tecnologías. El prototipo realizado, a pesar de ser más accesible, muestra limitaciones en cuanto a durabilidad y nivel de realismo en comparación con los modelos comerciales, aunque estas limitaciones son compensadas por su capacidad de cumplir con los objetivos educativos básicos de enseñanza sobre el funcionamiento del sistema de encendido
- Respecto a los beneficios, los modelos YESA-7203 y De Lorenzo DL DM91 ofrecen alta precisión y emulación fiel, lo que los convierte en opciones ideales para simulaciones complejas. Por su parte, el ALECOP ADA 301 posee funcionalidades básicas y facilidad de uso. Sin embargo, el banco didáctico desarrollado sobresale por su adaptabilidad, bajo costo, y una experiencia educativa adecuada para el aprendizaje práctico y el diagnóstico. Estas características lo convierten en una herramienta viable y eficiente para entornos educativos, especialmente cuando se busca una solución económica sin sacrificar la calidad esencial del aprendizaje. En comparación, el banco didáctico desarrollado en este proyecto destaca por su enfoque de bajo costo, sin comprometer la calidad educativa. Al emplear componentes accesibles como microcontroladores Arduino, sensores y materiales de fácil adquisición, se logra una reducción significativa en costos sin perder funcionalidad.

4.9.10 Beneficios Económicos y Educativos del banco didáctico

- **Reducción de costos:** El costo de fabricación del banco didáctico desarrollado es sustancialmente menor en comparación con modelos comerciales, permitiendo su implementación en diversas instituciones educativas sin requerir una inversión muy elevada.
- **Aprendizaje Interactivo:** Al integrar una sección de fallos simulados, los estudiantes pueden interactuar directamente con el sistema, reforzando el aprendizaje práctico y el desarrollo de habilidades de diagnóstico.

En conclusión, el desarrollo de un banco didáctico de bajo costo representa una alternativa viable para la enseñanza de sistemas de encendido en instituciones educativas.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El desarrollo del banco didáctico del sistema de encendido ha permitido simular los principios de operación de los sistemas DIS y COP, proporcionando una herramienta para el proceso de enseñanza y aprendizaje sobre los sistemas de encendido. A través de este proyecto, se muestra el funcionamiento y mejoras de los sistemas de encendido junto con los sensores CMP, CKP, y KS que forman parte del sistema permitiendo conocer voltajes y oscilogramas característicos, así como sistemas de fallos principales.

En las pruebas experimentales se verifico las señales generadas por los sensores CKP, CMP y KS, así como la correcta activación de los pulsos que envía el Arduino a las bobinas de encendido. La utilización del osciloscopio permitió la visualización de las ondas características de cada sensor y la validación de la funcionalidad de los elementos. Se observó que la señal de los sensores CKP y CMP mantiene una forma de onda estable a cualquier régimen de revoluciones, el sensor CKP muestra voltajes más bajos en el prototipo debido a los parámetros de diseño que son compactos.

El diseño del banco didáctico incorporó un sistema de generación de fallas inducidas, permitiendo simular averías en los distintos componentes del sistema de encendido. Esto posibilitó el análisis de escenarios de diagnóstico, permitiendo obtener una herramienta didáctica para aprender sobre el sistema de encendido. Además, la implementación de un microcontrolador Arduino, reduciendo costos y facilitando la integración con distintos módulos de enseñanza.

Las mediciones realizadas con el multímetro permitieron comprobar que los valores de voltaje y resistencia de los elementos del sistema se encuentran dentro de valores aproximados, lo que garantiza la funcionalidad del banco como herramienta de estudio.

Finalmente, se evidenció que las interferencias electromagnéticas generadas por las bobinas en los sistemas DIS y COP afectan de manera considerable el desempeño general del sistema, debido a la altos voltajes y corrientes que manejan puede llevar a calentar los componentes o resetear el Arduino, pero sin afectar su funcionamiento.

Además, se comprobó que el orden de encendido del sistema COP sigue el patrón 1-3-4-2, verificándose mediante oscilogramas. La correcta sincronización y generación de pulsos de

encendido demuestra la viabilidad del banco didáctico como una herramienta efectiva para la formación en sistemas de encendido de un motor MEP.

En conclusión, el banco didáctico diseñado es una solución viable, accesible y funcional para la enseñanza de los sistemas de encendido modernos, permitiendo a los estudiantes desarrollar habilidades prácticas en diagnóstico y análisis de señales.

5.2 Recomendaciones

Para garantizar el correcto funcionamiento del banco didáctico del sistema de encendido, se recomienda que los usuarios conozcan en detalle las especificaciones técnicas de cada uno de los componentes utilizados, las cuales pueden consultarse en los respectivos manuales de usuario o datasheets. Esto permitirá operar el banco de manera segura y eficiente, evitando daños en los elementos del sistema.

Es fundamental asegurar una conexión adecuada a tierra común, la cual debe estar vinculada a la base donde se asientan las bujías. Si esta conexión no se realiza correctamente, se corre el riesgo de afectar la fuente de alimentación principal. Además, al realizar mediciones, se recomienda emplear cables con conectores tipo banana para evitar contactos eléctricos no deseados y asegurar lecturas precisas de voltaje y resistencia.

Para verificar la alimentación de las bobinas de encendido, tanto en el sistema DIS como en el COP, se debe medir el voltaje en el terminal positivo de la bobina, el cual debe ser igual al voltaje de la fuente de alimentación. Asimismo, al iniciar el banco de pruebas, se aconseja arrancar el motor utilizando la perilla de control a la mitad de su velocidad total y luego disminuir la velocidad para obtener revoluciones bajas y mayor estabilidad en la señal de los sensores.

Para la correcta medición de los sensores en los sistemas DIS y COP, se recomienda encender el módulo correspondiente y conectar las puntas de prueba del osciloscopio directamente a los conectores del sensor. Es posible realizar mediciones individuales o en conjunto, sin embargo, para evitar interferencias electromagnéticas, se recomienda trabajar con un solo sistema a la vez. Dichas interferencias pueden presentarse en altas revoluciones debido a la fricción del sistema y a la activación simultánea de múltiples bobinas.

El proceso de conexión de los sensores, bujías y bobinas debe realizarse con extremo cuidado, ya que una conexión incorrecta podría provocar cortocircuitos y daños irreversibles

en los componentes. En caso de que el banco didáctico presente fallas en alguno de los sistemas, DIS o COP, se recomienda inspeccionar y verificar el estado de cada elemento antes de proceder con el desmontaje de los componentes. Esto facilitará el diagnóstico y evitará manipulaciones innecesarias que puedan comprometer la integridad del banco de pruebas.

Se recomienda no mantener encendido por más de 30 minutos el banco didáctico, y no mantener a altas revoluciones el giro de las ruedas, para que las bobinas no manden chispas rápidas de manera consecutiva, debido a que puede provocar que el Arduino Mega2560 entre en fallo.

Siguiendo estas recomendaciones, se garantiza un uso eficiente, seguro y prolongado del banco didáctico, optimizando su función como herramienta de enseñanza y aprendizaje en el área de la ingeniería automotriz.

6. REFERENCIAS

- [1] M. Coelho, “Learning Improvement in Electronics Disciplinary using a Didactic Workbench”, *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, núm. 1, pp. 83–88, ene. 2016, doi: 10.1109/TLA.2016.7430065.
- [2] J. Ezequiel, “Diseño y adaptación de un módulo didáctico probador de bobinas de encendido electrónico para vehículos toyota, nissan y mitsubishi en el iestpffaa”, *Mecanica automotriz*, Institucion de educacion superior tecnologico , Lima, 2020. Consultado: el 13 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.iestpffaa.edu.pe/bitstream/handle/IESTPFFAA/54/TAPFINAL-RONDAN%2c%20J.L-%20MEC.%20AUT.%20CONFORME.%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [3] F. Pereira, “Didactic bench to support automation learning - Industry 4.0 education”, en *2022 Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica (XV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference)*, Teruel: IEEE, jun. 2022, pp. 1–5. doi: 10.1109/TAEE54169.2022.9840744.
- [4] W. Fangrong, “A Study on The Experience and Effect of The Construction of Professional Teaching Resource Bank in Vocational Education”, en *Proceedings of the 2nd International Conference on Internet Technology and Educational Informatization, ITEI 2022, December 23-25, 2022, Harbin, China*, EAI, 2023. doi: 10.4108/eai.23-12-2022.2329165.
- [5] G. Oliveira, “Construction of low-cost benches to assist in teaching machine elements and small engine testing”, *Int J Innov Educ Res*, vol. 10, núm. 12, pp. 1–22, dic. 2022, doi: <https://doi.org/10.31686/ijer.vol10.iss12.3911>.
- [6] Lema N y Clávon B, “Diseño y construcción de un banco de pruebas genérico para diagnóstico y reparación de módulos de control electrónico automotriz”, *Ingenieria automotriz*, Universidad de la Fuerzas Armadas, Latacunga, 2021. Consultado: el 13 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/26131/1/T-ESPEL-MAI-0717.pdf>
- [7] T. Tohadi, “Development of the 4E-FTE Engine Simulator Trainer to Improve Learning Outcomes through Problem Based Learning”, *International Journal for Educational and Vocational Studies*, vol. 2, núm. 8, ago. 2020, doi: 10.29103/ijevs.v2i8.2692.
- [8] C. Camargo, “Systematic Literature Review of Realistic Simulators Applied in Educational Robotics Context”, *Sensors*, vol. 21, núm. 12, p. 4031, jun. 2021, doi: 10.3390/s21124031.
- [9] J. Gomez, “On The Use Of Educational Simulators For Rocket Propulsion In Aerospace Engineren Undergraduate Courses”, *library digital iated*, vol. 1, pp. 2–3, mar. 2024, doi: <https://doi.org/10.21125/inted.2024.0572>.
- [10] P. Grogan, “Lego Product Design and Manufacturing Simulations for Engineering Design and Systems”, en *2019 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*, Florida: ASEE Conferences, jun. 2019, pp. 1–2. doi: 10.18260/1-2--33056.
- [11] A. Suarez, “Hands-on Learning: Assessing the Impact of a Mobile Robot Platform in Engineering Learning Environments”, *Sustainability*, vol. 15, núm. 18, p. 13717, sep. 2023, doi: 10.3390/su151813717.
- [12] V. Zapata, “Diseño y fabricación de módulo simulador de sensores electronicos automotrices”, *TEGNOLOGÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ , INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA*

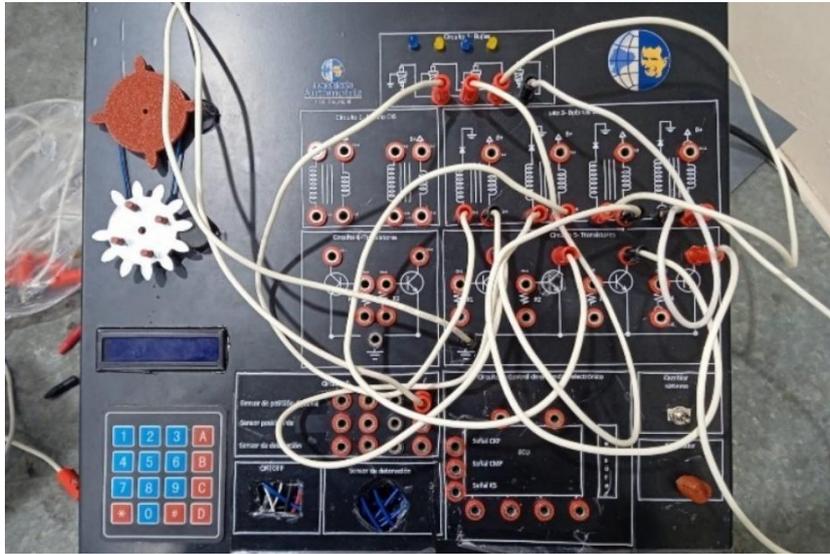
- PASCUAL BRAVO, Medellín , 2017. Consultado: el 13 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/339/1/Rep_IUPB_Mec_Aut_M%C3%B3dulo.pdf
- [13] J. Rohman, “Development of Learning Media Practices the Ignition System in Automotive Electrical System Courses, Department Automotive Engineering”, *J Phys Conf Ser*, vol. 1700, núm. 1, p. 012053, dic. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1700/1/012053.
- [14] M. Riera, “Diseño y construcción de un banco didáctico para comprobar sistemas de encendido electrónico”, Ingeniería Mecánica, Universidad del Azuay, Cuenca, 2015. Consultado: el 5 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4862>
- [15] F. Puenayan, “Diagnóstico del módulo de ignición en un vehículo con motor de encendido provocado”, Ingeniería Automotriz, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2023. Consultado: el 6 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14091>
- [16] D. Martínez, “Optimización del Diagnóstico de Problemas en el Sistema de Encendido”, snapdrive. Consultado: el 19 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://snapdrive.es/diagnostico-de-problemas-en-el-sistema-de-encendido/>
- [17] O. Moreno, “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”, Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2015. Consultado: el 17 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10176/6/UPS%20-%20ST001819.pdf>
- [18] R. Ayala, “Sistema de Encendido Cop”, Chimborazo, jun. 2013. Consultado: el 6 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://pdfcoffee.com/sistema-de-encendido-cop-5-pdf-free.html>
- [19] E. Fernández, “Diseño y Construcción de un equipo para diagnóstico de sensores, actuadores y ECU’s automotrices para vehículos KIA y HYUNDAI”, Ingeniería Electrónica, Universidad del Azuay, Azuay, 2014. Consultado: el 5 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4263>
- [20] C. Saints, “Sensor de posición del árbol de levas (CMP)”, Slideshare. Consultado: el 7 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/sensor-de-posicin-del-rbol-de-levas-cmp-237188876/237188876>
- [21] PicoTechnology, “Camshaft sensor - Hall effect”, automotive guided tests. Consultado: el 8 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/camshaft-hall-effect>
- [22] W. Ledesma, “Sensor inductivo y hall”, Slideshare. Consultado: el 7 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/sensor-inductivo-y-hall/239776072>
- [23] PicoTechnology, “Crankshaft sensor inductive (floating) voltage during cranking”, automotive-guided-tests. Consultado: el 8 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/crankshaft-inductive-floating-cranking>
- [24] J. Bosmediano, “FICHAS TÉCNICA DEL SENSOR DE MAP Y KS”, Studocu. Consultado: el 7 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en:

- <https://www.studocu.com/ec/document/instituto-superior-tecnologico-central-tecnico/estructuras/sensor-ks-y-map-deberes/64697847>
- [25] PicoTechnology, “Knock sensor”, Automotive guided tests. Consultado: el 8 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/knock-sensor>
- [26] PicoTechnology, “Coil-on-plug primary voltage and current (3-wire)”, Automotive guided tests. Consultado: el 8 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/primary-voltage-and-current-3-wire>
- [27] PicoTechnology, “Distributorless Ignition System primary ignition voltage”, Automotive guided test. Consultado: el 11 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/dis-primary-voltage>
- [28] A. Muñoz, “Manual de Diagnostico, Entrenamiento y inprelementando , para Instrumencion de un vehiculo para chevrolet 1800 CC”, Tesis, UniversidadPolitecnicaSalesiana, Quito, 2024.
- [29] Den, “Diagnóstico de Falla de Encendido”, Autodoc Club. Consultado: el 8 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://club.autodoc.es/magazin/como-comprobar-el-sistema-de-encendido>
- [30] Aeade, “Anuarios ”, Asociacion de empresas automotrices del ecuador. Consultado: el 30 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.aeade.net/anuario/>
- [31] ElComercio, “La venta de vehículos en Ecuador superó los niveles de la última década”, *EI COMERCIO*, Quito, pp. 1–1, el 11 de enero de 2023. Consultado: el 30 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/venta-vehiculos-negocios.html>
- [32] J. Fernandez, “ Una mirada a la enseñanza de conceptos científicos y tecnológicos a través del material didáctico utilizado”, *Revista Espacios*, Caracas, pp. 1–3, el 6 de mayo de 2019. Consultado: el 1 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n15/a19v40n15p04.pdf>
- [33] R. Calderon, “Maquetación como recurso didáctico para la enseñanza – aprendizaje de la Geometría”, *Dialnet*, Santa Ana de Coro, pp. 1–4, el 15 de noviembre de 2021. Consultado: el 1 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8326133>
- [34] X. Shanzhen, “Study on the Engine Electronic Ignition System Based on SCM and LabVIEW”, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 5, núm. 17, pp. 4321–4328, may 2013, doi: 10.19026/rjaset.5.4424.
- [35] Yes01, “Universal Engineering platform”, Yes01.co.kr. Consultado: el 7 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://yes01.co.kr/en/store/view.php?idx=003001000000000&i_no=1170
- [36] Alecop, “Teaching equipment”, Mondragon Lingua-Alecop. Consultado: el 7 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://alecop.com/en/>
- [37] Delorenzogloba, “Ignition System Training Panel Dl Dm91”, De Lorenzo Company. Consultado: el 7 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://delorenzogloba.com/product/ignition-system-training-panel-dl-dm91?Lang=En>

- [38] M. Farrugia, “Development of a programmable engine control unit to multi-fuel capabilities, progression to diesel”, en *2015 16th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*, IEEE, dic. 2015, pp. 174–180. doi: 10.1109/STA.2015.7505176.
- [39] L. Rico, “Desarrollo De Un Banco De Instrumentacion Para La orientacion Didactica De Practicas De Laboratorio”, *eiei (Encuentro Internacion de Edudacion Ingenieria)*, vol. 1, pp. 1–9, sep. 2017, doi: <https://doi.org/10.26507/ponencia.545>.
- [40] T. Tafakur, “Electronic Spark Advance Ignition System Simulator As Instruccional Media For Assisting Electrical Practices On Automotive Field”, *VANOS Journal of Mechanical Engineering Education*, vol. 3, núm. 1, jul. 2018, doi: 10.30870/vanos.v3i1.3377.
- [41] A. Lagana, “Model-Based Development of an Engine Control Module for a Spark Ignition Engine”, *IEEE Access*, vol. 6, pp. 53638–53649, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2870061.
- [42] R. Rohe, “Arduino Mega”, *electronicapintel*. Consultado: el 6 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://electronicapintel.com/producto/arduino-mega/>
- [43] R. Deepalaxmi y R. Arthi, “Arduino Based automatic Vehicle Control”, *International Journal of Scientific Research and Management*, vol. 9, núm. 03, pp. 573–580, mar. 2021, doi: 10.18535/ijstrm/v9i3.ec02.
- [44] F. Martinez, *Fundamentos Basicos De Programacion En C++*, NonCommercial 3.0., vol. 1. Jaén, 2019. Consultado: el 7 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www4.ujaen.es/~fmartin/apuntesC++.pdf>
- [45] Gallardo O, “Fabricación de placas de circuito impreso con Proteus ”, Tesis, UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, Valladolid, 2015. Consultado: el 2 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/14625/tfg-p-312.pdf?sequence=1>
- [46] Min Junior, “Carmin”, Google play. Consultado: el 24 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.min.car&hl=es_PA&pli=1
- [47] E. Sevilla, “Sistemas de encendido sin distribuidor DIS y COP”, Universidad Internacional SEK, Quito, 2017. Consultado: el 24 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2645>

7. ANEXOS

7.1 Pruebas prototipo del banco didactico



Anexo 1. Conexiones del prototipo de la maqueta didáctica

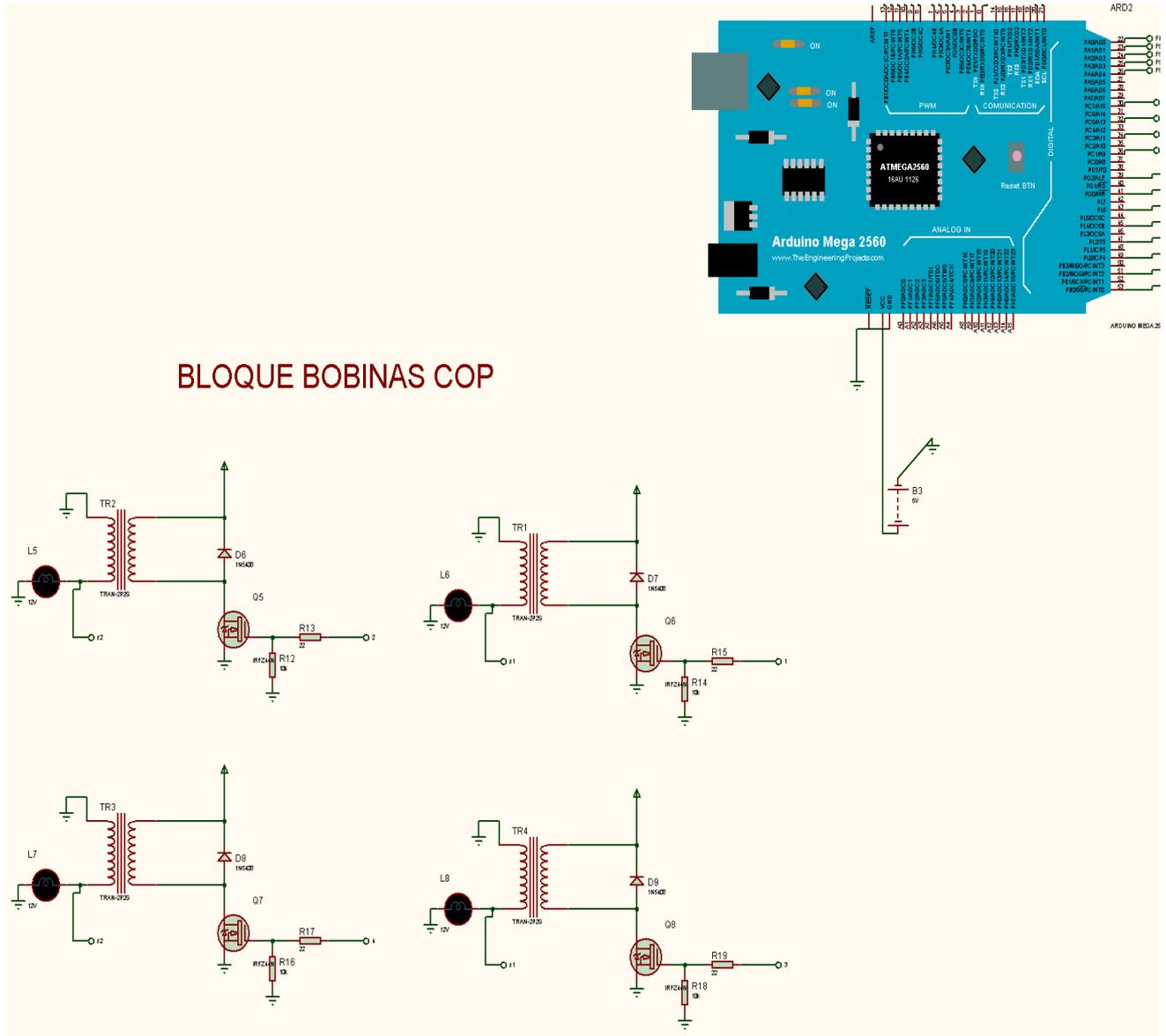


Anexo 2. Conexiones de la punta de prueba de osciloscopio



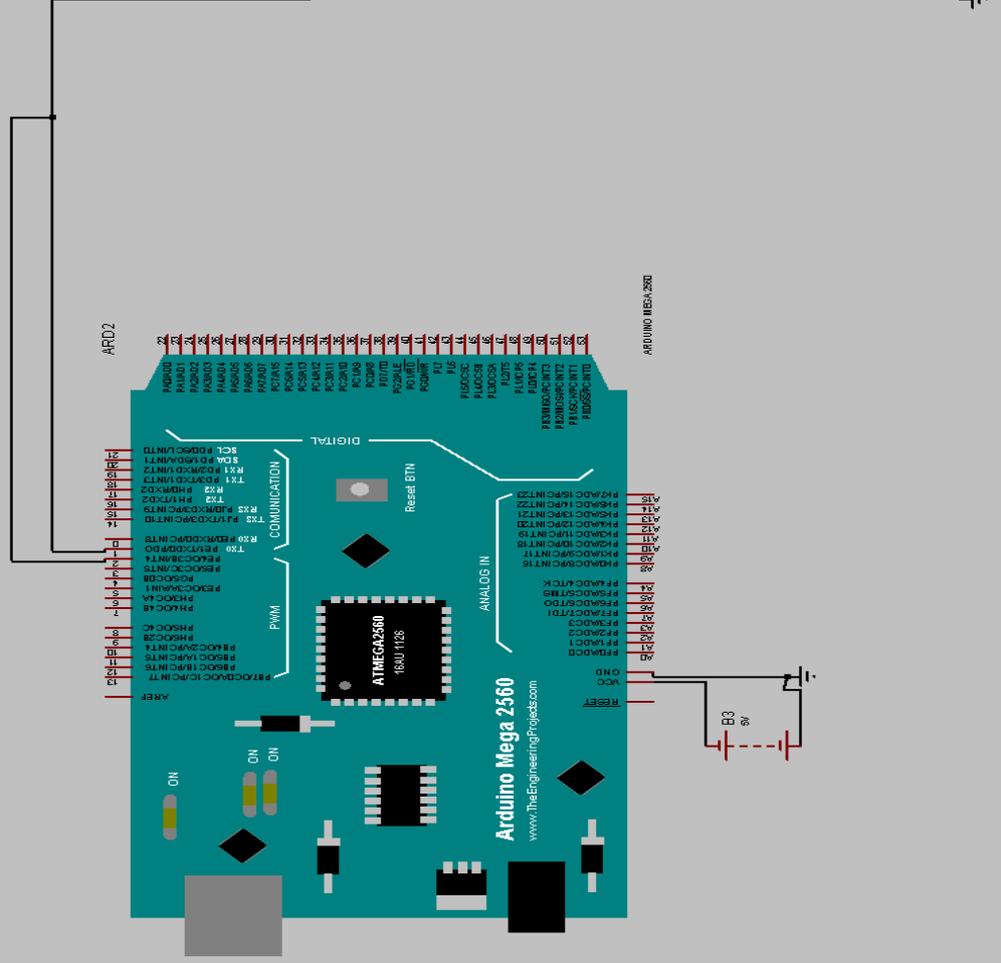
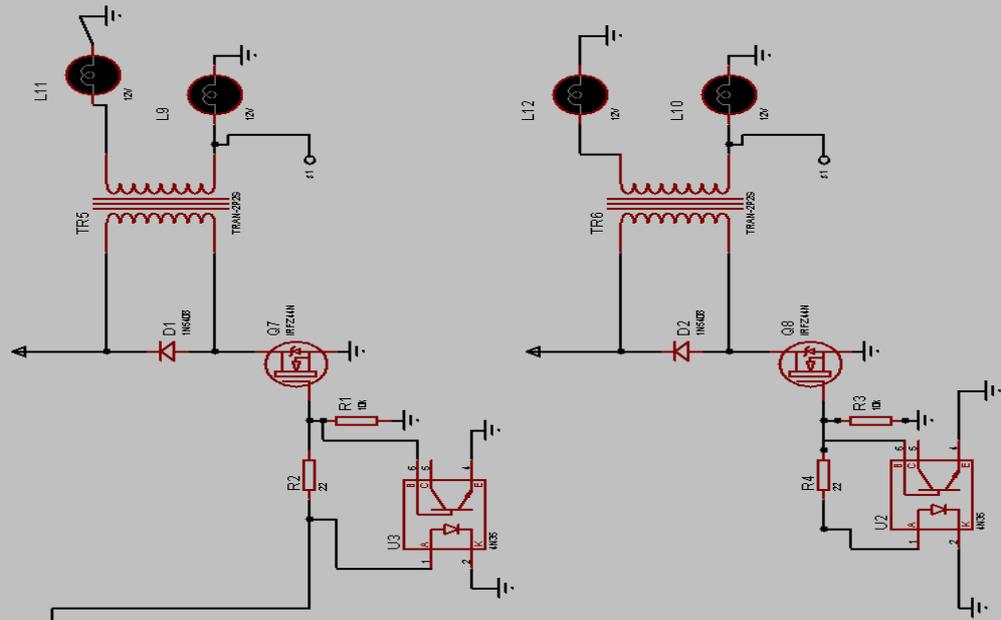
Anexo 3. Conexiones de los Jack Banan

7.2 Circuitos eléctricos realizado en Proteus

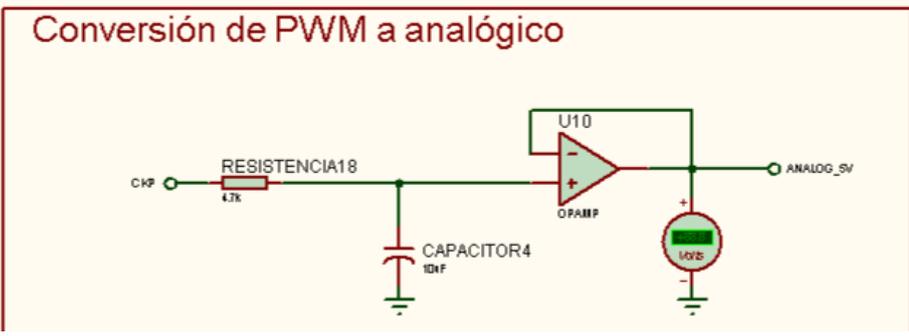
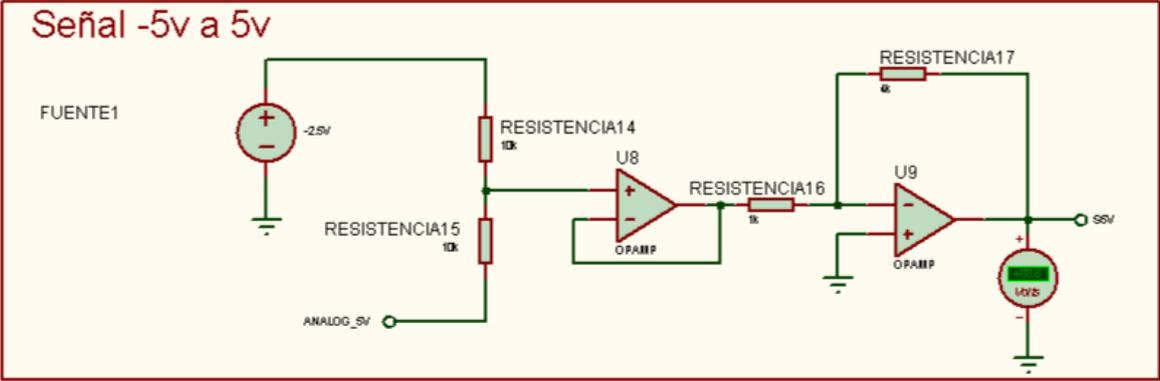
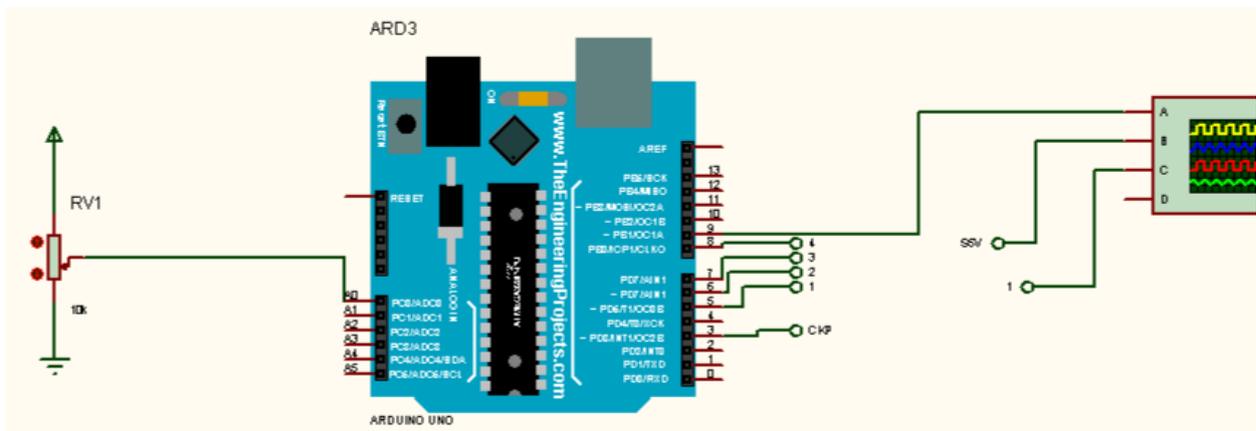


Anexo 4. Diagrama de bobinas

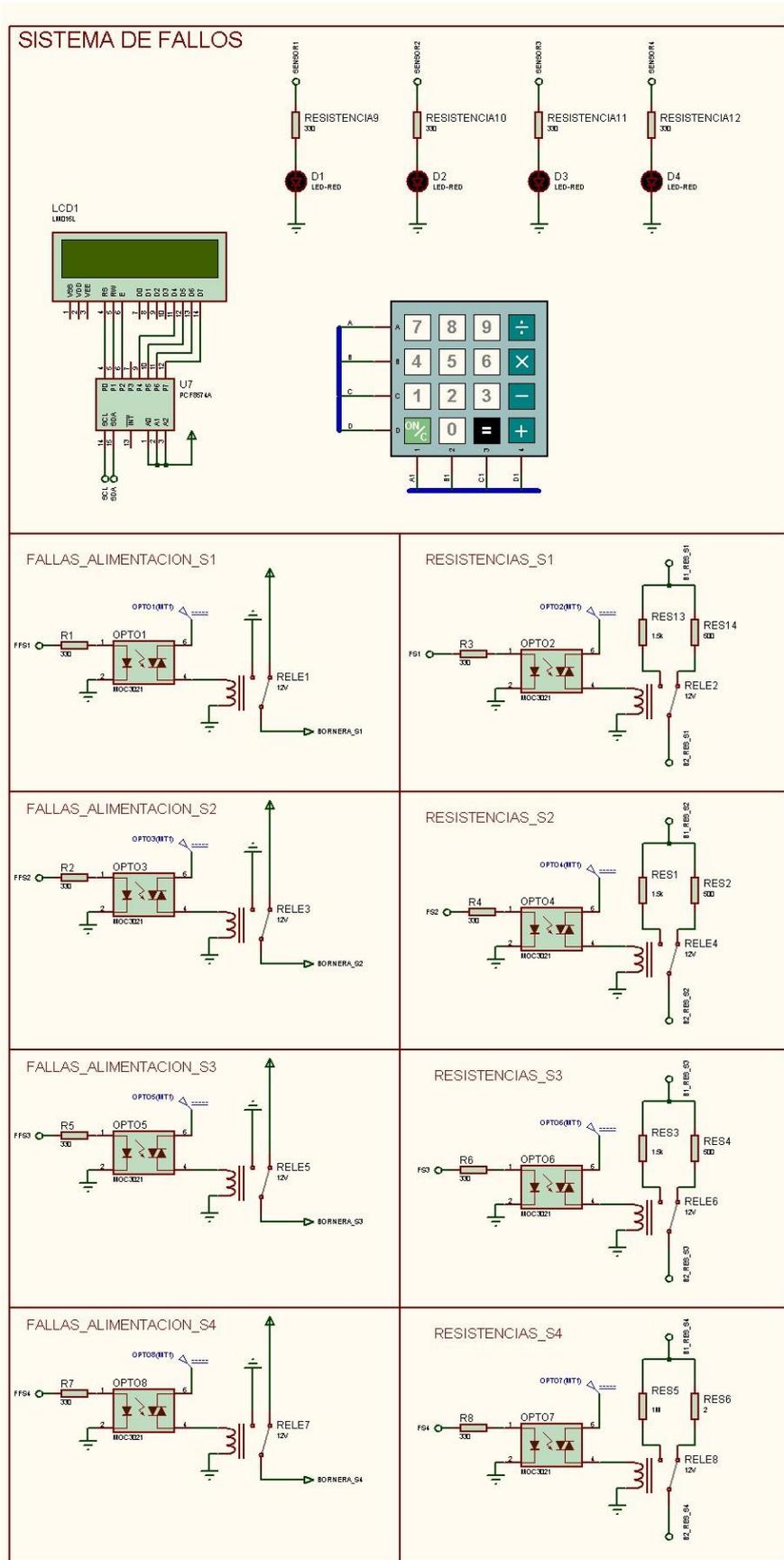
BLOQUE BOBINAS



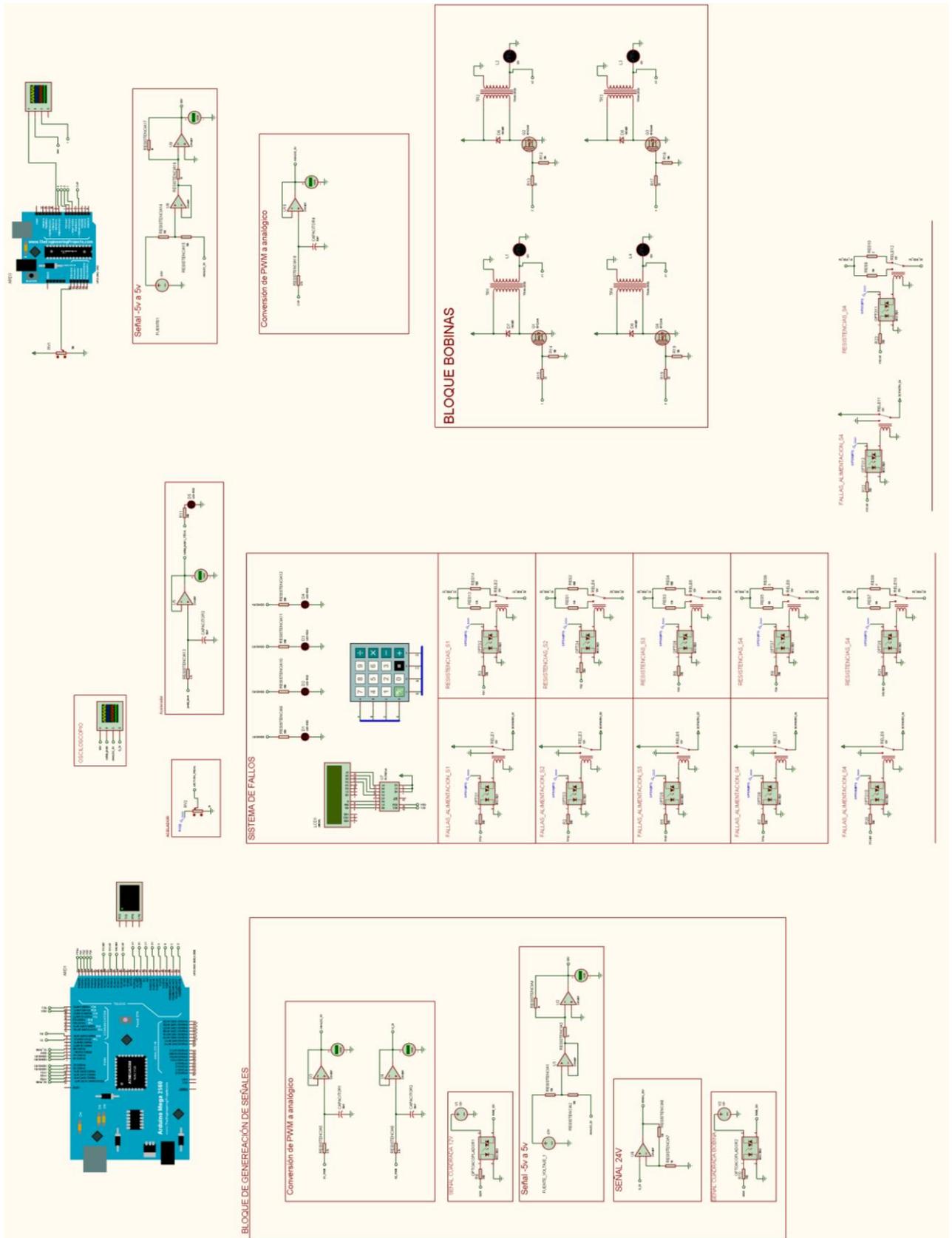
Anexo 5. Diagrama de bobinas



Anexo 6. Diagrama de conexión de sensores.



Anexo 7. Diagrama de conexión de sistema de fallos.



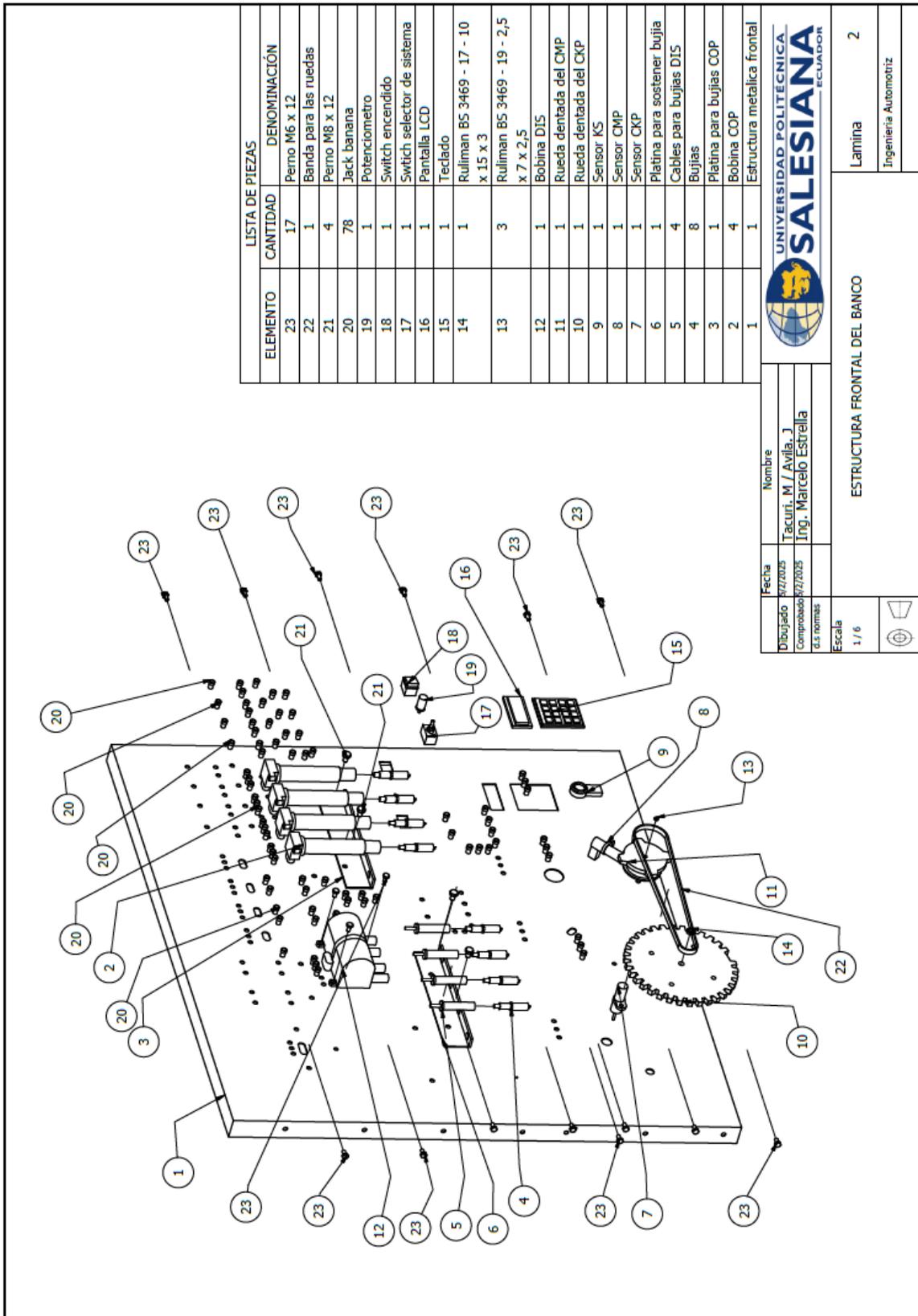
Anexo 8. Diagrama de general de conexión

7.3 Láminas de construcción del diseño del banco didáctico

TABLA	
ELEMENTO	CANTIDAD
7	1
6	1
5	6
4	4
3	1
2	2
1	1

UNIVERSIDAD SALESIANA SALESIANA ECUADOR	
Nombre	Tacuri, M / Avila, J
Dibujado	17/2015
Comprobado	17/2015
Escala	1 / 14
BANCO DIDÁCTICO SISTEMA DE ENCENDIDO	
Lamina	1
Ingeniería Automóvil	

Anexo 9. Planos constructivos de Diseño de banco didactico



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

Nombre: Tacuri, M./ Avila, J
 Ing. Marcelo Estrella

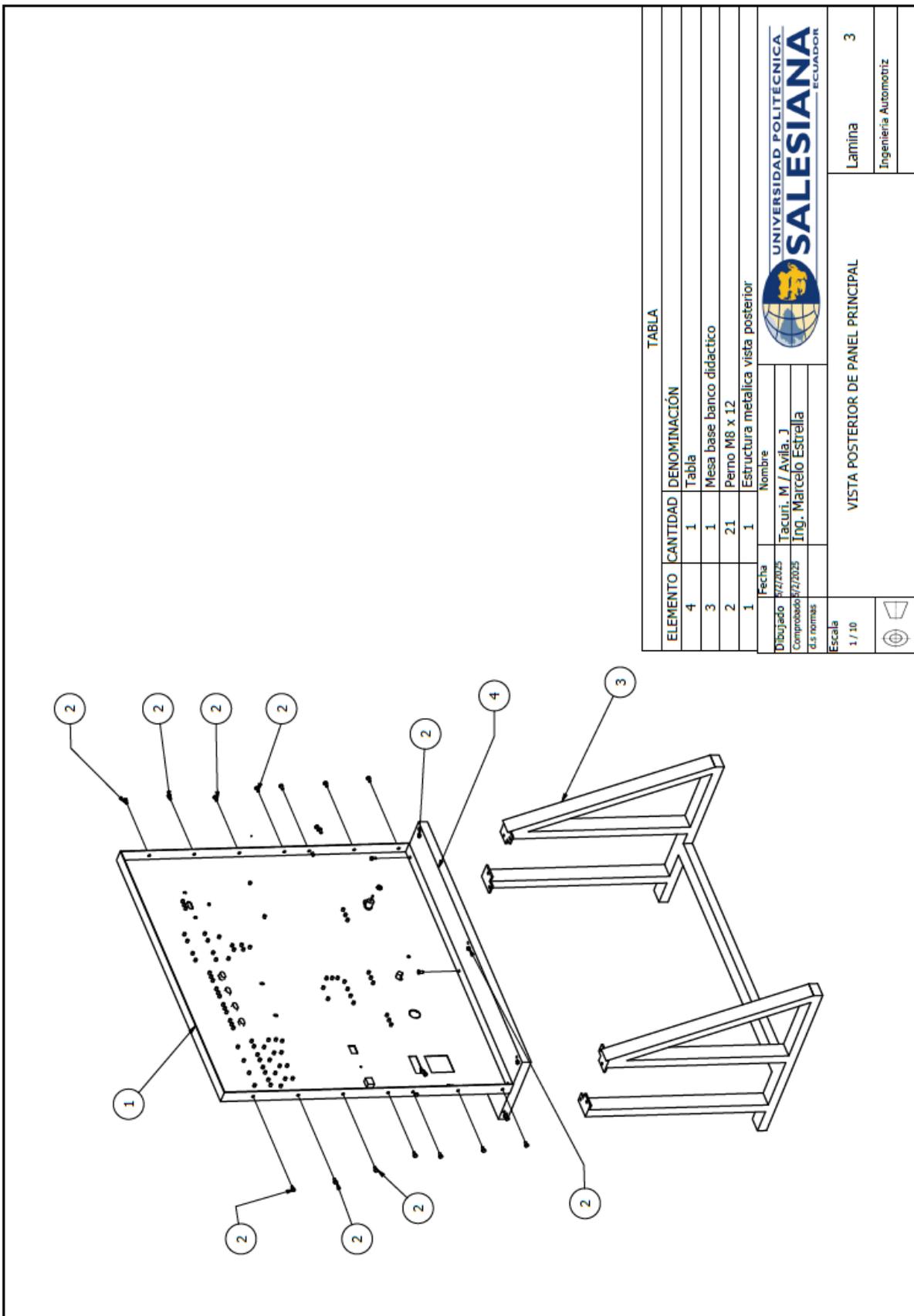
Fecha: 9/7/2025
 Dibujo: 9/7/2025
 Comprobado: 9/7/2025
 d.s. normas

Escala: 1/6

ESTRUCTURA FRONTAL DEL BANCO

Lamina: 2
 Ingeniería Automotriz

Anexo 10. Planos constructivos de parte frontal de diseño de banco didáctico



TABLA

ELEMENTO	CANTIDAD	DENOMINACIÓN
4	1	Tabla
3	1	Mesa base banco didactico
2	21	Perno M8 x 12
1	1	Estructura metalica vista posterior

Fecha	Nombre
Dibujado 07/2025 Comprobado 07/2025	Tacuri, M / Avila, J Ing. Marcelo Estrella
d.s normas	

 UNIVERSIDAD SALESIANA ECUADOR	
VISTA POSTERIOR DE PANEL PRINCIPAL	
Escala	Lamina
1 / 10	3
Ingeniería Automotriz	

Anexo 11. Planos constructivos mesa de banco didáctico

TABLA

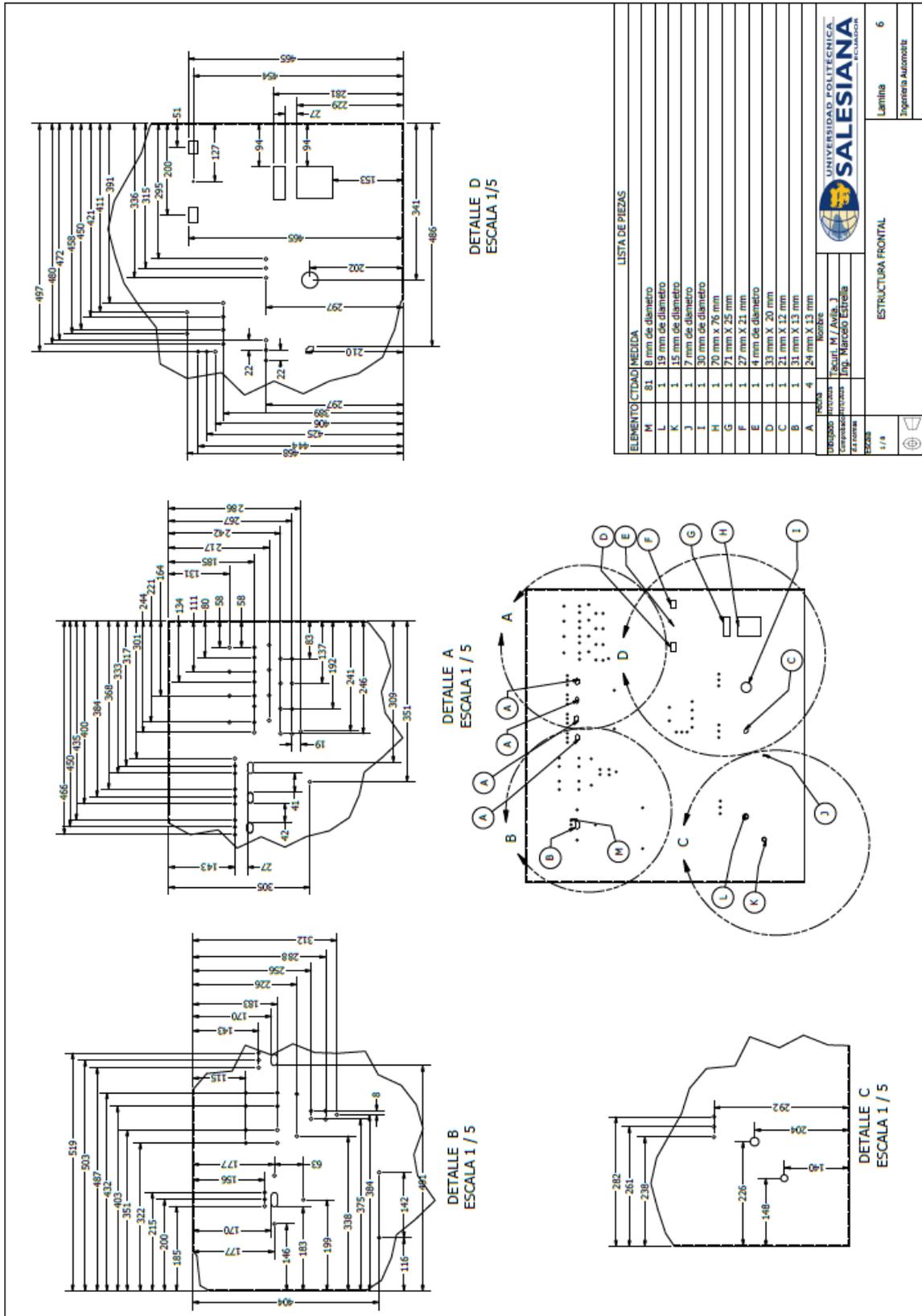
ELEMENTO	CANTIDAD	DENOMINACIÓN
6	1	Tabla de 30 mm de grosor
5	4	Ruedas de banco
4	1	Base metálica
3	2	Platina metálica laterales
2	25	Perno M8 x 12
1	1	Estructura posterior metálica

Fecha	Nombre
9/27/2025	Tacuri, M / Avila, J
Comprobado: 9/27/2025	Ing. Marcelo Estrella
d.s. noimas	

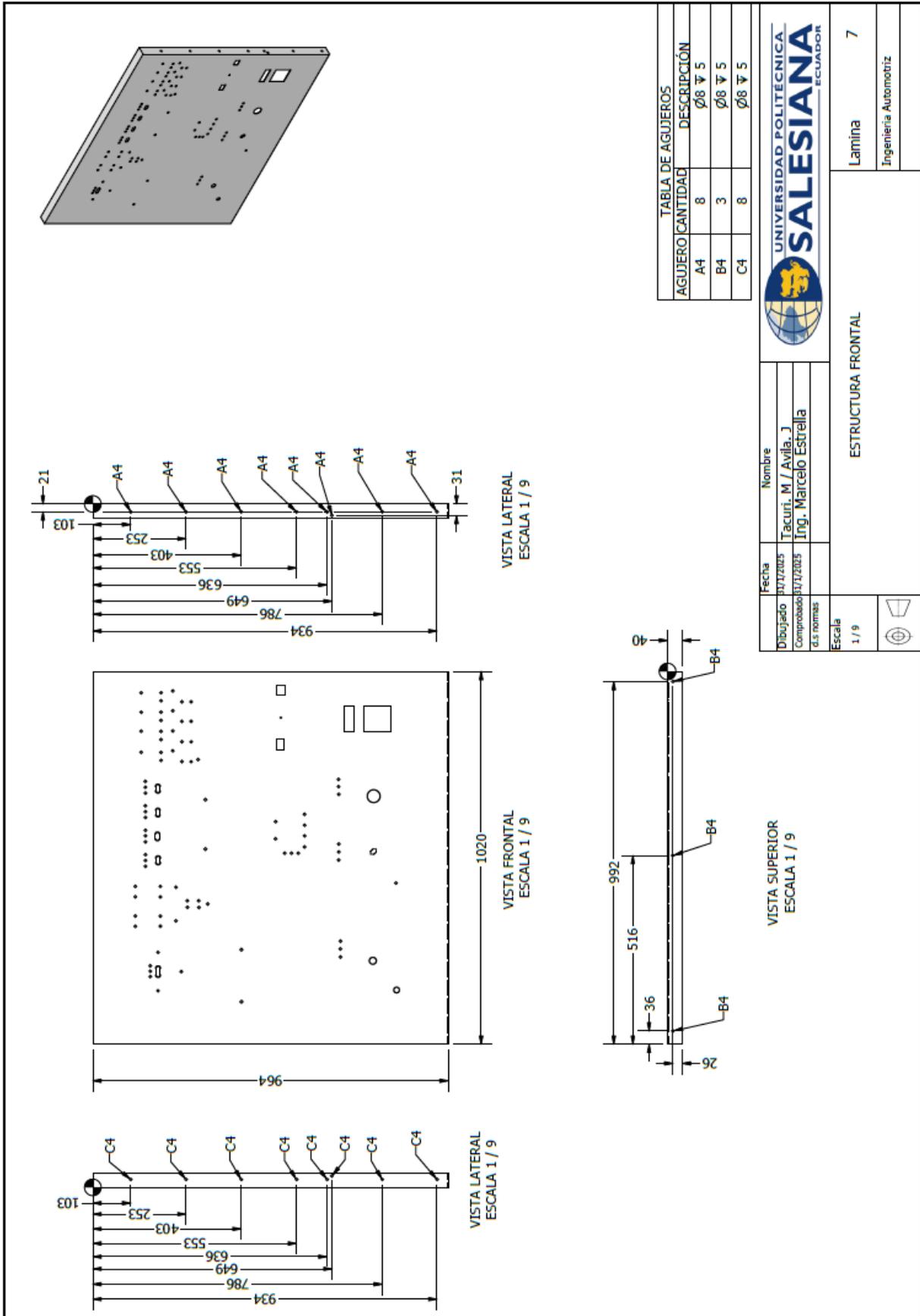
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA ECUADOR	
ESTRUCTURA POSTERIOR DEL BANCO	
Lamina	4
Ingeniería Automotriz	

Escala
1 / 13

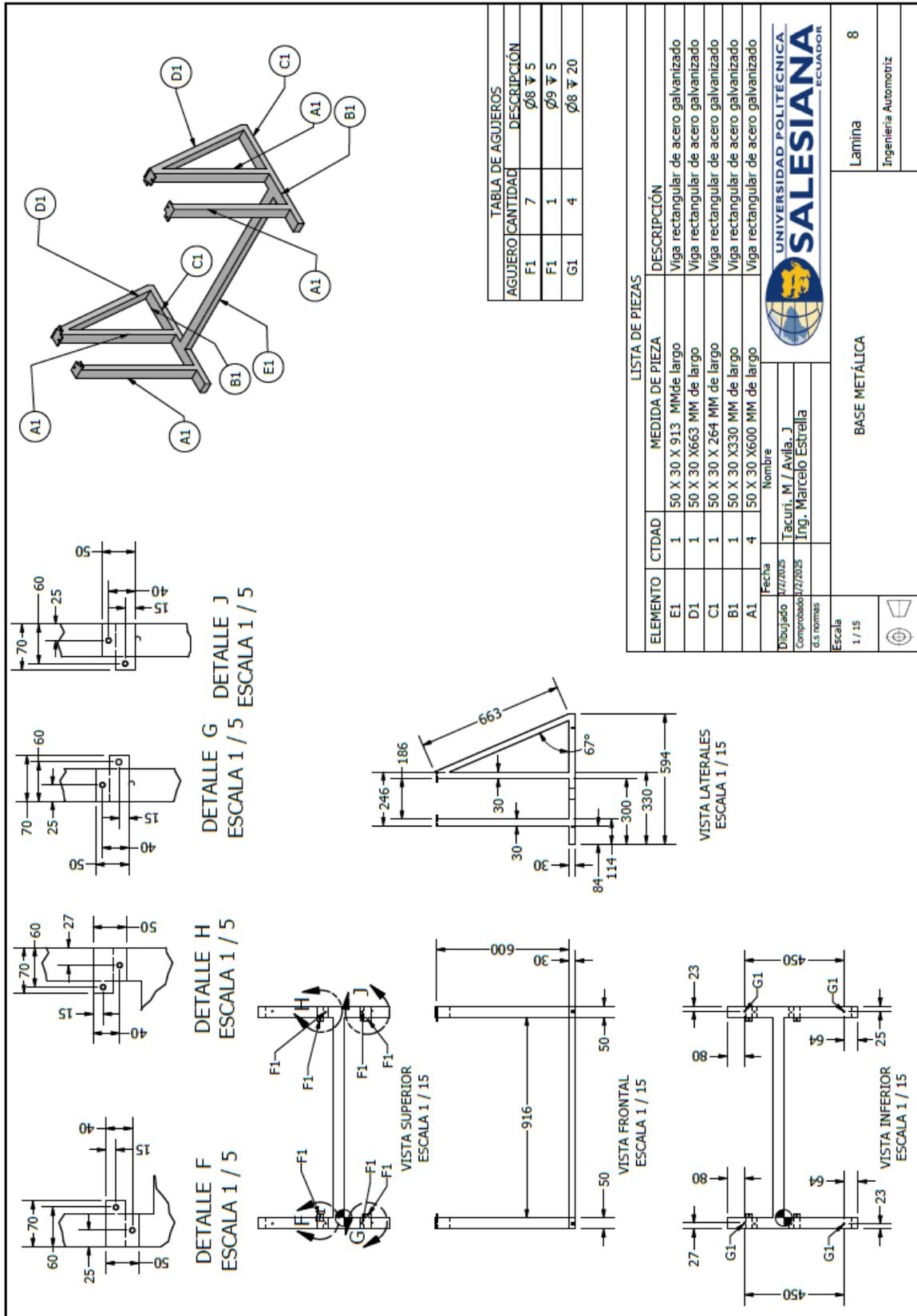
Anexo 12. Planos constructivos de banco didáctico



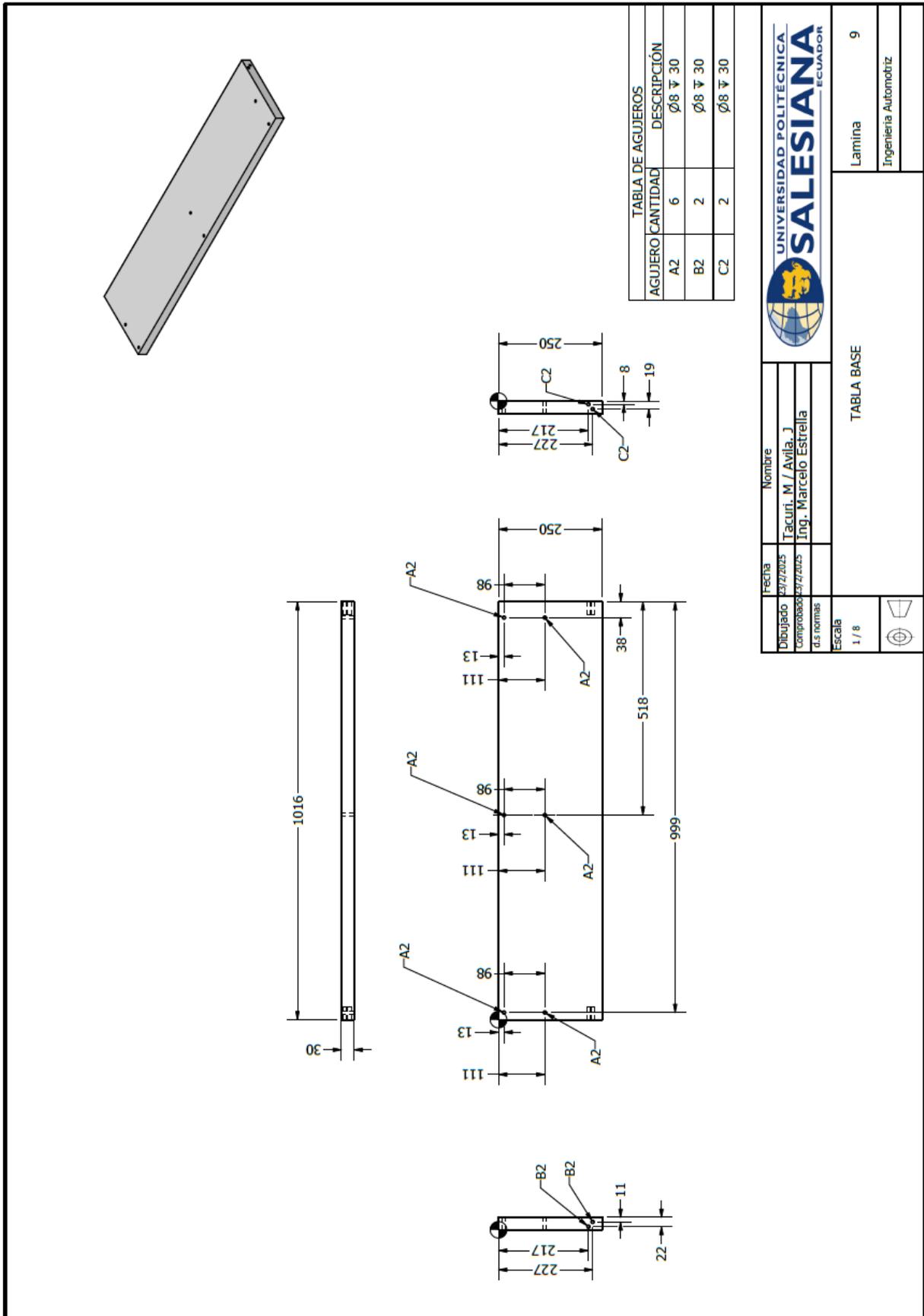
Anexo 13. Acotaciones de estructura frontal



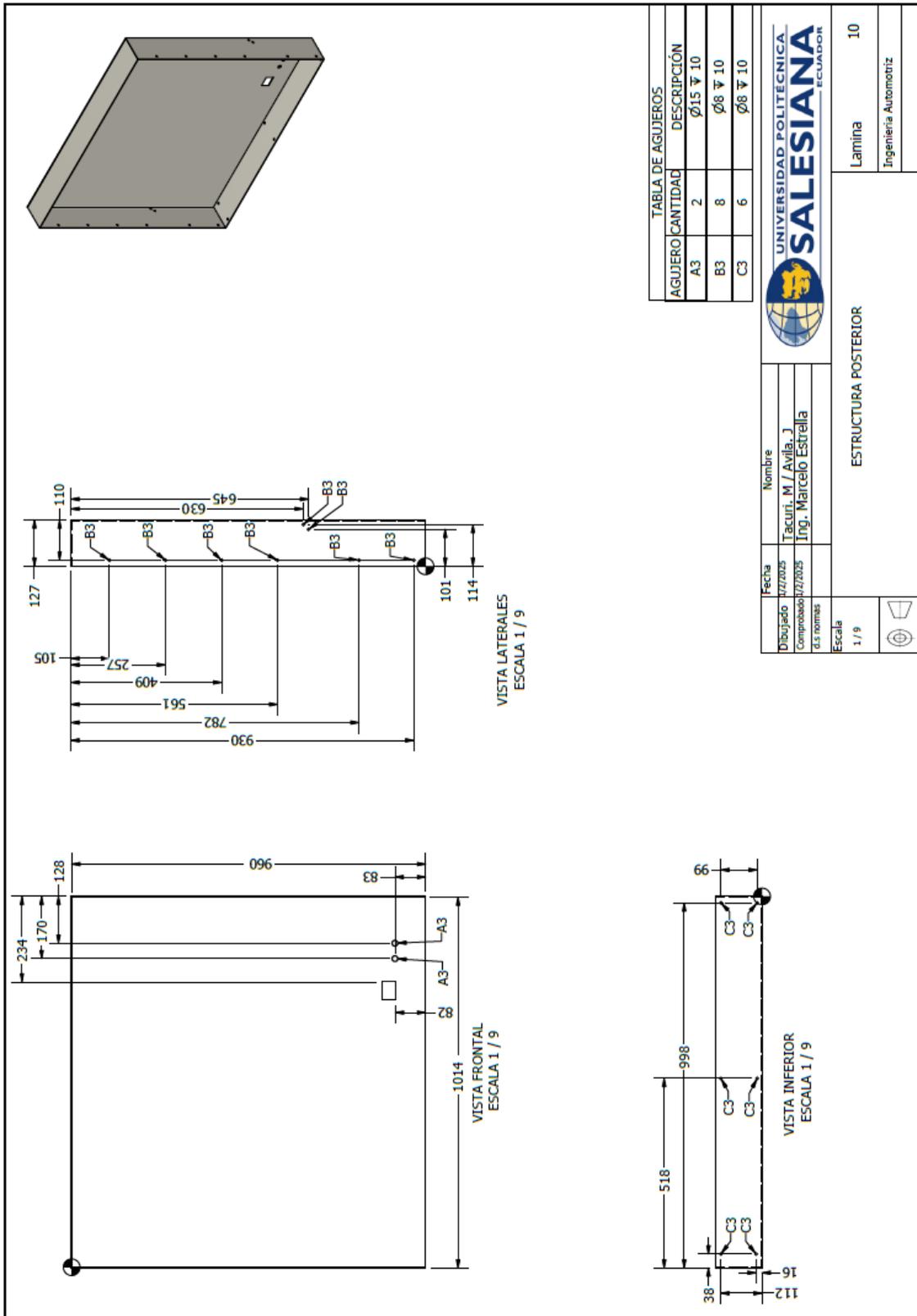
Anexo 14. Acotaciones de estructura frontal



Anexo 15. Base de banco didáctico



Anexo 16. Base de banco didáctico

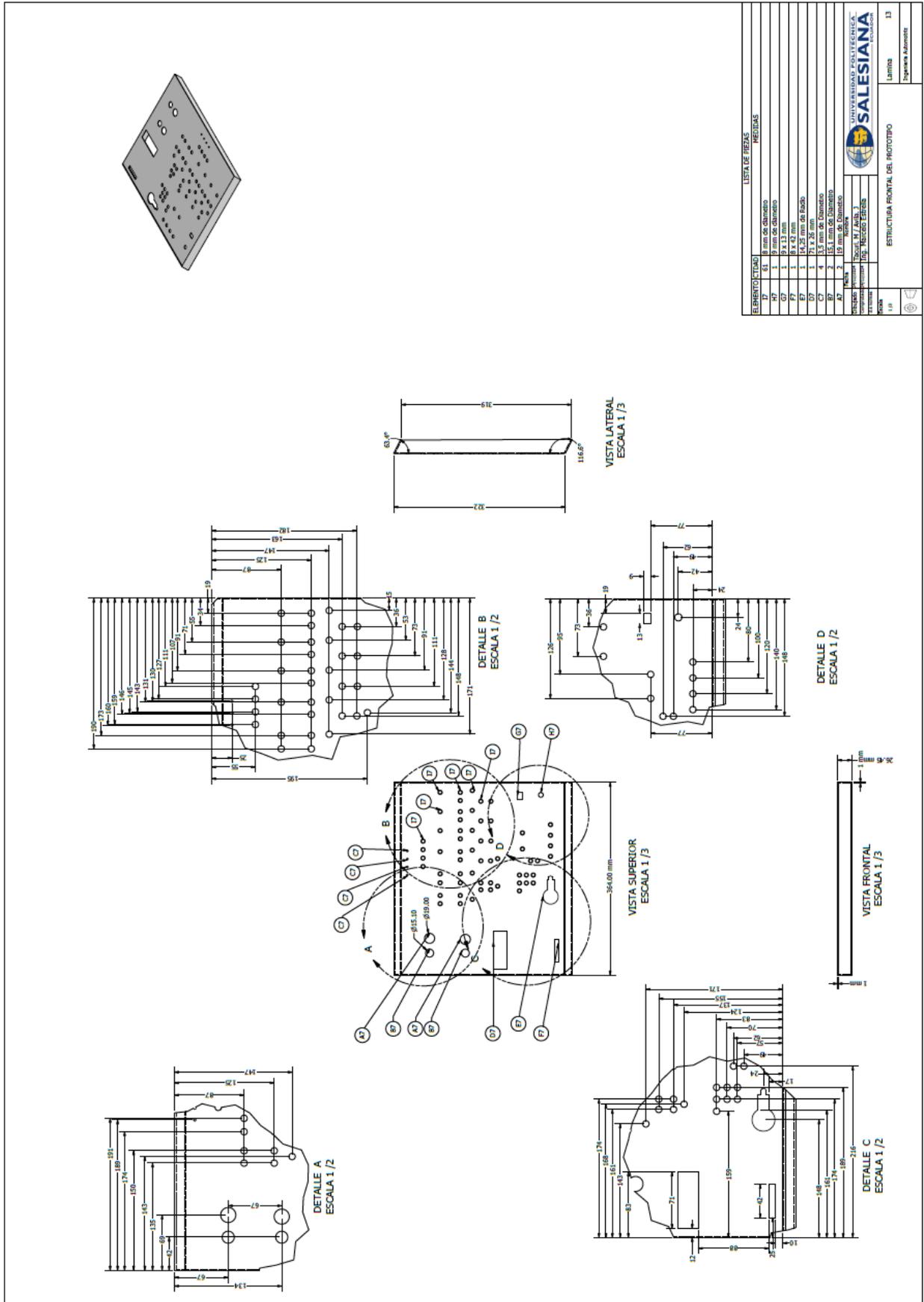


Anexo 17. Parte posterior del banco didáctico

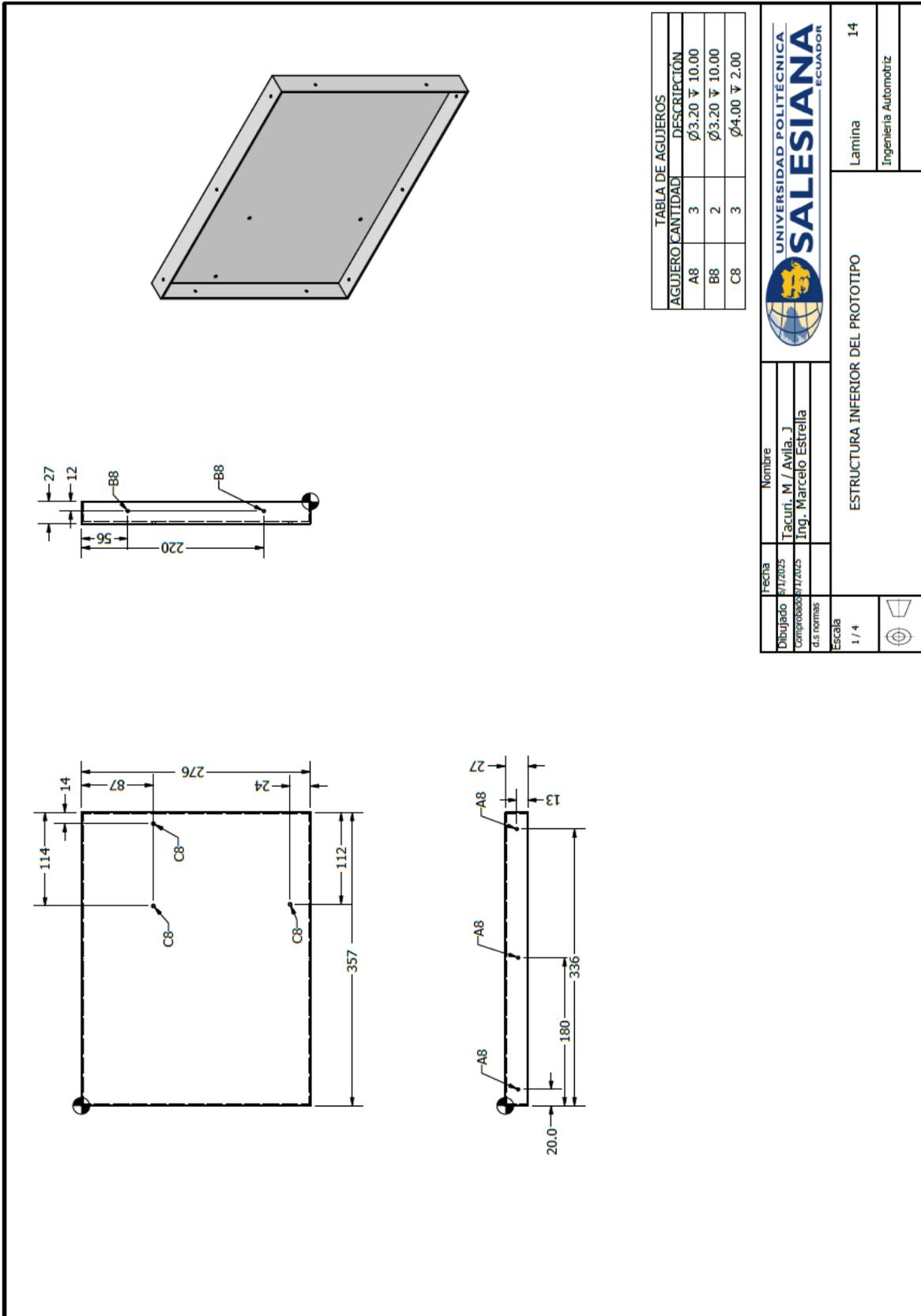
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
11	2	BS 3469 - 19 - 6 x 15 x 5	Rodamientos de rodillos de precisión de Instrumento (rodamientos de bola)
10	1	rueda_engranaje_ckp_final	
9	1	rueda_engranaje_cmp_final	
6	3	ISO 7045 - M1,6 x 4 - 4.8 - H	Tornillo para maquinaria de cabeza cilíndrica redondeada con ranura y hueco cruciforme
5	3	ISO 7045 - M3,5 x 5 - 4.8 - H	Tornillo para maquinaria de cabeza cilíndrica redondeada con ranura y hueco cruciforme
4	10	Remaches GB/T 12615.1-2004 3.2 X 9	Remaches ciegos con vástago de rotura y cabeza saliente - Clase de propiedad 11
3	1	Parte baja de maqueta	Hierro galvanizado de 0,7 mm
2	1	Estructura base de la maqueta	Hierro galvanizado de 0,7 mm
1	1	(Tapá) Parte alta de la maqueta	Hierro galvanizado de 0,9 mm de espesor

Fecha	Nombre		
Dibujado	01/12/2019	Tacuri, M / Avila, J	
Revisado	01/12/2019	Ing. Marcelo Estrella	
Fecha	PROTOTIPO DEL BANCO DIDÁCTICO		Lamina 11
1/1			Ingeniería Automotriz

Anexo 18. Diseño del prototipo



Anexo 20. Parte superior del prototipo



Anexo 21. Diseño parte posterior del prototipo


GUÍA DE PRÁCTICA SISTEMAS DE ENCENDIDO

CARRERA: INGENIERÍA AUTOMOTRIZ		ASIGNATURA: SISTEMAS DE ENCENDIDO
N° DE PRÁCTICA:	1	TÍTULO PRÁCTICA: SENSORES DEL SISTEMA DE ENCENDIDO
REALIZADO POR:	MARLON TACURI, JAVIER AVILA	
1. OBJETIVOS 1.1 OBJETIVO GENERAL. <ul style="list-style-type: none"> Reconocer los diferentes tipos de sensores principales que conforma el sistema de encendido de un motor MEP 		
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS <ul style="list-style-type: none"> Identificar los diferentes tipos de sensores, analógicos y digitales que dispone el sistema de encendido Determinar los valores de voltaje de los sensores CKP, CMP, y KS Obtener los oscilogramas característicos de los sensores. 		
INSTRUCCIONES:	3. SUSTENTO TEORICO: Elaborar un marco teórico de acuerdo a los conceptos de la practica	
	4. RECURSOS: <ol style="list-style-type: none"> Herramientas y equipos: <ul style="list-style-type: none"> Osciloscopio Multímetro Cables de conexión plug banana Material didáctico: Banco didáctico del sistema de encendido. Equipo de seguridad: Mandiles, botas de seguridad. 	
5. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR		
Procedimiento para la comprobación de funcionamiento de los sensores del sistema de encendido. <ol style="list-style-type: none"> Verificar que el banco de pruebas se encuentre en posición de encendido Ubicar en el multímetro las puntas de prueba en los bornes COM (cable negro), Ohm (cable rojo), y el selector del multímetro en las unidades de voltaje. Ubicar las puntas de prueba en los bornes de los sensores en el tablero. 		

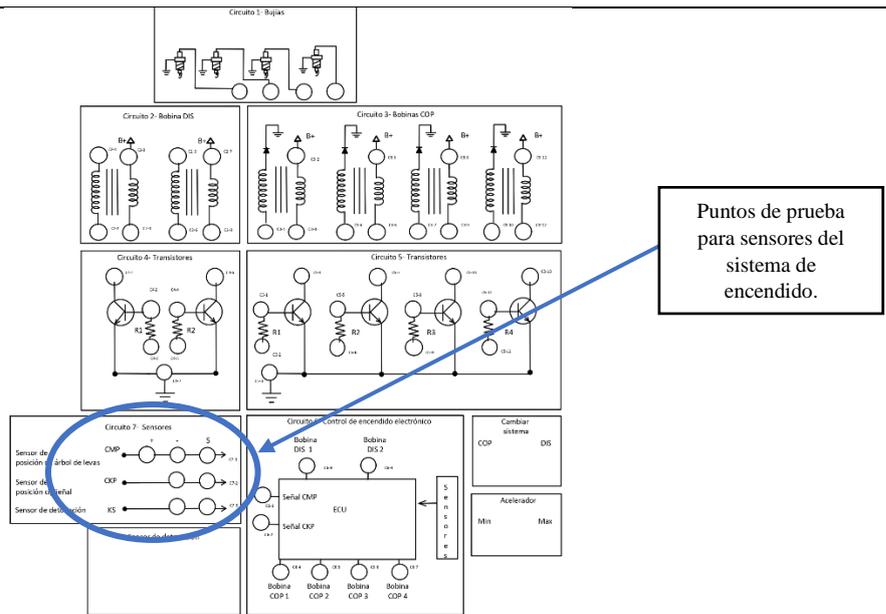


Fig 1. Puntas de prueba para medición de sensores

Sensor CMP (Sensor de posición de árbol de levas)

4. Identificar los valores característicos del pin de alimentación sensor CMP, ubicando las puntas de prueba del multímetro en los Jack banana, así como lo muestra en la figura 2.

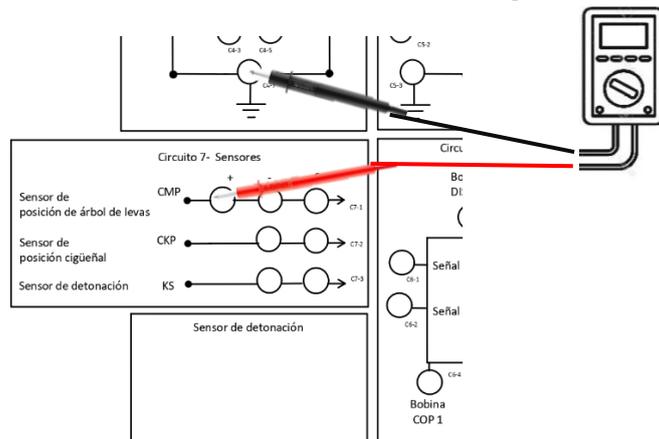


Fig 2. Puntas de prueba para medición de sensores

5. Se procede a medir los valores de voltaje en el pin de masa y señal del sensor CMP, recolectando los valores obtenidos durante la prueba.

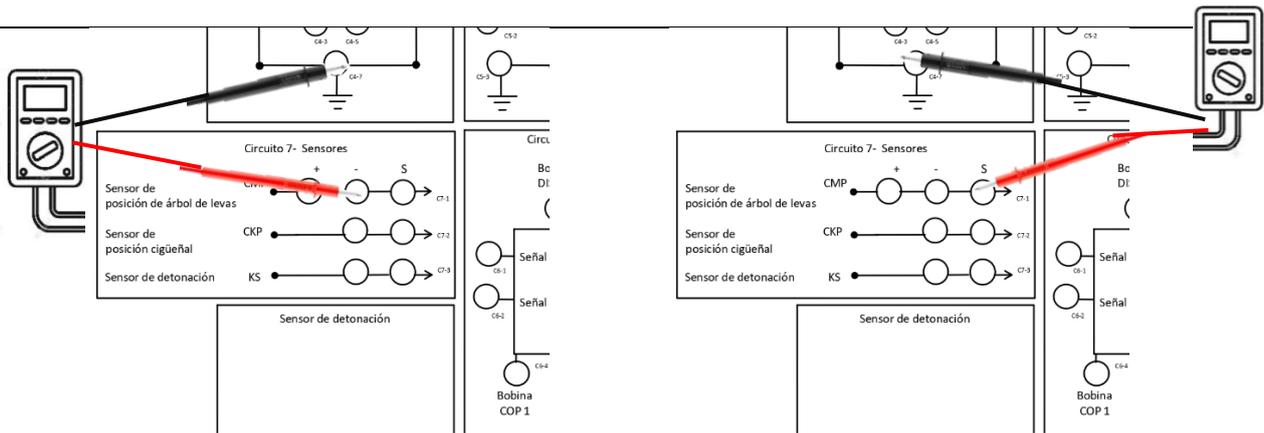


Fig 3. Puntas de prueba para reconocimiento de valores de voltaje en el pin de señal y tierra

Sensor CKP (Sensor de posición de cigüeñal)

6. Identificar los valores característicos del pin tierra y pin de señal del sensor CKP, ubicando las puntas de prueba del multímetro en los Jack banana en la sección adecuada, así como lo muestra en la figura 4.

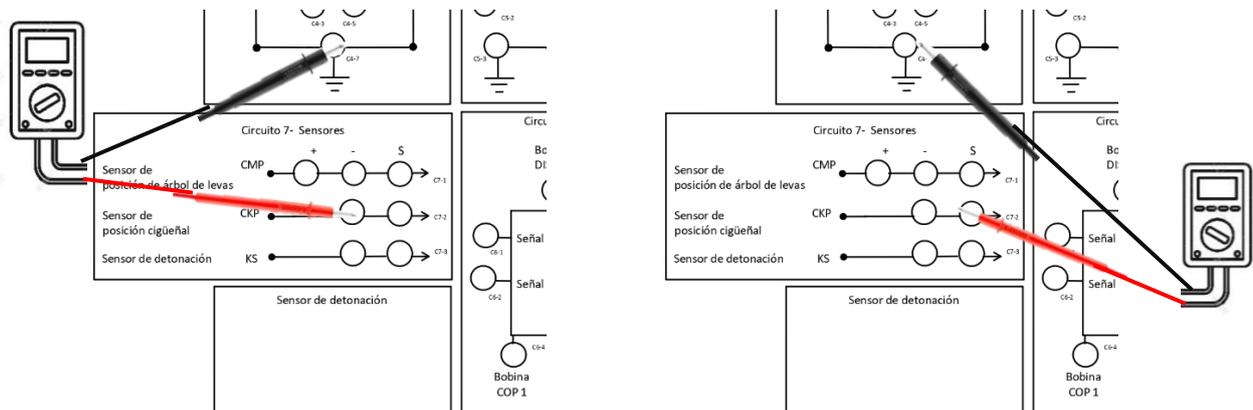


Fig 4. Puntas de prueba para reconocimiento de valores de voltaje tierra y señal

Sensor KS (Sensor de detonación)

7. Medir los valores de voltaje del sensor de detonación que se obtiene en cada uno de los pines de conexión, se procede a medir uno por uno con la punta de prueba roja pero manteniendo la punta en tierra en común, obteniendo los valores del pin de tierra y pin de señal del sensor, tal como se muestra en la figura.

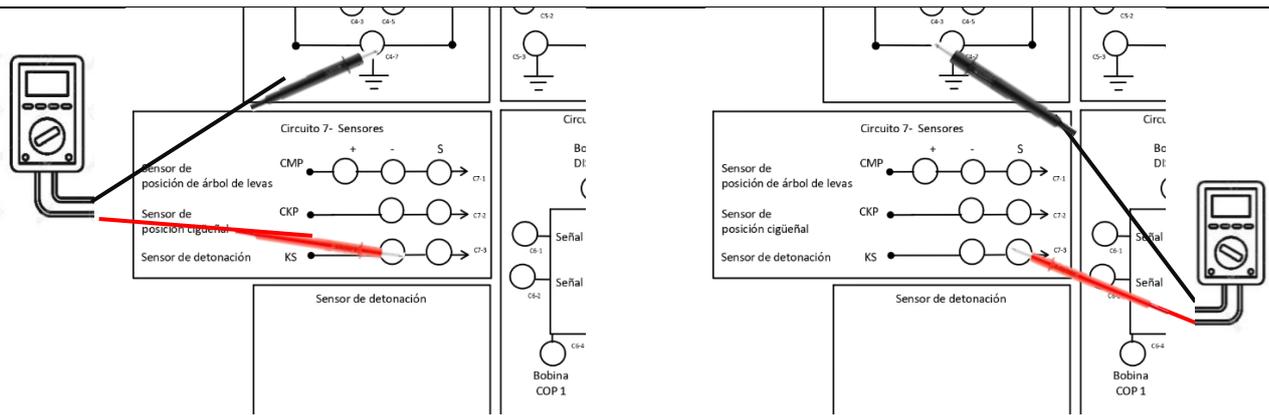


Fig 5. Medición con multímetro en las puntas de prueba de sensor KS

- Se toma cada valor de voltaje para cada punta de prueba, en los tres sensores del sistema de encendido, y se toma los datos para un previo registro de los valores obtenidos.

OSCILOGRAMA DE LOS SENSORES.

- Una vez realizados todos los pasos anteriores se procede a conectar cada uno los plug banana para que la maqueta pueda entrar en funcionamiento y pueda leer el sensor CMP y el CKP los dientes de la rueda y así obtener la curva característica. A continuación, se presenta los diagramas de conexión:

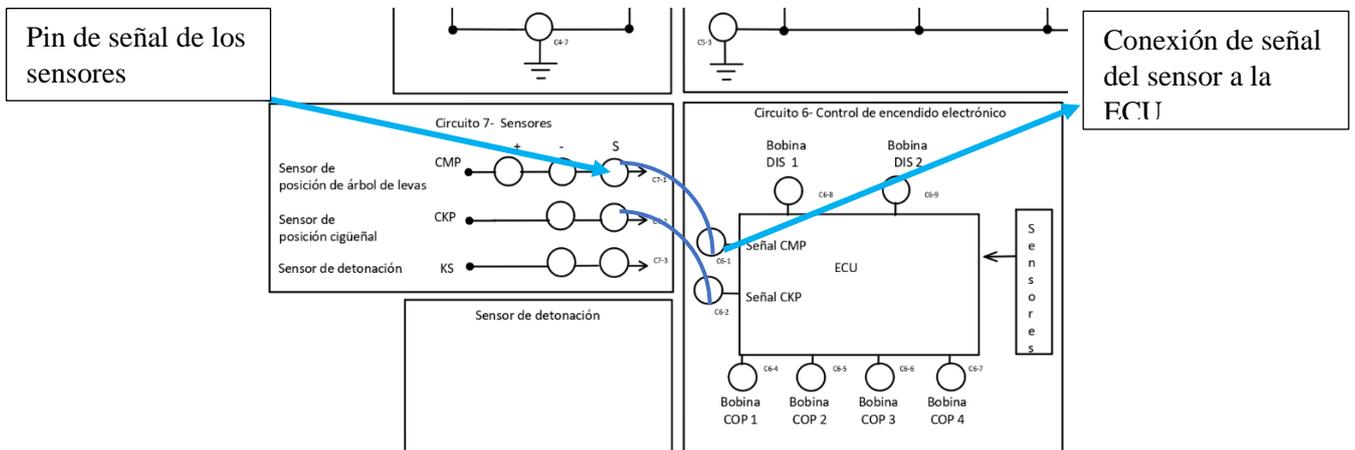


Fig 6. Conexión de señal de sensores a la ECU del banco didáctico

- Para medir los valores de voltaje se requiere un osciloscopio automotriz y los cables correspondientes, conectados a los canales que posee, para poder obtener las señales características.



Figura 7. Uso de osciloscopio automotriz para obtener oscilogramas.

11. Se procede a conectar la punta de prueba de señal del osciloscopio, junto con la punta de prueba de señal del sensor CMP, en este caso se lo identifico previamente en la actividad anterior, las conexiones se detallan en la siguiente figura:

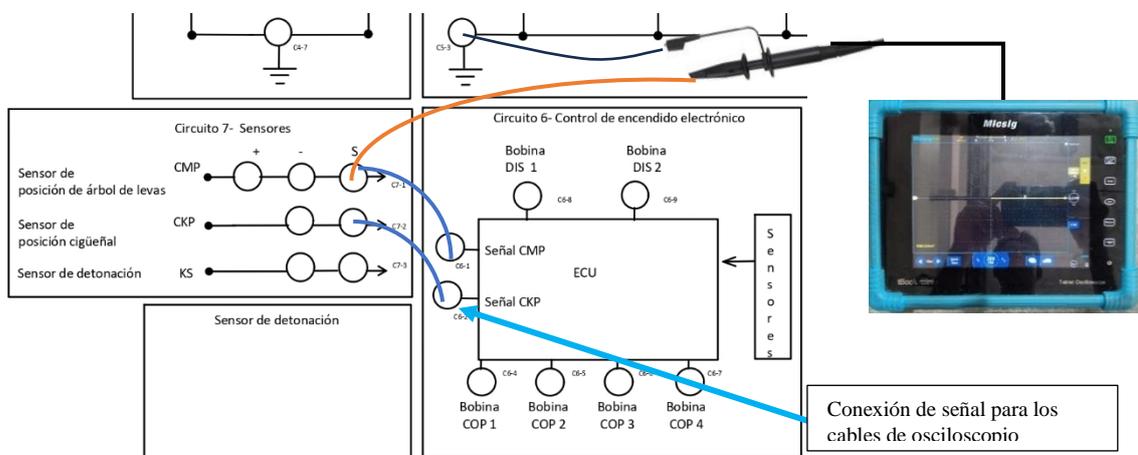


Figura 8. Conexión de plug banana para medición de osciloscopio .

12. Para obtener el oscilograma característico del sensor CKP, previamente se debe conectar plug banana al pin de señal del sensor, para facilitar las conexiones de señal del osciloscopio, se acompaña la conexión a tierra de la maqueta para poder visualizar la señal, a continuación se muestra las conexión realizada:

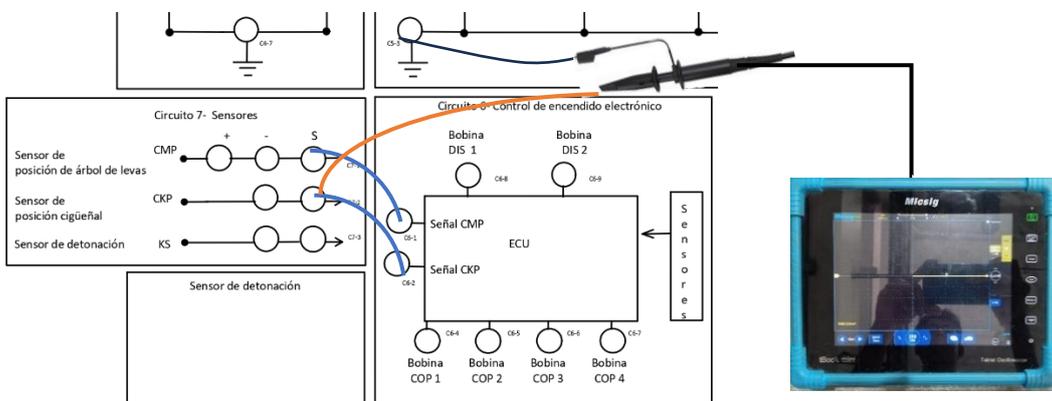


Fig 9. Conexión de plug banana para medición de osciloscopio .

13. Finalmente se observa en la figura, las conexiones del pin de señal del sensor KS , conectada con las puntas de prueba del osciloscopio, para obtener las curvas características. En la figura se presenta las conexiones que se debe indicar:

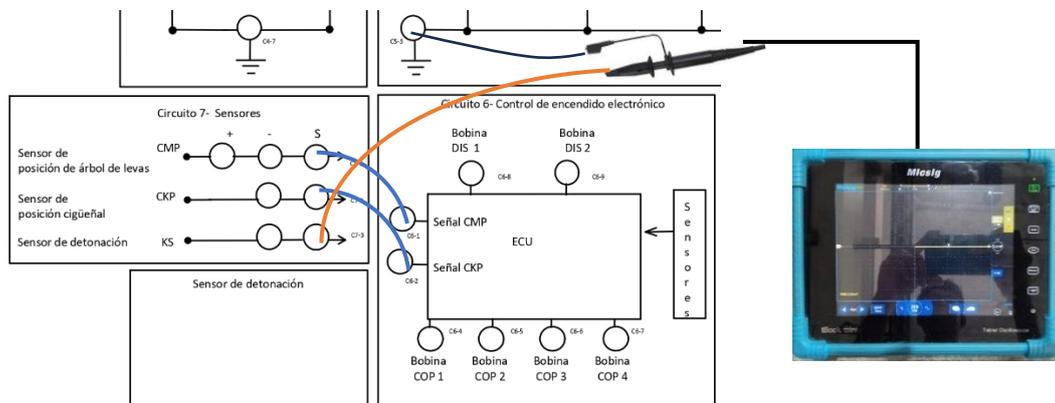


Fig 10. Conexión de plug banana para medición del KS

14. Se observa el oscilograma obtenidos mediante el osciloscopio y se anota los valores obtenidos en cada uno de los sensores, para analizarlos después en la sección de resultados

15. RESULTADO (S) OBTENIDO (S):

Tabla 1. Datos obtenidos de los voltajes de sensor CMP

Descripción de los terminales	Voltaje del sensor CMP	Medidas obtenidas
Alimentación		
Masa		
Señal		

Tabla 2. Datos obtenidos de los voltajes del sensor CKP

Descripción de los terminales	Voltaje del sensor CKP	Medidas obtenidas
Masa		
Señal		

Tabla 3. Datos obtenidos durante la medición del sensor KS

Descripción de los terminales	Voltaje del sensor KS	Medidas obtenidas
Masa		
Señal		

Tabla 4. Oscilogramas obtenidos de la medición del sensor CMP

Velocidad	Oscilograma del Sensor CMP	Frecuencia (Hz)
Baja		

Tabla 5. Oscilogramas obtenidos de la medición del sensor CKP

Velocidad	Oscilograma del Sensor CKP	Frecuencia (Hz)
Baja		

Tabla 6. Oscilogramas obtenidos de la medición del sensor KS

Estado	Oscilograma del Sensor KS
Golpeteo fuerte	

6. ANALISIS DE RESULTADOS

Tabla 7. Estado de los sensores

Estado de sensores	Malo	Medio	Bueno
CKP			
CMP			
KS			

7. CONCLUSIONES

8. RECOMENDACIONES

9. BIBLIOGRAFÍA



GUÍA DE PRÁCTICA SISTEMAS DE ENCENDIDO

CARRERA: INGENIERÍA AUTOMOTRIZ		ASIGNATURA: SISTEMAS DE ENCENDIDO
N° DE PRÁCTICA:	2	TÍTULO PRÁCTICA: FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMAS DE ENCENDIDO
REALIZADO POR:	MARLON TACURI, JAVIER AVILA	
1. OBJETIVOS		
1.1 OBJETIVO GENERAL. <ul style="list-style-type: none"> • Conocer los diferentes tipos de bobinas utilizados en el sistema encendido del motor MEP 		
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS <ul style="list-style-type: none"> • Identificar los tipos de bobinas que posee el sistema de encendido • Determinar los valores y oscilogramas característicos de la bobinas DIS y COP • Obtener un criterio técnico acerca del funcionamiento de las bobinas del sistema de encendido tipo DIS y COP 		
INSTRUCCIONES:	2. SUSTENTO TEORICO: Elaborar un marco teórico de acuerdo a los conceptos de la practica	
	16. RECURSOS: <ol style="list-style-type: none"> Herramientas y equipos: <ul style="list-style-type: none"> • Multímetro • Cables de conexión plug banana • Osciloscopio Material didáctico: Banco didáctico del sistema de encendido (Especificaciones) Equipo de seguridad: Mandiles, botas de seguridad. 	
17. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR		
Procedimiento para la comprobación de funcionamiento del sistema de encendido DIS <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar que el banco de pruebas se encuentre encendido, mediante el cable de conexión 2. Reconocer las puntas de prueba de cada una de las secciones que conforma el banco didáctico. 		

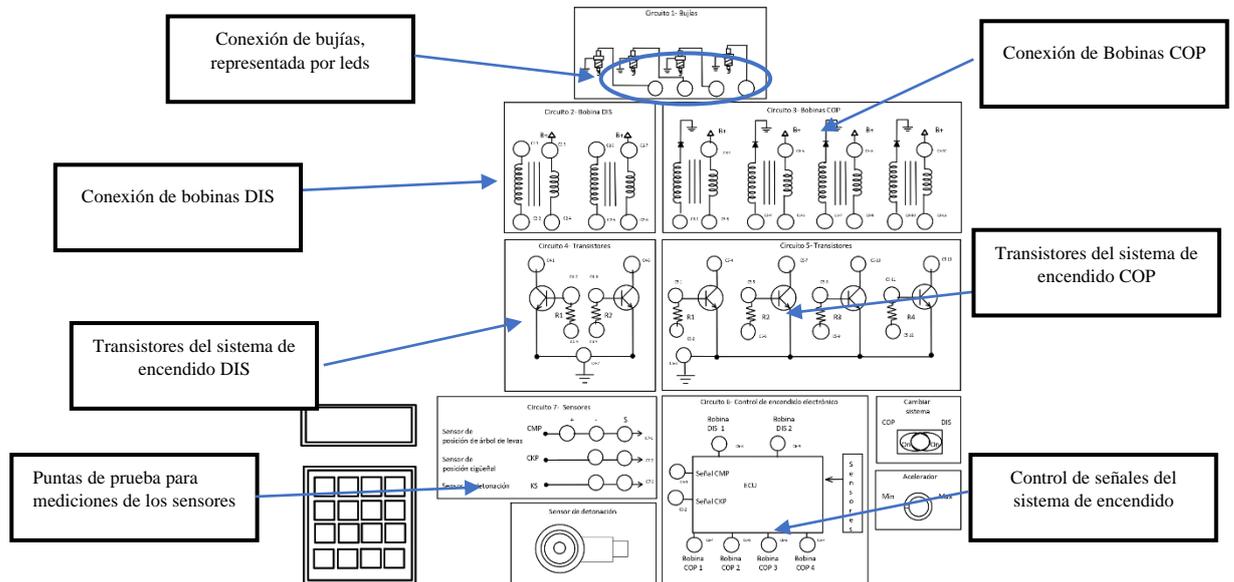


Fig 1. Identificación de las partes que conforma el banco didáctico

- Conociendo cada una de las secciones que conforma las secciones del banco didáctico, se procede a conectar con ayuda de los cables plug banana, los diferentes elementos que conforma el sistema de encendido DIS. En la figura se presenta los cables de conexión que se debe seguir para que la funcione de manera correcta:

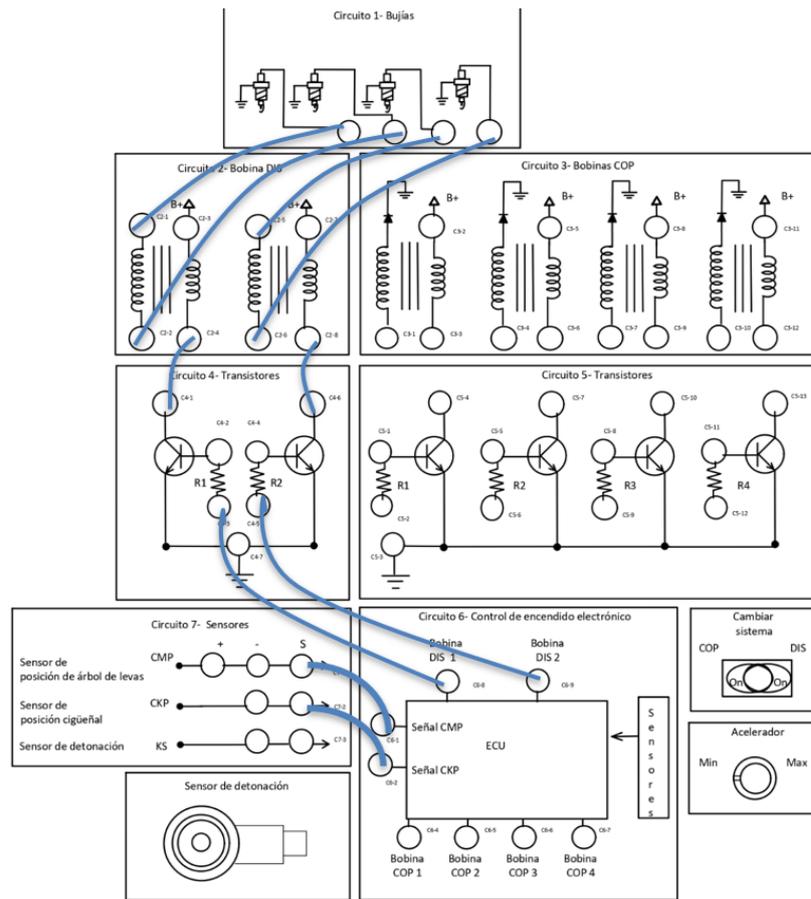


Fig 2. Conexiones del sistema DIS

- Una vez realizado las conexiones de cada sección que conforma el banco didáctico, se procede con la medición de continuidad, de los sensores en los pines de señal a la ECU, con el fin de comprobando que está correctamente conectado y operando en sus valores adecuados, para que el sistema pueda funcionar de manera correcta. En la figura se presenta los puntos de prueba que se debe tomar en cuenta en las mediciones:

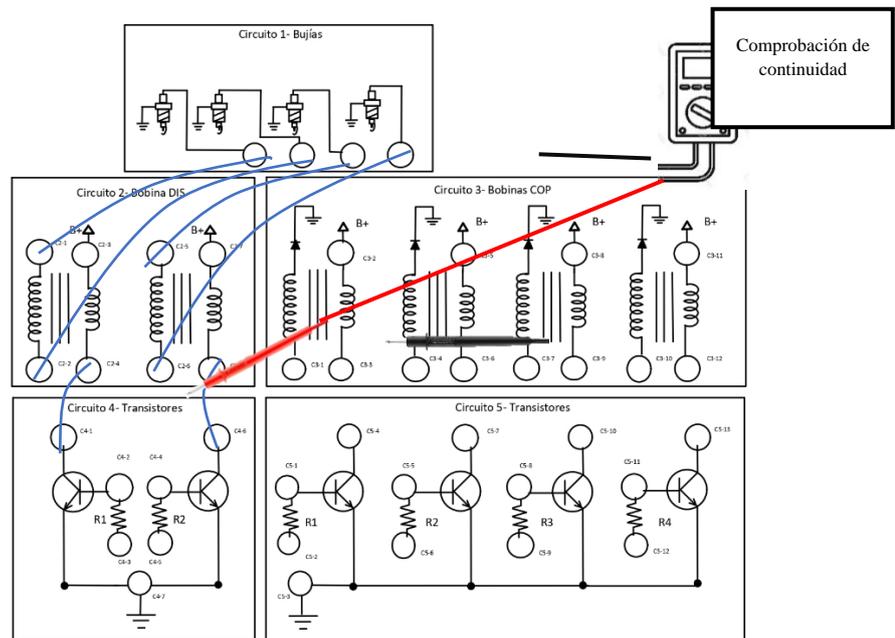


Fig 3. Comprobación de mediciones con multímetro

- Se procede a medir los voltajes de las bobinas para corroborar que esta alimentado a 12 voltios, además de los valores de voltaje de los sensores para verificar que están operando en sus valores normales. En la figura se presente las conexiones realizadas.

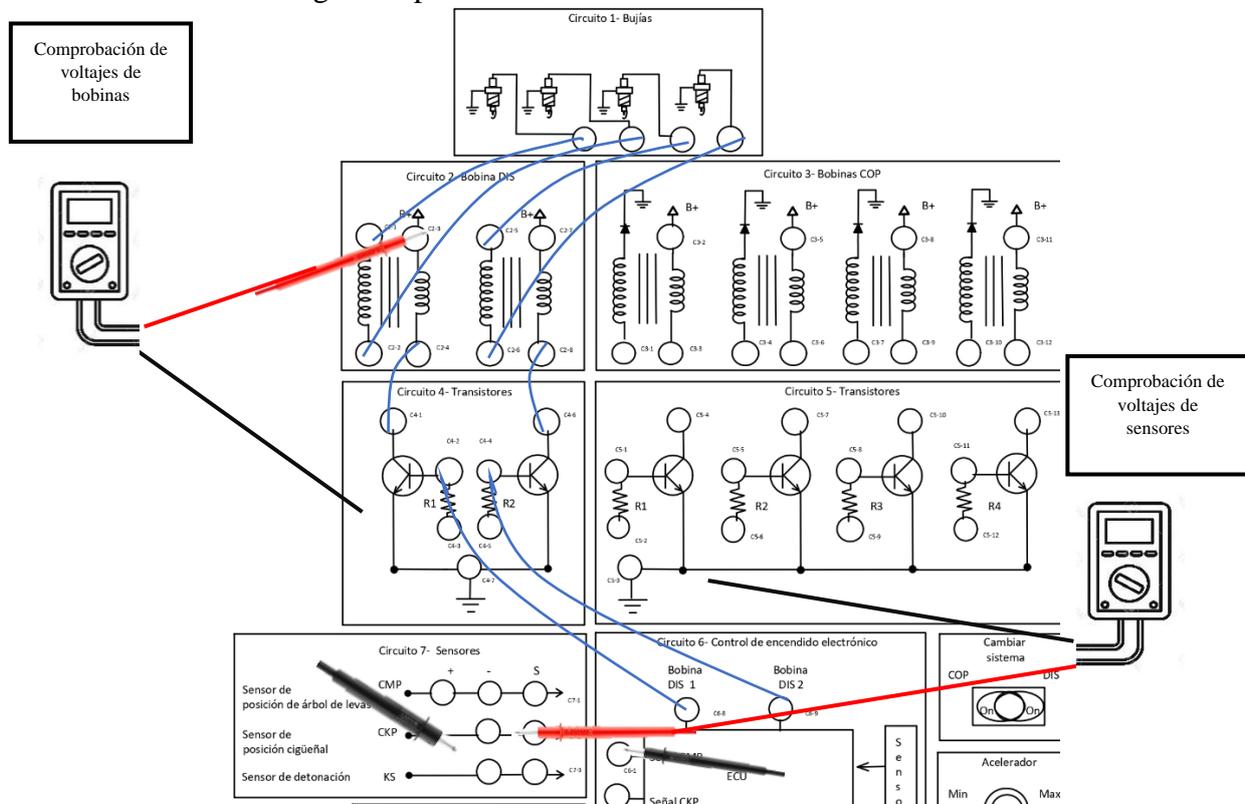


Fig 4. Comprobación de mediciones con multímetro

- Posteriormente se mueve la perilla del acelerador para aumentar las rpm del giro de la rueda dentada, para que previamente se pueda encender las luces que representan el encendido de las bujías, aquí se comprueba el orden de encendido en rpm bajas. En la figura se representa el proceso para verificar funcionamiento:

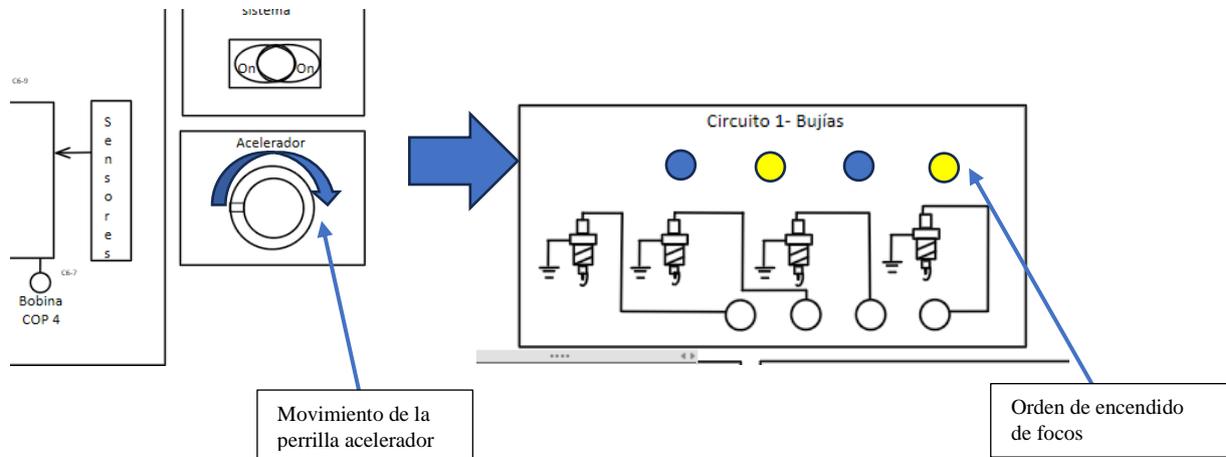


Figura 5. Comprobación de orden de encendido de luces LEDs.

Oscilograma característico

- Conectar las puntas de prueba del osciloscopio en la parte de señal de las bobinas para poder determinar los pulsos que manden al transistor, para que este pueda activar a las bobinas, determinando el oscilograma característico del funcionamiento de la bobina. En la figura se muestra las conexiones que se debe realizar:

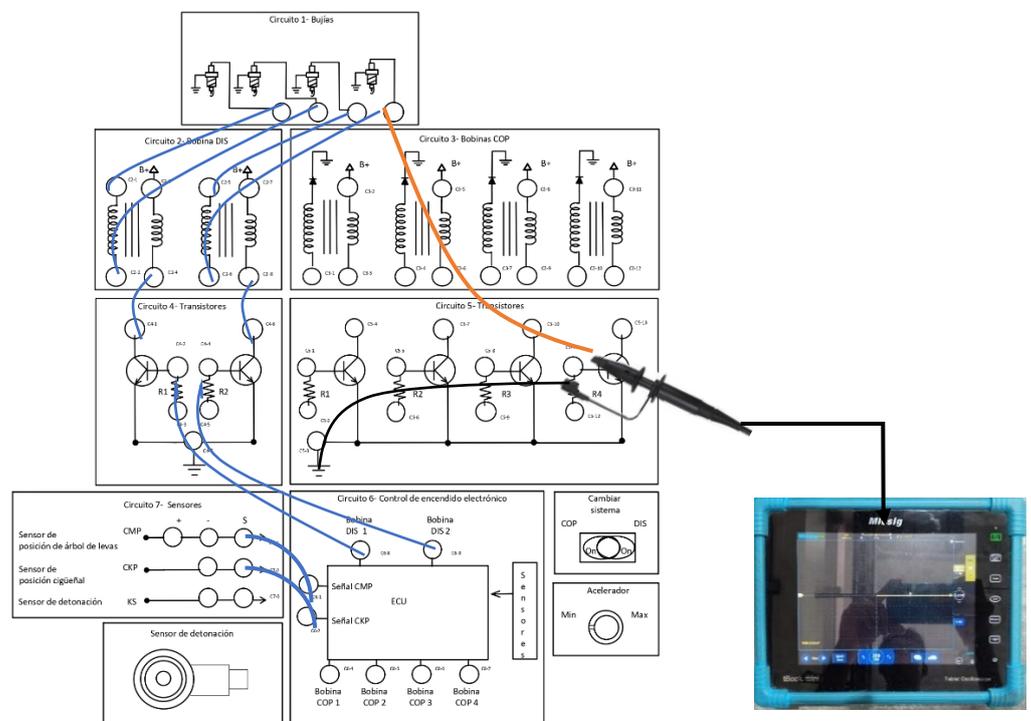


Figura 6. Conexión de las puntas de prueba de osciloscopio al banco didáctico

2. Variar la velocidad para comprobar el funcionamiento en altas, bajas, y medias frecuencias. Tomar 5 datos medidos obtenidos del banco didáctico

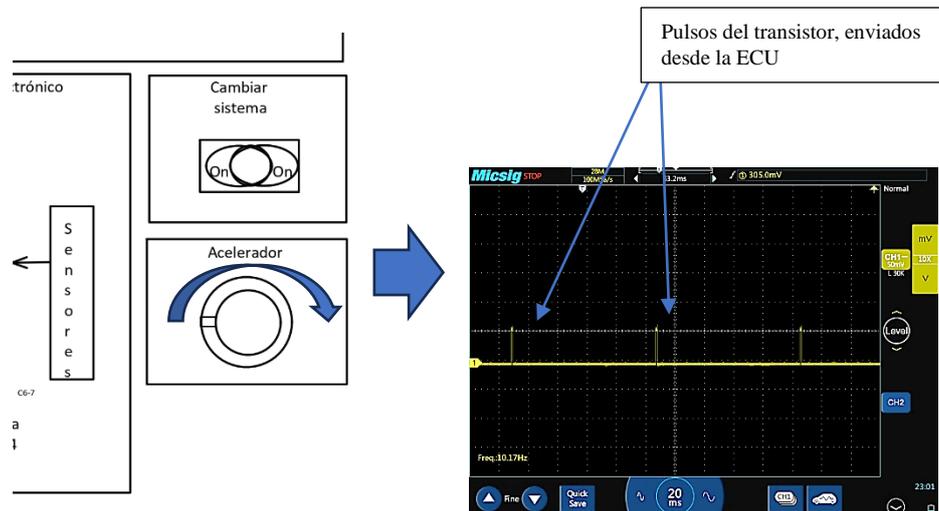


Figura 7. Oscilograma característico de los pulsos enviados de la ECU a la bobina

PROCEDIMIENTO DE BOBINA COP

1. Para representar el sistema de encendido COP, se requiere hacer otras conexiones para que el sistema pueda funcionar de manera correcta, en este caso se requiere cambiar los cables de control de la ECU, y mandar directamente a los puntos de bobina, que estos serán conectados hacia los diferentes transistores correspondientes, para pasar por la conexión de las bobinas, que son conectadas con el diagrama de bujías del sistema, todo esto se lo realiza para poder sacar los respectivos oscilogramas y señales características. En la figura 8, se representa el diagrama de conexión para el sistema COP.

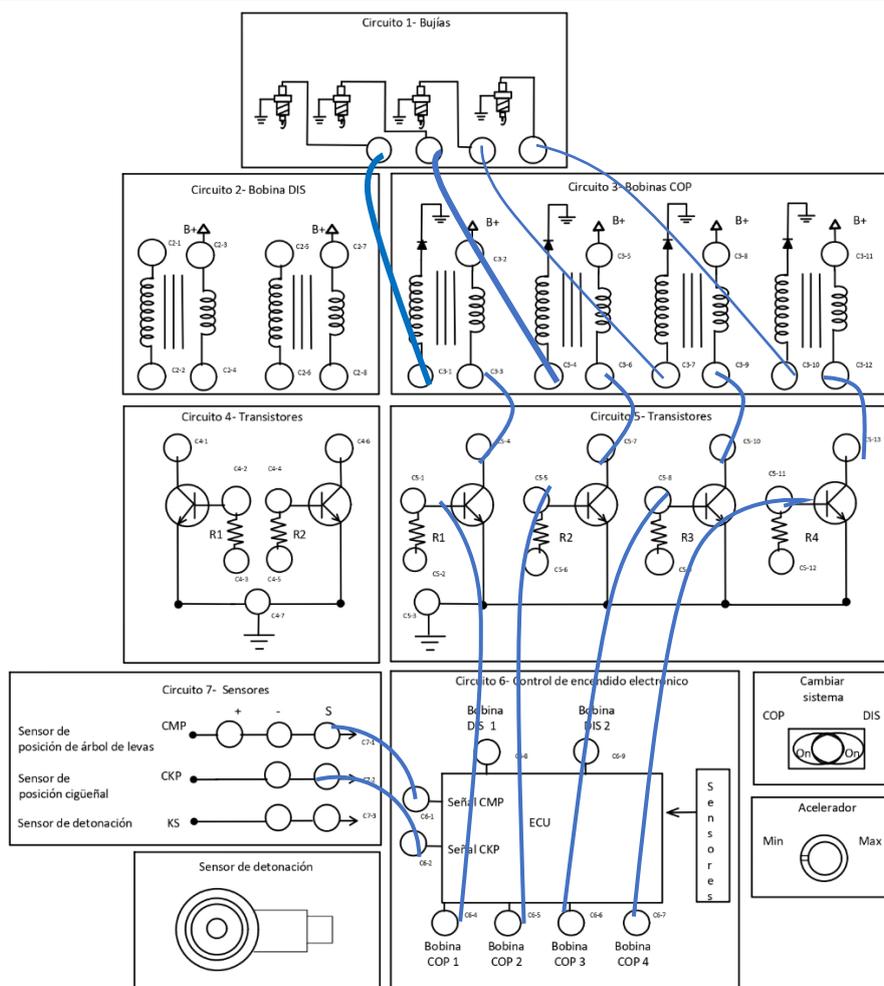


Fig 8. Conexión de las cables plug banana para representación del sistema COP

- Una vez realizado las conexiones de cada sección que conforma el banco didáctico, se procede con la medición de continuidad, para comprobar que estén conectados correctamente los cables plug banana. En la figura se presenta los puntos de prueba que se debe tomar en cuenta en las mediciones:

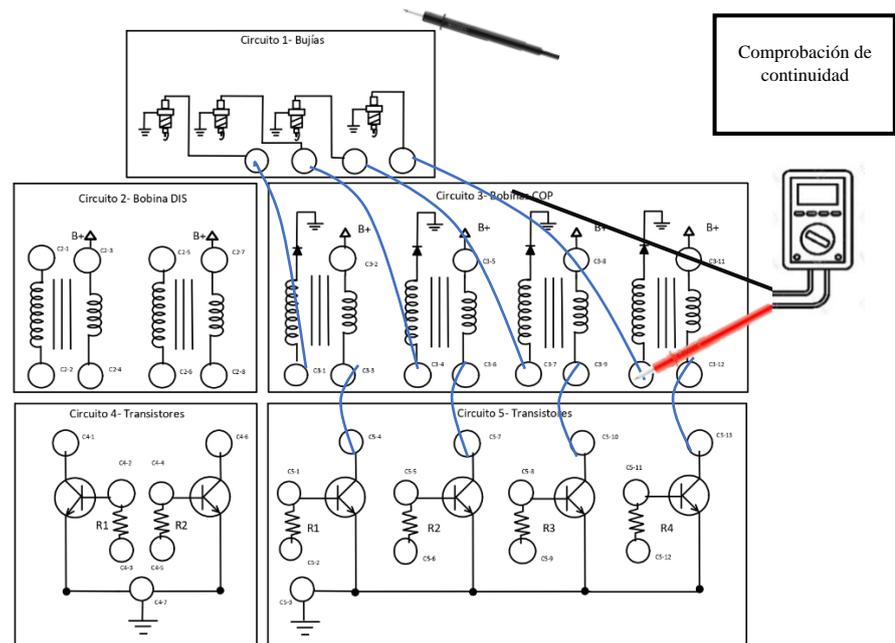


Fig 9. Comprobación de mediciones con multímetro

3. Se procede a medir los voltajes de las bobinas para corroborar la alimentación, además de los valores de voltaje de los sensores para verificar que están operando en sus valores normales. En la figura se presente las conexiones realizadas.

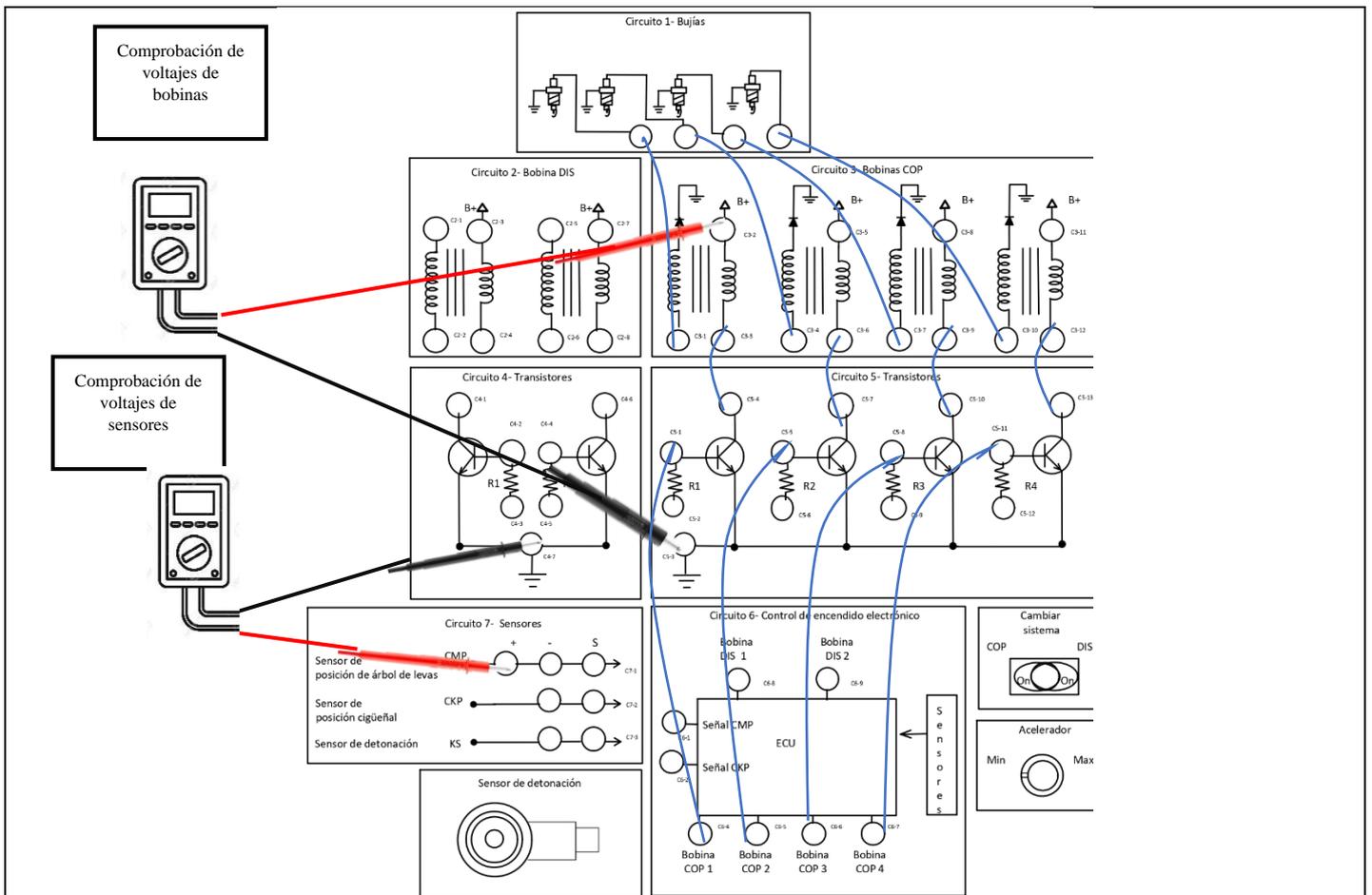


Fig 10. Comprobación de mediciones con multímetro

- Posteriormente se mueve la perilla del acelerador para aumentar las rpm del giro de la rueda dentada, para que previamente se pueda encender las luces que representan el encendido de las bujías, aquí se comprueba el orden de encendido en rpm bajas. En la figura se representa el proceso para verificar funcionamiento:

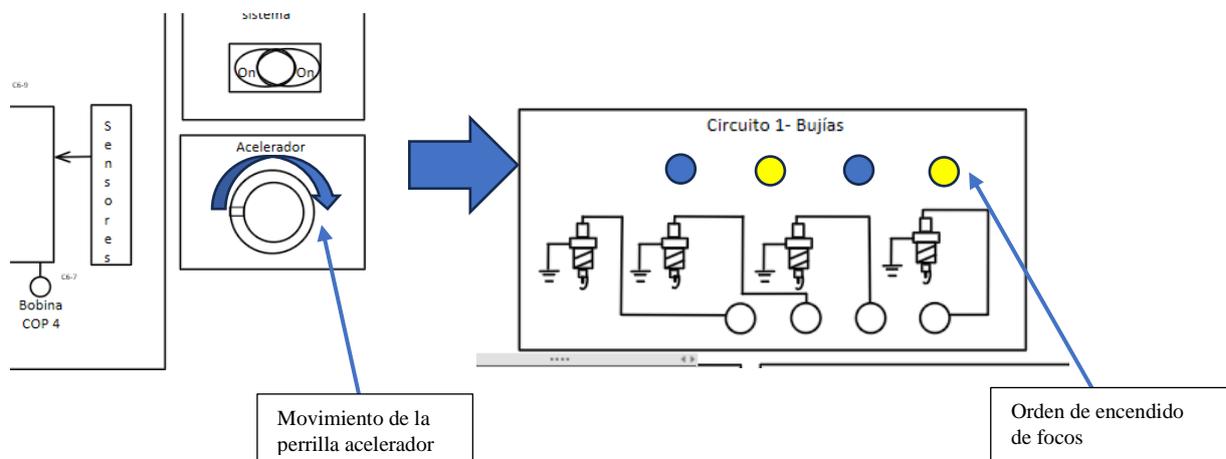


Fig 11. Comprobación de orden de encendido de luces LEDs.

Oscilograma característico

1. Conectar las puntas de prueba del osciloscopio en la parte de señal de las bobinas para poder determinar los pulsos que manden al transistor, para que este pueda activar a las bobinas, determinando el oscilograma característico del funcionamiento de la bobina. En la figura se muestra las conexiones que se debe realizar:

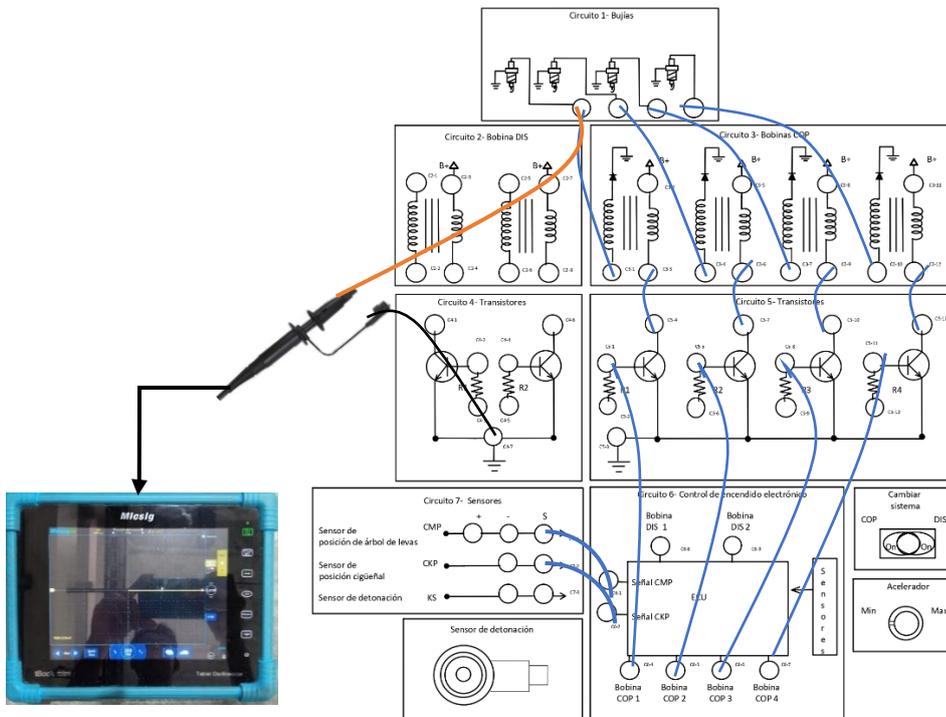


Fig 12. Conexión de las puntas de prueba de osciloscopio al banco didáctico

2. Variar la velocidad para comprobar el funcionamiento en altas, bajas, y medias frecuencias. Tomar 5 datos medidos obtenidos del banco didáctico

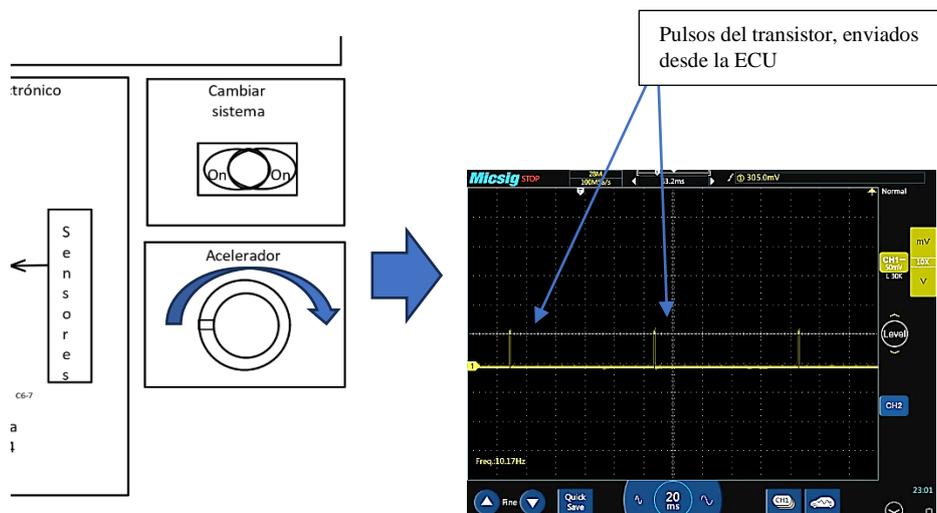


Figura 13. Oscilograma característico de los pulsos enviados de la ECU a la bobina

3. RESULTADO (S) OBTENIDO (S):

Tabla 1. Voltajes obtenidos de la medición de los elementos del sistema de encendido

Sensores	Valores	Medición obtenida
Voltajes de sensores CMP		
Voltajes de sensor CKP		

Tabla 2. Voltajes obtenidos de la medición de las bobinas del sistema de encendido

Bobinas	Valores	Medición obtenida
Voltajes de la bobina DIS		
Voltaje de la bobina COP		

Tabla 3. Oscilogramas obtenidos de pulsos del transistor

Elemento	Frecuencias (Hz)	Oscilogramas obtenidos
Bobina DIS		
Bobina COP		

Tabla 4. Oscilogramas obtenidos de las bobinas

Elemento	Tiempo	Oscilogramas obtenidos
Bobina DIS		
Bobina COP		

4. ANALISIS DE RESULTADOS

Tabla 5. Estado de funcionamiento de las bobinas

Estado de la bobina	Malo	Medio	Bueno
DIS			
COP			

5. CONCLUSIONES

6. RECOMENDACIONES

7. REFERENCIAS

7.4 Código de Arduino del banco didáctico

```

1 #include <Keypad.h>
2 #include <Wire.h>
3 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
4 //Definimos las variables de control
5 //Control de alimentacion de bobinas y cmp
6 #define control_rele_al_s_cmp 22 //Control
7 alimentación sensor cmp
8 #define control_rele_al_bc1 24 //Control
9 alimentación bobina cop 1
10 #define control_rele_al_bc2 26 //Control
11 alimentación bobina cop 2
12 #define control_rele_al_bc3 28 //Control
13 alimentación bobina cop 3
14 #define control_rele_al_bc4 30 //Control
15 alimentación bobina cop 4
16 #define control_rele_al_bd1 32 //Control
17 alimentación bobina dis 1
18 #define control_rele_al_bd2 34 //Control
19 alimentación bobina dis 2
20 //Control de señales bobinas y sensores
21 #define control_rele_s_s_ckp 23 //Control
22 SEÑAL sensor cmp
23 #define control_rele_s_s_cmp 25 //Control
24 alimentación sensor ckp
25 #define control_rele_s_s_ks 27 //Control
26 alimentación sensor ks
27 #define control_rele_s_bc1 29 //Control
28 alimentación bobina cop 1
29 #define control_rele_s_bc2 31 //Control
30 alimentación bobina cop 2
31 #define control_rele_s_bc3 33 //Control
32 alimentación bobina cop 3
33 #define control_rele_s_bc4 35 //Control
34 alimentación bobina cop 4
35 #define control_rele_s_bd1 47 //Control
36 alimentación bobina dis 1
37 #define control_rele_s_bd2 49 //Control
38 alimentación bobina dis 2
39 //Control de resistencias bobinas y sensores
40 #define control_rele_r_s_cmp 39 //Control
41 alimentación sensor cmp
42 #define control_rele_r_s_ckp 41 //Control
43 alimentación sensor ckp
44 #define control_rele_r_s_ks 43 //Control
45 alimentación sensor ks
46 #define control_rele_r_bc1 37 //Control
47 alimentación bobina cop 1
48 #define control_rele_r_bc2 45 //Control
49 alimentación bobina cop 2
50 #define control_rele_r_bc3 36 //Control
51 alimentación bobina cop 3
52 #define control_rele_r_bc4 51 //Control
53 alimentación bobina cop 4
54 #define control_rele_r_bd1 53 //Control
55 alimentación bobina dis 1
56 #define control_rele_r_bd2 10 //Control
57 alimentación bobina dis 2
58 //Pin señal cmp
59 #define senal_cmp 2
60 //Pines de salida del arduino
61 #define led_1 19
62 #define led_2 4
63 #define led_3 5
64 #define led_4 6
65 //Pines de señal cop y dis
66 #define senal_cop 7
67 #define senal_dis 8
68 //Control motor
69 #define senal_motor 9
70 //Pines señal bobinas
71 #define pin_senal_bobina_c1 11
72 #define pin_senal_bobina_c2 12
73 #define pin_senal_bobina_c3 13
74 #define pin_senal_bobina_c4 3
75 #define pin_senal_bobina_d1 15
76 #define pin_senal_bobina_d2 17
77 //Pin selector de modo
78 #define selector 18
79
80 //Configuración del teclado
81 const byte rowCount = 4;
82 const byte colCount = 4;
83 const byte rowPins[rowCount] = { 38, 40, 42,
84 44 };
85 const byte colPins[colCount] = { 46,
86 48, 50, 52};
87 char keys[rowCount][colCount] = {
88 { '1','2','3', 'A' },
89 { '4','5','6', 'B' },
90 { '7','8','9', 'C' },
91 { '*', '0', '#', 'D' }
92 };
93
94 Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys),
95 rowPins, colPins, rowCount,
96 colCount);
97 //Configuración pantalla
98 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
99
100 //contador de pulsos
101
102 int contador = 0;
103 //Variables para control de los relé y motor
104 int contador_fallos = 0; //Variable
105 que indica que la maquina est+a en fallo
106 bool modo = false; //False será cop
107 bool rele_al_cmp = false;
108 bool rele_al_bc1 = false;
109 bool rele_al_bc2 = false;
110 bool rele_al_bc3 = false;
111 bool rele_al_bc4 = false;
112 bool rele_al_bd1 = false;
113 bool rele_al_bd2 = false;
114 bool rele_s_cmp = false;

```

```

1  bool rele_s_ckp = false;
2  bool rele_s_ks = false;
3  bool rele_s_bc1 = false;
4  bool rele_s_bc2 = false;
5  bool rele_s_bc3 = false;
6  bool rele_s_bc4 = false;
7  bool rele_s_bd1 = false;
8  bool rele_s_bd2 = false;
9  bool rele_r_cmp = false;
10 bool rele_r_ckp = false;
11 bool rele_r_ks = false;
12 bool rele_r_bc1 = false;
13 bool rele_r_bc2 = false;
14 bool rele_r_bc3 = false;
15 bool rele_r_bc4 = false;
16 bool rele_r_bd1 = false;
17 bool rele_r_bd2 = false;
18 bool luz_led_1 = HIGH;
19 bool luz_led_2 = HIGH;
20 bool luz_led_3 = HIGH;
21 bool luz_led_4 = HIGH;
22
23 //Control de tiempo
24 unsigned long tiempoAnterior = 0; // Para llevar
25 el tiempo de la secuencia
26 const long intervalo = 50;      // Intervalo entre
27 cambios de estado (50 ms)
28
29 int estadoSecuencia = 0; // Variable para seguir
30 el paso de la secuencia
31
32 //Variable donde se almacena el código de fallo
33 String inputPassword = "";
34 //Variable que almacena cantidad de fallos
35
36 void setup() {
37   lcd.init();
38   //Encender la luz de fondo.
39   lcd.backlight();
40   //Pin selector
41   pinMode(selector, INPUT_PULLUP);
42   //Pin entrada señal
43   attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(senal_cm
44 p), contador_pulsos, FALLING);
45   //Configuracion de pines
46   pinMode(control_rele_al_s_cmp,OUTPUT);
47   pinMode(control_rele_al_bc1,OUTPUT);
48   pinMode(control_rele_al_bc2,OUTPUT);
49   pinMode(control_rele_al_bc3,OUTPUT);
50   pinMode(control_rele_al_bc4,OUTPUT);
51   pinMode(control_rele_al_bd1 ,OUTPUT);
52   pinMode(control_rele_al_bd2 ,OUTPUT);
53   pinMode(control_rele_s_s_cmp ,OUTPUT);
54   pinMode(control_rele_s_s_ckp ,OUTPUT);
55   pinMode(control_rele_s_s_ks ,OUTPUT);
56   pinMode(control_rele_s_bc1 ,OUTPUT);
57   pinMode(control_rele_s_bc2 ,OUTPUT);
58   pinMode(control_rele_s_bc3 ,OUTPUT);
59   pinMode(control_rele_s_bc4 ,OUTPUT);
60   pinMode(control_rele_s_bd1 ,OUTPUT);
61   pinMode(control_rele_s_bd2 ,OUTPUT);
62   pinMode(control_rele_r_s_cmp ,OUTPUT);
63   pinMode(control_rele_r_s_ckp ,OUTPUT);
64   pinMode(control_rele_r_s_ks ,OUTPUT);
65   pinMode(control_rele_r_bc1 ,OUTPUT);
66   pinMode(control_rele_r_bc2 ,OUTPUT);
67   pinMode(control_rele_r_bc3 ,OUTPUT);
68   pinMode(control_rele_r_bc4 ,OUTPUT);
69   pinMode(control_rele_r_bd1 ,OUTPUT);
70   pinMode(control_rele_r_bd2 ,OUTPUT);
71   pinMode(led_1 ,OUTPUT);
72   pinMode(led_2 ,OUTPUT);
73   pinMode(led_3 ,OUTPUT);
74   pinMode(led_4 ,OUTPUT);
75   pinMode(senal_cop ,OUTPUT);
76   pinMode(senal_dis ,OUTPUT);
77   pinMode(senal_motor ,OUTPUT);
78   pinMode(pin_senal_bobina_c1 ,OUTPUT);
79   pinMode(pin_senal_bobina_c2 ,OUTPUT);
80   pinMode(pin_senal_bobina_c3 ,OUTPUT);
81   pinMode(pin_senal_bobina_c4 ,OUTPUT);
82   pinMode(pin_senal_bobina_d1 ,OUTPUT);
83   pinMode(pin_senal_bobina_d2 ,OUTPUT);
84
85
86 //Inicializamos todos los relees en off
87 digitalWrite(control_rele_al_s_cmp,LOW);
88 digitalWrite(control_rele_al_bc1,LOW);
89 digitalWrite(control_rele_al_bc2,LOW);
90 digitalWrite(control_rele_al_bc3,LOW);
91 digitalWrite(control_rele_al_bc4,LOW);
92 digitalWrite(control_rele_al_bd1 ,LOW);
93 digitalWrite(control_rele_al_bd2 ,LOW);
94 digitalWrite(control_rele_s_s_cmp ,LOW);
95 digitalWrite(control_rele_s_s_ckp ,LOW);
96 digitalWrite(control_rele_s_s_ks ,LOW);
97 digitalWrite(control_rele_s_bc1 ,LOW);
98 digitalWrite(control_rele_s_bc2 ,LOW);
99 digitalWrite(control_rele_s_bc3 ,LOW);
100 digitalWrite(control_rele_s_bc4 ,LOW);
101 digitalWrite(control_rele_s_bd1 ,LOW);
102 digitalWrite(control_rele_s_bd2 ,LOW);
103 digitalWrite(control_rele_r_s_cmp ,LOW);
104 digitalWrite(control_rele_r_s_ckp ,LOW);
105 digitalWrite(control_rele_r_s_ks ,LOW);
106 digitalWrite(control_rele_r_bc1 ,LOW);
107 digitalWrite(control_rele_r_bc2 ,LOW);
108 digitalWrite(control_rele_r_bc3 ,LOW);
109 digitalWrite(control_rele_r_bc4 ,LOW);
110 digitalWrite(control_rele_r_bd1 ,LOW);
111 digitalWrite(control_rele_r_bd2 ,LOW);
112 digitalWrite(led_1 ,LOW);
113 digitalWrite(led_2 ,LOW);
114 digitalWrite(led_3 ,LOW);
115 digitalWrite(led_4 ,LOW);
116 digitalWrite(senal_cop ,LOW);
117 digitalWrite(senal_dis ,LOW);
118 digitalWrite(pin_senal_bobina_c1 ,LOW);
119 digitalWrite(pin_senal_bobina_c2 ,LOW);
120 digitalWrite(pin_senal_bobina_c3 ,LOW);

```

```

1  digitalWrite(pin_senal_bobina_c4 ,LOW);
2  digitalWrite(pin_senal_bobina_d1 ,LOW);
3  digitalWrite(pin_senal_bobina_d2 ,LOW);
4
5  //Ponemos mensaje de la pantalla
6  lcd.print("Ingrese codigo: ");
7  }
8
9  void loop() {
10   unsigned long tiempoActual = millis();
11
12   if (tiempoActual - tiempoAnterior >= intervalo)
13   {
14     // Actualizamos el tiempo anterior
15     tiempoAnterior = tiempoActual;
16   }
17
18   if(modo){
19   if (contador >=4){
20     secuencia();
21     contador=0;
22   }
23 }else{
24   if (contador >=2){
25     secuencia();
26     contador=0;
27   }
28 }
29 }
30 char key = keypad.getKey(); // Obtiene la tecla
31 presionada
32 int pot = analogRead(A0);
33 int vel = map(pot,0,1023,0,255);
34 analogWrite(senal_motor,vel);
35 modo = digitalRead(selector);
36 if (key) {
37   lcd.clear();
38   lcd.print("Ingrese codigo");
39   inputPassword += key; // Agrega el carácter
40 presionado a la contraseña introducida
41   lcd.setCursor(0, 1); // Coloca el cursor en la
42 segunda línea
43   lcd.print(inputPassword);
44   //Mara que muestre el check
45   if(rele_al_cmp||rele_al_bc1||rele_al_bc2||rele_a
46 l_bc3||rele_al_bc4||rele_al_bd1||rele_al_bd2||rele
47 _s_cmp ||rele_s_ckp||rele_s_ks ||rele_s_bc1
48 ||rele_s_bc2 ||rele_s_bc3 ||rele_s_bc4 ||rele_s_bd1
49 ||rele_s_bd2||rele_r_cmp||rele_r_ckp||rele_r_ks||re
50 le_r_bc1||rele_r_bc2||rele_r_bc3||rele_r_bc4||rele
51 _r_bd1||rele_r_bd2
52 ) {
53   lcd.setCursor(10,1);
54   lcd.print("Check");
55 }
56 //////////////////////////////////////////////////
57 // Si se ha introducido una contraseña de 3
58 dígitos
59   if (inputPassword.length() == 3) {
60     if (inputPassword == "A01")
61     {
62       //A01 CODIGO
63       PARA FALLA ALIMENTACIÓN CMP
64       rele_al_cmp =
65       !rele_al_cmp;
66       digitalWrite(control_rele_al_s_cmp,rele_al
67 _cmp);
68     } else if (inputPassword == "A02")
69     {
70       //A02 CODIGO
71       FALLA SENAL CMP
72       rele_s_cmp = !rele_s_cmp;
73       digitalWrite(control_rele_s_s_cmp,rele_s_c
74 mp);
75     } else if (inputPassword == "A03")
76     {
77       //A03 CODIGO
78       FALLA RES CMP
79       rele_r_cmp = !rele_r_cmp;
80       digitalWrite(control_rele_r_s_cmp,rele_r_c
81 mp);
82     } else if (inputPassword == "B01")
83     {
84       //B01 CODIGO
85       FALLA res CKP
86       rele_r_ckp = !rele_r_ckp;
87       digitalWrite(control_rele_r_s_ckp,rele_r_ck
88 p);
89     } else if (inputPassword == "B02")
90     {
91       //B02 CODIGO
92       FALLA señal CKP
93       rele_s_ckp = !rele_s_ckp;
94       digitalWrite(control_rele_s_s_ckp,rele_s_c
95 kp);
96     } else if (inputPassword == "C01")
97     {
98       //C01 CODIGO
99       FALLA res KS
100       rele_r_ks = !rele_r_ks;
101       digitalWrite(control_rele_r_s_ckp,rele_r_ck
102 p);
103     } else if (inputPassword == "C02")
104     {
105       //C02 CODIGO
106       FALLA señal KS
107       rele_s_ckp = !rele_s_ckp;
108       digitalWrite(control_rele_s_s_ckp,rele_s_c
109 kp);
110     } else if (inputPassword == "D01")
111     {
112       //D01 CODIGO
113       FALLA AL DIS 1
114       rele_al_bd1 = !rele_al_bd1;
115       digitalWrite(control_rele_al_bd1,rele_al_bd
116 1);
117     } else if (inputPassword == "D02")
118     {
119       //D02 CODIGO
120       FALLA SEÑAL DIS 1
121       rele_s_bd1 = !rele_s_bd1;
122       digitalWrite(control_rele_s_bd1,rele_s_bd1
123 );
124     } else if (inputPassword == "D03")
125     {
126       //D03 CODIGO
127       FALLA RES DIS 1
128       rele_r_bd1 = !rele_r_bd1;

```

```

1     digitalWrite(control_rele_r_bd1, rele_r_bd1
2 );
3     } else if (inputPassword == "D04")
4     {
5         //D04 CODIGO
6         FALLA AL DIS 2
7         rele_al_bd2 = !rele_al_bd2;
8         digitalWrite(control_rele_al_bd2, rele_al_bd
9         2);
10    } else if (inputPassword == "D05")
11    {
12        //D05 CODIGO
13        FALLA SEÑAL DIS 2
14        rele_s_bd2 = !rele_s_bd2;
15        digitalWrite(control_rele_s_bd2, rele_s_bd2
16        );
17    } else if (inputPassword == "D06")
18    {
19        //D06 CODIGO
20        FALLA RES DIS 2
21        rele_r_bd2 = !rele_r_bd2;
22        digitalWrite(control_rele_r_bd2, rele_r_bd2
23        );
24    } else if (inputPassword == "*01")
25    {
26        //D01 CODIGO
27        FALLA AL COP 1
28        rele_al_bc1 = !rele_al_bc1;
29        digitalWrite(control_rele_al_bc1, rele_al_bc
30        1);
31    } else if (inputPassword == "*02")
32    {
33        //D02 CODIGO
34        FALLA SEÑAL COP 1
35        rele_s_bc1 = !rele_s_bc1;
36        digitalWrite(control_rele_s_bc1, rele_s_bc1
37        );
38    } else if (inputPassword == "*03")
39    {
40        //D03 CODIGO
41        FALLA RES COP 1
42        rele_r_bc1 = !rele_r_bc1;
43        digitalWrite(control_rele_r_bc1, rele_r_bc1)
44        ;
45    } else if (inputPassword == "*04")
46    {
47        //D04 CODIGO
48        FALLA AL COP 2
49        rele_al_bc2 = !rele_al_bc2;
50        digitalWrite(control_rele_al_bc2, rele_al_bc
51        2);
52    } else if (inputPassword == "*05")
53    {
54        //D05 CODIGO
55        FALLA SEÑAL COP 2
56        rele_s_bc2 = !rele_s_bc2;
57        digitalWrite(control_rele_s_bc2, rele_s_bc2
58        );
59    } else if (inputPassword == "*06")
60    {
61        //D06 CODIGO
62        FALLA RES COP 2
63        rele_r_bc2 = !rele_r_bc2;
64        digitalWrite(control_rele_r_bc2, rele_r_bc2)
65        ;
66    } else if (inputPassword == "#01")
67    {
68        //D01 CODIGO
69        FALLA AL COP 3
70        rele_al_bc3 = !rele_al_bc3;
71        digitalWrite(control_rele_al_bc3, rele_al_bc
72        3);
73    } else if (inputPassword == "#02")
74    {
75        //D02 CODIGO
76        FALLA SEÑAL COP 3
77        rele_s_bc3 = !rele_s_bc3;
78        digitalWrite(control_rele_s_bc3, rele_s_bc3
79        );
80    } else if (inputPassword == "#03")
81    {
82        //D03 CODIGO
83        FALLA RES COP 3
84        rele_r_bc3 = !rele_r_bc3;
85        digitalWrite(control_rele_r_bc3, rele_r_bc3)
86        ;
87    } else if (inputPassword == "#04")
88    {
89        //D04 CODIGO
90        FALLA AL COP 4
91        rele_al_bc4 = !rele_al_bc4;
92        digitalWrite(control_rele_al_bc4, rele_al_bc
93        4);
94    } else if (inputPassword == "#05")
95    {
96        //D05 CODIGO
97        FALLA SEÑAL COP 4
98        rele_s_bc4 = !rele_s_bc4;
99        digitalWrite(control_rele_s_bc4, rele_s_bc4
100       );
101    } else if (inputPassword == "#06")
102    {
103        //D06 CODIGO
104        FALLA RES COP 4
105        rele_r_bc4 = !rele_r_bc4;
106        digitalWrite(control_rele_r_bc4, rele_r_bc4)
107        ;
108    }
109    else {
110        lcd.clear();
111    }
112    delay(200); // Muestra el mensaje por 200
113    mili segundos
114    inputPassword = ""; // Reinicia la entrada
115    lcd.clear();
116    lcd.print("Introduce codigo");
117    if(rele_al_cmp||rele_al_bc1||rele_al_bc2||rele
118    _al_bc3||rele_al_bc4||rele_al_bd1||rele_al_bd2||re
119    le_s_cmp ||rele_s_ckp||rele_s_ks ||rele_s_bc1
120    ||rele_s_bc2 ||rele_s_bc3 ||rele_s_bc4 ||rele_s_bd1
121    ||rele_s_bd2||rele_r_cmp||rele_r_ckp||rele_r_ks||re
122    le_r_bc1||rele_r_bc2||rele_r_bc3||rele_r_bc4||rele
123    _r_bd1||rele_r_bd2
124    ) {
125        lcd.setCursor(10,1);
126        lcd.print("Check");
127    }
128    }
129    //Con estas condiciones logramos que los
130    leds no prendan en caso de fallas
131    if (rele_al_bd1 || rele_s_bd1 || rele_r_bd1){
132        luz_led_1 = LOW;

```

```

1     luz_led_4 = LOW;
2   } else{
3     luz_led_1 = HIGH;
4     luz_led_4 = HIGH;
5   }
6   //Bobina dis 2
7   if (rele_al_bd2 || rele_s_bd2 || rele_r_bd2){
8     luz_led_3 = LOW;
9     luz_led_2 = LOW;
10  } else{
11    luz_led_3 = HIGH;
12    luz_led_2 = HIGH;
13  }
14  //Bobina Cop 1
15  if (rele_al_bc1 || rele_s_bc1 || rele_r_bc1){
16    luz_led_1 = LOW;
17  } else{
18    luz_led_1 = HIGH;
19  }
20  //Bobina Cop 2
21  if (rele_al_bc2 || rele_s_bc2 || rele_r_bc2){
22    luz_led_2 = LOW;
23  } else{
24    luz_led_2 = HIGH;
25  }
26  //Bobina Cop 1
27  if (rele_al_bc3 || rele_s_bc3 || rele_r_bc3){
28    luz_led_3 = LOW;
29  } else{
30    luz_led_3 = HIGH;
31  }
32  //Bobina Cop 4
33  if (rele_al_bc4 || rele_s_bc4 || rele_r_bc4){
34    luz_led_4 = LOW;
35  } else{
36    luz_led_4 = HIGH;
37  }
38 }
39
40
41 void secuencia(){
42   if (modo){
43     digitalWrite(led_1,luz_led_1);
44     digitalWrite(led_4,luz_led_4);
45     digitalWrite(led_2,LOW);
46     digitalWrite(led_3,LOW);
47     digitalWrite(senal_dis,HIGH);
48     digitalWrite(pin_senal_bobina_c1 ,LOW);
49     digitalWrite(pin_senal_bobina_c2 ,LOW);
50     digitalWrite(pin_senal_bobina_c3 ,LOW);
51     digitalWrite(pin_senal_bobina_c4 ,LOW);
52     digitalWrite(pin_senal_bobina_d1
53 ,luz_led_1);
54     digitalWrite(pin_senal_bobina_d2 ,LOW);
55     delay(50);
56     digitalWrite(led_1,LOW);
57     digitalWrite(led_4,LOW);
58     digitalWrite(led_2,luz_led_2);
59     digitalWrite(led_3,luz_led_3);
60     digitalWrite(senal_dis,LOW);
61     digitalWrite(pin_senal_bobina_c1 ,LOW);
62     digitalWrite(pin_senal_bobina_c2 ,LOW);
63     digitalWrite(pin_senal_bobina_c3 ,LOW);
64     digitalWrite(pin_senal_bobina_c4 ,LOW);
65     digitalWrite(pin_senal_bobina_d1 ,LOW);
66     digitalWrite(pin_senal_bobina_d2
67 ,luz_led_2);
68     delay(50);
69     digitalWrite(led_1,LOW);
70     digitalWrite(led_2,LOW);
71     digitalWrite(led_3,LOW);
72     digitalWrite(led_4,LOW);
73     digitalWrite(pin_senal_bobina_c1 ,LOW);
74     digitalWrite(pin_senal_bobina_c2 ,LOW);
75     digitalWrite(pin_senal_bobina_c3 ,LOW);
76     digitalWrite(pin_senal_bobina_c4 ,LOW);
77     digitalWrite(pin_senal_bobina_d1 ,LOW);
78     digitalWrite(pin_senal_bobina_d2 ,LOW);
79     delay(50);
80   }else{
81     digitalWrite(led_1,luz_led_1);
82     digitalWrite(led_2,LOW);
83     digitalWrite(led_3,LOW);
84     digitalWrite(led_4,LOW);
85     digitalWrite(senal_cop,HIGH);
86     digitalWrite(pin_senal_bobina_c1 ,luz_led_1);
87     digitalWrite(pin_senal_bobina_c2 ,LOW);
88     digitalWrite(pin_senal_bobina_c3 ,LOW);
89     digitalWrite(pin_senal_bobina_c4 ,LOW);
90     digitalWrite(pin_senal_bobina_d1 ,LOW);
91     digitalWrite(pin_senal_bobina_d2 ,LOW);
92     delay(50);
93     digitalWrite(led_1,LOW);
94     digitalWrite(led_2,luz_led_2);
95     digitalWrite(led_3,LOW);
96     digitalWrite(led_4,LOW);
97     digitalWrite(senal_cop,LOW);
98     digitalWrite(pin_senal_bobina_c1 ,LOW);
99     digitalWrite(pin_senal_bobina_c2 ,luz_led_2);
100    digitalWrite(pin_senal_bobina_c3 ,LOW);
101    digitalWrite(pin_senal_bobina_c4 ,LOW);
102    digitalWrite(pin_senal_bobina_d1 ,LOW);
103    digitalWrite(pin_senal_bobina_d2 ,LOW);
104    delay(50);
105    digitalWrite(led_1,LOW);
106    digitalWrite(led_2,LOW);
107    digitalWrite(led_3,luz_led_3);
108    digitalWrite(led_4,LOW);
109    digitalWrite(pin_senal_bobina_c1 ,LOW);
110    digitalWrite(pin_senal_bobina_c2 ,LOW);
111    digitalWrite(pin_senal_bobina_c3 ,luz_led_3);
112    digitalWrite(pin_senal_bobina_c4 ,LOW);
113    digitalWrite(pin_senal_bobina_d1 ,LOW);
114    digitalWrite(pin_senal_bobina_d2 ,LOW);
115    delay(50);
116    digitalWrite(led_1,LOW);
117    digitalWrite(led_2,LOW);
118    digitalWrite(led_3,LOW);
119    digitalWrite(led_4,luz_led_4);
120    digitalWrite(pin_senal_bobina_c1 ,LOW);

```

```
1  digitalWrite(pin_senal_bobina_c2 ,LOW);
2  digitalWrite(pin_senal_bobina_c3 ,LOW);
3  digitalWrite(pin_senal_bobina_c4 ,luz_led_4);
4  digitalWrite(pin_senal_bobina_d1 ,LOW);
5  digitalWrite(pin_senal_bobina_d2 ,LOW);
6  delay(50);
7  digitalWrite(led_1,LOW);
8  digitalWrite(led_2,LOW);
9  digitalWrite(led_3,LOW);
10 digitalWrite(led_4,LOW);
11 digitalWrite(pin_senal_bobina_c1 ,LOW);
12 digitalWrite(pin_senal_bobina_c2 ,LOW);
13 digitalWrite(pin_senal_bobina_c3 ,LOW);
14 digitalWrite(pin_senal_bobina_c4 ,LOW);
15 digitalWrite(pin_senal_bobina_d1 ,LOW);
16 digitalWrite(pin_senal_bobina_d2 ,LOW);
17 delay(50);
18 }
37

19 }
20
21 void contador_pulsos(){
22     contador++;
23     /*
24     if(modo){
25     if (contador >=8){
26         secuencia();
27         contador=0;
28     }
29     }else{
30     if (contador >=4){
31         secuencia();
32         contador=0;
33     }
34     }
35     */
36 }
```