



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Tecnología Superior en Electrónica Automotriz

Trabajo de Titulación:

Diseño de un banco didáctico para simulación de sensores automotrices

Trabajo previo a la obtención del título de Tecnólogo Superior en
Electrónica Automotriz

Autor:

Elias Jonael Paladines Aguilar

Director:

Dr. Efren Esteban Fernández Palomeque

Cuenca – Ecuador

2026

1 Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi abuelita, **Carmen Cristina Ramírez Apolo**, quien falleció en el año 2019. Aunque ya no se encuentre físicamente conmigo, su recuerdo, su cariño y sus enseñanzas continúan presentes en mi vida. Este logro es también una manera de honrar su memoria, de agradecer todo lo que significó para mí y de llevar conmigo el valor de aquello que dejó sembrado en mi corazón.

A mi hermano, **Álvaro Paladines**, por el apoyo económico brindado durante mi proceso de formación. Su ayuda fue fundamental para poder continuar con mis estudios y avanzar en el desarrollo de este trabajo. Gracias a su respaldo pude seguir adelante en momentos que exigieron esfuerzo, responsabilidad y compromiso, por lo que este logro también refleja una parte importante de su apoyo.

A mi madre, **Gina Aguilar**, por acompañarme, motivarme y estar presente en los momentos difíciles. Su apoyo, paciencia y confianza fueron una fuerza constante durante la carrera. Gracias a ella encontré ánimo para continuar incluso cuando el camino se volvió complicado, y por eso este logro también representa el amor, la dedicación y el esfuerzo que siempre me ha brindado.

Dedico también este trabajo a mi pareja, **Emily Espinoza**, por haber estado a mi lado con paciencia, cariño y comprensión durante esta etapa. Su apoyo fue fundamental en los momentos de cansancio, incertidumbre y dificultad, recordándome siempre que podía seguir adelante. Gracias a su compañía, motivación y confianza, este camino se volvió más llevadero y esta meta pudo alcanzarse con mayor fuerza y esperanza.

Finalmente, me dedico este logro a mí mismo, por la constancia, el esfuerzo personal y la dedicación entregada durante toda esta etapa. Este trabajo representa muchas horas de aprendizaje, pruebas, errores, correcciones y superación, así como el compromiso de culminar una meta importante dentro de mi formación profesional.

- Elias Jonael Paladines Aguilar -

2 Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios, por darme la fortaleza, paciencia y perseverancia necesarias para culminar esta etapa académica y continuar adelante durante los momentos de mayor exigencia.

Expreso mi sincero agradecimiento al **Dr. Efrén Esteban Fernández Palomeque**, director de este trabajo de titulación, por su orientación, tiempo y acompañamiento durante el desarrollo del proyecto. Sus observaciones contribuyeron al mejoramiento del diseño, implementación, pruebas y validación del banco didáctico.

De igual manera, agradezco a los docentes de la carrera de **Tecnología Superior en Electrónica Automotriz**, por los conocimientos compartidos durante mi formación, los cuales fueron fundamentales para aplicar criterios técnicos en electrónica, programación, diagnóstico y análisis de señales automotrices.

Agradezco también a mis compañeros, por las experiencias, el apoyo y los aprendizajes compartidos a lo largo de la carrera.

Finalmente, agradezco a la institución por brindarme el espacio de formación y la oportunidad de desarrollar este trabajo como parte de mi preparación profesional.

- Elias Jonael Paladines Aguilar -

3 **Resumen:**

El presente trabajo constituye una memoria técnica sobre el banco didáctico para simulación de sensores automotrices, el proyecto tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema capaz de generar, visualizar y controlar señales representativas de sensores automotrices mediante un Arduino Mega 2560, una pantalla Nextion de 10.1 pulgadas, un osciloscopio DSO138, un módulo RFID y una memoria microSD. Las señales analógicas MAP, MAF, O2, TPS, APP, IAT y ECT se generaron mediante salidas PWM acondicionadas con filtros RC, mientras que las señales digitales CKP, CMP y VSS se obtuvieron mediante pulsos controlados por programación. El sistema fue integrado en una estructura diseñada en Fusion 360, permitiendo organizar la alimentación, los módulos electrónicos, el cableado y los puntos de prueba. Como resultado, se obtuvo un banco funcional para la interacción con la HMI, la selección de módulos y la observación práctica de señales automotrices.

Palabras clave: sensores automotrices, banco didáctico, Arduino Mega, pantalla Nextion, señales PWM, osciloscopio, simulación electrónica.

4 **Abstract:**

This work constitutes a technical report on the didactic bench for automotive sensor simulation. The project aimed to design and implement a system capable of generating, displaying, and controlling representative automotive sensor signals using an Arduino Mega 2560, a 10.1-inch Nextion display, a DSO138 oscilloscope, an RFID module, and a microSD card. The analog signals MAP, MAF, O2, TPS, APP, IAT, and ECT were generated through PWM outputs conditioned with RC filters, while the digital signals CKP, CMP, and VSS were produced through programmed pulses. The system was integrated into a structure designed in Fusion 360, allowing the organization of the power supply, electronic modules, wiring, and test points. As a result, a functional didactic bench was obtained for HMI interaction, module selection, and practical observation of automotive signals.

Keywords: automotive sensors, didactic bench, Arduino Mega, Nextion display, PWM signals, oscilloscope, electronic simulation.

5	Índice de contenidos:	
1	Dedicatoria.....	i
2	Agradecimientos.....	ii
3	Resumen:.....	iii
4	Abstract:.....	iii
5	Índice de contenidos:.....	iv
6	Índice de tablas:.....	viii
7	Índice de figuras:.....	x
8	Introducción.....	1
9	Objetivos.....	2
9.1	Objetivo general.....	2
9.2	Objetivos específicos.....	2
10	Procedimiento.....	2
10.1	Fundamentos del sistema de gestión electrónica del motor.....	2
10.2	Análisis del comportamiento de señales analógicas y digitales utilizadas por la ECU	3
10.2.1	Señales analógicas en sistemas automotrices.....	3
10.2.2	Señales digitales en sistemas automotrices.....	4
10.3	Selección de los sensores automotrices más representativos para su simulación	
	didáctica.....	4
10.3.1	Criterios técnicos y formativos de selección.....	5
10.3.2	Sensor de posición de la mariposa de aceleración (TPS).....	5
10.3.3	Sensor de posición del pedal del acelerador (APP).....	6
10.3.4	Sensor de flujo de masa de aire (MAF).....	6
10.3.5	Sensor de presión absoluta del múltiple de admisión (MAP).....	6
10.3.6	Sensor de velocidad del vehículo (VSS).....	7
10.3.7	Sensor de oxígeno (O ₂).....	7
10.3.8	Sensor de posición del cigüeñal (CKP).....	7
10.3.9	Sensor de posición del árbol de levas (CMP).....	8
10.3.10	Sensor de temperatura del refrigerante del motor (ECT).....	8
10.3.11	Sensor de temperatura del aire de admisión (IAT).....	8
10.3.12	Señal de control de inyección.....	9

10.3.13	Sensor de presión de combustible	9
10.3.14	Sensor de presión de aceite	9
10.3.15	Integración didáctica de la selección	10
10.4	Elaborar diagramas funcionales y esquemas eléctricos del banco didáctico de simulación	10
10.4.1	Enfoque de diseño y metodología de diagramación	10
10.4.2	Bloque de alimentación y protección	11
10.4.3	Bloque de control central.....	15
10.4.4	Bloque de generación de señales analógicas.....	21
10.4.5	Bloque de generación de señales digitales	26
10.4.6	Bloque de salidas, puntos de prueba y monitoreo interno.....	30
10.4.7	Bloque HMI, registro y control de acceso	34
10.5	Selección de los componentes electrónicos y materiales de montaje necesarios para la implementación del sistema.....	40
10.5.1	Lista de materiales seleccionados.....	40
10.5.1.1	Interfaz HMI y visualización.....	40
10.5.1.2	Control, almacenamiento y acceso.....	41
10.5.1.3	Generación de señales analógicas.....	41
10.5.1.4	Generación de señales digitales y monitoreo.....	41
10.5.1.5	Alimentación y protección	41
10.5.1.6	Conexión y montaje.....	42
10.6	Programación de la interfaz HMI en Nextion Editor	42
10.6.1	Estructura general de programación de la pantalla HMI	42
10.6.2	Pantalla de presentación institucional.....	43
10.6.3	Pantalla de menú principal.....	44
10.6.4	Pantalla de osciloscopio.....	45
10.6.5	Pantalla de tablero principal	46
10.6.6	Pantalla de control de temperatura	47
10.6.7	Pantalla de registro de datos	48
10.6.8	Pantalla de historial de registros.....	49
10.6.9	Pantalla de teoría.....	50
10.6.10	Pantalla de sensores.....	51
10.6.11	Pantalla de calibración.....	52
10.6.12	Pantalla de averías	53
10.6.13	Pantalla de monitoreo	54
10.6.14	Pantalla de ajustes	56

10.6.15	Pantalla de configuración	57
10.7	Programación del Arduino MEGA2560.....	58
10.7.1	Estructura general del programa	58
10.7.2	Inicialización del sistema	59
10.7.3	Ejecución por tareas periódicas	61
10.7.4	Variables principales del sistema	62
10.7.5	Simulación de variables del motor	63
10.7.6	Generación de señales analógicas	64
10.7.7	Generación de señales digitales	65
10.7.8	Comunicación con la pantalla Nextion	66
10.7.9	Monitoreo tipo osciloscopio	67
10.7.10	Registro de datos en memoria microSD	68
10.7.11	Ajustes y calibración	69
10.7.12	Modo automático de operación	70
10.7.13	Pruebas y depuración del sistema	71
10.7.14	Resultado de la programación implementada	72
10.8	Montaje de prueba del sistema.....	72
10.8.1	Objetivo del montaje de prueba.....	73
10.8.2	Preparación y organización de los componentes	74
10.8.3	Verificación de la etapa de alimentación.....	76
10.8.4	Integración provisional de módulos y circuitos	77
10.8.5	Validación de conexiones y definición de la configuración final.....	80
10.8.6	Relación del montaje de prueba con el diseño en Fusion 360 y la integración final	81
10.8.7	Resultado de la etapa de montaje de prueba	82
10.9	Diseño de la caja para el montaje final.....	83
10.9.1	Estructura principal de la caja.....	84
10.9.2	Laterales de la caja.....	85
10.9.3	Seguros de unión.....	86
10.9.4	Parte superior de la caja	87
10.9.5	Protección y visualización interna	89
10.9.6	Resultado general del diseño	89
10.10	Montaje final del sistema	89
10.10.1	Preparación de la estructura de montaje	90
10.10.2	Instalación de la fuente de alimentación	91

10.10.3	Montaje de los reguladores de voltaje	93
10.10.4	Instalación del Arduino Mega 2560	93
10.10.5	Conexión de los módulos auxiliares	94
10.10.6	Conexión de señales analógicas	96
10.10.7	Conexión de señales digitales.....	97
10.10.8	Integración del multiplexor con el osciloscopio	98
10.10.9	Organización del cableado interno	99
10.10.10	Verificación de accesorios de la pantalla Nextion	101
10.10.11	Primer encendido de la pantalla Nextion	103
10.10.12	Instalación del controlador CP210x para comunicación USB a TTL	105
10.10.13	Carga del programa HMI en la pantalla Nextion	108
10.10.14	Verificación inicial de funcionamiento de la HMI.....	110
10.10.15	Prueba del altavoz Nextion Box Speaker	113
10.10.16	Integración de la pantalla Nextion en la estructura final	115
10.10.17	Encendido final, comunicación serial y pruebas funcionales del banco didáctico	117
10.10.18	Cierre de la etapa de montaje final.....	124
11	Resultados	127
11.1	Evidencia fotográfica del funcionamiento final	127
12	Conclusiones	133
13	Lista de referencias	134

6 Índice de tablas:

Tabla 1. Materiales utilizados en el bloque de alimentación y protección.	12
Tabla 2. Conexión general del bloque de alimentación y protección.....	13
Tabla 3. Función de cada elemento del bloque de alimentación y protección.	13
Tabla 4. Resultado funcional del bloque de alimentación y protección.	14
Tabla 5. Materiales utilizados en el bloque de control central.....	16
Tabla 6. Conexión general del bloque de control central.	17
Tabla 7. Función de los elementos del bloque de control central.....	18
Tabla 8. Interfaces controladas desde el bloque de control central.....	19
Tabla 9. Capacidades relevantes del Arduino Mega dentro del bloque de control central....	20
Tabla 10. Materiales utilizados en el bloque de generación de señales analógicas.....	22
Tabla 11. Conexión general del bloque de generación de señales analógicas.	23
Tabla 12. Función de los elementos del bloque de generación de señales analógicas.....	24
Tabla 13. Distribución de canales analógicos en el montaje final.	24
Tabla 14. Señales previstas en el bloque de generación de señales analógicas.	25
Tabla 15. Materiales utilizados en el bloque de generación de señales digitales.	27
Tabla 16. Conexión general del bloque de generación de señales digitales.....	28
Tabla 17. Función de los elementos del bloque de generación de señales digitales.	28
Tabla 18. Distribución de señales digitales en el montaje final.	29
Tabla 19. Señales previstas en el bloque de generación de señales digitales.....	30
Tabla 20. Relación funcional de las señales del bloque de generación de señales digitales. ...	30
Tabla 21. Materiales utilizados en el bloque de salidas, puntos de prueba y monitoreo interno.	31
Tabla 22. Conexión general del bloque.	32
Tabla 23. Distribución de señales en borneras y multiplexor.	33
Tabla 24. Función de los elementos del bloque.....	33
Tabla 25. Materiales utilizados en el bloque HMI, registro y control de acceso.	35
Tabla 26. Conexión general del bloque HMI, registro y control de acceso.....	36
Tabla 27. Función de los elementos del bloque HMI, registro y control de acceso.	37
Tabla 28. Funciones disponibles dentro del bloque HMI, registro y control de acceso.	38
Tabla 29. Relación del bloque HMI, registro y control de acceso con el resto del sistema....	39
Tabla 30. Objetivos principales del montaje de prueba.	74
Tabla 31. Elementos verificados durante el montaje de prueba.	78
Tabla 32. Aportes del montaje de prueba a la definición final del sistema.....	81
Tabla 33. Resultado general del montaje de prueba.	82

Tabla 34. Elementos considerados durante la preparación de la estructura.....	91
Tabla 35. Distribución general de alimentación del sistema.	92
Tabla 36. Ajuste de los reguladores utilizados en el montaje.....	93
Tabla 37. Funciones principales del Arduino Mega dentro del montaje final.....	94
Tabla 38. Módulos auxiliares integrados en el montaje final.....	95
Tabla 39. Conexión general de señales analógicas.	97
Tabla 40. Conexión general de señales digitales.	98
Tabla 41. Función del multiplexor dentro del montaje.	99
Tabla 42. Organización del cableado durante el montaje.	100
Tabla 43. Accesorios verificados antes de la integración de la pantalla Nextion.....	102
Tabla 44. Verificaciones realizadas durante el primer encendido de la pantalla Nextion....	104
Tabla 45. Proceso de instalación del controlador CP210x.....	106
Tabla 46. Importancia del controlador CP210x en la programación de la pantalla.....	107
Tabla 47. Secuencia de carga del proyecto HMI en la pantalla Nextion.	109
Tabla 48. Elementos involucrados en la carga del programa HMI.	110
Tabla 49. Páginas verificadas después de cargar la interfaz HMI.....	111
Tabla 50. Comprobaciones visuales de la interfaz HMI.	112
Tabla 51. Prueba funcional del altavoz Nextion Box Speaker.	114
Tabla 52. Aplicaciones del altavoz dentro del banco didáctico.	115
Tabla 53. Criterios de integración física de la pantalla Nextion.	116
Tabla 54. Verificación de la comunicación serial entre Arduino Mega y pantalla Nextion.	119
Tabla 55. Pruebas funcionales realizadas durante el encendido final.....	120
Tabla 56. Relación entre módulos durante la prueba final.	121
Tabla 57. Verificaciones mecánicas y de montaje durante el encendido final.....	123
Tabla 58. Elementos validados al finalizar el montaje.....	124
Tabla 59. Resultados generales obtenidos en el banco didáctico.	132

7 Índice de figuras:

Figura 1. Pantalla de presentación institucional del banco didáctico.....	44
Figura 2. Pantalla principal de navegación del banco didáctico.....	45
Figura 3. Pantalla de osciloscopio del banco didáctico.	46
Figura 4. Pantalla de tablero principal del banco didáctico.....	47
Figura 5. Pantalla de control de temperatura del banco didáctico.....	48
Figura 6. Pantalla de registro de datos del banco didáctico.....	49
Figura 7. Pantalla de historial de registros del banco didáctico.	50
Figura 8. Pantalla de teoría del banco didáctico.	51
Figura 9. Pantalla de selección de sensores del módulo teórico.	52
Figura 10. Pantalla de calibración de sensores y variables del banco didáctico.....	53
Figura 11. Pantalla de simulación de averías del banco didáctico.....	54
Figura 12. Pantalla de monitoreo de variables del banco didáctico.	55
Figura 13. Pantalla de ajustes del banco didáctico.....	57
Figura 14. Pantalla de configuración general del banco didáctico.	58
Figura 15. Estructura general del proyecto en PlatformIO.	59
Figura 16. Inicialización de pines, puertos seriales y periféricos del sistema.	61
Figura 17. Ejecución del firmware mediante tareas temporizadas.	62
Figura 18. Definición e inicialización de las variables principales del sistema.....	63
Figura 19. Cálculo de variables del motor simulado.....	64
Figura 20. Generación de señales analógicas mediante salidas PWM y filtros RC.....	65
Figura 21. Generación de señales digitales del sistema.....	66
Figura 22. Rutinas de comunicación serial entre Arduino Mega y pantalla Nextion.	67
Figura 23. Selección de señal y representación tipo osciloscopio en la HMI.	68
Figura 24. Registro de variables en archivos CSV sobre memoria microSD.	69
Figura 25. Lectura y visualización de parámetros de calibración.	70
Figura 26. Rutina de funcionamiento automático del sistema.	71
Figura 27. Comandos de depuración y prueba por monitor serial.....	72
Figura 28. Componentes y módulos considerados para el montaje de prueba del sistema....	75
Figura 29. Verificación preliminar de la fuente de alimentación y del módulo de entrada de energía.	77
Figura 30. Preparación de placas de ensayo para la integración provisional de componentes.	79
Figura 31. Conexión y prueba funcional preliminar de módulos y circuitos del sistema.....	80
Figura 32. Centro de Caja de Montaje.....	85

Figura 33. Lateral Derecho de Caja de Montaje.....	86
Figura 34. Lateral Izquierdo de Caja de Montaje.	86
Figura 35. Seguros de Unión para Caja de Montaje.....	87
Figura 36. Parte Superior Derecha de Caja de Montaje.	88
Figura 37. Parte Superior Izquierda de Caja de Montaje.....	88
Figura 38. Preparación de la estructura y distribución inicial de los componentes internos del banco didáctico.	90
Figura 39. Integración interna del Arduino Mega, reguladores, osciloscopio y cableado de señales.....	96
Figura 40. Organización del cableado interno y ubicación del módulo osciloscopio dentro de la caja.....	101
Figura 41. Accesorios principales de la pantalla Nextion empleados en el montaje final. ...	102
Figura 42. Primer encendido de la pantalla Nextion y verificación inicial de alimentación.	104
Figura 43. Identificación del conversor CP2102 USB a UART en el Administrador de dispositivos.....	106
Figura 44. Selección del controlador CP210x para la comunicación USB a TTL.....	106
Figura 45. Proceso de transferencia del proyecto HMI hacia la pantalla Nextion.....	109
Figura 46. Visualización del menú principal después de cargar el proyecto HMI.....	111
Figura 47. Prueba de conexión del altavoz Nextion Box Speaker.....	114
Figura 48. Integración física de la pantalla Nextion en la caja del banco didáctico.	116
Figura 49. Encendido general del banco didáctico con pantalla HMI y osciloscopio DSO138 integrados.....	118
Figura 50. Sistema bloqueado en espera de lectura RFID para habilitar el banco didáctico.	128
Figura 51. Sistema autorizado después de la lectura RFID en la pantalla HMI.	128
Figura 52. Pantalla de tablero principal con indicadores de operación del banco didáctico.	129
Figura 53. Pantalla de osciloscopio integrada con el módulo DSO138 para monitoreo de señales.....	129
Figura 54. Pantalla de monitoreo de variables simuladas durante el funcionamiento del sistema.	130
Figura 55. Pantalla de registro de datos con variables recibidas por la interfaz HMI.	130
Figura 56. Pantalla de calibración para ajuste de variables del banco didáctico.....	131
Figura 57. Pantalla de ajustes para configuración de parámetros de operación del sistema.	131

8 Introducción

En el ámbito de la electrónica automotriz, el análisis de las señales eléctricas asociadas a los sensores del motor es fundamental para comprender el funcionamiento de la gestión electrónica y fortalecer los procesos de diagnóstico de fallas. Sin embargo, las prácticas sobre vehículos reales suelen verse condicionadas por factores como la limitada disponibilidad de unidades, el costo de operación, la dificultad para reproducir condiciones específicas y los riesgos asociados a la manipulación directa de sistemas en servicio.

En respuesta a esta problemática, el presente proyecto plantea el diseño de un banco didáctico para la simulación de señales automotrices, capaz de reproducir de manera controlada señales analógicas y digitales equivalentes a las empleadas en sistemas electrónicos del motor. Para ello, se emplea una plataforma basada en Arduino Mega 2560 y una interfaz HMI Nextion Intelligent de 10.1 pulgadas, mediante las cuales es posible configurar parámetros de funcionamiento, supervisar variables del sistema y disponer de señales accesibles para su observación con instrumentos de medición, particularmente el osciloscopio.

La implementación de este banco didáctico permitirá desarrollar prácticas académicas en un entorno seguro, repetible y controlado, favoreciendo la comprensión del comportamiento eléctrico de las señales, la identificación de variaciones operativas y el fortalecimiento de competencias técnicas relacionadas con el diagnóstico electrónico automotriz. En este sentido, el proyecto constituye una propuesta orientada al mejoramiento del aprendizaje práctico en la formación tecnológica.

9 Objetivos

9.1 Objetivo general

Diseñar un banco didáctico para la simulación y análisis de sensores automotrices en sistemas electrónicos del motor.

9.2 Objetivos específicos

Diseñar el esquema electrónico del banco de simulación para la generación de señales de sensores automotrices.

Desarrollar el control del sistema que permita variar los valores de las señales y visualizar parámetros en una pantalla interactiva.

Verificar el correcto funcionamiento del banco mediante pruebas y observación de señales en un osciloscopio.

10 Procedimiento

10.1 Fundamentos del sistema de gestión electrónica del motor

En la etapa inicial del proyecto se efectuó una revisión bibliográfica y un análisis técnico del sistema de gestión electrónica del motor, con el propósito de comprender el contexto funcional en el que operan los sensores automotrices y la forma en que sus señales son adquiridas, acondicionadas, interpretadas y procesadas por la Unidad de Control Electrónico (ECU). A partir de este análisis se determinó que, en los vehículos modernos, la ECU depende de señales analógicas y digitales asociadas a variables como posición, presión, temperatura, flujo de aire y velocidad de giro, las cuales intervienen directamente en el control del rendimiento del motor, la optimización del consumo de combustible y la reducción de emisiones contaminantes.

De manera complementaria, se estudiaron principios fundamentales del control electrónico automotriz, entre ellos el funcionamiento en lazo cerrado, las estrategias de corrección en función de la temperatura, el cálculo de carga del motor, la sincronización de señales para inyección y encendido, y los criterios básicos de diagnóstico electrónico. Asimismo, se revisaron hojas de datos y documentación técnica de los dispositivos electrónicos seleccionados, con el fin de verificar aspectos como compatibilidad eléctrica, niveles lógicos de operación, estabilidad de alimentación, capacidad de procesamiento y posibilidad de generación de señales analógicas y digitales. Este

análisis permitió establecer criterios de diseño más consistentes y definir una base técnica adecuada para el desarrollo del banco didáctico.

10.2 Análisis del comportamiento de señales analógicas y digitales utilizadas por la ECU

10.2.1 Señales analógicas en sistemas automotrices

Las señales analógicas en los sistemas automotrices representan variables físicas continuas asociadas al funcionamiento del motor y a sus condiciones de operación. En términos generales, estas señales se desarrollan dentro de un rango de 0 a 5 V; sin embargo, en numerosos sensores el intervalo útil de trabajo se sitúa aproximadamente entre 0.5 y 4.5 V. Este margen permite a la ECU diferenciar condiciones normales de operación y detectar fallas eléctricas como cortocircuitos a masa, cortocircuitos a positivo o circuitos abiertos. Entre las señales analógicas más representativas se encuentran la del sensor TPS, cuya salida varía de manera casi lineal con la apertura de la mariposa de aceleración; la del sensor MAP, proporcional a la presión absoluta en el múltiple de admisión; y la del sensor MAF, asociada a la cantidad de aire que ingresa al motor según su principio de funcionamiento y electrónica interna.

De igual forma, los sensores ECT e IAT generan señales analógicas a partir de la variación de su resistencia con la temperatura, lo que permite a la ECU interpretar cambios de voltaje para determinar la temperatura del refrigerante y del aire de admisión, respectivamente. El sensor APP también produce una señal analógica proporcional a la posición del pedal del acelerador, siendo una referencia fundamental en sistemas de aceleración electrónica. Por su parte, el sensor de oxígeno presenta un comportamiento particular, ya que su voltaje varía en función de la concentración de oxígeno en los gases de escape y, en condiciones de lazo cerrado, oscila continuamente como resultado de las correcciones realizadas por la ECU sobre la mezcla aire-combustible. Para fines de simulación y análisis, estas señales deben generarse con adecuada estabilidad, bajo nivel de ruido y capacidad de respuesta ante variaciones dinámicas, de modo que en el osciloscopio puedan observarse como variaciones continuas de voltaje cuya amplitud, pendiente y forma de onda permitan interpretar la magnitud física representada.

10.2.2 Señales digitales en sistemas automotrices

Las señales digitales empleadas en los sistemas electrónicos automotrices se caracterizan por operar con niveles lógicos definidos, en los que la información se encuentra determinada principalmente por el patrón de pulsos, la frecuencia y, en determinados casos, el ciclo de trabajo, más que por la amplitud del voltaje. Para fines de simulación didáctica, estas señales pueden representarse mediante niveles de 0 V y 5 V, lo que facilita su generación, visualización y análisis. Entre las más representativas se encuentran las señales de los sensores de posición del cigüeñal (CKP) y del árbol de levas (CMP). En el caso del CKP, la frecuencia de la señal se relaciona directamente con la velocidad de giro del motor, mientras que la señal CMP permite identificar la fase de funcionamiento y debe mantenerse sincronizada con la anterior para que la ECU determine con precisión el momento de inyección y encendido. En el osciloscopio, ambas señales se observan normalmente como trenes de pulsos periódicos de forma cuadrada.

De manera similar, la señal del sensor de velocidad del vehículo (VSS) puede analizarse como una señal digital pulsante cuya frecuencia varía en proporción a la velocidad del vehículo, permitiendo estudiar la relación entre frecuencia y desplazamiento. Asimismo, la señal de inyección forma parte del análisis digital, ya que el accionamiento del inyector se realiza mediante pulsos eléctricos controlados por la ECU, donde el ancho de pulso adquiere especial relevancia al estar asociado con el tiempo de apertura del inyector y, por tanto, con la cantidad de combustible suministrada. A partir del estudio de estas señales, se estableció que el sistema desarrollado debe ser capaz de generar pulsos de frecuencia variable, conservar relaciones de sincronización entre señales asociadas y representar de manera coherente eventos dependientes del régimen de funcionamiento del motor, con el fin de aproximar la simulación al comportamiento real del sistema de gestión electrónica automotriz.

10.3 Selección de los sensores automotrices más representativos para su simulación didáctica

Para el desarrollo del banco didáctico se seleccionaron señales automotrices representativas del sistema de gestión electrónica del motor, considerando su relevancia en el funcionamiento de la ECU y su utilidad para el análisis didáctico. Se incluyeron señales asociadas a distintos tipos de sensores, principios de operación y formas de

onda, con el fin de estudiar de manera práctica las principales entradas y salidas de un motor con control electrónico.

Entre las señales seleccionadas se encuentran APP, VSS, TPS, MAF, MAP, CMP, CKP, ECT, IAT y O₂, además de la señal de inyección y variables complementarias como presión de combustible y presión de aceite. En conjunto, estas permiten integrar señales analógicas y digitales con diferentes niveles de complejidad y representar de forma coherente la interacción básica entre las principales variables de la gestión electrónica del motor.

10.3.1 Criterios técnicos y formativos de selección

La selección de las señales automotrices se realizó con base en criterios técnicos y formativos. Desde el punto de vista técnico, se priorizaron aquellas señales con participación directa en la toma de decisiones de la ECU y con características eléctricas fácilmente identificables mediante instrumentos como el multímetro y el osciloscopio, lo que permite su simulación controlada y su análisis en términos de voltaje, frecuencia, forma de onda y comportamiento dinámico.

Desde el enfoque formativo, se consideró el valor pedagógico de cada señal dentro de la enseñanza de la electrónica automotriz, incorporando sensores comunes en sistemas de inyección y control del motor. Asimismo, se tomó en cuenta la viabilidad de reproducir estas señales mediante una arquitectura basada en Arduino Mega 2560 y una interfaz HMI Nextion, definiendo así un conjunto de variables adecuado para el análisis funcional y didáctico del sistema.

10.3.2 Sensor de posición de la mariposa de aceleración (TPS)

El sensor TPS permite a la ECU determinar la posición angular de la mariposa de aceleración, información necesaria para regular parámetros como la inyección de combustible, el ralentí, la respuesta de aceleración y, en ciertos casos, el avance de encendido. Se trata de un sensor de salida analógica variable, normalmente alimentado con una referencia de 5 V, cuyo voltaje cambia de manera progresiva en función de la apertura de la mariposa. En condiciones normales, su señal suele encontrarse dentro de un rango aproximado de 0.5 V a 4.5 V. En el banco didáctico, su simulación permite estudiar una señal analógica proporcional y relacionarla con variables como revoluciones del motor, carga, presión de admisión y tiempo de inyección, facilitando el análisis funcional de la respuesta del sistema.

10.3.3 Sensor de posición del pedal del acelerador (APP)

El sensor APP permite a la ECU identificar la demanda de aceleración solicitada por el conductor y constituye una referencia esencial en sistemas de aceleración electrónica. A diferencia del TPS, que informa la posición real de la mariposa, el APP representa la intención de aceleración y actúa como señal de entrada principal dentro de la lógica de control. Su salida corresponde a una señal analógica variable, generalmente con alimentación de 5 V, cuyo voltaje cambia en función del recorrido del pedal. En muchos sistemas se dispone de más de una salida para verificación de coherencia y seguridad. En el banco didáctico, su simulación permite analizar la relación entre la solicitud del conductor y la respuesta electrónica del motor, además de su vínculo con variables como apertura de mariposa, revoluciones y estrategia de inyección.

10.3.4 Sensor de flujo de masa de aire (MAF)

El sensor MAF permite medir la cantidad de aire que ingresa al sistema de admisión, información fundamental para que la ECU calcule la masa de combustible necesaria y mantenga una adecuada relación aire-combustible. Su función es clave en la estimación de carga del motor y en la corrección del tiempo de inyección bajo distintas condiciones de operación. Para fines didácticos, su salida puede representarse mediante una señal analógica variable proporcional al flujo de aire aspirado. En el banco didáctico, su simulación facilita el estudio de la influencia del caudal de aire sobre el rendimiento del motor y permite relacionar esta variable con otras señales como TPS, MAP, revoluciones e inyección, fortaleciendo la comprensión del control de admisión y combustible.

10.3.5 Sensor de presión absoluta del múltiple de admisión (MAP)

El sensor MAP permite a la ECU conocer la presión absoluta presente en el múltiple de admisión y, con ello, estimar la carga del motor. Esta información resulta relevante para ajustar la inyección de combustible, el avance de encendido y otras estrategias de control asociadas al régimen de funcionamiento. Su salida es una señal analógica variable, normalmente alimentada con 5 V, cuyo voltaje cambia según la presión medida: en condiciones de alta depresión, como ralentí o desaceleración, se presentan valores bajos, mientras que al aumentar la carga del motor el voltaje se incrementa. En el banco didáctico, su simulación permite analizar la relación entre presión, carga y

respuesta de la ECU, además de ofrecer una referencia clara para la interpretación de señales analógicas mediante instrumentos de medición.

10.3.6 Sensor de velocidad del vehículo (VSS)

El sensor VSS proporciona a la ECU información sobre la velocidad de desplazamiento del vehículo, variable que puede emplearse en funciones de control del motor, transmisión, tablero e incluso en estrategias de seguridad y operación. Su salida corresponde a una señal digital pulsante, cuya frecuencia varía de forma proporcional a la velocidad. A medida que el vehículo incrementa su velocidad, también aumenta el número de pulsos por unidad de tiempo, lo que permite a la ECU interpretar esta magnitud mediante conteo de frecuencia. En el banco didáctico, su simulación resulta útil para estudiar señales digitales asociadas al movimiento, así como conceptos de frecuencia, periodicidad y procesamiento de pulsos en sistemas automotrices.

10.3.7 Sensor de oxígeno (O₂)

El sensor de oxígeno permite a la ECU evaluar la concentración de oxígeno en los gases de escape, información esencial para corregir la mezcla aire-combustible durante el funcionamiento en lazo cerrado. En sensores de banda estrecha, su salida se representa como una señal analógica de bajo voltaje, generalmente comprendida entre 0.1 V y 0.9 V, donde los valores bajos indican mezcla pobre y los altos mezcla rica. Esta señal presenta un comportamiento oscilante, producto de las correcciones continuas que realiza la ECU sobre la combustión. En el banco didáctico, su simulación permite analizar una señal analógica dinámica distinta a otras más estables, facilitando el estudio del control de mezcla, la respuesta del sistema y la relación entre combustión, emisiones y regulación electrónica.

10.3.8 Sensor de posición del cigüeñal (CKP)

El sensor CKP es una de las referencias más importantes dentro del sistema de gestión electrónica del motor, ya que permite a la ECU conocer la posición angular del cigüeñal y la velocidad de giro del motor. Esta información es indispensable para sincronizar eventos como la inyección y el encendido, por lo que su participación es esencial en el funcionamiento del sistema. Su salida corresponde a una señal digital pulsante cuya frecuencia aumenta en función de las revoluciones por minuto. En el banco didáctico, su simulación permite estudiar la relación entre frecuencia y RPM, la naturaleza de las

señales de sincronización y la importancia de las referencias de giro en la gestión electrónica del motor.

10.3.9 Sensor de posición del árbol de levas (CMP)

El sensor CMP permite a la ECU identificar la fase de funcionamiento del motor y complementar la información proporcionada por el sensor CKP. Esta referencia resulta necesaria para coordinar con mayor precisión la inyección secuencial y el control del encendido, especialmente en sistemas donde la sincronización entre ambos sensores es determinante. Su salida se representa como una señal digital pulsante, cuya interpretación depende no solo de su forma, sino también de su relación temporal con la señal del cigüeñal. En el banco didáctico, su simulación permite analizar señales sincronizadas, comparar trenes de pulsos y comprender cómo la ECU utiliza referencias combinadas para determinar la fase del motor.

10.3.10 Sensor de temperatura del refrigerante del motor (ECT)

El sensor ECT permite a la ECU conocer la temperatura del refrigerante del motor, variable que influye en estrategias como el enriquecimiento de mezcla en arranque en frío, la corrección del tiempo de inyección, la regulación del ralentí y la activación de ventiladores. Su funcionamiento se basa en un termistor NTC, cuya resistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura, generando una variación de voltaje que puede ser interpretada por la unidad de control. Por ello, su salida corresponde a una señal analógica asociada al comportamiento térmico del motor. En el banco didáctico, su simulación permite estudiar la conversión de una variable térmica en una señal eléctrica y analizar cómo la ECU adapta su estrategia de control en función de la temperatura de operación.

10.3.11 Sensor de temperatura del aire de admisión (IAT)

El sensor IAT permite a la ECU conocer la temperatura del aire que ingresa al sistema de admisión, parámetro que influye en la densidad del aire y, en consecuencia, en el cálculo de combustible y en ciertas correcciones de funcionamiento. Al igual que el ECT, su principio de funcionamiento se basa en un termistor NTC, por lo que genera una señal analógica variable en función de la temperatura. A menor temperatura, la resistencia es mayor y el voltaje interpretado cambia de acuerdo con la configuración del circuito. En el banco didáctico, su simulación permite estudiar variables térmicas aplicadas al sistema de admisión y compararlas con el comportamiento del sensor ECT,

facilitando la comprensión de sensores que comparten principio de funcionamiento, pero actúan sobre magnitudes distintas.

10.3.12 Señal de control de inyección

La señal de inyección representa la orden emitida por la ECU para accionar los inyectores y dosificar el combustible de acuerdo con las condiciones de operación del motor. Aunque no corresponde a un sensor de entrada, se trata de una señal de salida de alta relevancia, ya que refleja directamente la estrategia de control aplicada por la unidad de mando. Su comportamiento es digital pulsante, y el parámetro más importante es el ancho de pulso, debido a que este determina el tiempo de apertura del inyector y, por tanto, la cantidad de combustible suministrada. En el banco didáctico, su simulación permite analizar la relación entre variables como carga, revoluciones, temperatura y demanda de aceleración con la respuesta de la ECU sobre el sistema de combustible.

10.3.13 Sensor de presión de combustible

La señal de presión de combustible permite a la ECU supervisar la presión existente en la línea o riel, asegurando que el sistema de alimentación opere dentro de valores adecuados para una correcta dosificación durante la inyección. Esta variable resulta importante porque influye en el rendimiento, la estabilidad del motor, el arranque y la respuesta del sistema bajo distintas condiciones de carga. Puede representarse mediante una señal analógica variable, normalmente alimentada con 5 V y con salida proporcional a la presión medida. En el banco didáctico, su simulación complementa el análisis del sistema de combustible y permite relacionar esta variable con la señal de inyección y con el funcionamiento general del motor.

10.3.14 Sensor de presión de aceite

La señal de presión de aceite permite monitorear el estado del sistema de lubricación y verificar que el motor opere dentro de condiciones adecuadas de protección mecánica. Una presión insuficiente o fuera de rango puede asociarse a fallas en la bomba, obstrucciones o condiciones anormales de funcionamiento, por lo que esta variable tiene importancia tanto en supervisión como en estrategias de protección. Desde el punto de vista eléctrico, puede representarse mediante una señal analógica proporcional a la presión medida. En el banco didáctico, su simulación amplía el estudio del monitoreo

electrónico del motor más allá de la combustión y la admisión, incorporando variables relacionadas con seguridad, protección y diagnóstico funcional del sistema.

10.3.15 Integración didáctica de la selección

La selección de las señales TPS, APP, MAF, MAP, VSS, CKP, CMP, O2, ECT e IAT, junto con la señal de control de inyección y las variables de presión de combustible y presión de aceite, permite conformar un banco didáctico representativo del sistema de gestión electrónica del motor. Este conjunto integra señales analógicas y digitales con distintos comportamientos eléctricos, facilitando el análisis de voltaje, frecuencia, sincronización y respuesta dinámica.

Desde el punto de vista formativo, esta variedad convierte al sistema en una herramienta útil para la enseñanza de la electrónica automotriz, ya que permite observar e interpretar señales similares a las de un vehículo real en un entorno seguro y controlado. Así, el banco didáctico favorece la comprensión del funcionamiento de la ECU y de la interacción entre sensores, actuadores y variables de operación del motor.

10.4 Elaborar diagramas funcionales y esquemas eléctricos del banco didáctico de simulación

10.4.1 Enfoque de diseño y metodología de diagramación

Para el desarrollo de los diagramas funcionales y esquemas eléctricos del banco didáctico se adoptó una organización modular por bloques, con el propósito de estructurar de forma clara las funciones principales del sistema y facilitar su análisis técnico. Este enfoque permitió dividir el diseño en unidades funcionales definidas, agrupando los elementos electrónicos de acuerdo con su finalidad dentro del sistema y estableciendo con mayor claridad las relaciones de entrada, procesamiento, acondicionamiento, salida y supervisión de señales.

Bajo este criterio, el sistema se estructuró en bloques de alimentación y protección, distribución de energía regulada, control central, generación de señales analógicas, generación de señales digitales, salidas y puntos de prueba, monitoreo interno por osciloscopio, e interfaz HMI con registro de datos. Esta división permitió representar de manera ordenada el funcionamiento general del banco didáctico, desde la gestión de la energía y el control del sistema hasta la generación, visualización y análisis de las señales automotrices simuladas. Asimismo, la organización por bloques facilitó la

elaboración progresiva de los esquemas eléctricos, la identificación de conexiones entre módulos y la comprensión integral de la arquitectura funcional propuesta.

10.4.2 Bloque de alimentación y protección

El bloque de alimentación y protección constituye la etapa inicial del banco didáctico y tiene como función recibir la energía desde la red eléctrica, proteger el sistema frente a fallas básicas de entrada y distribuir una alimentación continua adecuada hacia los distintos módulos electrónicos del proyecto. Para ello, se empleó una entrada de red AC mediante un cable de poder conectado a un jack AC con interruptor y portafusible, seguido de una fuente switching de 12 V / 10 A, encargada de generar el bus principal de corriente continua del sistema.

A partir de esta fuente se definieron dos ramas principales de alimentación regulada. La primera rama corresponde a una salida de 9 V, destinada a la alimentación del Arduino Mega 2560 y del módulo osciloscopio DSO138. Esta tensión permite alimentar la etapa de control y visualización de señales mediante una línea independiente. La segunda rama corresponde a una salida regulada de 5 V, destinada a la alimentación de la pantalla Nextion y de los módulos electrónicos auxiliares, tales como el lector RFID PN532, el módulo microSD, el multiplexor analógico CD74HC4067 y los indicadores luminosos de baja potencia.

Esta distribución permitió separar la alimentación de los módulos de control y visualización respecto a los periféricos de 5 V, mejorando el orden del cableado, facilitando el diagnóstico de fallas y evitando sobrecargar directamente al regulador interno del Arduino. Aunque las ramas poseen tensiones diferentes, todas las etapas comparten una referencia común de tierra, necesaria para garantizar la correcta comunicación entre el Arduino, la pantalla Nextion, los módulos de comunicación, el multiplexor y las señales generadas hacia las borneras y el osciloscopio.

Desde el punto de vista funcional, este bloque proporciona la base energética del banco didáctico, permitiendo alimentar de manera estable los módulos principales del sistema, mantener una distribución ordenada y establecer una referencia eléctrica común para la generación, selección y visualización de señales automotrices simuladas.

Tabla 1.

Materiales utilizados en el bloque de alimentación y protección.

Material	Cantidad	Uso dentro del bloque
Cable de poder para computador	1	Llevar la energía desde la red AC hacia la entrada principal del sistema
Jack AC con portafusible y switch	1	Punto de entrada de energía, encendido general y protección primaria
Fusible de vidrio	1	Protección ante sobrecorriente o cortocircuito en la entrada AC
Fuente switching 12 V / 10 A	1	Conversión de red AC a 12 V DC para el sistema
Módulo reductor de voltaje a 9 V	1	Alimentación del Arduino Mega 2560 y del módulo osciloscopio
Módulo reductor de voltaje a 5 V	1	Alimentación de la pantalla Nextion y módulos electrónicos auxiliares
Cable gemelo flexible #20 AWG	Según necesidad	Distribución de la alimentación principal y ramas de salida
Cableado interno	Según necesidad	Interconexión entre fuente, reguladores, Arduino y módulos
Conectores / borneras	Según necesidad	Unión desmontable entre alimentación, módulos y salidas
Capacitores de filtrado	Según necesidad	Estabilización de tensión y reducción de ruido en líneas reguladas

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.

Conexión general del bloque de alimentación y protección.

Origen	Elemento intermedio	Destino	Descripción de la conexión
Red AC	Cable de poder	Jack AC con switch y portafusible	Entrada principal de energía al banco didáctico
Jack AC	Fusible + switch	Fuente 12 V / 10 A	Protección y control de encendido antes de la conversión AC/DC
Fuente 12 V / 10 A	Módulo reductor a 9 V	Arduino Mega 2560 + módulo osciloscopio	Alimentación de la rama de control principal y monitoreo de señales
Fuente 12 V / 10 A	Módulo reductor a 5 V	Pantalla Nextion	Alimentación de la interfaz HMI
Fuente 12 V / 10 A	Módulo reductor a 5 V	PN532, microSD, CD74HC4067 e indicadores	Alimentación de los módulos auxiliares del sistema
Tierra de fuente	Línea común GND	Arduino, Nextion, módulos, multiplexor y osciloscopio	Referencia eléctrica común para comunicación y medición de señales

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.

Función de cada elemento del bloque de alimentación y protección.

Componente	Función principal	Importancia dentro del sistema
Cable de poder	Conducir la energía desde	Permite la conexión del banco didáctico a

Componente	Función principal	Importancia dentro del sistema
	la red AC	la red eléctrica
Jack AC con switch	Centralizar entrada y encendido	Facilita el control general de alimentación del sistema
Portafusible y fusible	Proteger la entrada del sistema	Reduce el riesgo de daño ante sobrecorriente o cortocircuito
Fuente 12 V / 10 A	Generar el bus principal de corriente continua	Constituye la base energética del banco didáctico
Reductor a 9 V	Ajustar la tensión para Arduino y osciloscopio	Permite alimentar la rama de control y visualización de señales
Reductor a 5 V	Regular la tensión para módulos electrónicos	Garantiza alimentación estable para Nextion, RFID, microSD y multiplexor
Línea GND común	Unificar la referencia eléctrica del sistema	Permite comunicación correcta y mediciones coherentes entre módulos
Cableado interno	Interconectar ramas y módulos	Facilita una distribución ordenada dentro del banco
Conectores y borneras	Permitir conexiones desmontables	Facilitan mantenimiento, pruebas y diagnóstico
Capacitores de filtrado	Estabilizar las líneas de alimentación	Ayudan a reducir ruido eléctrico y variaciones de tensión

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.

Resultado funcional del bloque de alimentación y protección.

Entrada	Proceso	Salida obtenida
----------------	----------------	------------------------

Entrada	Proceso	Salida obtenida
Red AC	Conexión, protección y conversión AC/DC	Bus principal de 12 V DC
12 V DC	Regulación mediante módulo reductor	9 V para Arduino Mega 2560 y módulo osciloscopio
12 V DC	Regulación mediante módulo reductor	5 V para pantalla Nextion y módulos auxiliares
GND de fuente	Distribución común de tierra	Referencia compartida para control, comunicación y medición

Fuente: Elaboración propia.

10.4.3 Bloque de control central

El bloque de control central constituye el núcleo de procesamiento y coordinación del banco didáctico, ya que se encarga de ejecutar la lógica general del sistema, administrar la comunicación con la interfaz HMI, controlar la generación de señales simuladas, seleccionar la señal visualizada en el osciloscopio y gestionar los módulos auxiliares de almacenamiento y acceso. Para esta función se seleccionó el Arduino Mega 2560 R3, debido a que dispone de una arquitectura adecuada para aplicaciones con múltiples periféricos, al contar con 54 pines digitales, 16 entradas analógicas, 4 puertos UART por hardware, salidas PWM y capacidad de comunicación serial mediante programación.

En el montaje final, el Arduino Mega 2560 realiza el control directo de los módulos y señales del sistema mediante cableado interno. Las señales analógicas simuladas se generan mediante salidas PWM del Arduino, las cuales pasan por filtros RC para obtener una señal de voltaje variable aproximada. Las señales digitales, como CKP, CMP y VSS, se generan directamente desde pines digitales programados. Además, el Arduino controla el multiplexor CD74HC4067 mediante líneas digitales de selección, permitiendo escoger qué señal será enviada al módulo osciloscopio para su visualización.

La comunicación con la pantalla Nextion se realiza mediante comunicación serial TTL, permitiendo recibir instrucciones desde la interfaz gráfica y actualizar datos de operación en tiempo real. El lector RFID PN532 y el módulo microSD se integran mediante comunicación SPI por software, utilizando pines digitales definidos en el programa para evitar conflictos entre módulos y permitir una distribución flexible del cableado. El módulo RFID permite habilitar o bloquear el funcionamiento del banco didáctico mediante llaves autorizadas, mientras que la microSD permite registrar datos y eventos del sistema.

Desde el punto de vista funcional, este bloque centraliza la lógica de operación del banco didáctico, ya que coordina la interfaz gráfica, el acceso por RFID, el registro en microSD, la generación de señales analógicas y digitales, la selección de canales mediante multiplexor, el control de indicadores luminosos y la comunicación general entre los módulos del sistema. De esta manera, el Arduino Mega 2560 actúa como unidad principal de procesamiento, control y sincronización del montaje final.

Tabla 5.

Materiales utilizados en el bloque de control central.

Material	Cantidad	Uso dentro del bloque
Arduino Mega 2560 R3	1	Unidad principal de control, procesamiento y generación de señales
Case acrílico para Arduino Mega	1	Protección física y montaje del microcontrolador
Pantalla Nextion 10.1"	1	Interfaz gráfica HMI para control y visualización
Módulo tarjeta microSD Arduino	1	Registro y almacenamiento de datos del sistema
Memoria microSD 32 GB	1	Soporte de almacenamiento para registros
Módulo lector RFID PN532 con tarjeta/llavero	1	Habilitación o bloqueo del sistema mediante UID autorizado

Material	Cantidad	Uso dentro del bloque
Módulo multiplexor CD74HC4067	1	Selección de señales hacia el módulo osciloscopio
Resistencias para filtros RC	Según necesidad	Filtrado de señales PWM generadas por el Arduino
Capacitores para filtros RC	Según necesidad	Suavizado de señales PWM para obtener voltajes variables
LEDs indicadores / buzzer	Según necesidad	Indicación visual y sonora de estados del sistema
Conectores y cableado de interconexión	Varios	Enlace entre Arduino, HMI, módulos, borneras y osciloscopio

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.

Conexión general del bloque de control central.

Origen	Elemento intermedio	Destino	Descripción de la conexión
Rama regulada de 9 V	Entrada de alimentación	Arduino Mega 2560	Alimentación del controlador principal
Rama regulada de 5 V	Alimentación auxiliar	Pantalla Nextion y módulos electrónicos	Alimentación de HMI, RFID, microSD, multiplexor e indicadores
Arduino Mega 2560	UART TTL	Pantalla Nextion	Envío y recepción de datos de interfaz
Arduino	Salidas PWM +	Borneras y multiplexor	Generación de señales

Origen	Elemento intermedio	Destino	Descripción de la conexión
Mega 2560	filtros RC		analógicas simuladas
Arduino Mega 2560	Salidas digitales	Borneras y multiplexor	Generación de señales digitales simuladas
Arduino Mega 2560	Líneas digitales S0, S1, S2, S3 y EN	Multiplexor CD74HC4067	Selección de la señal enviada al osciloscopio
Arduino Mega 2560	SPI por software	Módulo microSD	Registro y lectura de datos
Arduino Mega 2560	SPI por software	Módulo RFID PN532	Lectura de tarjetas y habilitación del sistema
Arduino Mega 2560	Salidas digitales	LEDs y buzzer	Indicación de estados de operación, acceso y fallas
Tierra común	Línea GND compartida	Arduino, Nextion, módulos y osciloscopio	Referencia eléctrica común para comunicación y medición

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.

Función de los elementos del bloque de control central.

Componente	Función principal	Importancia dentro del sistema
Arduino Mega 2560	Ejecutar la lógica principal del banco	Coordina todos los módulos, señales y estados del sistema
Puerto UART	Comunicación serial con la HMI	Permite visualización, configuración y control desde la pantalla
Salidas PWM	Generación de señales	Permiten representar sensores

Componente	Función principal	Importancia dentro del sistema
	analógicas simuladas	automotrices mediante filtros RC
Salidas digitales	Generación de señales pulsantes	Permiten simular señales como CKP, CMP y VSS
SPI por software	Comunicación con microSD y RFID	Permite integrar periféricos sin usar el bus SPI hardware del Arduino
Módulo microSD	Almacenamiento de datos	Registra variables, eventos o información de operación
Módulo RFID PN532	Control de habilitación	Permite restringir o autorizar el uso del banco
Multiplexor CD74HC4067	Selección de señal de monitoreo	Permite enviar una señal específica hacia el osciloscopio
LEDs y buzzer	Indicación de estado	Facilitan la identificación visual y sonora de operación, acceso o error
Case acrílico	Protección mecánica	Mejora la seguridad física y el montaje del controlador

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.

Interfaces controladas desde el bloque de control central.

Interfaz o módulo	Tipo de comunicación / control	Función dentro del proyecto
Pantalla Nextion 10.1"	UART TTL	Interfaz gráfica y táctil del banco didáctico
Módulo microSD	SPI por software	Registro de datos y eventos

Interfaz o módulo	Tipo de comunicación / control	Función dentro del proyecto
RFID PN532	SPI por software	Habilitación del sistema mediante llaves autorizadas
CD74HC4067	Líneas digitales de selección	Selección de señal para visualización en osciloscopio
Filtros RC	Salidas PWM	Conversión aproximada de PWM a voltaje variable
Señales digitales	Pines digitales del Arduino	Simulación de señales pulsantes automotrices
LEDs indicadores	Pines digitales del Arduino	Visualización de estados del sistema
Buzzer	Pin digital del Arduino	Aviso sonoro de eventos o acceso
Borneras de salida	Señales cableadas	Puntos externos de medición de señales simuladas
Osciloscopio DSO138	Señal seleccionada por multiplexor	Visualización de la señal activa

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.

Capacidades relevantes del Arduino Mega dentro del bloque de control central.

Característica	Aplicación en el banco didáctico
54 pines digitales	Conexión simultánea de señales, módulos, LEDs, buzzer y multiplexor
16 entradas analógicas	Disponibilidad para expansión o monitoreo adicional
4 UART por hardware	Comunicación dedicada con la pantalla Nextion y posibles

Característica	Aplicación en el banco didáctico
	periféricos adicionales
Salidas PWM	Generación de señales analógicas simuladas mediante filtros RC
Capacidad de SPI por software	Comunicación independiente con RFID PN532 y módulo microSD
Memoria de programa	Almacenamiento del firmware de control del banco
Frecuencia de operación de 16 MHz	Procesamiento general, sincronización y generación de señales
Compatibilidad con 5 V lógico	Integración directa con módulos electrónicos utilizados en el montaje
Amplia cantidad de pines disponibles	Permite evitar conflictos de conexión entre módulos

Fuente: Elaboración propia.

10.4.4 Bloque de generación de señales analógicas

El bloque de generación de señales analógicas tiene como finalidad reproducir variables eléctricas continuas equivalentes a las que la ECU recibe desde distintos sensores automotrices. En este proyecto, su función es generar señales de voltaje controladas para representar siete variables analógicas del sistema, permitiendo su visualización, medición y análisis como si provinieran de sensores reales.

En la implementación final, la generación de señales analógicas se realiza directamente desde salidas PWM del Arduino Mega 2560. Cada salida PWM se conecta a un filtro RC pasivo, compuesto por una resistencia en serie y un capacitor electrolítico de 100 μ F conectado hacia tierra, con el objetivo de suavizar la señal pulsante y obtener una tensión continua aproximada. Esta solución permite representar de forma didáctica el comportamiento de sensores automotrices analógicos, manteniendo un montaje modular, funcional y adaptable.

Cada señal analógica generada se distribuye hacia dos destinos principales: una salida física por bornera, utilizada como punto de medición externo, y una entrada del multiplexor CD74HC4067, encargado de seleccionar qué señal será enviada al módulo osciloscopio. De esta manera, el usuario puede seleccionar desde la interfaz HMI la variable que desea visualizar, mientras las señales permanecen disponibles en las borneras correspondientes para mediciones con instrumentos externos.

Desde el punto de vista didáctico, este bloque permite relacionar directamente una variable simulada con su correspondiente respuesta en voltaje, facilitando el estudio de señales analógicas automotrices en un entorno controlado. Aunque el filtro RC no reemplaza la precisión de un convertidor digital-analógico dedicado, resulta suficiente para la representación funcional de variables de sensores dentro del banco didáctico, especialmente para visualización, comparación y análisis básico de comportamiento eléctrico.

Tabla 10.

Materiales utilizados en el bloque de generación de señales analógicas.

Material	Cantidad	Uso dentro del bloque
Arduino Mega 2560 R3	1	Generación de señales PWM para representar variables analógicas
Resistencias de 1 k Ω	7	Elemento serie de cada filtro RC
Capacitores electrolíticos de 100 μ F	7	Suavizado de la señal PWM para obtener voltajes variables aproximados
Módulo multiplexor CD74HC4067	1	Selección de la señal enviada hacia el osciloscopio
Borneras de salida	Según necesidad	Puntos externos de conexión y medición de señales
Cableado interno	Según necesidad	Interconexión entre Arduino, filtros RC, borneras y multiplexor

Material	Cantidad	Uso dentro del bloque
Tierra común del sistema	1 línea común	Referencia eléctrica compartida para medición y funcionamiento

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11.

Conexión general del bloque de generación de señales analógicas.

Origen	Elemento intermedio	Destino	Descripción de la conexión
Arduino Mega 2560	Salida PWM	Resistencia de 1 k Ω	Generación de la señal pulsante controlada por programación
Resistencia de 1 k Ω	Nodo de señal	Capacitor electrolítico de 100 μ F hacia GND	Suavizado de la señal PWM para obtener un voltaje variable aproximado
Nodo de señal filtrada	Cableado interno	Bornera de salida	Disponibilidad de la señal para medición externa
Nodo de señal filtrada	Cableado interno	Canal del CD74HC4067	Envío de la señal al multiplexor para selección de visualización
CD74HC4067	Salida común SIG	Módulo osciloscopio	Visualización de la señal seleccionada desde la HMI
GND común	Línea de tierra	Arduino, filtros, multiplexor y osciloscopio	Referencia eléctrica común para todas las señales

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12.

Función de los elementos del bloque de generación de señales analógicas.

Componente	Función principal	Importancia dentro del sistema
Arduino Mega 2560	Generar señales PWM controladas por software	Constituye la base de la simulación de sensores analógicos
Salidas PWM	Producir señales pulsantes con ciclo de trabajo variable	Permiten modificar el nivel de voltaje representado
Resistencias de 1 k Ω	Limitar corriente y formar parte del filtro RC	Permiten construir el filtrado pasivo de cada canal
Capacitores de 100 μ F	Suavizar la señal PWM	Ayudan a obtener una tensión más estable en cada salida
CD74HC4067	Seleccionar una señal entre varios canales	Permite enviar una sola señal al osciloscopio según la selección del usuario
Borneras	Proporcionar puntos de conexión externos	Facilitan medición, pruebas y diagnóstico
Cableado interno	Interconectar las etapas del bloque	Permite integrar Arduino, filtros, borneras y multiplexor
GND común	Establecer referencia eléctrica compartida	Garantiza mediciones correctas y funcionamiento coherente

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13.

Distribución de canales analógicos en el montaje final.

Señal simulada	Pin PWM del Arduino	Filtro aplicado	Canal del multiplexor	Destino
-----------------------	----------------------------	------------------------	------------------------------	----------------

Señal simulada	Pin PWM del Arduino	Filtro aplicado	Canal del multiplexor	Destino
TPS	D2	RC pasivo con 1 k Ω y 100 μ F	C9	Bornera y osciloscopio
APP	D3	RC pasivo con 1 k Ω y 100 μ F	C8	Bornera y osciloscopio
IAT	D4	RC pasivo con 1 k Ω y 100 μ F	C7	Bornera y osciloscopio
ECT	D5	RC pasivo con 1 k Ω y 100 μ F	C5	Bornera y osciloscopio
O ₂	D6	RC pasivo con 1 k Ω y 100 μ F	C4	Bornera y osciloscopio
MAF	D7	RC pasivo con 1 k Ω y 100 μ F	C3	Bornera y osciloscopio
MAP	D8	RC pasivo con 1 k Ω y 100 μ F	C1	Bornera y osciloscopio

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14.

Señales previstas en el bloque de generación de señales analógicas.

Señal simulada	Tipo de señal	Aplicación dentro del banco
TPS	Analógica variable	Simulación de posición de mariposa
MAP	Analógica variable	Simulación de presión en admisión

Señal simulada	Tipo de señal	Aplicación dentro del banco
MAF	Analógica variable	Simulación de flujo de aire
O ₂	Analógica variable	Simulación de mezcla aire-combustible
IAT	Analógica variable	Simulación de temperatura del aire de admisión
ECT	Analógica variable	Simulación de temperatura del refrigerante
APP	Analógica variable	Simulación de posición del pedal del acelerador electrónico

Fuente: Elaboración propia.

10.4.5 Bloque de generación de señales digitales

El bloque de generación de señales digitales tiene como finalidad reproducir señales pulsantes equivalentes a las utilizadas en sistemas electrónicos automotrices para funciones de sincronización, referencia de giro y velocidad. En este proyecto, este bloque se encarga de generar las señales correspondientes a CKP, CMP y VSS, las cuales permiten analizar de forma didáctica el comportamiento temporal de un sistema de gestión electrónica del motor. A diferencia de las señales analógicas, estas señales se interpretan principalmente mediante parámetros como frecuencia, periodo, ciclo de trabajo y sincronización entre pulsos.

En la implementación final, la generación de señales digitales se realiza directamente desde pines digitales del Arduino Mega 2560. Mediante programación, el microcontrolador genera trenes de pulsos que representan el comportamiento de las señales CKP, CMP y VSS. Cada salida digital se conecta a una resistencia en serie de protección antes de distribuirse hacia su respectiva bornera de salida y hacia el módulo multiplexor CD74HC4067. Esta configuración permite disponer de las señales para

medición externa y, al mismo tiempo, seleccionar desde la interfaz HMI cuál de ellas será enviada al módulo osciloscopio.

Desde el punto de vista didáctico, este bloque permite estudiar señales digitales automotrices en un entorno controlado, observando la relación entre frecuencia y revoluciones del motor, la sincronización entre CKP y CMP, y la variación de la frecuencia en función de la velocidad del vehículo. De esta manera, complementa el análisis de señales analógicas y permite una visión más completa del funcionamiento electrónico del motor dentro del banco didáctico.

Tabla 15.

Materiales utilizados en el bloque de generación de señales digitales.

Material	Cantidad	Uso dentro del bloque
Arduino Mega 2560 R3	1	Generación programada de señales digitales pulsantes
Resistencias de 1 k Ω	3	Protección en serie para las salidas CKP, CMP y VSS
Módulo multiplexor CD74HC4067	1	Selección de la señal enviada hacia el osciloscopio
Borneras de salida	Según necesidad	Puntos externos de conexión y medición de señales digitales
Cableado interno	Según necesidad	Interconexión entre Arduino, resistencias, borneras y multiplexor
Tierra común del sistema	1 línea común	Referencia eléctrica compartida para medición y funcionamiento

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16.

Conexión general del bloque de generación de señales digitales.

Origen	Elemento intermedio	Destino	Descripción de la conexión
Arduino Mega 2560	Pin digital programado	Resistencia de 1 k Ω	Generación inicial del tren de pulsos y protección de la salida
Resistencia de 1 k Ω	Nodo de señal digital	Bornera de salida	Disponibilidad de la señal para medición externa
Nodo de señal digital	Cableado interno	Canal del CD74HC4067	Envío de la señal al multiplexor para selección de visualización
CD74HC4067	Salida común SIG	Módulo osciloscopio	Visualización de la señal seleccionada desde la HMI
GND común	Línea de tierra	Arduino, borneras, multiplexor y osciloscopio	Referencia eléctrica común para medición correcta

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17.

Función de los elementos del bloque de generación de señales digitales.

Componente	Función principal	Importancia dentro del sistema
Arduino Mega 2560	Generar señales digitales programadas	Constituye la base de simulación de señales pulsantes automotrices
Pines digitales	Producir trenes de pulsos	Permiten representar señales CKP, CMP y VSS
Resistencias de 1 k Ω	Proteger las salidas del	Limitan corriente y reducen riesgo ante

Componente	Función principal	Importancia dentro del sistema
k Ω	Arduino	conexiones externas
CD74HC4067	Seleccionar una señal entre varios canales	Permite enviar una señal específica hacia el osciloscopio
Borneras	Proporcionar puntos de conexión externos	Facilitan medición, pruebas y diagnóstico
Cableado interno	Transportar las señales generadas	Permite integrar Arduino, borneras y multiplexor
GND común	Establecer referencia eléctrica compartida	Garantiza mediciones correctas y funcionamiento coherente

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18.

Distribución de señales digitales en el montaje final.

Señal simulada	Pin del Arduino	Elemento de protección	Canal del multiplexor	Destino
CKP	D32	Resistencia de 1 k Ω en serie	C0	Bornera y osciloscopio
CMP	D33	Resistencia de 1 k Ω en serie	C2	Bornera y osciloscopio
VSS	D34	Resistencia de 1 k Ω en serie	C6	Bornera y osciloscopio

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19.

Señales previstas en el bloque de generación de señales digitales.

Señal simulada	Tipo de comportamiento	Parámetro principal de análisis	Aplicación dentro del banco
CKP	Pulsante sincronizada	Frecuencia en función de RPM	Simulación de posición y velocidad del cigüeñal
CMP	Pulsante sincronizada	Relación temporal con CKP	Simulación de fase del árbol de levas
VSS	Pulsante variable	Frecuencia proporcional a velocidad	Simulación de velocidad del vehículo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20.

Relación funcional de las señales del bloque de generación de señales digitales.

Señal	Relación con otras variables del sistema	Finalidad didáctica
CKP	Se relaciona con las RPM del motor	Analizar frecuencia, periodo y referencia principal de giro
CMP	Se sincroniza con CKP	Estudiar fase y sincronización del motor
VSS	Se relaciona con la velocidad del vehículo	Comprender la conversión entre velocidad y frecuencia

Fuente: Elaboración propia.

10.4.6 Bloque de salidas, puntos de prueba y monitoreo interno

El bloque de salidas, puntos de prueba y monitoreo interno tiene como función distribuir las señales analógicas y digitales generadas por el Arduino Mega 2560 hacia puntos accesibles de medición y hacia el sistema de visualización interna del banco

didáctico. En el montaje final, las señales no se integran mediante cableado interno, borneras de salida y un módulo multiplexor CD74HC4067.

Cada señal generada se distribuye hacia dos rutas principales. La primera corresponde a las borneras de prueba, donde cada salida cuenta con su señal correspondiente y una referencia común de tierra, permitiendo la medición externa mediante multímetro u osciloscopio. La segunda ruta corresponde al monitoreo interno, donde las señales ingresan a los canales del multiplexor CD74HC4067. Este módulo es controlado por el Arduino mediante líneas digitales de selección, permitiendo enviar una sola señal hacia el módulo osciloscopio DSO138 según la opción seleccionada desde la pantalla Nextion.

Esta configuración permite mantener disponibles todas las señales en borneras externas y, al mismo tiempo, visualizar internamente una señal seleccionada sin necesidad de reconectar cables. Desde el punto de vista didáctico, el bloque facilita el análisis de amplitud, frecuencia, periodo, forma de onda y sincronización de las señales simuladas.

Tabla 21.

Materiales utilizados en el bloque de salidas, puntos de prueba y monitoreo interno.

Material	Cantidad	Uso dentro del bloque
Borneras de dos pines	Varias	Salida física de cada señal y GND común
Módulo CD74HC4067	1	Selección de la señal enviada al osciloscopio
Módulo osciloscopio DSO138	1	Visualización interna de la señal seleccionada
Adaptador BNC a bornera / conexión de señal	1	Enlace entre salida del multiplexor y entrada del osciloscopio
Cableado interno	Según necesidad	Distribución de señales hacia borneras y multiplexor

Material	Cantidad	Uso dentro del bloque
Resistencias de 1 k Ω	Según señales digitales	Protección en salidas digitales
Etiquetado de canales	Según necesidad	Identificación de señales en borneras y selector

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22.

Conexión general del bloque.

Origen	Elemento intermedio	Destino	Descripción
Señales analógicas filtradas	Cableado interno	Borneras de salida	Disponibilidad externa de señales TPS, MAP, MAF, APP, IAT, ECT y O ₂
Señales digitales	Resistencias de 1 k Ω	Borneras de salida	Disponibilidad externa de señales CKP, CMP y VSS
Señales generadas	Canales del CD74HC4067	Multiplexor	Entrada de señales para selección interna
Arduino Mega 2560	Líneas S0, S1, S2, S3 y EN	CD74HC4067	Control del canal seleccionado
CD74HC4067	Salida SIG	DSO138	Envío de la señal seleccionada al osciloscopio interno
GND común	Línea de tierra	Borneras, multiplexor y DSO138	Referencia eléctrica común para medición

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23.

Distribución de señales en borneras y multiplexor.

Señal	Tipo	Bornera externa	Canal del multiplexor	Monitoreo DSO138
CKP	Digital pulsante	Sí	C0	Sí
MAP	Analógica variable	Sí	C1	Sí
CMP	Digital pulsante	Sí	C2	Sí
MAF	Analógica variable	Sí	C3	Sí
O ₂	Analógica variable	Sí	C4	Sí
ECT	Analógica variable	Sí	C5	Sí
VSS	Digital pulsante	Sí	C6	Sí
IAT	Analógica variable	Sí	C7	Sí
APP	Analógica variable	Sí	C8	Sí
TPS	Analógica variable	Sí	C9	Sí

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24.

Función de los elementos del bloque.

Elemento	Función principal	Importancia
Borneras	Permitir conexión externa a cada señal	Facilitan pruebas con multímetro u osciloscopio
CD74HC4067	Seleccionar una señal entre varios canales	Permite visualizar una señal sin reconectar cables
DSO138	Mostrar la forma de onda	Permite monitoreo interno del banco

Elemento	Función principal	Importancia
	seleccionada	
Arduino Mega 2560	Controlar el canal activo del multiplexor	Relaciona la selección desde HMI con la señal visualizada
Cableado interno	Distribuir señales y tierra común	Integra físicamente las salidas del sistema
Etiquetado	Identificar señales y canales	Reduce errores durante prácticas y mediciones

Fuente: Elaboración propia.

10.4.7 Bloque HMI, registro y control de acceso

El bloque HMI, registro y control de acceso tiene como función establecer la interacción entre el usuario y el banco didáctico, permitir el almacenamiento de datos y habilitar el funcionamiento del sistema mediante un método de acceso autorizado. En este proyecto, la interfaz principal está constituida por la pantalla Nextion Intelligent de 10.1 pulgadas, la cual permite visualizar parámetros, modificar variables, seleccionar señales, mostrar estados del sistema y presentar eventos durante la operación del banco didáctico.

La pantalla Nextion se comunica directamente con el Arduino Mega 2560 mediante comunicación UART TTL. A través de esta comunicación, el usuario puede enviar instrucciones desde la interfaz gráfica, como la selección de señales, cambios de parámetros simulados, activación de funciones y visualización de estados. El Arduino interpreta estas instrucciones y ejecuta las acciones correspondientes sobre las salidas PWM, señales digitales, multiplexor, indicadores, registro en microSD y control de acceso.

Para la programación y carga de la interfaz gráfica se emplea la tarjeta Nextion Foca Max USB a TTL, conectada entre la computadora y la pantalla. Además, la pantalla dispone de memoria microSD propia, utilizada para cargar o actualizar el proyecto HMI cuando sea necesario, por lo que se dejó acceso físico a la ranura de memoria para facilitar su extracción y actualización manual.

De forma complementaria, este bloque integra el módulo microSD externo para el registro de datos del sistema y el módulo RFID PN532 para el control de acceso. Ambos módulos son gestionados directamente por el Arduino Mega 2560 mediante comunicación SPI por software, utilizando pines definidos en el programa para evitar conflictos con otros periféricos. El módulo RFID permite habilitar el banco únicamente al detectar llaves autorizadas, mientras que el módulo microSD permite almacenar eventos, registros o datos de funcionamiento.

En la implementación final, estos elementos se integran mediante cableado interno y conectores directos. Esta configuración permitió mantener la funcionalidad del sistema, facilitar pruebas individuales de cada módulo y adaptar el montaje final a una estructura modular. En conjunto, este bloque permite operar el banco didáctico, restringir el acceso, registrar información y mejorar la interacción entre el usuario y el sistema electrónico.

Tabla 25.

Materiales utilizados en el bloque HMI, registro y control de acceso.

Material	Cantidad	Uso dentro del bloque
Pantalla Nextion Intelligent 10.1"	1	Interfaz gráfica principal del banco didáctico
Nextion Foca Max USB a TTL	1	Programación y carga directa del proyecto HMI desde la computadora
Memoria microSD para Nextion	1	Carga o actualización del proyecto HMI mediante la ranura de la pantalla
Batería CR1220	1	Alimentación del RTC interno de la pantalla
Nextion BOX Speaker	1	Reproducción de clics, avisos y sonidos de interfaz
Arduino Mega 2560 R3	1	Gestión de comunicación, control, registro y acceso

Material	Cantidad	Uso dentro del bloque
Módulo tarjeta microSD Arduino	1	Almacenamiento de datos del sistema
Memoria microSD 32 GB	1	Soporte físico para el registro de datos
Módulo lector RFID PN532 con tarjeta/llavero	1	Habilitación y bloqueo del banco didáctico
Cableado interno	Según necesidad	Interconexión entre pantalla, Arduino y módulos auxiliares
Conectores Dupont / Molex / borneras	Según necesidad	Conexión desmontable y organización del cableado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26.

Conexión general del bloque HMI, registro y control de acceso.

Origen	Elemento intermedio	Destino	Descripción de la conexión
Línea regulada de 5 V	Cableado de alimentación	Pantalla Nextion	Alimentación principal de la interfaz HMI
Pantalla Nextion	UART TTL	Arduino Mega 2560	Comunicación bidireccional de datos entre HMI y controlador
Computadora	Nextion Foca Max USB a TTL	Pantalla Nextion	Programación y carga directa del proyecto gráfico
Memoria microSD de Nextion	Ranura interna de pantalla	Pantalla Nextion	Carga o actualización manual del archivo HMI
Batería CR1220	RTC interno	Pantalla Nextion	Mantenimiento de referencia

Origen	Elemento intermedio	Destino	Descripción de la conexión
			temporal de la pantalla
Pantalla Nextion	Conector de audio	Nextion BOX Speaker	Reproducción de sonido desde la interfaz
Arduino Mega 2560	SPI por software	Módulo microSD	Registro y almacenamiento de datos del sistema
Arduino Mega 2560	SPI por software	Módulo RFID PN532	Lectura de llaves autorizadas y control de habilitación
Tierra común	Línea GND compartida	Nextion, Arduino, microSD y PN532	Referencia eléctrica común para comunicación y funcionamiento

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27.

Función de los elementos del bloque HMI, registro y control de acceso.

Componente	Función principal	Importancia dentro del sistema
Pantalla Nextion	Mostrar menús, variables, estados y modos	Permite la interacción directa con el usuario
Comunicación UART TTL	Intercambiar datos entre HMI y Arduino	Hace posible el control y actualización en tiempo real
Nextion Foca Max	Programar y cargar la interfaz gráfica	Permite transferir el proyecto HMI desde la computadora
microSD de Nextion	Cargar o actualizar el proyecto de pantalla	Facilita la actualización manual de la interfaz

Componente	Función principal	Importancia dentro del sistema
RTC con batería CR1220	Mantener referencia temporal	Apoya funciones internas de tiempo de la HMI
Nextion BOX Speaker	Reproducir sonidos y avisos	Mejora la retroalimentación del usuario
Módulo microSD Arduino	Guardar datos del sistema	Permite almacenamiento de variables, eventos o registros
Módulo RFID PN532	Habilitar o bloquear el uso del banco	Añade control de acceso y seguridad básica
Arduino Mega 2560	Coordinar HMI, RFID y microSD	Centraliza la operación del bloque
Cableado interno	Interconectar los módulos	Permite una integración modular

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28.

Funciones disponibles dentro del bloque HMI, registro y control de acceso.

Función	Aplicación dentro del banco	Resultado esperado
Configuración de parámetros	Ajuste de variables simuladas desde la pantalla	Modificación del comportamiento de las señales
Selección de señal para monitoreo	Elección del canal enviado al DSO138	Visualización interna de la señal seleccionada
Visualización de estados	Supervisión del funcionamiento del sistema	Seguimiento del estado operativo del banco
Registro de datos en microSD Arduino	Almacenamiento de eventos y variables	Historial de funcionamiento para análisis posterior

Función	Aplicación dentro del banco	Resultado esperado
Actualización de HMI	Carga del archivo de interfaz en la Nextion	Modificación o mantenimiento del entorno gráfico
Habilitación por RFID	Control de acceso al sistema	Activación o bloqueo según autorización
Reproducción de audio	Emisión de clics, avisos o sonidos	Retroalimentación auditiva durante la operación

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29.

Relación del bloque HMI, registro y control de acceso con el resto del sistema.

Subsistema relacionado	Tipo de interacción	Función dentro del proyecto
Arduino Mega 2560	Comunicación y control directo	Gestión de interfaz, registro, acceso y señales
Nextion Foca Max	Programación de la HMI	Transferencia del proyecto gráfico a la pantalla
Bloque de generación de señales analógicas	Configuración desde HMI	Ajuste de variables simuladas mediante PWM
Bloque de generación de señales digitales	Configuración desde HMI	Control de señales pulsantes como CKP, CMP y VSS
Bloque de monitoreo interno	Selección de señal	Definición del canal mostrado en el DSO138
Sistema de registro	Almacenamiento de información	Conservación de datos de funcionamiento
Sistema RFID	Control de acceso	Gestión de habilitación y

Subsistema relacionado	Tipo de interacción	Función dentro del proyecto
		seguridad básica
Sistema de audio	Reproducción de sonidos de interfaz	Apoyo interactivo durante la operación
Cableado interno	Integración física modular	Unión directa entre Arduino, pantalla y módulos

Fuente: Elaboración propia.

10.5 Selección de los componentes electrónicos y materiales de montaje necesarios para la implementación del sistema

La selección de componentes electrónicos y materiales de montaje se realizó con base en la configuración final del banco didáctico, considerando los requerimientos de alimentación, control, generación de señales analógicas y digitales, monitoreo interno, interfaz HMI, registro de datos, control de acceso y montaje físico del sistema. Para ello, se escogieron elementos compatibles entre sí, de disponibilidad comercial y adecuados para una implementación estable, modular y didáctica.

En la implementación final se priorizó una arquitectura modular basada en el Arduino Mega 2560 como unidad principal de control. Las señales analógicas se generan mediante salidas PWM acondicionadas con filtros RC pasivos, mientras que las señales digitales se generan directamente desde pines digitales del microcontrolador. Además, el sistema integra una pantalla Nextion como interfaz HMI, un módulo RFID PN532 para habilitación de acceso, un módulo microSD para registro de datos, un multiplexor CD74HC4067 para selección de señales y un osciloscopio DSO138 para visualización interna.

Esta selección permitió definir los componentes necesarios para cada bloque funcional, así como los materiales de conexión, protección, alimentación y montaje requeridos para la integración completa del banco didáctico.

10.5.1 Lista de materiales seleccionados

10.5.1.1 Interfaz HMI y visualización

- Pantalla Nextion Intelligent de 10.1".

- Nextion BOX Speaker.
- Nextion Foca Max USB a TTL.
- Pila CR1220.
- Osciloscopio digital DSO138.

10.5.1.2 Control, almacenamiento y acceso

- Arduino Mega 2560 R3 con cable USB.
- Case acrílico para Arduino Mega.
- Módulo para tarjeta microSD.
- Tarjeta microSD 32 GB.
- Módulo lector RFID PN532 con tarjeta y llavero.
- Cableado de interconexión para comunicación UART TTL y SPI por software.

10.5.1.3 Generación de señales analógicas

- Salidas PWM del Arduino Mega 2560.
- Resistencias de 1 k Ω para filtros RC.
- Capacitores electrolíticos de 100 μ F para filtrado de señales PWM.
- Cableado interno para distribución de señales hacia borneras y multiplexor.
- Borneras de salida para señales analógicas.

10.5.1.4 Generación de señales digitales y monitoreo

- Pines digitales del Arduino Mega 2560 para generación de señales CKP, CMP y VSS.
- Resistencias de 1 k Ω en serie para protección de salidas digitales.
- Módulo multiplexor analógico CD74HC4067.
- Cableado interno para conexión de señales digitales hacia borneras y multiplexor.
- Adaptador BNC a bornera para conexión del multiplexor al osciloscopio.

10.5.1.5 Alimentación y protección

- Fuente de alimentación switching de 12 V / 10 A.

- Jack AC con portafusible y switch.
- Módulo regulador step-down XL4015 ajustado a 9 V.
- Módulo regulador step-down XL4015 ajustado a 5 V.
- Cable de poder.
- Cable gemelo flexible para distribución de alimentación.
- Capacitores de filtrado para estabilización de líneas de alimentación, según necesidad.

10.5.1.6 Conexión y montaje

- Caja diseñada en Fusion360 para montaje final.
- Borneras de dos pines.
- Conectores jack DC bornera hembra.
- Conectores plug DC bornera macho.
- Kit de cable siliconado 22 AWG.
- Cable gemelo flexible.
- Cables Molex de dos pines.
- Cables Dupont o conectores de interconexión.
- Termocontraíble o material aislante.
- Láminas translúcidas o acrílico tamaño A4 para protección y visualización.
- Tornillería, separadores y elementos de fijación para módulos.

10.6 Programación de la interfaz HMI en Nextion Editor

10.6.1 Estructura general de programación de la pantalla HMI

La programación de la pantalla Nextion se desarrolló en el entorno Nextion Editor, utilizando páginas, componentes gráficos, variables internas y eventos táctiles. En este proyecto, la pantalla cumple la función de interfaz de usuario, mientras que el Arduino Mega 2560 se encarga del procesamiento principal, la generación de señales y la comunicación serial con la HMI. De esta manera, la pantalla permite visualizar información, modificar parámetros y ejecutar acciones de control dentro del banco didáctico.

La programación se organizó en varios niveles: una configuración general de inicio, la lógica propia de cada página y los eventos de cada componente, como botones, sliders, textos, variables y temporizadores. Esta estructura permitió mantener una interfaz ordenada, donde cada pantalla cumple una función específica y cada componente responde según la acción del usuario. Gracias a ello, fue posible integrar navegación, ajuste de parámetros, selección de señales, visualización de datos y control de funciones del sistema dentro de una sola HMI.

10.6.2 Pantalla de presentación institucional

La primera pantalla de la interfaz HMI fue diseñada como una pantalla de presentación inicial del sistema, con el propósito de identificar visualmente el proyecto antes del ingreso a las funciones operativas del banco didáctico. En esta sección se incorporó el logotipo institucional de la Universidad, el título Proyecto de Titulación, el nombre del sistema Banco Didáctico para Simulación de Sensores Automotrices y el nombre del autor. Con ello, se establece una presentación formal del prototipo y se refuerza su carácter académico e institucional.

Desde el punto de vista de programación, esta pantalla cumple una función de inicio visual y reconocimiento del sistema, ya que puede mostrarse al encender la HMI o al ingresar al proyecto antes de pasar a las páginas de operación. Su diseño es intencionalmente limpio y directo, sin elementos de control ni ajustes, debido a que su objetivo principal no es la interacción del usuario, sino la identificación del equipo, la presentación del proyecto y la introducción a la interfaz general. Además, esta pantalla ayuda a dar una estructura más profesional al sistema, ya que diferencia claramente la etapa de presentación de la etapa funcional.

En términos didácticos y de usabilidad, esta pantalla sirve como punto de referencia inicial para el usuario, permitiendo reconocer el propósito del banco antes de acceder a menús, parámetros y señales simuladas. Por tanto, su implementación aporta orden visual, identidad al proyecto y una mejor organización de la navegación dentro de la interfaz HMI.

Proyecto de Titulación

Banco Didáctico para Simulación de Sensores Automotrices

Elias Jonael Paladines Aguilar

Figura 1.

Pantalla de presentación institucional del banco didáctico.

10.6.3 Pantalla de menú principal

La pantalla de menú principal fue diseñada como el centro de navegación de la interfaz HMI, permitiendo el acceso rápido y ordenado a las funciones más importantes del banco didáctico. En esta pantalla se agruparon los módulos de Osciloscopio, Calibración, Tablero, Averías, Registro de Datos, Monitoreo, Teoría y Ajustes, cada uno representado mediante botones de acceso directo. Esta organización permite que el usuario ingrese de forma inmediata al área de trabajo deseada, mejorando la usabilidad y la estructura general del sistema.

En la parte superior se incorporó una barra de estado con información relevante para la operación del banco. En ella se muestra la identificación institucional, la fecha y hora del sistema y el estado del módulo RFID, indicado como activo. Esta sección cumple una función informativa y de supervisión, ya que permite verificar visualmente si el sistema se encuentra habilitado para su uso y mantener una referencia temporal durante la operación.

Desde el punto de vista funcional, esta pantalla actúa como una página de distribución de acceso, evitando que el usuario deba navegar de forma desordenada entre múltiples pantallas. Cada botón dirige hacia un módulo específico del sistema, permitiendo separar claramente las funciones de simulación, medición, visualización, teoría,

configuración y registro. Por esta razón, el menú principal constituye una de las pantallas más importantes de la HMI, ya que organiza la interacción general del usuario con el banco didáctico y mejora la experiencia de operación.



Figura 2.

Pantalla principal de navegación del banco didáctico.

10.6.4 Pantalla de osciloscopio

La pantalla de osciloscopio fue diseñada para visualizar de forma gráfica las señales generadas por el banco didáctico, permitiendo al usuario analizar su comportamiento en una interfaz similar a la de un instrumento de medición. En la parte izquierda se encuentra la retícula principal, donde se representa la forma de onda de la señal seleccionada, mientras que en los ejes se muestran referencias de escala que facilitan la interpretación visual de amplitud y tiempo.

En la parte derecha se ubicaron los botones de selección de señal, correspondientes a variables como VSS, MAP, MAF, INY, CMP, CKP, O2, TPS, BAT, APP, IAT y ECT. Esta distribución permite elegir de manera directa el canal que se desea observar, haciendo más rápida la navegación dentro del módulo. Además, se incorporaron controles para modificar los parámetros de TIME/DIV y VOLTS/DIV, con el objetivo de ajustar la escala horizontal y vertical de la visualización según la naturaleza de la señal analizada.

Finalmente, en la zona inferior derecha se añadieron las funciones de pausa y borrado, que permiten detener temporalmente la actualización de la gráfica o limpiar la visualización para iniciar una nueva observación. En conjunto, esta pantalla cumple una función fundamental dentro del sistema, ya que permite estudiar señales analógicas y digitales de manera dinámica, reforzando el aprendizaje práctico del análisis de formas de onda en electrónica automotriz.

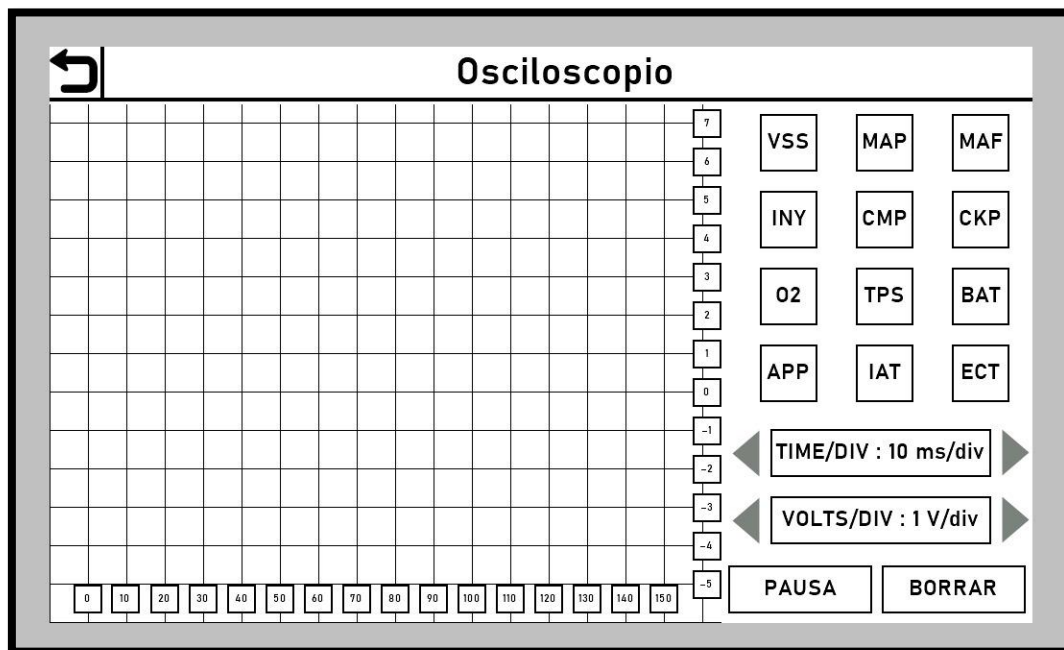


Figura 3.
Pantalla de osciloscopio del banco didáctico.

10.6.5 Pantalla de tablero principal

La pantalla de tablero principal fue diseñada para representar de forma gráfica algunas de las variables más importantes del banco didáctico mediante una interfaz similar a la de un cuadro de instrumentos automotriz. En esta pantalla se visualizan de manera destacada las revoluciones por minuto (RPM) y la velocidad del vehículo (km/h), ambas mostradas mediante indicadores tipo manómetro, lo que permite al usuario interpretar de forma rápida el estado general de funcionamiento del sistema.

De manera complementaria, en los extremos inferiores de la pantalla se incorporaron indicadores adicionales para la presión de combustible y la presión de aceite, con el objetivo de ampliar la representación de variables relacionadas con la operación del motor. Aunque estas variables no constituyen el control principal de esta pantalla, su visualización aporta una referencia adicional de monitoreo y mejora el realismo de la

interfaz.

En la parte central inferior se incluyó el botón Control de Temperatura, el cual permite acceder a una pantalla específica para la supervisión de IAT y ECT. De esta manera, esta interfaz funciona como una pantalla de monitoreo general, agrupando variables principales de operación y facilitando la navegación hacia funciones complementarias del sistema.

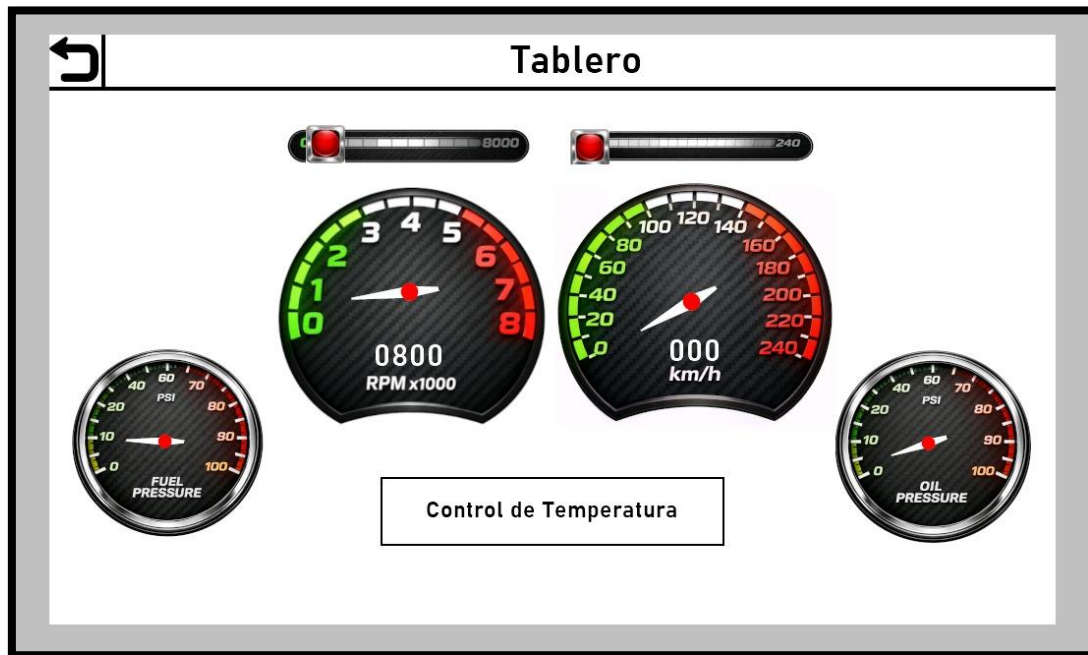


Figura 4.
Pantalla de tablero principal del banco didáctico.

10.6.6 Pantalla de control de temperatura

La pantalla de control de temperatura fue desarrollada para mostrar de forma específica las variables IAT (temperatura del aire de admisión) y ECT (temperatura del refrigerante del motor), empleando dos indicadores gráficos independientes que permiten observar con claridad el comportamiento de cada una. Esta separación facilita la interpretación individual de ambas señales y mejora la comprensión de su función dentro del sistema de gestión electrónica del motor.

Cada indicador presenta una escala visual con zonas de referencia, lo que permite representar de manera intuitiva niveles bajos, normales o altos de temperatura. Además, se muestra el valor numérico asociado a cada variable, reforzando la lectura de la

información y facilitando el seguimiento del cambio de temperatura durante la operación del banco didáctico.

Desde el punto de vista funcional, esta pantalla complementa al tablero principal, ya que permite dedicar un espacio específico al monitoreo de variables térmicas sin sobrecargar la interfaz general. Por ello, su implementación mejora la organización de la HMI y contribuye a una presentación más ordenada de las señales simuladas dentro del sistema.

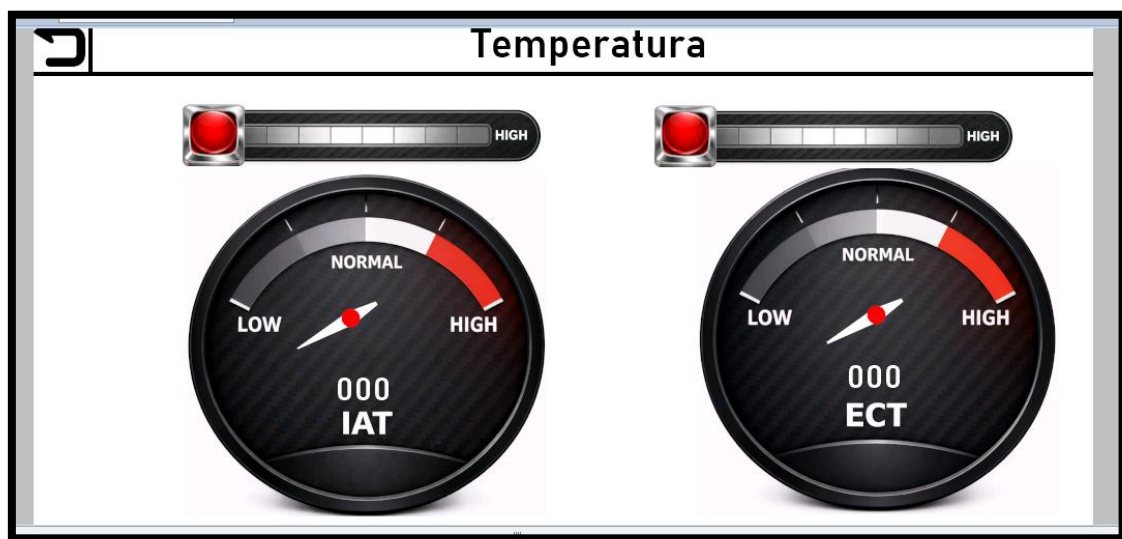


Figura 5.

Pantalla de control de temperatura del banco didáctico.

10.6.7 Pantalla de registro de datos

La pantalla de registro de datos fue diseñada para supervisar y gestionar el almacenamiento de información generada durante la operación del banco didáctico. En esta interfaz se dispone de un área principal de visualización, destinada a mostrar el contenido del registro en tiempo real, permitiendo observar las variables o eventos que el sistema va generando durante su funcionamiento.

En la parte inferior se incorporaron controles básicos de operación, como Iniciar y Pausar, los cuales permiten activar o detener el proceso de registro según la necesidad de la práctica. Además, se incluyó un indicador de estado, que informa la condición actual del sistema, por ejemplo, cuando se encuentra esperando datos o ejecutando el almacenamiento.

También se añadió el botón Historial, cuya función es redirigir al usuario hacia la pantalla de historial de archivos guardados. De esta manera, esta interfaz no solo permite el registro activo de la información, sino que también se conecta con la consulta posterior de datos almacenados, integrando en una misma lógica la captura y revisión de información del sistema.

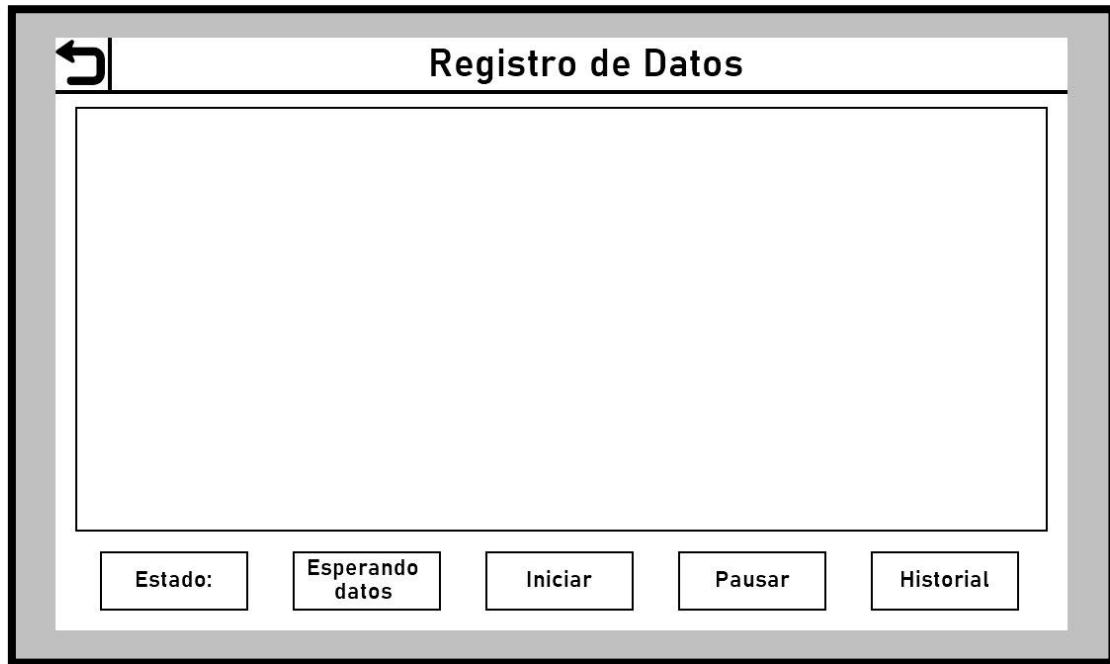


Figura 6.

Pantalla de registro de datos del banco didáctico.

10.6.8 Pantalla de historial de registros

La pantalla de historial fue desarrollada para permitir la consulta y navegación de los archivos de registro previamente almacenados en el sistema. En esta interfaz se muestra una lista de archivos en formato CSV, organizados para que el usuario pueda seleccionar un registro específico y acceder posteriormente a su contenido. Esta función resulta útil para revisar información generada en prácticas anteriores y comparar el comportamiento de distintas variables simuladas.

En la parte superior se incorporaron indicadores de control como el nombre del archivo cargado, el estado del proceso, el número de bloque y la cantidad de registros disponibles, lo que permite al usuario ubicar con mayor claridad la posición de la información dentro del historial. Asimismo, la tabla principal presenta encabezados de

variables como APP, VSS, TPS, MAF, MAP, CMP, CKP, INY, ECT, IAT, O2 y EVENTO, organizando la lectura de los datos almacenados de manera estructurada.

En la parte inferior se añadieron botones de navegación y gestión, como Abrir, Limpiar, Inicio del Registro, Final del Registro, Sigüientes Registros, Anteriores Registros, Anterior Bloque y Sigüiente Bloque. Gracias a estos controles, el usuario puede desplazarse por diferentes conjuntos de datos y revisar el historial de forma ordenada. En conjunto, esta pantalla complementa el módulo de registro de datos, ya que permite pasar del almacenamiento en tiempo real a la revisión posterior de la información generada por el banco didáctico.

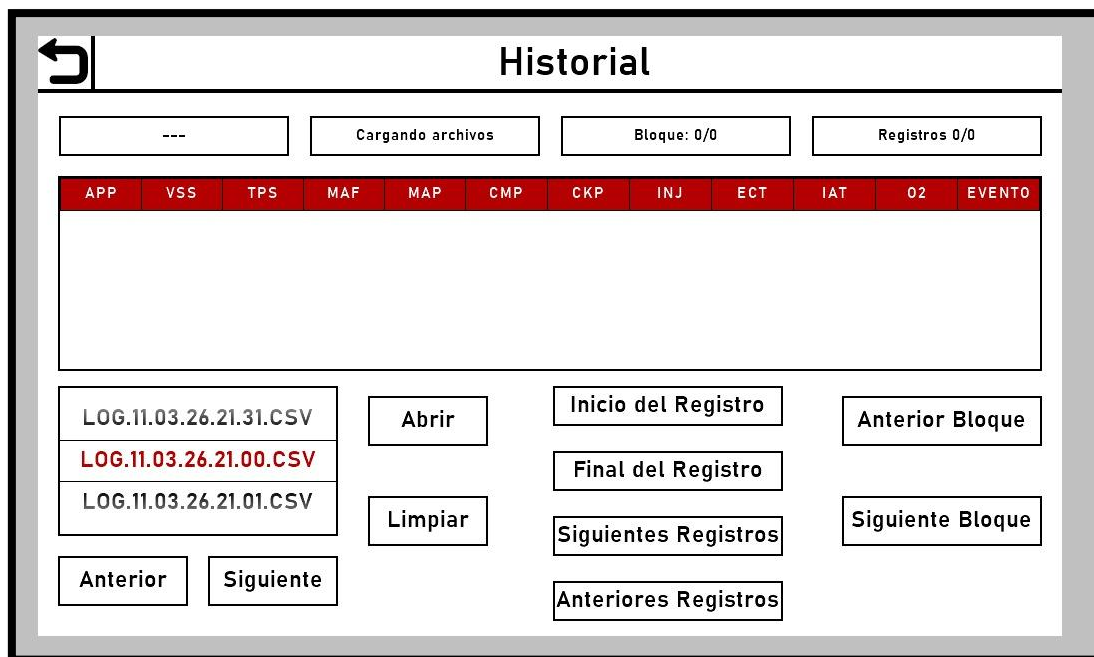


Figura 7.

Pantalla de historial de registros del banco didáctico.

10.6.9 Pantalla de teoría

La pantalla de teoría fue diseñada como un módulo de apoyo académico dentro de la interfaz HMI, con el objetivo de complementar la parte práctica del banco didáctico mediante contenidos conceptuales relacionados con la electrónica automotriz. En esta pantalla se organizaron distintos apartados temáticos, como Fundamentos, Variables, Clasificación, Principios, Señales, Rangos, Sistema, Control, Diagnóstico, Simulación, Fallas y Sensores, permitiendo que el usuario acceda de manera ordenada a información teórica directamente desde la pantalla.

Desde el punto de vista funcional, esta interfaz actúa como un menú de navegación académica, en el que cada botón conduce a una sección específica de contenido. Su implementación permite que el banco didáctico no se limite únicamente a la simulación de señales, sino que también sirva como herramienta de consulta y refuerzo conceptual durante las prácticas. De esta manera, la pantalla de teoría aporta valor didáctico al integrar en una sola plataforma la parte explicativa y la parte experimental del sistema.

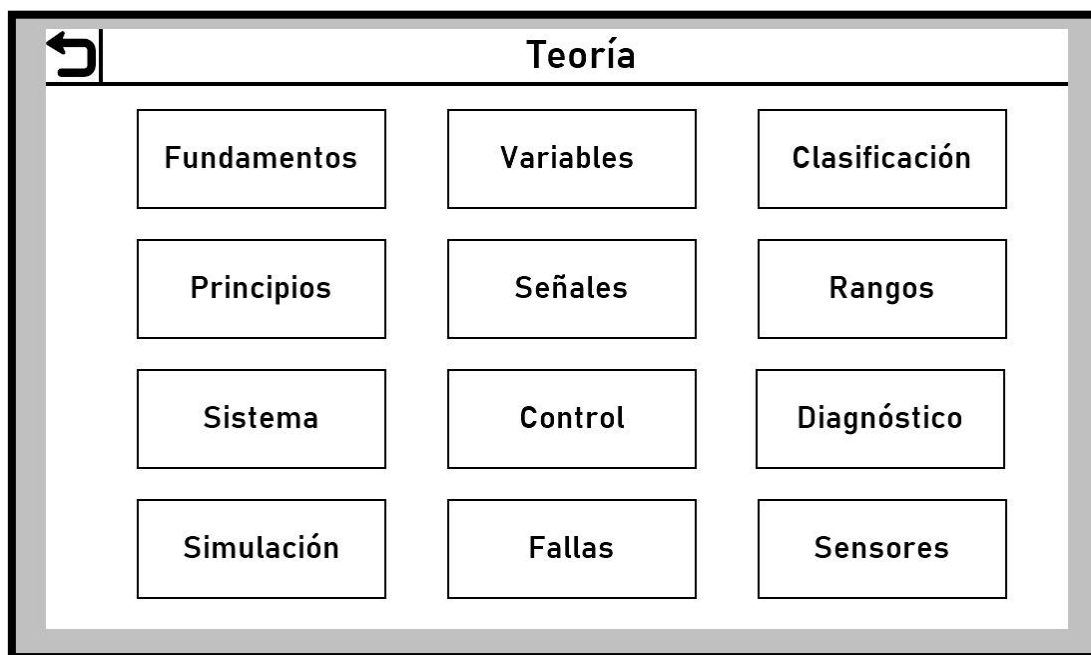


Figura 8.
Pantalla de teoría del banco didáctico.

10.6.10 Pantalla de sensores

La pantalla de sensores fue desarrollada como una subpantalla del módulo teórico, destinada a organizar el acceso individual a la información de cada sensor o variable representada en el banco didáctico. En esta interfaz se incluyeron botones para presión de aceite, presión de combustible, APP, MAP, CMP, VSS, MAF, CKP, IAT, ECT, O2 y TPS, permitiendo que el usuario seleccione de forma directa el elemento que desea consultar.

Esta estructura facilita la navegación y mejora la comprensión del sistema, ya que cada sensor puede abordarse de manera independiente, evitando sobrecargar una sola pantalla con información excesiva. Además, esta organización resulta coherente con la lógica

didáctica del proyecto, porque permite relacionar cada señal simulada con su respectiva explicación teórica dentro de la HMI. En consecuencia, la pantalla de sensores fortalece el uso del banco como herramienta de aprendizaje, integrando la consulta específica de variables automotrices con la experiencia práctica de simulación y monitoreo.

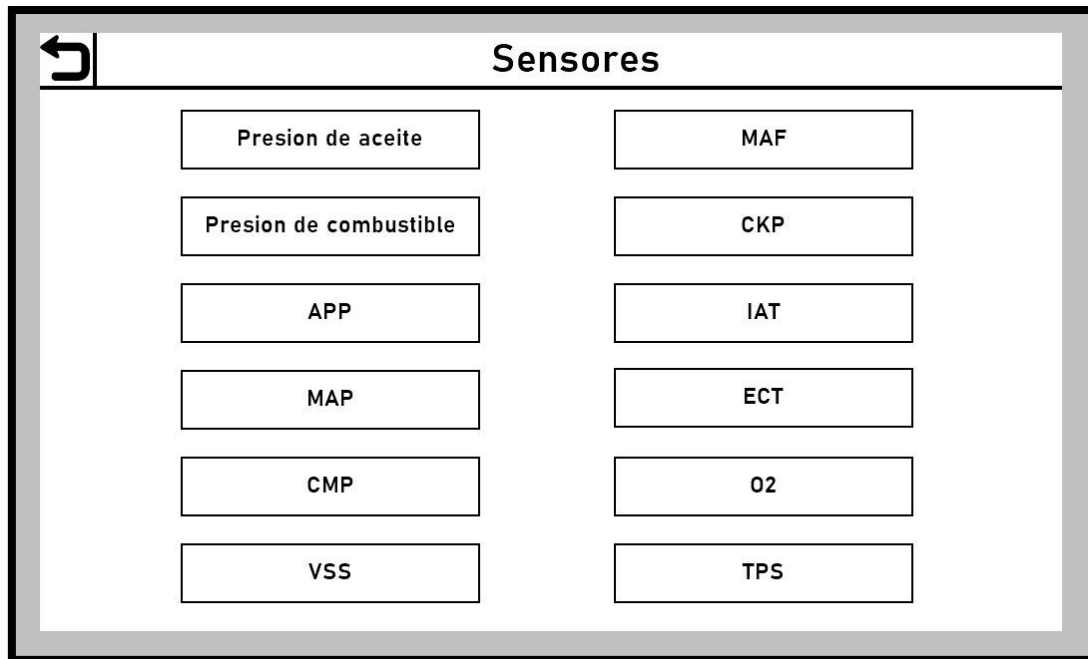


Figura 9.

Pantalla de selección de sensores del módulo teórico.

10.6.11 Pantalla de calibración

La pantalla de calibración fue desarrollada para permitir el ajuste fino de las variables simuladas del banco didáctico, con el fin de modificar su comportamiento dentro de márgenes controlados sin alterar la lógica general del sistema. En esta interfaz se presenta, en la parte izquierda, un listado de señales y variables disponibles para calibración, como O2, presión de aceite, presión de combustible, TPS, MAF, MAP, CMP y CKP, lo que permite seleccionar de manera directa el parámetro que se desea modificar.

En la zona central y superior de la pantalla se muestran los datos principales asociados a la variable elegida, incluyendo el valor base, el nombre del sensor o parámetro, el tipo de ajuste aplicado y una descripción breve de su función dentro del sistema. En el ejemplo presentado, se observa la calibración del TPS, donde se indica que el ajuste corresponde a un offset porcentual, derivado de las RPM del motor y orientado a

corregir pequeñas variaciones sin modificar el comportamiento principal de la simulación.

En la parte inferior se incorporó un control deslizante, mediante el cual el usuario puede variar el ajuste dentro del rango permitido. Asimismo, se añadieron indicadores que muestran el rango disponible, el valor de ajuste actual y el valor final resultante, además de botones de navegación como Anterior, Siguiente y Restablecer. Gracias a esta organización, la pantalla de calibración permite realizar ajustes controlados y comprensibles, reforzando el carácter didáctico del sistema al mostrar de forma clara la relación entre valor base, corrección aplicada y resultado final.

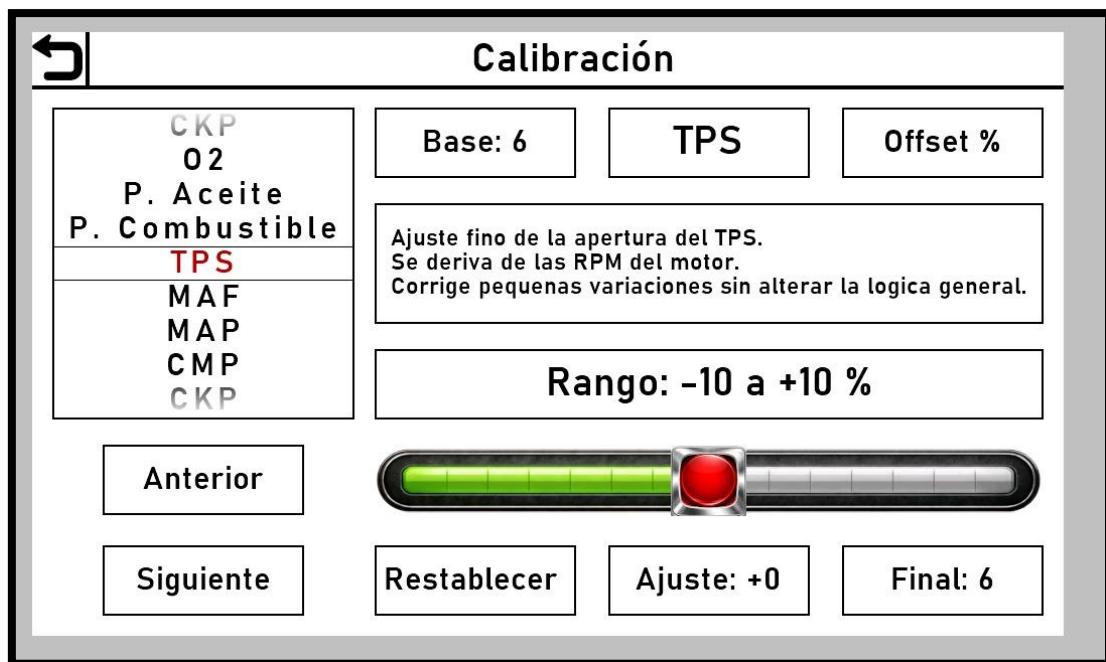


Figura 10.

Pantalla de calibración de sensores y variables del banco didáctico.

10.6.12 Pantalla de averías

La pantalla de averías fue diseñada para simular fallas representativas dentro del sistema de gestión electrónica del motor, con el fin de que el usuario pueda identificar su efecto sobre las variables del banco didáctico y relacionarlas con códigos de diagnóstico automotriz. En esta interfaz se presentan diferentes averías asociadas a sensores y actuadores específicos, como TPS, MAP, MAF, O2, inyector y bomba de combustible, cada una acompañada de un código de falla y una breve descripción de la condición simulada.

Desde el punto de vista funcional, esta pantalla permite activar o consultar fallas que alteran el comportamiento normal de las señales generadas, reproduciendo situaciones similares a las que podrían presentarse en un sistema automotriz real. Por ejemplo, se incluyen casos como señal baja del TPS, señal alta del MAP, ausencia de actividad del sensor O2, falta de pulso de inyector o ausencia de activación de la bomba de combustible. Esto permite que el estudiante no solo observe señales normales, sino también condiciones anómalas útiles para el análisis de diagnóstico.

En términos didácticos, esta pantalla aporta un valor importante al proyecto, ya que integra la simulación de averías con la interpretación de códigos y síntomas asociados. De esta manera, el banco didáctico no se limita al estudio de señales en condiciones ideales, sino que también permite reforzar competencias relacionadas con la detección de fallas, el análisis de comportamiento anormal y la comprensión básica de la lógica de diagnóstico electrónico automotriz.

Averías	
1-TPS	P0122 - Señal baja del TPS. Lectura incorrecta del acelerador.
2-MAP	P0108 - Señal alta del MAP. Error en presión y carga.
3-MAF	P0102 - Señal baja del MAF. Flujo de aire incorrecto.
4-O2	P0134 - Sensor O2 sin actividad. Sin corrección de mezcla.
5-INYECTOR	P0201 - Sin pulso de inyector. Falla de inyección.
6-BOMBA	P0230 - Bomba sin activación. Sin presión de combustible.

Figura 11.

Pantalla de simulación de averías del banco didáctico.

10.6.13 Pantalla de monitoreo

La pantalla de monitoreo fue diseñada para visualizar en tiempo real el comportamiento de las principales variables del banco didáctico, permitiendo al usuario supervisar simultáneamente distintos parámetros del sistema. En esta interfaz se presentan valores

asociados a RPM, km/h, TPS, MAP, ECT, MAF, O2, BAT, presión de combustible, presión de aceite, inyección, VSS, IAT, CMP y CKP, proporcionando una vista general del funcionamiento del prototipo en una sola pantalla.

Cada variable se acompaña de una barra de indicación, cuya función es representar de forma gráfica la magnitud o nivel relativo del parámetro correspondiente. Esta combinación de valor numérico y representación visual facilita la interpretación rápida del estado del sistema, permitiendo identificar cambios de comportamiento sin necesidad de acceder a menús adicionales o a módulos específicos de medición.

En la parte inferior se incorporaron además indicadores de falla y estado del sistema, con mensajes como “Falla: Ninguna” y “Estado: Recibiendo datos”, lo que permite informar si el banco se encuentra operando con normalidad o si existe alguna condición anómala activa. En conjunto, esta pantalla cumple una función central de supervisión, ya que reúne en una sola interfaz el seguimiento de múltiples señales y variables, mejorando la observación global del sistema y reforzando el análisis didáctico del comportamiento electrónico automotriz.

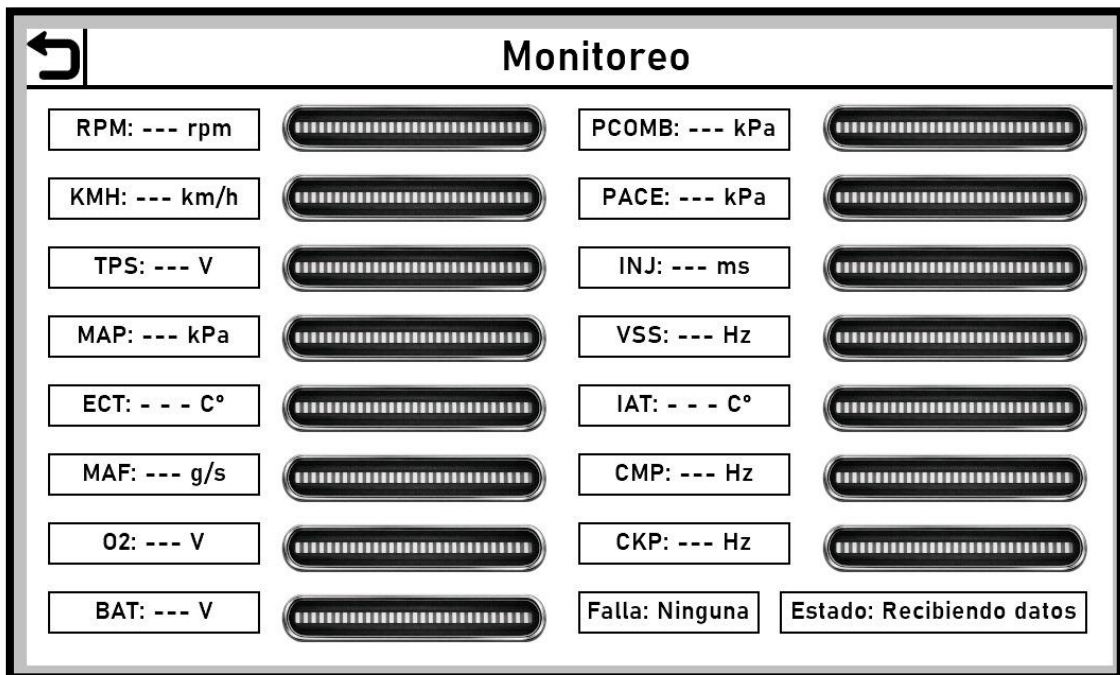


Figura 12.

Pantalla de monitoreo de variables del banco didáctico.

10.6.14 Pantalla de ajustes

La pantalla de ajustes fue diseñada para permitir la configuración de parámetros internos del banco didáctico, los cuales influyen en el comportamiento general de las señales simuladas. En esta interfaz se presenta el parámetro seleccionado, su valor actual, el rango de operación permitido y una breve descripción de su función dentro del sistema. En el ejemplo mostrado, el ajuste corresponde a las RPM de ralentí, con un rango definido entre 700 y 1200 rpm, lo que permite modificar la velocidad mínima estable del motor en reposo.

En la parte central se incorporó un control deslizante, mediante el cual el usuario puede variar el valor del parámetro seleccionado dentro del rango permitido. Además, se muestran indicadores como el valor configurado y el estado del sistema, en este caso “Estado: Listo”, con el fin de informar si la configuración puede ser modificada o aplicada sin inconvenientes.

A la derecha se dispusieron accesos a diferentes grupos de configuración, como Base Motor, Aire/Carga, Inyección, Relaciones, Modos y Auto Test, lo que permite organizar los ajustes por categorías y mejorar la navegación dentro de la interfaz. Finalmente, en la parte inferior se añadieron botones de operación como Anterior, Siguiente, Aplicar y Reset, con los cuales se puede recorrer los parámetros, confirmar cambios realizados o restablecer valores predeterminados. En conjunto, esta pantalla cumple una función importante dentro de la HMI, ya que permite adaptar el comportamiento del banco didáctico de forma controlada y ordenada según los requerimientos de uso o práctica.

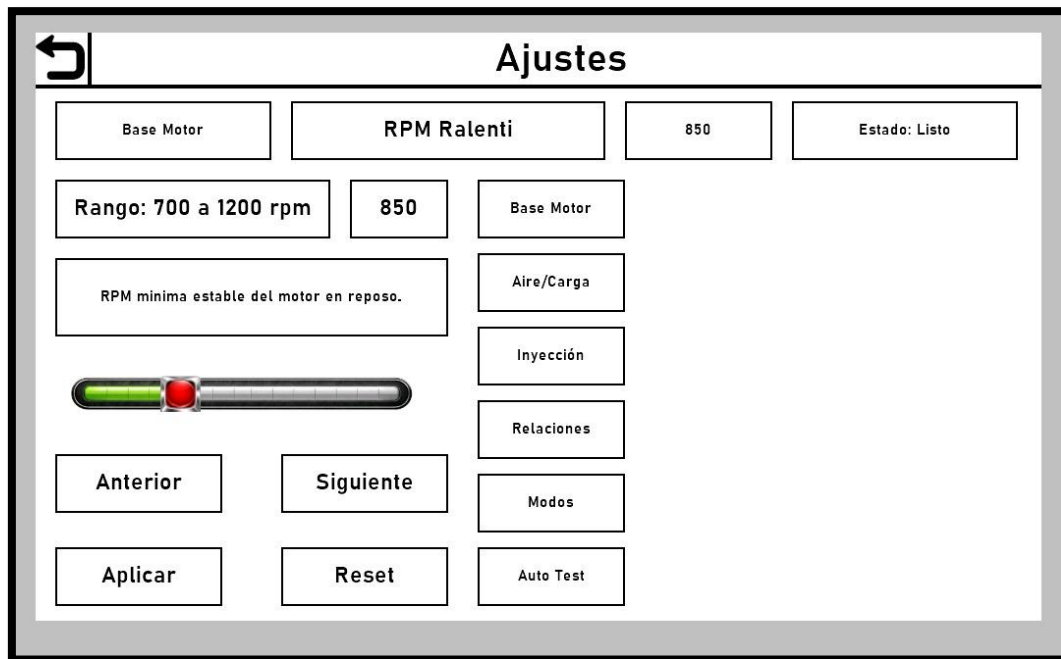


Figura 13.

Pantalla de ajustes del banco didáctico.

10.6.15 Pantalla de configuración

La pantalla de configuración fue diseñada para reunir los ajustes generales de la interfaz HMI y presentar información técnica útil para el usuario durante la operación del banco didáctico. En esta pantalla se incorporaron controles para modificar el nivel de brillo de la pantalla mediante botones de incremento y decremento, además de una opción de suspensión, con el fin de adaptar la visualización a diferentes condiciones de uso y optimizar la operación del sistema.

En la parte central izquierda se ubicaron las opciones de personalización visual para los módulos de osciloscopio y registro de datos, permitiendo seleccionar distintos estilos de color, como Predeterminado, Negro/Blanco, Negro/Verde y Azul/Blanco. Esta función mejora la flexibilidad de la interfaz, ya que permite ajustar la apariencia gráfica según la preferencia del usuario o las condiciones de visualización durante la práctica.

A la derecha de la pantalla se añadió un bloque informativo con datos técnicos de la pantalla Nextion Intelligent de 10.1 pulgadas, incluyendo alimentación recomendada, tipo de comunicación y rango de velocidad serial. Asimismo, se incluyó un apartado con las unidades de medida de las variables simuladas, como RPM, km/h, VSS, TPS, MAP, MAF, O2, INY, CKP, CMP, ECT, IAT y APP. De esta manera, esta pantalla no

solo cumple una función de ajuste y personalización, sino también de apoyo informativo, reforzando el uso didáctico del sistema y facilitando la interpretación correcta de los parámetros visualizados.

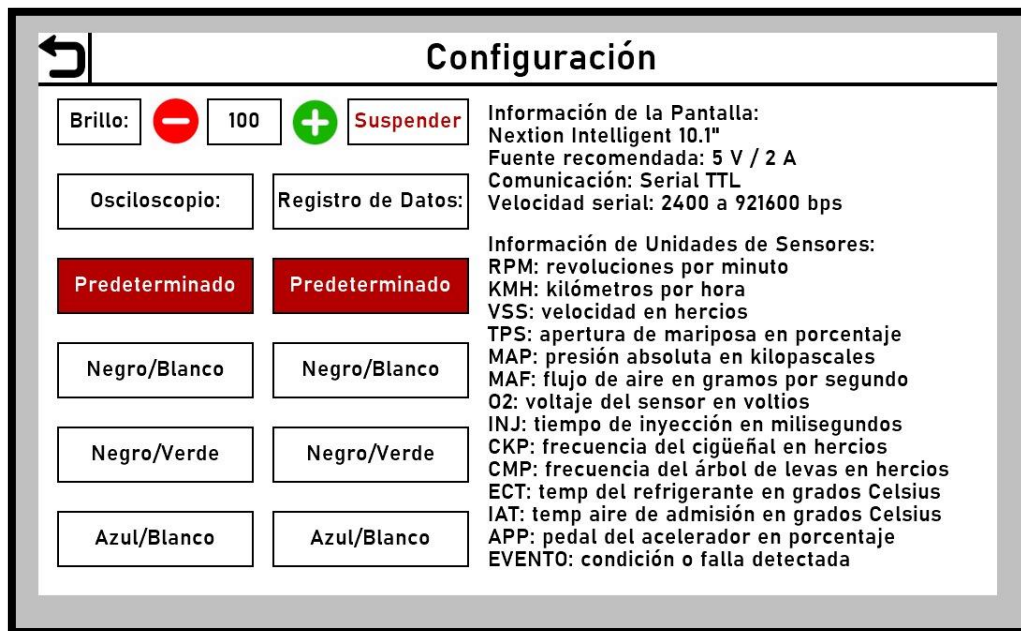


Figura 14.

Pantalla de configuración general del banco didáctico.

10.7 Programación del Arduino MEGA2560

La programación del Arduino Mega 2560 se desarrolló en PlatformIO, utilizando el framework de Arduino y una estructura modular para organizar mejor cada función del sistema. El objetivo principal del programa fue controlar el banco didáctico, generar señales automotrices analógicas y digitales, comunicarse con la pantalla Nextion, mostrar las señales en la interfaz tipo osciloscopio y guardar registros en una memoria microSD.

El uso del Arduino Mega 2560 fue adecuado para este proyecto porque ofrece suficientes entradas y salidas, varios puertos seriales por hardware y comunicación SPI, lo que permitió integrar en una sola tarjeta todos los módulos principales del sistema.

10.7.1 Estructura general del programa

El firmware fue organizado en varios archivos para separar las funciones del sistema y facilitar su programación, prueba y mantenimiento. Entre los módulos principales se encuentran:

- archivo principal del sistema
- comunicación con la pantalla Nextion
- generación de señales analógicas
- generación de señales digitales
- monitoreo del osciloscopio
- gestión del registro de datos
- manejo del estado general del sistema

Esta división permitió que cada parte del banco trabajara de forma ordenada, evitando que todo el programa quedara concentrado en un solo archivo. Además, hizo más fácil detectar errores y corregir funciones específicas durante el desarrollo.

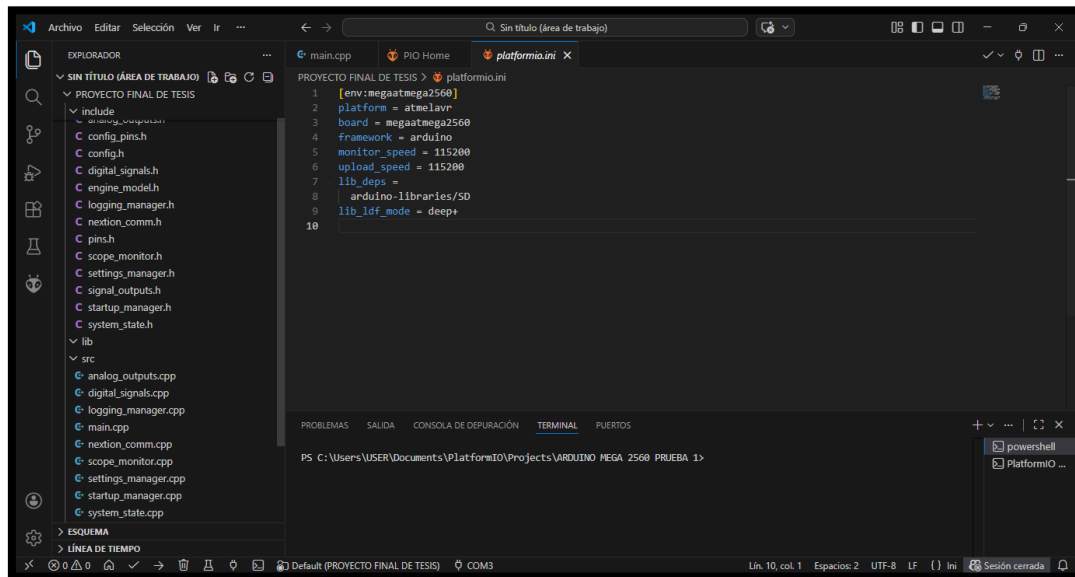


Figura 15.

Estructura general del proyecto en PlatformIO.

10.7.2 Inicialización del sistema

Al encender el equipo, el programa configura inicialmente los pines necesarios para el funcionamiento general del banco didáctico. En esta etapa se declaran las salidas PWM utilizadas para la generación de señales analógicas, las salidas digitales destinadas a las señales CKP, CMP y VSS, los pines de control del multiplexor CD74HC4067, los indicadores luminosos, el buzzer y las líneas de comunicación con los módulos externos.

También se inicializa la comunicación serial de depuración y la comunicación UART TTL con la pantalla Nextion, permitiendo el intercambio de datos entre la interfaz HMI y el Arduino Mega 2560. Además, se configuran las líneas de comunicación SPI por software utilizadas para el módulo RFID PN532 y el módulo microSD, evitando el uso del bus SPI por hardware y permitiendo una distribución más flexible del cableado dentro del montaje final.

Durante esta etapa se establecen los valores iniciales del sistema, como las RPM, el porcentaje de aceleración, la velocidad simulada y los valores base de las señales analógicas y digitales. De esta manera, el banco didáctico inicia con un estado definido, estable y controlado antes de permitir la operación del usuario.

Dentro de la inicialización se contempla el uso del módulo RFID como sistema de habilitación. Al arrancar, el banco permanece en espera de una tarjeta o llavero autorizado. Si el UID leído coincide con uno de los códigos registrados en el programa, el sistema habilita sus funciones principales y permite continuar con la operación del banco. En caso contrario, el acceso permanece bloqueado. Esta validación se realiza al inicio del funcionamiento, por lo que no se requiere una lectura continua del RFID durante toda la operación.

Una vez validado el acceso, el programa inicializa el módulo microSD para permitir el registro de datos y eventos del sistema. Esta secuencia permite priorizar primero la habilitación por RFID y posteriormente activar el almacenamiento, reduciendo posibles conflictos de comunicación entre módulos y asegurando un arranque más ordenado del sistema.

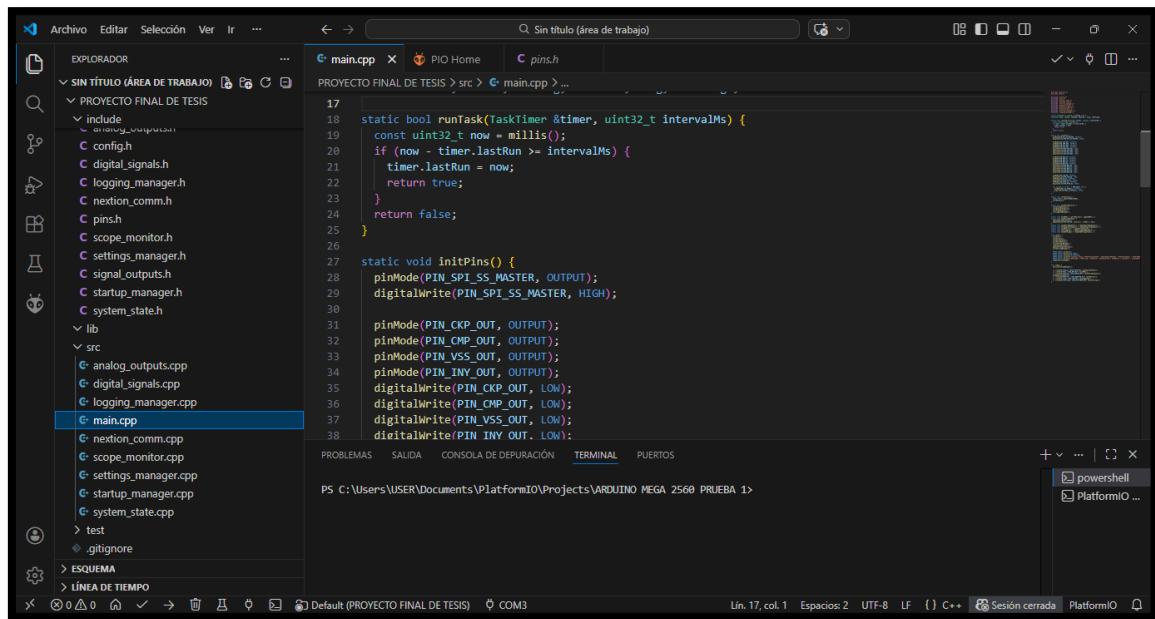


Figura 16.

Inicialización de pines, puertos seriales y periféricos del sistema.

10.7.3 Ejecución por tareas periódicas

El programa fue diseñado con una lógica de ejecución por tareas periódicas, donde las funciones principales no se ejecutan todas al mismo tiempo, sino en intervalos definidos dentro del ciclo principal del Arduino. Esto permite que el sistema trabaje de forma más ordenada y estable.

Entre las tareas principales se encuentran la actualización de variables del sistema, la comunicación con la pantalla Nextion, la generación de señales analógicas mediante PWM, la generación de señales digitales CKP, CMP y VSS, el control del multiplexor, la actualización de indicadores y el registro de datos en la memoria microSD.

Las señales digitales se actualizan de forma continua para mantener su frecuencia y forma de onda, mientras que otras funciones, como la comunicación con la HMI o el registro en microSD, se ejecutan en intervalos más amplios. Esta organización evita bloqueos en el programa y permite que el banco didáctico responda correctamente durante su funcionamiento.

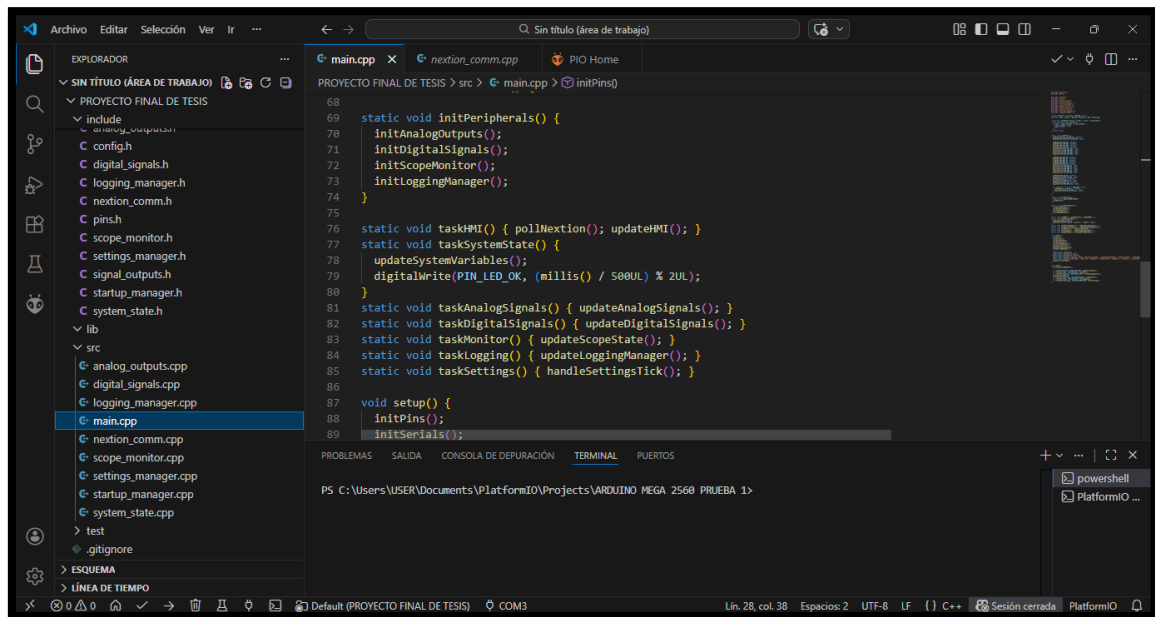


Figura 17.

Ejecución del firmware mediante tareas temporizadas.

10.7.4 Variables principales del sistema

Para controlar el banco didáctico se definieron variables principales encargadas de almacenar el estado general del sistema, los parámetros de simulación, la señal seleccionada para visualización y los datos enviados o recibidos desde la interfaz HMI.

En estas variables se guardan valores como las revoluciones por minuto, el porcentaje de aceleración, la velocidad simulada del vehículo, los voltajes representados en las señales analógicas, las frecuencias de las señales CKP, CMP y VSS, el tiempo de inyección, los ajustes de calibración, el estado de fallas simuladas y la señal activa enviada al osciloscopio mediante el multiplexor.

También se consideran variables de estado para el control de acceso mediante RFID, el registro de datos en la microSD, los indicadores luminosos y la comunicación con la pantalla Nextion. De esta manera, el programa mantiene organizada la información necesaria para coordinar la generación de señales, la visualización, el monitoreo y el almacenamiento de datos.

Esta estructura permitió centralizar los datos del sistema, evitando que cada bloque trabaje de forma independiente. Así, la simulación, la HMI, el multiplexor, las salidas de señal y el registro en microSD utilizan la misma información de referencia durante el funcionamiento del banco didáctico.

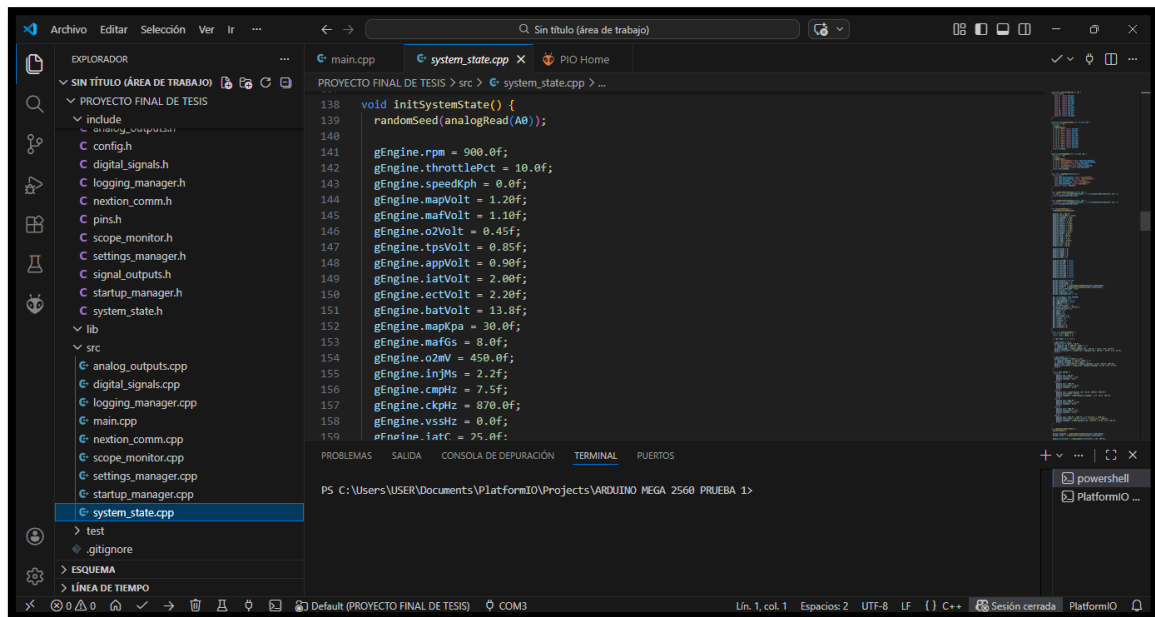


Figura 18.

Definición e inicialización de las variables principales del sistema.

10.7.5 Simulación de variables del motor

El firmware no solo genera señales de salida, sino que también calcula el comportamiento general del motor simulado a partir de la relación entre distintas variables del sistema. Para ello, utiliza parámetros como las RPM, el porcentaje de aceleración y la velocidad del vehículo, a partir de los cuales se actualizan las señales analógicas y digitales del banco didáctico.

Entre las variables calculadas se encuentran la presión MAP, el flujo de aire MAF, las temperaturas IAT y ECT, la frecuencia de las señales CKP, CMP y VSS, el tiempo de inyección y otros valores de referencia mostrados en la HMI.

Estas relaciones permiten que las señales generadas mantengan coherencia entre sí. Por ejemplo, cuando aumenta el porcentaje de aceleración o las RPM, también varían las señales asociadas al comportamiento del motor, como MAP, MAF, frecuencia CKP y tiempo de inyección. De esta manera, el banco didáctico representa de forma funcional y didáctica diferentes condiciones de operación del sistema automotriz.

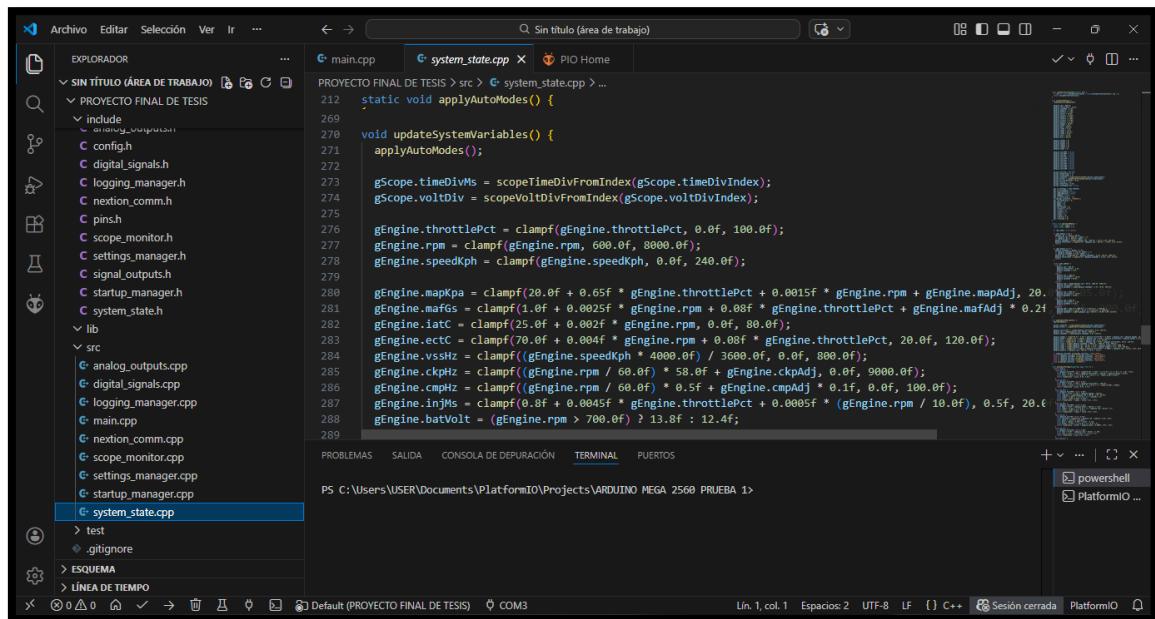


Figura 19.

Cálculo de variables del motor simulado.

10.7.6 Generación de señales analógicas

Uno de los bloques más importantes del programa corresponde a la generación de señales analógicas simuladas. En el montaje final no se emplearon convertidores digital-analógico externos ni comunicación SPI para este bloque; en su lugar, las señales se generan directamente desde salidas PWM del Arduino Mega 2560.

El sistema implementa 7 canales analógicos activos, correspondientes a:

- MAP
- MAF
- O2
- TPS
- APP
- IAT
- ECT

Cada una de estas señales es calculada dentro del programa según las variables del motor simulado, como RPM, aceleración, temperatura y velocidad. Luego, el Arduino entrega una señal PWM con un ciclo de trabajo proporcional al valor calculado. Esta

señal pasa por un filtro RC pasivo, formado por una resistencia de 1 k Ω y un capacitor electrolítico de 100 μ F, obteniendo así un voltaje variable aproximado para representar el comportamiento de cada sensor.

De esta manera, el Arduino no entrega una señal analógica pura, sino una señal PWM filtrada que permite obtener niveles de voltaje útiles para fines didácticos y de visualización. Las salidas analógicas se distribuyen hacia las borneras de prueba y también hacia el multiplexor CD74HC4067, permitiendo seleccionar desde la pantalla HMI qué señal será enviada al osciloscopio.

Además, algunas señales pueden incorporar pequeñas variaciones programadas para representar cambios dinámicos del motor simulado. Esto permite que las formas de onda no permanezcan completamente estáticas y se comporten de manera más cercana a una condición real de funcionamiento automotriz.

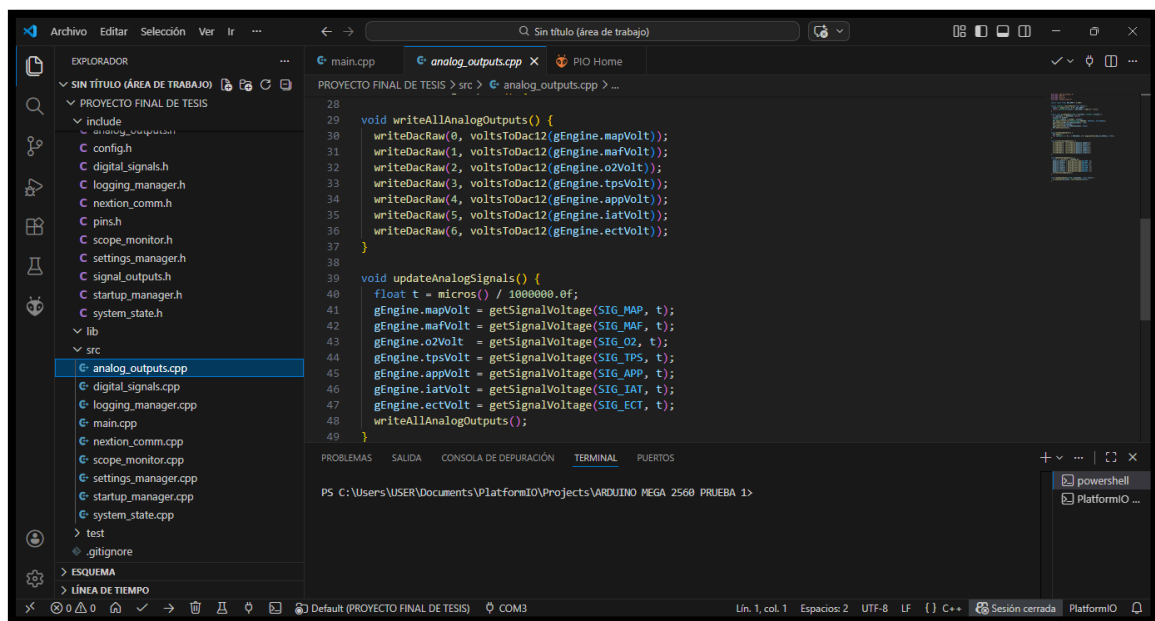


Figura 20.
Generación de señales analógicas mediante salidas PWM y filtros RC.

10.7.7 Generación de señales digitales

Además de las señales analógicas, el programa genera señales digitales pulsantes utilizadas para representar señales automotrices de referencia y sincronización. En el montaje final se implementaron como salidas digitales físicas las señales CKP, CMP y VSS, generadas directamente desde pines digitales del Arduino Mega 2560.

Estas señales cambian según las condiciones simuladas del sistema. Por ejemplo, la

frecuencia de CKP varía de acuerdo con las RPM del motor, la señal CMP mantiene una relación de sincronización con CKP y la señal VSS modifica su frecuencia según la velocidad simulada del vehículo. De esta manera, el banco permite representar señales de tipo pulsante comunes en sistemas de control electrónico automotriz.

Cada salida digital se conecta mediante una resistencia de 1 kΩ en serie como protección, antes de dirigirse hacia su respectiva bornera y hacia el multiplexor CD74HC4067. A diferencia de las señales analógicas, estas salidas no utilizan capacitor de filtrado, ya que deben conservar su forma de onda cuadrada para poder ser visualizadas correctamente en el osciloscopio.

La señal de inyección se mantiene como una variable calculada dentro del firmware, relacionada con el tiempo de inyección del motor simulado. Sin embargo, en el montaje final no se considera como una salida física independiente, ya que el sistema prioriza las tres señales digitales principales: CKP, CMP y VSS.

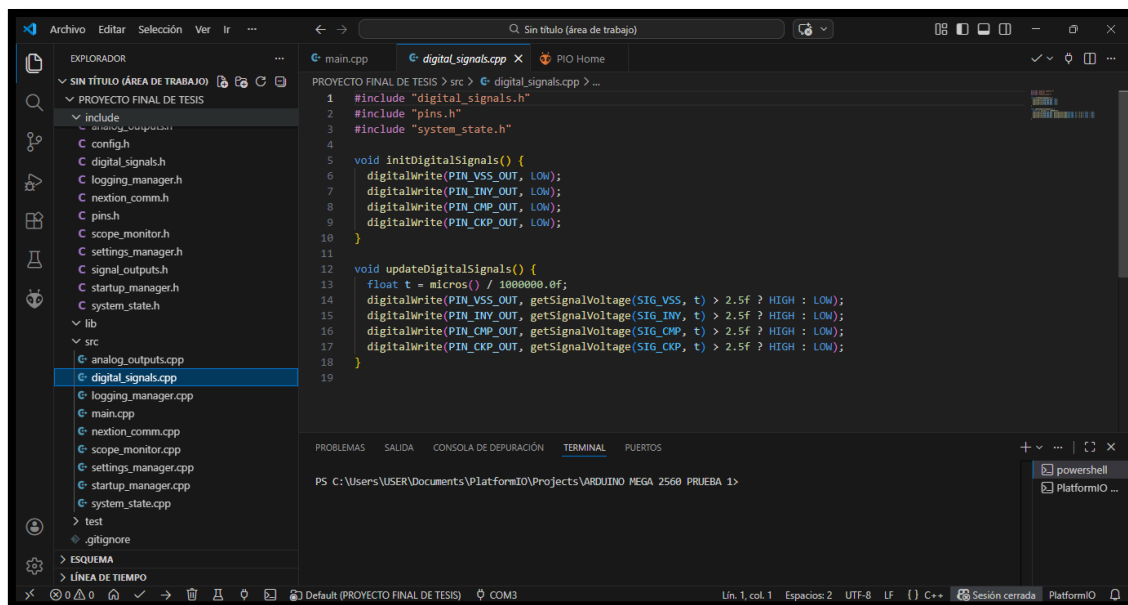


Figura 21.
Generación de señales digitales del sistema.

10.7.8 Comunicación con la pantalla Nextion

La comunicación con la pantalla Nextion se realizó mediante el puerto Serial2 del Arduino Mega a 115200 baudios. A través de esta comunicación, el programa puede enviar datos a la HMI y también recibir comandos desde la pantalla.

Desde el Arduino se actualizan textos, valores numéricos, barras de progreso y la

gráfica del osciloscopio. Al mismo tiempo, la pantalla puede enviar instrucciones para cambiar de página, seleccionar señales, modificar divisiones de tiempo y voltaje, activar registros y cambiar parámetros de calibración.

Gracias a esta comunicación bidireccional, la pantalla actúa como interfaz principal del usuario y permite controlar visualmente las funciones del banco.

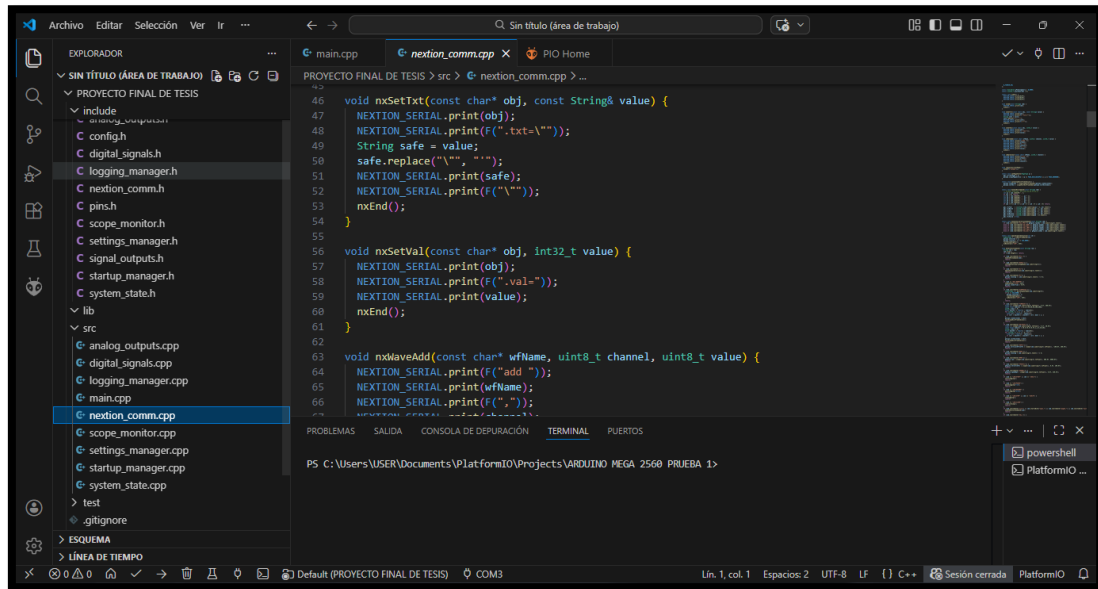


Figura 22.
Rutinas de comunicación serial entre Arduino Mega y pantalla Nextion.

10.7.9 Monitoreo tipo osciloscopio

El sistema también incorpora una visualización tipo osciloscopio en la pantalla Nextion. Para esto, el programa toma la señal seleccionada, calcula muestras periódicas y las dibuja en el componente gráfico de la HMI.

Además, se utiliza un multiplexor para seleccionar cuál señal se desea monitorear dentro del sistema. Esto permite cambiar entre diferentes señales sin modificar físicamente el cableado interno del banco.

Con esta función, el usuario puede observar en pantalla el comportamiento de la señal seleccionada, ajustar divisiones de tiempo y voltaje y visualizar mejor el funcionamiento de sensores y actuadores.

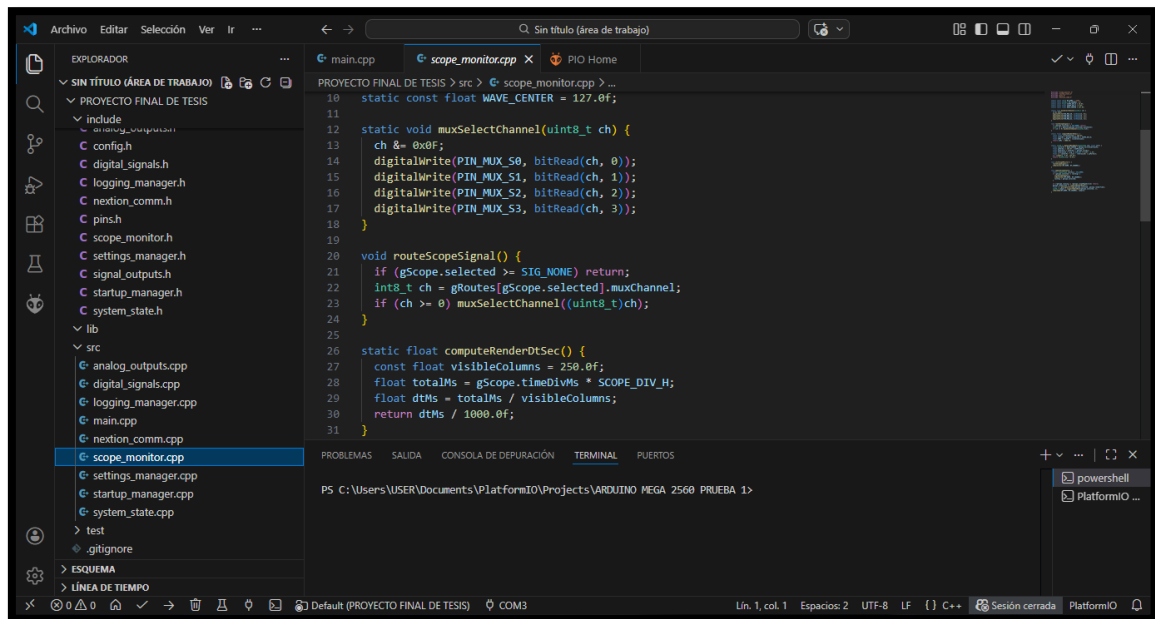


Figura 23.

Selección de señal y representación tipo osciloscopio en la HMI.

10.7.10 Registro de datos en memoria microSD

El programa incluye una función de registro de datos para almacenar información en archivos con formato CSV dentro de una memoria microSD. Cada archivo guarda variables relevantes del sistema, como valores de sensores, frecuencias, tiempos de inyección y estado de fallas.

También se implementó una vista de historial para listar archivos guardados, abrir registros y mostrar los datos más recientes en pantalla. Esta parte del sistema resulta útil para guardar evidencia de funcionamiento, realizar análisis posteriores y comparar resultados durante las prácticas.

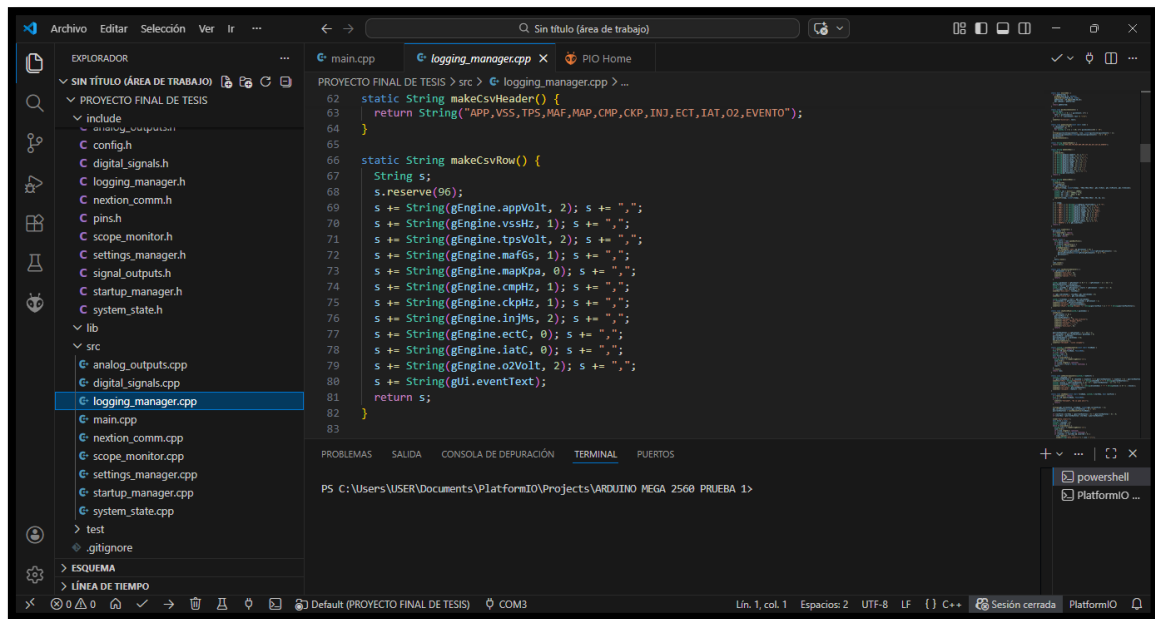


Figura 24.

Registro de variables en archivos CSV sobre memoria microSD.

10.7.11 Ajustes y calibración

El firmware permite modificar ciertos parámetros de calibración desde la interfaz. Entre los ajustes que se pueden variar están los relacionados con TPS, MAP, MAF, CMP, CKP y O2.

Estos ajustes permiten afinar el comportamiento de las señales para adaptarlas al objetivo didáctico del banco o corregir pequeñas variaciones en la simulación. De esta manera, el sistema no queda fijo, sino que puede adaptarse a diferentes pruebas o condiciones de trabajo.

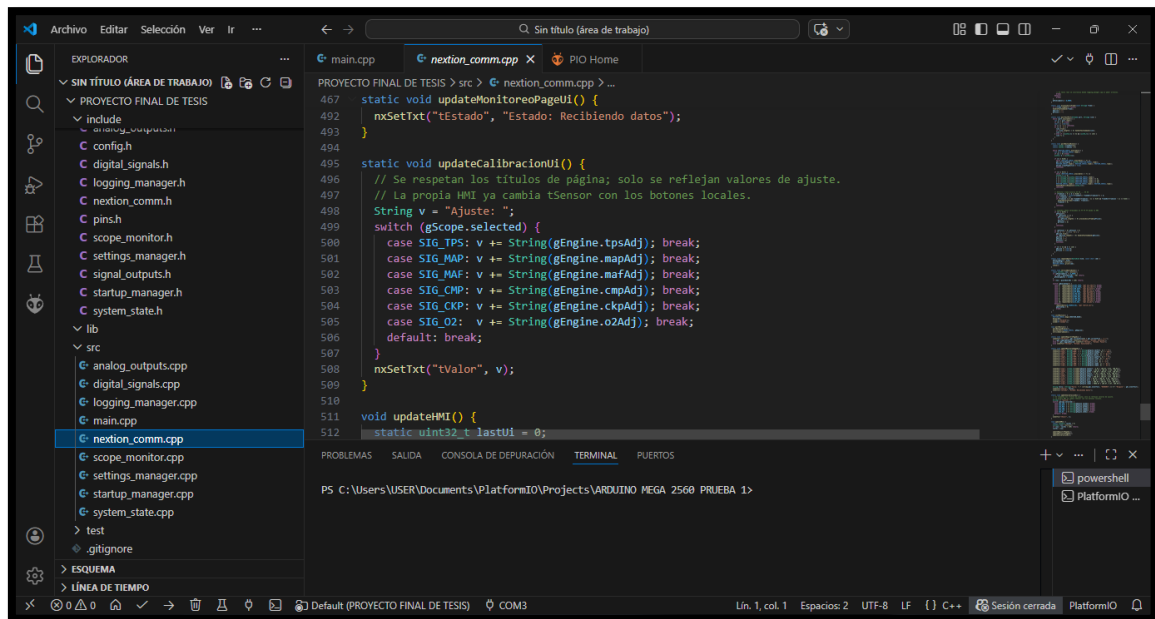


Figura 25.

Lectura y visualización de parámetros de calibración.

10.7.12 Modo automático de operación

Otro aspecto importante del programa es la presencia de modos automáticos de simulación. En estos modos, el sistema puede cambiar por sí mismo las RPM, la velocidad o la posición del acelerador, generando distintos estados de funcionamiento sin necesidad de modificar cada variable manualmente.

Esto permite mostrar escenarios como ralentí, aceleración, condición media de trabajo o variaciones dinámicas del sistema, lo que mejora mucho el valor didáctico del banco.

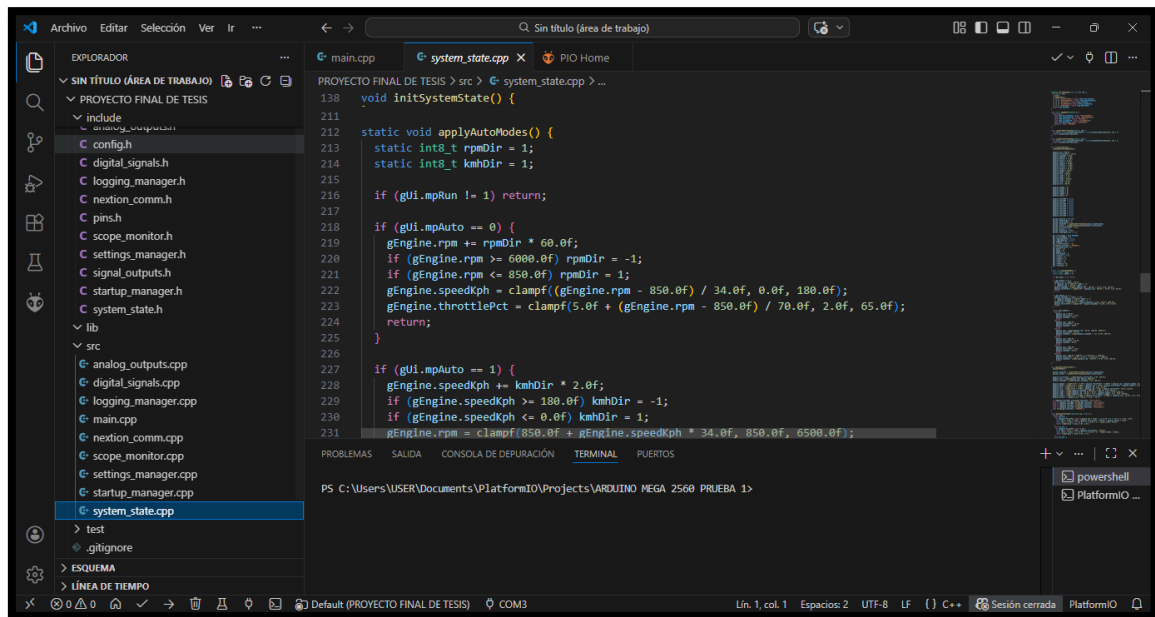


Figura 26.

Rutina de funcionamiento automático del sistema.

10.7.13 Pruebas y depuración del sistema

Durante el desarrollo también se dejó habilitada una comunicación por monitor serial para facilitar pruebas y depuración. Por medio de comandos escritos desde el computador se podían modificar variables como RPM, velocidad, señal seleccionada en el osciloscopio, divisiones de escala y control de registro de datos.

Esta función fue útil para comprobar el comportamiento del programa incluso sin depender completamente de la pantalla, y permitió verificar que la lógica de simulación y comunicación funcionara correctamente.

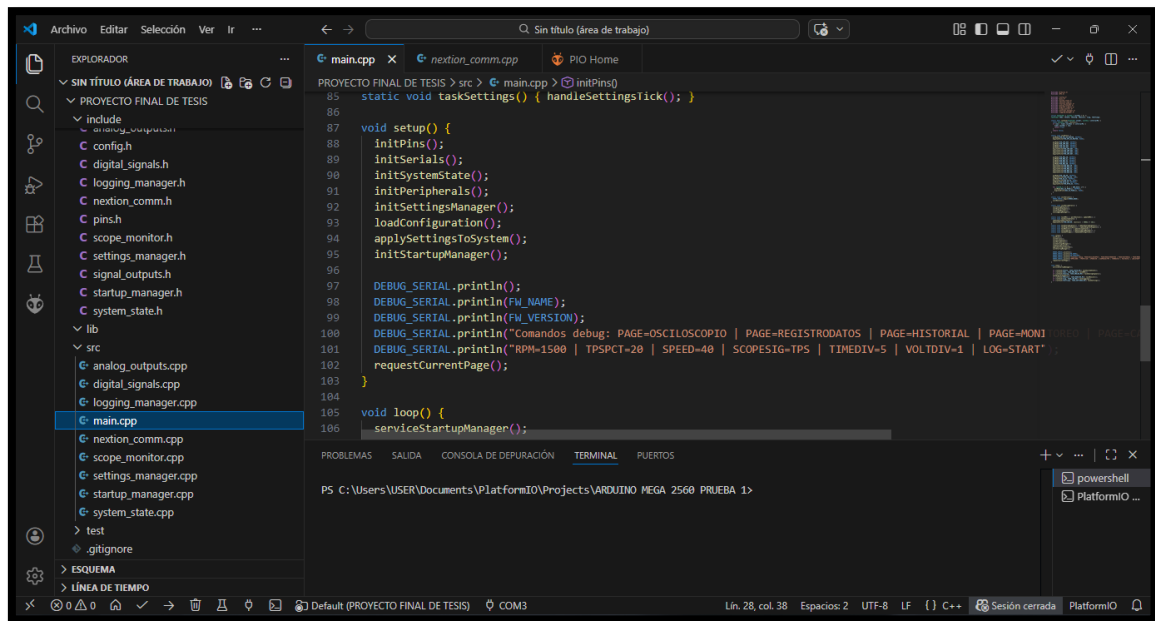


Figura 27.

Comandos de depuración y prueba por monitor serial.

10.7.14 Resultado de la programación implementada

En conjunto, la programación del Arduino Mega 2560 permitió integrar el control general del banco didáctico en una sola plataforma. El firmware desarrollado logró coordinar la simulación de variables, la generación de señales analógicas y digitales, la interacción con la pantalla Nextion, la visualización tipo osciloscopio y el almacenamiento de datos en memoria.

De esta manera, el Arduino Mega actúa como la unidad central de control del sistema, haciendo posible que el banco didáctico funcione de forma estable, organizada y útil para prácticas de diagnóstico y análisis de señales automotrices.

10.8 Montaje de prueba del sistema

Antes de proceder con la integración final del banco didáctico dentro de la caja de montaje, se realizó un montaje de prueba con los módulos y componentes principales del sistema. Esta etapa tuvo como propósito comprobar el funcionamiento general del prototipo, validar las conexiones entre módulos, identificar los componentes realmente necesarios para la implementación final y obtener referencias físicas reales para la distribución interna del sistema.

A diferencia del diseño teórico, este montaje permitió verificar de forma práctica la compatibilidad entre los elementos de alimentación, control, visualización, generación

de señales, monitoreo interno, registro de datos y control de acceso. Para ello, se trabajó con una arquitectura modular basada en el Arduino Mega 2560, la pantalla Nextion, el módulo RFID PN532, el módulo microSD, el multiplexor CD74HC4067, el osciloscopio DSO138 y las salidas de señales mediante borneras.

El montaje de prueba constituyó una fase intermedia entre la definición conceptual del sistema y su implementación final. Gracias a esta etapa fue posible evaluar la distribución preliminar de los módulos, revisar el comportamiento de las señales generadas por PWM y pines digitales, comprobar la respuesta de la pantalla HMI, verificar la selección de señales mediante el multiplexor y confirmar la necesidad de mantener una referencia común de tierra entre todos los módulos.

Durante esta fase también se determinó que la implementación final se realizaría mediante conexión modular directa y cableado interno. Esta decisión permitió simplificar el montaje, facilitar las pruebas individuales de cada módulo y asegurar el funcionamiento de las funciones principales del banco didáctico antes de su instalación definitiva en la caja.

10.8.1 Objetivo del montaje de prueba

El objetivo principal de esta etapa fue comprobar el funcionamiento básico del sistema a partir de una integración preliminar de sus módulos principales, evitando avanzar directamente al montaje final sin antes validar la configuración real del prototipo. Para ello, se trabajó con los componentes seleccionados para el proyecto, realizando conexiones provisionales, pruebas eléctricas, revisión de señales y comprobación de comunicación entre módulos.

Además de verificar la respuesta general del sistema, esta fase permitió observar aspectos que no siempre se evidencian en el diseño teórico, como el espacio real ocupado por cada componente, la ubicación de sus conectores, la conveniencia del cableado, la distribución de las líneas de alimentación y la necesidad de organizar adecuadamente las salidas hacia borneras y multiplexor.

El montaje de prueba también permitió ajustar la arquitectura final del banco didáctico. A partir de estas pruebas se definió el uso de salidas PWM con filtros RC para las señales analógicas, salidas digitales directas para CKP, CMP y VSS, comunicación SPI por software para RFID y microSD, y selección de señales mediante el multiplexor

CD74HC4067. Con ello, esta etapa sirvió como base para la integración física en la caja diseñada en Fusion 360.

Tabla 30.

Objetivos principales del montaje de prueba.

Objetivo	Aplicación dentro del proyecto
Verificar funcionamiento general	Confirmar la operación básica del Arduino, pantalla, módulos auxiliares y señales simuladas
Validar compatibilidad entre componentes	Revisar la integración entre fuente, Arduino, Nextion, RFID, microSD, multiplexor y osciloscopio
Comprobar generación de señales	Evaluar señales analógicas por PWM filtrado y señales digitales pulsantes
Definir configuración final	Identificar qué módulos, conexiones y materiales se mantendrían en la versión definitiva
Obtener referencias físicas reales	Tomar medidas y observar distribución para el diseño e integración en la caja
Organizar cableado y salidas	Definir rutas de alimentación, GND común, borneras y conexiones hacia el multiplexor
Facilitar diagnóstico de fallas	Probar cada módulo de forma individual antes de integrarlo al conjunto completo

Fuente: Elaboración propia.

10.8.2 Preparación y organización de los componentes

Como primer paso, se reunieron y organizaron físicamente los módulos, conectores, elementos de alimentación, accesorios de la interfaz y componentes electrónicos que formarían parte del banco didáctico. Esta etapa permitió verificar la disponibilidad real de cada elemento, revisar su estado físico y establecer una primera visión del conjunto completo antes de realizar las conexiones de prueba.

Dentro de este proceso se identificaron los bloques principales del sistema: alimentación, control central, interfaz HMI, generación de señales analógicas, generación de señales digitales, monitoreo interno, registro de datos y control de acceso. También se revisaron los conectores, borneras, cables, resistencias, capacitores y materiales de montaje necesarios para la integración final.

La preparación de los componentes permitió reconocer el tamaño real de cada módulo, la ubicación de sus terminales, el sentido de conexión de alimentación y la forma más conveniente de distribuirlos dentro de la caja. Esta revisión fue importante para evitar cruces innecesarios de cableado, separar las líneas de alimentación de 9 V y 5 V, mantener una tierra común y organizar las salidas de señal hacia las borneras externas y hacia el multiplexor.

Desde el punto de vista metodológico, esta preparación permitió ordenar el trabajo previo a las conexiones y reducir errores durante la integración provisional. Además, facilitó la identificación de los componentes indispensables para el montaje final, priorizando una estructura modular funcional, accesible para mantenimiento y adecuada para fines didácticos.



Figura 28.

Componentes y módulos considerados para el montaje de prueba del sistema.

10.8.3 Verificación de la etapa de alimentación

Una vez organizados los elementos principales del banco didáctico, se procedió a revisar la etapa de alimentación del sistema. Para ello, se verificó la entrada de energía, el jack AC con interruptor y portafusible, la fuente switching de 12 V / 10 A y los módulos reguladores encargados de generar las líneas de alimentación necesarias para el montaje final.

Esta prueba permitió comprobar que la fuente principal entregaba una tensión estable y que los reguladores podían ajustarse correctamente a los valores requeridos por el sistema. En el montaje final se definieron dos ramas principales de alimentación: una línea de 9 V destinada al Arduino Mega 2560 y al módulo osciloscopio DSO138, y una línea de 5 V destinada a la pantalla Nextion y a los módulos auxiliares, como RFID PN532, microSD, multiplexor CD74HC4067 e indicadores.

Durante esta fase se revisó la continuidad de las conexiones, la polaridad de las salidas, la estabilidad de voltaje y la correcta distribución de tierra común entre todos los módulos. Esta referencia común de GND fue necesaria para asegurar la comunicación entre Arduino, pantalla, RFID, microSD y multiplexor, además de permitir mediciones coherentes en las señales enviadas al osciloscopio.

La verificación de alimentación también permitió identificar el espacio físico requerido por la fuente, los reguladores y el módulo de entrada AC, información que fue útil para la organización interna de la caja final. De esta manera, se confirmó que el banco contaba con una base energética adecuada, estable y ordenada para alimentar los diferentes bloques del sistema.



Figura 29.

Verificación preliminar de la fuente de alimentación y del módulo de entrada de energía.

10.8.4 Integración provisional de módulos y circuitos

Posteriormente se realizaron conexiones de prueba entre los distintos módulos del sistema, con el fin de verificar la respuesta general del conjunto y comprobar la coherencia de la arquitectura planteada. En esta fase se integraron de manera provisional elementos como el Arduino Mega 2560, la pantalla Nextion, el módulo osciloscopio DSO138, el lector RFID PN532, el módulo microSD, el multiplexor CD74HC4067 y las salidas de señales analógicas y digitales.

Para esta integración se utilizaron conexiones temporales, cableado directo, borneras, resistencias y capacitores de filtrado, lo que permitió revisar el comportamiento del sistema antes de realizar su montaje definitivo dentro de la caja. Las señales analógicas fueron probadas mediante salidas PWM del Arduino con filtros RC, mientras que las señales digitales se verificaron desde pines digitales programados para generar pulsos correspondientes a CKP, CMP y VSS.

Esta etapa permitió comprobar que los módulos seleccionados podían trabajar en conjunto dentro del banco didáctico. Además, al tratarse de una configuración de

prueba, fue posible corregir detalles de alimentación, distribución de tierra común, conexión de señales, comunicación con la HMI, lectura RFID, registro en microSD y selección de canales hacia el osciloscopio.

En particular, estas pruebas ayudaron a definir la organización final del cableado interno, la ubicación de los módulos, la distribución de borneras y la forma de conexión entre el Arduino, los módulos auxiliares, el multiplexor y el osciloscopio. De esta manera, la integración provisional sirvió como base para validar el funcionamiento general del sistema antes de su instalación final.

Tabla 31.

Elementos verificados durante el montaje de prueba.

Elemento	Verificación realizada	Resultado esperado
Arduino Mega 2560	Revisión de integración con módulos auxiliares	Confirmar el control general del sistema
Pantalla Nextion	Comunicación UART TTL con el Arduino	Verificar envío y recepción de instrucciones desde la HMI
Módulo osciloscopio DSO138	Verificación de conexión y visualización	Comprobar el monitoreo interno de señales
Módulo RFID PN532	Lectura de tarjetas o llaveros autorizados	Confirmar habilitación del sistema
Módulo microSD	Inicialización y registro de datos	Comprobar almacenamiento de información
Multiplexor CD74HC4067	Selección de canales mediante Arduino	Enviar la señal seleccionada hacia el osciloscopio
Señales PWM con filtro RC	Revisión de salidas analógicas simuladas	Obtener voltajes variables para sensores analógicos
Señales digitales CKP,	Generación de pulsos desde	Confirmar formas de onda

Elemento	Verificación realizada	Resultado esperado
CMP y VSS	pinos digitales	pulsantes
Fuente y conexiones de entrada	Validación de alimentación preliminar	Confirmar suministro adecuado de energía
Cableado temporal y borneras	Revisión de interconexión provisional	Comprobar coherencia de la arquitectura del sistema

Fuente: Elaboración propia.

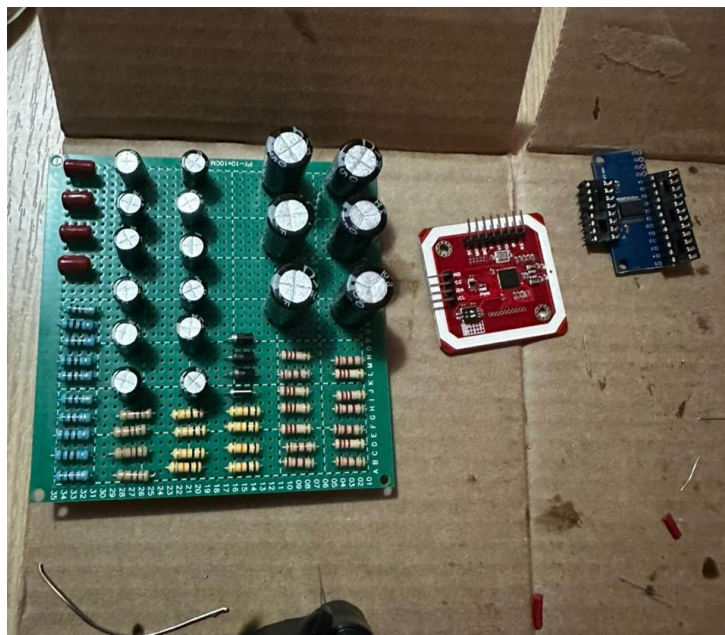


Figura 30.

Preparación de placas de ensayo para la integración provisional de componentes.



Figura 31.

Conexión y prueba funcional preliminar de módulos y circuitos del sistema.

10.8.5 Validación de conexiones y definición de la configuración final

Uno de los aportes más importantes del montaje de prueba fue permitir la validación práctica de las conexiones que finalmente serían utilizadas en el sistema. A través de esta experiencia se pudo establecer con mayor seguridad qué módulos debían mantenerse, qué conexiones eran realmente necesarias y qué aspectos debían reorganizarse antes de realizar la integración final dentro de la caja.

Esta validación permitió consolidar la configuración final del banco didáctico, evitando incorporar elementos innecesarios o conexiones que no aportaran al funcionamiento real del sistema. En este sentido, el montaje de prueba ayudó a transformar el proyecto desde una propuesta preliminar hacia una estructura más definida, respaldada por observación práctica y no solamente por planteamientos teóricos.

Durante esta etapa se definió que la implementación final se realizaría mediante una arquitectura modular, utilizando el Arduino Mega 2560 como unidad principal de control, salidas PWM con filtros RC para las señales analógicas, salidas digitales directas para las señales pulsantes, borneras para puntos de prueba y un multiplexor CD74HC4067 para seleccionar la señal enviada al osciloscopio DSO138.

Tabla 32.

Aportes del montaje de prueba a la definición final del sistema.

Aspecto validado	Utilidad dentro del proyecto
Funcionamiento general de módulos	Confirmó la viabilidad del sistema propuesto
Conexiones entre bloques	Permitió definir rutas finales de alimentación, comunicación y señal
Componentes realmente necesarios	Ayudó a depurar la lista final de elementos
Distribución física preliminar	Sirvió de base para la organización interna de la caja
Señales analógicas por PWM	Permitió validar el uso de filtros RC para obtener voltajes variables
Señales digitales directas	Confirmó la generación de CKP, CMP y VSS desde pines del Arduino
Multiplexor CD74HC4067	Validó la selección de señales hacia el osciloscopio
Cableado y borneras	Permitió definir una estructura modular y accesible para pruebas

Fuente: Elaboración propia.

10.8.6 Relación del montaje de prueba con el diseño en Fusion 360 y la integración final

Una vez concluido el montaje de prueba, las observaciones obtenidas sirvieron como referencia directa para las siguientes etapas del proyecto. Las dimensiones reales de los módulos y su distribución preliminar permitieron establecer criterios más precisos para el diseño de la caja final de montaje en Fusion 360. Gracias a ello fue posible definir espacios, separaciones, ubicaciones, accesos para conectores, salidas por borneras y zonas de montaje de los módulos de forma más realista.

La validación práctica también permitió organizar de mejor manera la distribución interna del sistema. A partir de las pruebas realizadas se definieron las rutas de alimentación de 9 V y 5 V, la referencia común de tierra, la ubicación del Arduino Mega 2560, la pantalla Nextion, el módulo osciloscopio DSO138, el RFID PN532, el módulo microSD, el multiplexor CD74HC4067 y las borneras de salida.

De esta manera, el montaje de prueba se convirtió en una referencia técnica clave para consolidar el diseño mecánico y la integración electrónica modular del banco didáctico. Esta etapa permitió pasar de una propuesta conceptual a una configuración funcional, organizada y adecuada para el montaje final dentro de la caja.

10.8.7 Resultado de la etapa de montaje de prueba

Como resultado de esta etapa se obtuvo una validación preliminar del funcionamiento del sistema y una definición más precisa de su configuración final. El montaje de prueba permitió comprobar la integración básica de los módulos, verificar el comportamiento de la alimentación, revisar la interacción entre componentes y obtener información física clave para las fases posteriores del proyecto.

También permitió confirmar la arquitectura final del sistema, basada en una implementación modular con Arduino Mega 2560, pantalla Nextion, RFID PN532, módulo microSD, multiplexor CD74HC4067, osciloscopio DSO138, filtros RC para señales analógicas, salidas digitales directas y borneras de prueba. Esta configuración permitió mantener las funciones principales del banco didáctico y facilitar el montaje, diagnóstico y mantenimiento del sistema.

En términos generales, esta etapa aportó seguridad técnica al proceso de implementación, ya que permitió avanzar hacia la versión final del banco didáctico con una base experimental más clara. Por ello, el montaje de prueba debe entenderse como una fase de validación y ajuste, indispensable para asegurar que la solución final no responda únicamente a un diseño conceptual, sino también a una comprobación práctica del sistema.

Tabla 33.

Resultado general del montaje de prueba.

Etapa evaluada	Resultado obtenido
-----------------------	---------------------------

Etapa evaluada	Resultado obtenido
Organización inicial de módulos	Identificación física y funcional de los elementos del sistema
Alimentación preliminar	Validación de las ramas de 9 V y 5 V del prototipo
Integración provisional	Confirmación de compatibilidad entre Arduino, pantalla, módulos y osciloscopio
Generación de señales analógicas	Validación de salidas PWM con filtros RC
Generación de señales digitales	Confirmación de señales CKP, CMP y VSS desde pines digitales
Selección de señales	Validación del multiplexor CD74HC4067 para envío al DSO138
Definición de componentes finales	Selección más precisa de elementos para la versión definitiva
Diseño posterior	Base para el diseño de la caja en Fusion 360 y la integración modular final

Fuente: Elaboración propia.

10.9 Diseño de la caja para el montaje final

Una vez realizado el montaje de prueba del sistema y definidas las dimensiones reales de los módulos principales, se procedió al diseño de la caja para el montaje final mediante el software Autodesk Fusion 360. Esta etapa tuvo como finalidad desarrollar una estructura capaz de alojar de manera ordenada los componentes del banco didáctico, facilitando su integración física, protección y acceso a los elementos de visualización e interacción del sistema.

El diseño se desarrolló tomando como referencia las medidas obtenidas durante la etapa de prueba, así como la distribución general prevista para la pantalla Nextion, el módulo

osciloscopio DSO138, la fuente de alimentación, el Arduino Mega 2560, los módulos auxiliares, las borneras de salida y el cableado interno. Con ello se buscó obtener una caja funcional, de fácil ensamblaje y coherente con la arquitectura final del proyecto, permitiendo además una adecuada presentación del banco didáctico.

También se consideraron espacios específicos para elementos que requieren acceso durante el uso o mantenimiento del sistema, como el interruptor principal, las salidas de señales, la ranura microSD de la pantalla Nextion y las conexiones de alimentación. De esta forma, la caja fue diseñada no solo como una estructura de soporte, sino también como un elemento de organización y protección para el montaje final.

10.9.1 Estructura principal de la caja

La estructura principal de la caja fue diseñada como la base mecánica del banco didáctico, ya que sobre ella se apoyan y organizan los diferentes elementos del sistema. Su función es proporcionar soporte, rigidez y una distribución inicial del espacio interno, de modo que los módulos puedan instalarse de manera más ordenada y segura.

En esta parte del diseño se definió la forma general de la caja, considerando el área útil para el montaje de los componentes y las separaciones necesarias entre cada uno de ellos. Además, se tomaron en cuenta los espacios requeridos para la pantalla Nextion, el osciloscopio DSO138, el Arduino Mega 2560, la fuente de alimentación, los reguladores, los módulos de RFID y microSD, el multiplexor, las borneras y el cableado interno.

Asimismo, se previeron zonas abiertas y puntos de fijación que facilitan tanto el ensamblaje como la visualización interna del sistema, aspecto importante desde el punto de vista didáctico. Esta disposición permite observar la organización de los módulos, realizar mantenimiento con mayor facilidad y mantener una presentación ordenada del banco didáctico.

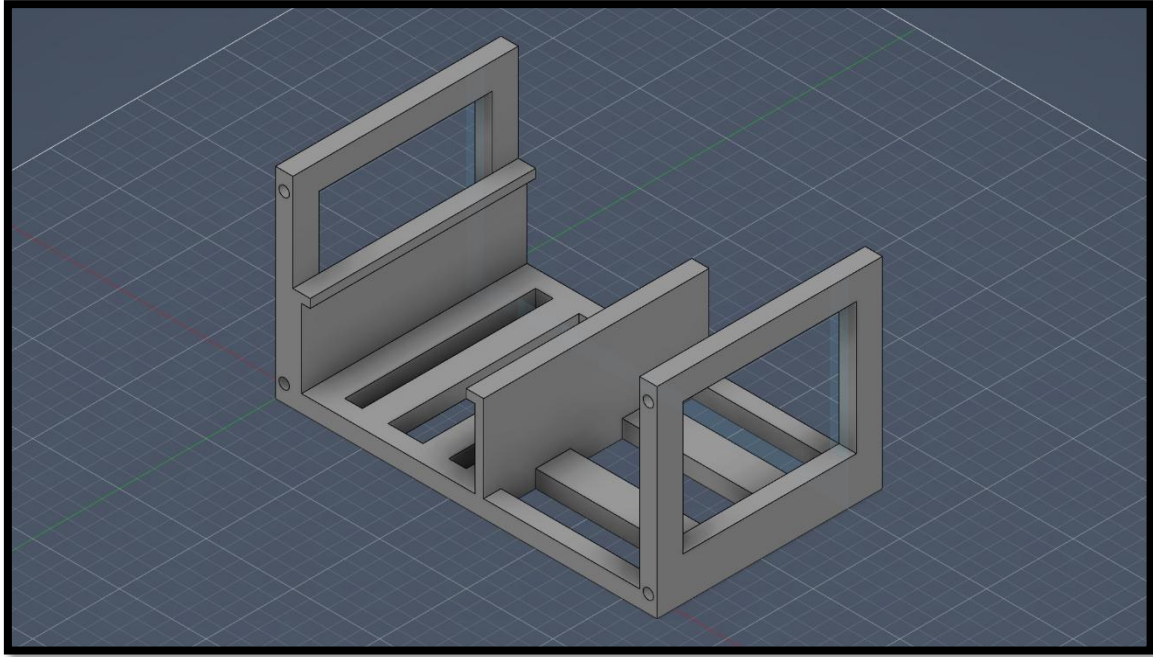


Figura 32.

Centro de Caja de Montaje.

10.9.2 Laterales de la caja

Los laterales de la caja fueron diseñados como piezas complementarias de la estructura principal, con el propósito de delimitar el espacio interno y aportar estabilidad al conjunto. Tanto el lateral derecho como el lateral izquierdo fueron modelados considerando la necesidad de mantener una estructura firme, pero al mismo tiempo lo suficientemente abierta para permitir la observación del interior del banco.

Estas piezas incluyen aberturas estratégicas que favorecen la visualización del cableado, las conexiones internas y la ubicación de los módulos electrónicos. De esta manera, el diseño no solo responde a criterios de soporte físico, sino también a un enfoque didáctico, ya que permite al usuario identificar de forma más clara la disposición interna del sistema.

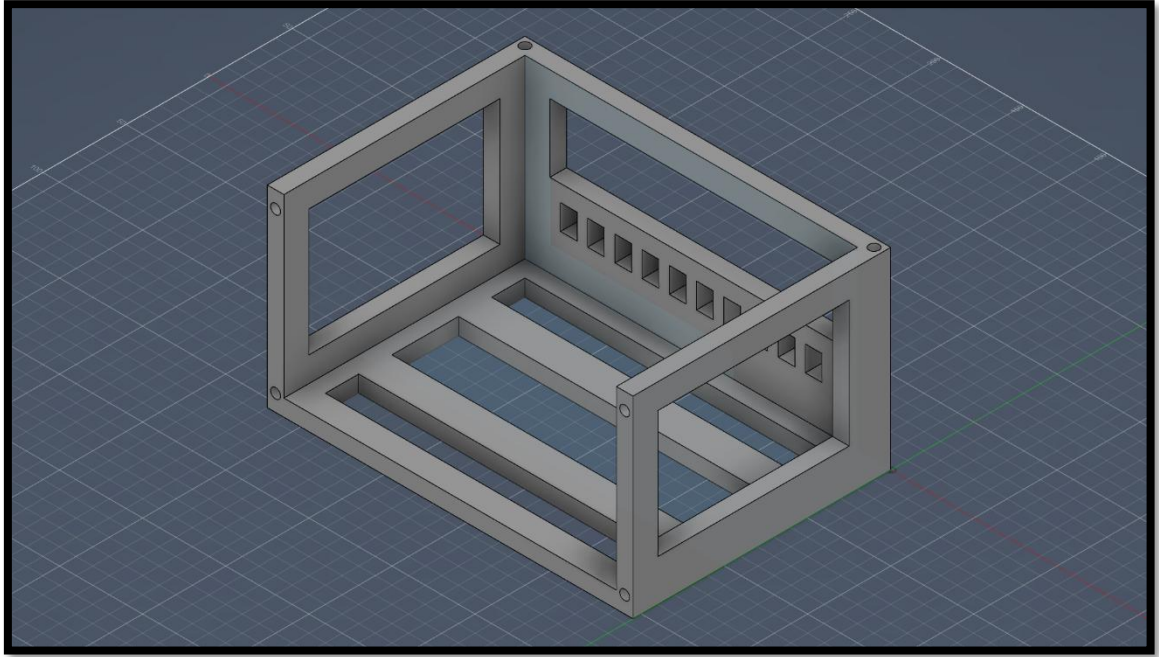


Figura 33.
Lateral Derecho de Caja de Montaje.

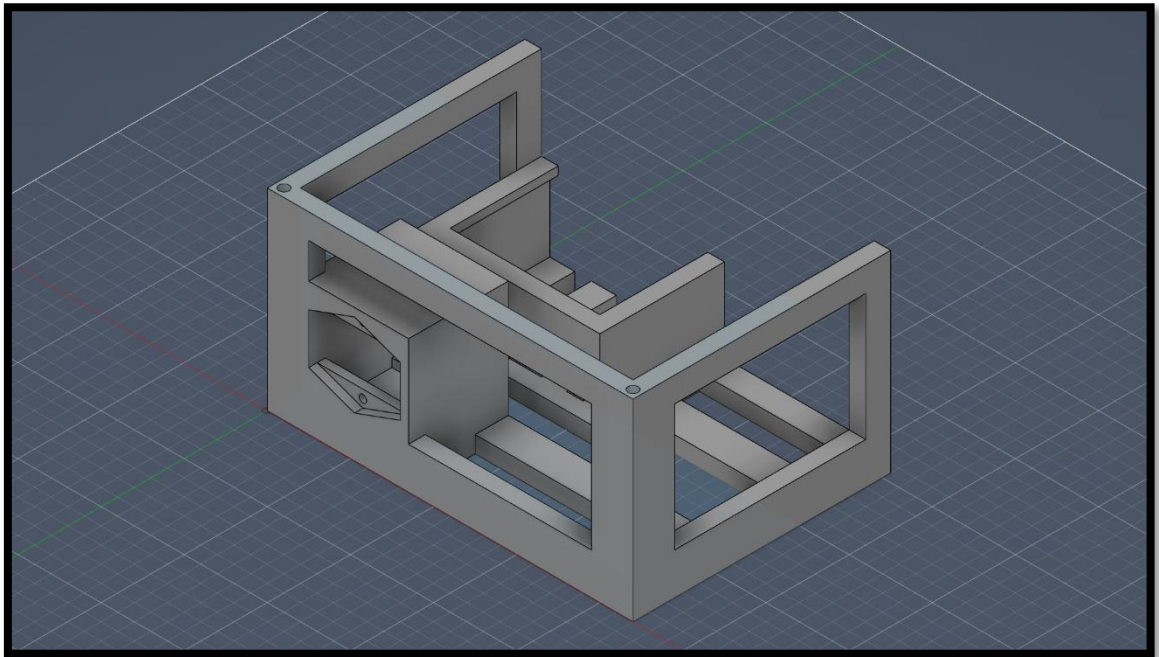


Figura 34.
Lateral Izquierdo de Caja de Montaje.

10.9.3 Seguros de unión

Como parte del diseño también se desarrollaron piezas de unión destinadas al ensamblaje de la estructura. En este caso, se incorporó un elemento cilíndrico que

cumple la función de seguro de unión entre las diferentes partes de la caja, permitiendo fijarlas de forma sencilla y práctica durante el armado final.

La incorporación de esta pieza responde a la necesidad de contar con una estructura desmontable, facilitando tanto el mantenimiento como el acceso a los componentes internos en caso de ajustes o revisiones futuras. Además, este tipo de unión aporta mayor estabilidad al conjunto sin recurrir a soluciones más complejas, lo que resulta conveniente para un prototipo didáctico.

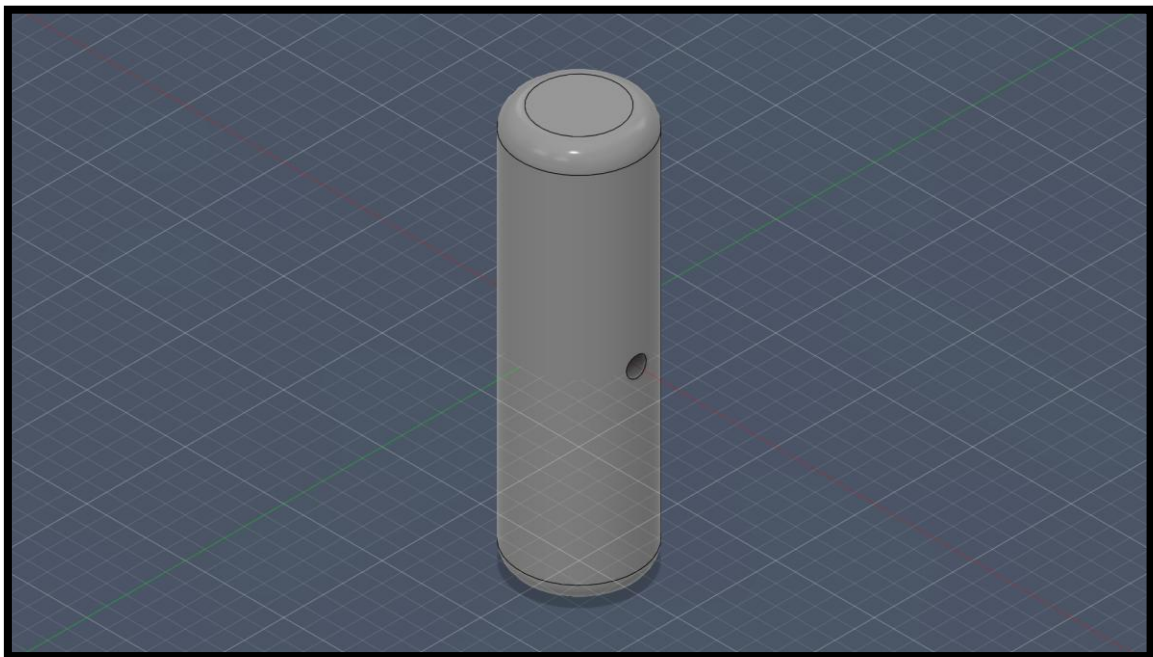


Figura 35.

Seguros de Unión para Caja de Montaje.

10.9.4 Parte superior de la caja

La parte superior de la caja fue diseñada en dos secciones, con el objetivo de facilitar tanto el ensamblaje como la integración de los principales elementos de visualización del sistema. En esta zona se dispusieron los espacios correspondientes a la pantalla Nextion y al módulo osciloscopio, ya que ambos constituyen los elementos más importantes de interacción y monitoreo del banco didáctico.

La división de la parte superior en dos piezas permitió adaptar mejor el diseño a la forma general de la estructura, simplificar la impresión 3D y organizar de manera más adecuada la ubicación de las ventanas y aberturas necesarias. Esta solución también aporta mayor flexibilidad durante el montaje, ya que permite trabajar cada sección por

separado antes de su integración final.

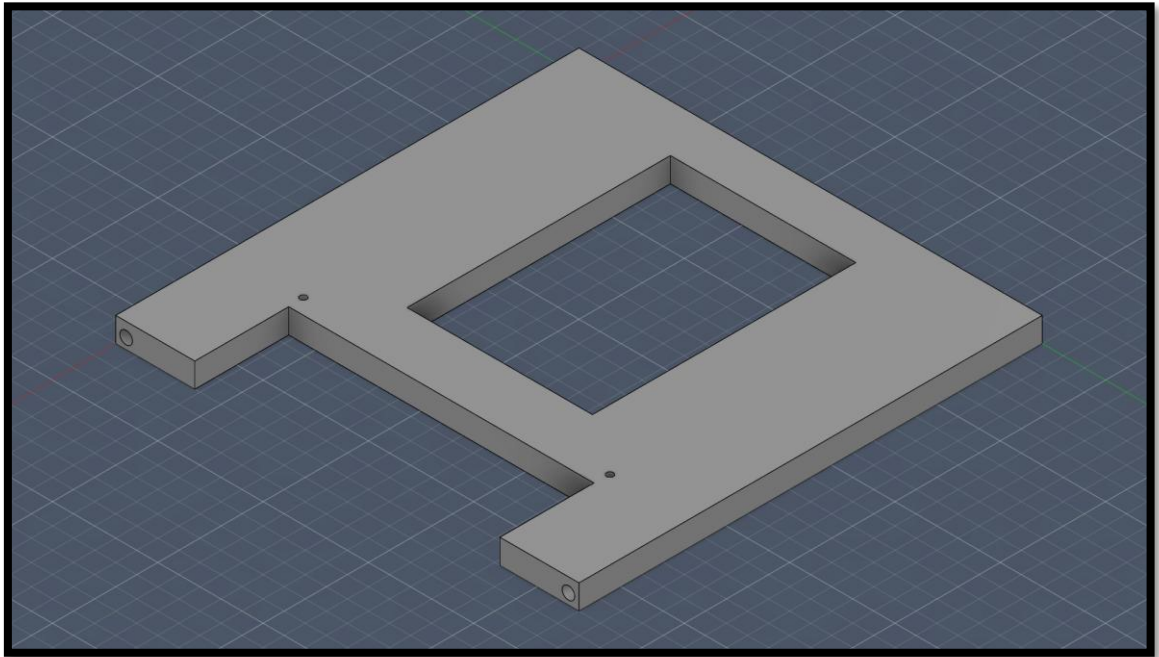


Figura 36.

Parte Superior Derecha de Caja de Montaje.

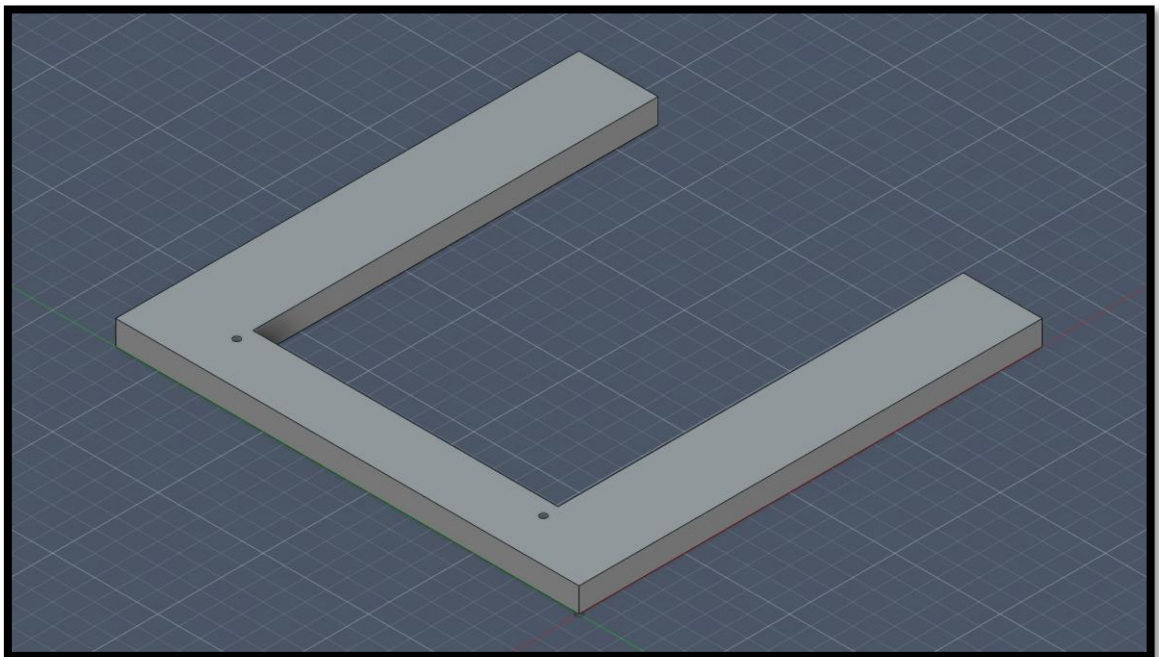


Figura 37.

Parte Superior Izquierda de Caja de Montaje.

10.9.5 Protección y visualización interna

Además de la estructura base, el diseño consideró la posibilidad de incorporar láminas translúcidas o transparentes de material rígido, como acrílico o policarbonato, en determinadas zonas abiertas de la caja. Estas láminas tendrían la función de proteger los componentes internos frente al contacto directo, sin impedir su visualización desde el exterior.

Esta característica resulta importante porque permite mantener un equilibrio entre protección física, presentación del prototipo y valor didáctico. En lugar de ocultar completamente el sistema, el diseño busca que el usuario pueda observar el interior del banco y reconocer la ubicación de sus principales elementos, sin comprometer la seguridad básica del montaje.

10.9.6 Resultado general del diseño

En conjunto, el diseño realizado en Fusion 360 permitió obtener una caja adecuada para el montaje final del banco didáctico, integrando criterios de soporte mecánico, organización interna, facilidad de ensamblaje y visualización de los componentes. La estructura desarrollada responde a las necesidades reales del sistema, ya que fue planteada a partir de las dimensiones observadas en el montaje de prueba y ajustada según la disposición final de los módulos.

Desde el punto de vista del proyecto, esta etapa permitió consolidar la integración física del banco didáctico y preparar la base para su impresión 3D y ensamblaje final. Además de mejorar la presentación general del prototipo, la caja diseñada contribuye a una organización más clara del sistema y a una experiencia de uso más ordenada y funcional.

10.10 Montaje final del sistema

Una vez definido el diseño mecánico de la caja y establecida la configuración final del banco didáctico, se procedió con el montaje físico de los módulos y componentes principales dentro de la estructura. Esta etapa tuvo como propósito integrar el sistema de alimentación, el Arduino Mega 2560, el módulo osciloscopio, los reguladores de voltaje, los módulos auxiliares y el cableado de señales, dejando preparada la instalación posterior de la pantalla Nextion.

El montaje final se desarrolló de manera progresiva, debido a que el sistema integra diferentes tipos de conexiones: alimentación principal, ramas reguladas de voltaje, señales PWM filtradas, señales digitales, comunicación con módulos externos y selección de señales mediante multiplexor. Por esta razón, se trabajó primero con la ubicación física de los componentes y luego con la conexión eléctrica de cada bloque, evitando cruzar de forma innecesaria las líneas de alimentación con las líneas de señal.

Durante esta fase no se utilizó la placa electrónica diseñada inicialmente, debido a que el montaje final fue reorganizado mediante cableado directo entre módulos. Esta decisión permitió continuar la implementación del banco didáctico de forma funcional, manteniendo los bloques principales del sistema: control, alimentación, visualización mediante osciloscopio, generación de señales y módulos auxiliares.



Figura 38.

Preparación de la estructura y distribución inicial de los componentes internos del banco didáctico.

10.10.1 Preparación de la estructura de montaje

Como primer paso se revisó la caja fabricada para el banco didáctico, verificando que sus piezas principales permitieran alojar los componentes internos de manera ordenada.

La estructura fue diseñada para sostener la fuente de alimentación, los reguladores de voltaje, el Arduino Mega, el módulo osciloscopio, los módulos auxiliares y el cableado interno.

La caja cuenta con espacios abiertos en los laterales, lo que facilita la observación de las conexiones y el acceso a los módulos durante tareas de revisión o mantenimiento. Esta característica es importante dentro de un banco didáctico, ya que permite visualizar la distribución interna del sistema y comprender la función de cada bloque electrónico.

También se verificaron los espacios destinados al montaje del osciloscopio DSO138 y de la pantalla Nextion. En el caso del osciloscopio, se dejó visible su pantalla y controles en la parte superior de la caja, permitiendo que el usuario observe directamente la señal seleccionada. Para la pantalla Nextion se utilizó el espacio previsto en la estructura, logrando una integración frontal alineada con el diseño del banco didáctico.

Tabla 34.

Elementos considerados durante la preparación de la estructura.

Elemento	Consideración durante el montaje
Caja principal	Soporte físico de todo el banco didáctico
Laterales abiertos	Acceso visual y físico al cableado interno
Zona superior	Ubicación del módulo osciloscopio y de la pantalla HMI integrada
Zona inferior	Instalación de la fuente y módulos de alimentación
Espacios laterales	Paso de cableado y ubicación de conexiones auxiliares
Puntos de fijación	Sujeción de módulos y ordenamiento interno

Fuente: Elaboración propia.

10.10.2 Instalación de la fuente de alimentación

Después de preparar la estructura, se instaló la fuente switching de 12 V en la zona inferior de la caja. Esta fuente constituye la alimentación principal del banco didáctico, ya que desde ella se derivan las ramas reguladas utilizadas por los diferentes módulos.

La ubicación de la fuente se seleccionó considerando el tamaño del componente, la entrada de alimentación, la salida hacia los reguladores y la necesidad de mantener separados los cables de potencia de los cables de señal. Además, al colocarla en la parte inferior, se mejora la estabilidad física de la estructura, ya que el componente de mayor peso queda ubicado en la base del sistema.

Desde la salida de la fuente se distribuye la alimentación hacia los módulos reguladores de voltaje. Para el montaje actual se establecieron dos líneas principales: una línea regulada de 9 V destinada al Arduino Mega y al módulo osciloscopio, y una línea regulada de 5 V destinada a los módulos electrónicos auxiliares y a la alimentación de la pantalla Nextion.

Tabla 35.

Distribución general de alimentación del sistema.

Origen	Regulación	Destino	Función
Fuente switching 12 V	Regulador step-down a 9 V	Arduino Mega 2560	Alimentación del controlador principal
Fuente switching 12 V	Regulador step-down a 9 V	Osciloscopio DSO138	Alimentación del módulo de monitoreo
Fuente switching 12 V	Regulador step-down a 5 V	RFID PN532	Alimentación del módulo de acceso
Fuente switching 12 V	Regulador step-down a 5 V	Módulo microSD	Alimentación del módulo de almacenamiento
Fuente switching 12 V	Regulador step-down a 5 V	Multiplexor CD74HC4067	Alimentación del selector de señales
Fuente switching 12 V	Regulador step-down a 5 V	Pantalla Nextion	Alimentación reservada para la HMI

Fuente: Elaboración propia.

10.10.3 Montaje de los reguladores de voltaje

Una vez ubicada la fuente principal, se instalaron los módulos reguladores de voltaje tipo step-down. Estos módulos permiten obtener tensiones adecuadas para los diferentes elementos del banco didáctico a partir del bus principal de 12 V.

Antes de conectar los módulos electrónicos, se ajustaron las salidas de los reguladores con ayuda de un multímetro. Esta comprobación es necesaria porque los módulos step-down poseen ajuste variable, por lo que deben configurarse correctamente antes de alimentar el Arduino, el osciloscopio o los módulos auxiliares.

La rama de 9 V se destinó al Arduino Mega y al osciloscopio DSO138. Esta línea permite alimentar ambos elementos sin tomar energía directamente del puerto USB. La rama de 5 V se utilizó para los módulos de menor tensión, como el RFID PN532, el módulo microSD, el multiplexor y la pantalla Nextion.

Tabla 36.

Ajuste de los reguladores utilizados en el montaje.

Regulador	Tensión ajustada	Elementos alimentados	Observación de montaje
Regulador 1	9 V	Arduino Mega y osciloscopio	Rama principal de control y monitoreo
Regulador 2	5 V	RFID, microSD, multiplexor y Nextion	Rama de módulos auxiliares e interfaz
Fuente principal	12 V	Entrada de reguladores	Bus general de alimentación

Fuente: Elaboración propia.

10.10.4 Instalación del Arduino Mega 2560

El Arduino Mega 2560 fue instalado como unidad central de control del banco didáctico. Este microcontrolador se encarga de ejecutar el programa principal, generar las señales simuladas, controlar el multiplexor, comunicarse con los módulos RFID y microSD, y enviar datos hacia la pantalla Nextion cuando esta sea instalada.

La selección del Arduino Mega se mantiene debido a la cantidad de pines disponibles, lo que permite conectar múltiples salidas PWM, señales digitales, líneas de control y módulos auxiliares sin saturar rápidamente el controlador. En el montaje final, el Arduino se conectó mediante cableado directo a los diferentes módulos, reemplazando la interconexión mediante placa electrónica.

Se procuró ubicar el Arduino en una zona accesible de la caja, ya que durante la fase de montaje puede ser necesario cargar el firmware, revisar conexiones o modificar pines. Esta ubicación también facilita la organización de los cables provenientes de las señales PWM, las señales digitales, el multiplexor, el RFID y la microSD.

Tabla 37.

Funciones principales del Arduino Mega dentro del montaje final.

Función	Aplicación dentro del banco
Control general	Ejecuta la lógica principal del sistema
Generación PWM	Produce señales analógicas mediante filtrado RC
Generación digital	Produce señales CKP, CMP y VSS; la inyección se maneja como variable calculada en la HMI
Control de multiplexor	Selecciona la señal enviada al osciloscopio
Comunicación RFID	Habilita el acceso mediante tarjetas autorizadas
Comunicación microSD	Permite registrar datos y eventos
Comunicación Nextion	Enlace operativo de control y visualización con la interfaz HMI

Fuente: Elaboración propia.

10.10.5 Conexión de los módulos auxiliares

Luego se integraron los módulos auxiliares del sistema, entre ellos el lector RFID PN532, el módulo microSD y el multiplexor analógico CD74HC4067. Estos módulos

cumplen funciones complementarias dentro del banco didáctico y se conectan directamente al Arduino Mega.

El módulo RFID PN532 se utiliza como sistema de habilitación del banco. Su función es permitir el acceso únicamente cuando se detecta una tarjeta autorizada. Para evitar conflictos con otros periféricos, su comunicación se configuró mediante SPI por software.

El módulo microSD se incorporó para el registro de información del sistema. Al igual que el RFID, se conectó mediante SPI por software, utilizando pines asignados específicamente en el firmware. Esto permitió mantener una distribución de conexiones más flexible y evitar dependencia del bus SPI físico del Arduino.

El multiplexor CD74HC4067 se utilizó para seleccionar una señal entre varios canales de entrada y enviarla hacia el osciloscopio interno. De esta manera, el banco puede mostrar diferentes señales simuladas utilizando una sola entrada de medición.

Tabla 38.

Módulos auxiliares integrados en el montaje final.

Módulo	Tipo de conexión	Función dentro del sistema
RFID PN532	SPI por software	Habilitación del sistema mediante tarjeta
Módulo microSD	SPI por software	Registro de datos y eventos
CD74HC4067	Líneas digitales de selección	Selección de señal para el osciloscopio
Osciloscopio DSO138	Entrada analógica desde multiplexor	Visualización interna de señales
Pantalla Nextion	UART TTL	Interfaz HMI integrada para visualización, navegación y control del sistema

Fuente: Elaboración propia.

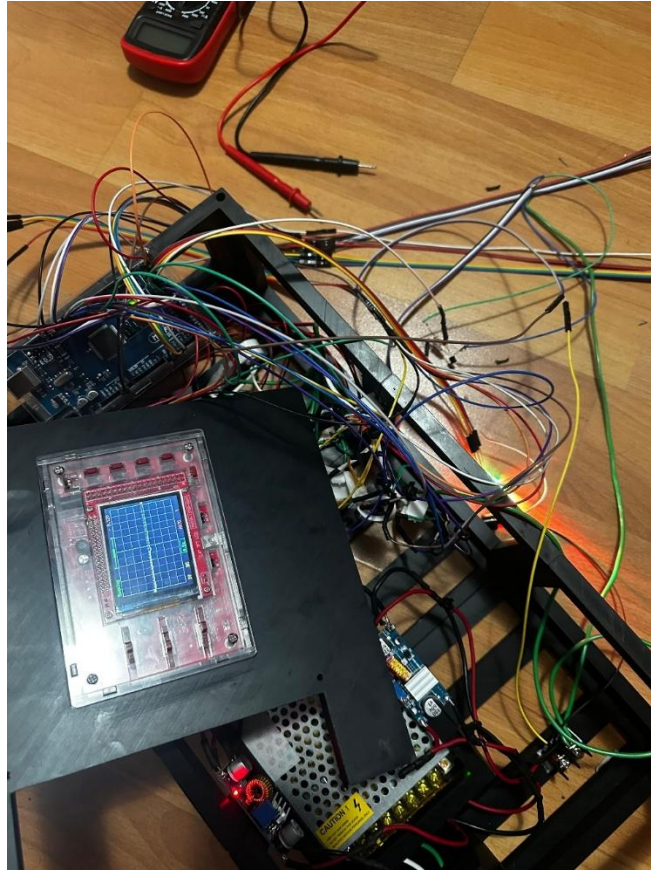


Figura 39.

Integración interna del Arduino Mega, reguladores, osciloscopio y cableado de señales.

10.10.6 Conexión de señales analógicas

Para la generación de señales analógicas se utilizaron salidas PWM del Arduino Mega combinadas con filtros RC. En este montaje se emplearon resistencias y capacitores electrolíticos de 100 μ F, con el propósito de suavizar la señal PWM y obtener una variación de voltaje útil para representar sensores automotrices.

Las señales analógicas consideradas en el montaje corresponden a MAP, MAF, TPS, APP, O2, IAT y ECT. Cada una de estas señales sale desde un pin PWM del Arduino, pasa por una resistencia y luego se toma desde el punto común entre la resistencia y el capacitor. El capacitor se conecta hacia tierra, formando el filtro básico para reducir el rizado de la señal PWM.

Cada salida analógica se distribuye hacia dos destinos. El primero corresponde a la salida externa del banco, donde la señal puede medirse desde una bornera o punto de conexión. El segundo corresponde a una entrada del multiplexor CD74HC4067,

permitiendo que esa misma señal pueda visualizarse en el osciloscopio interno cuando sea seleccionada desde el sistema.

Tabla 39.

Conexión general de señales analógicas.

Señal	Tipo de generación	Acondicionamiento	Destino principal
MAP	PWM	Filtro con resistencia y capacitor de 100 μ F	Salida externa y multiplexor
MAF	PWM	Filtro con resistencia y capacitor de 100 μ F	Salida externa y multiplexor
TPS	PWM	Filtro con resistencia y capacitor de 100 μ F	Salida externa y multiplexor
APP	PWM	Filtro con resistencia y capacitor de 100 μ F	Salida externa y multiplexor
O2	PWM	Filtro con resistencia y capacitor de 100 μ F	Salida externa y multiplexor
IAT	PWM	Filtro con resistencia y capacitor de 100 μ F	Salida externa y multiplexor
ECT	PWM	Filtro con resistencia y capacitor de 100 μ F	Salida externa y multiplexor

Fuente: Elaboración propia.

10.10.7 Conexión de señales digitales

Además de las señales analógicas, el sistema incorpora señales digitales simuladas. Estas señales se generan directamente desde pines digitales del Arduino Mega y representan señales automotrices de tipo pulsante.

Las señales digitales físicas consideradas son CKP, CMP y VSS. En este caso, no se emplea filtro RC, ya que estas señales deben conservar su forma de pulso. La frecuencia depende de las variables internas del programa, como las RPM y la velocidad simulada. La inyección se mantiene como una variable calculada y visualizable en la HMI, relacionada con el tiempo de inyección del motor simulado.

Estas señales se conectan hacia sus salidas correspondientes y también pueden ser consideradas dentro del monitoreo del sistema según la configuración del multiplexor y del firmware.

Tabla 40.

Conexión general de señales digitales.

Señal	Tipo de señal	Generación	Función simulada
CKP	Digital pulsante	Pin digital del Arduino	Sensor de posición del cigüeñal
CMP	Digital pulsante	Pin digital del Arduino	Sensor de posición del árbol de levas
VSS	Digital pulsante	Pin digital del Arduino	Sensor de velocidad del vehículo

Fuente: Elaboración propia.

10.10.8 Integración del multiplexor con el osciloscopio

El multiplexor analógico CD74HC4067 se integró para centralizar la selección de señales que serán enviadas al osciloscopio interno. Cada señal simulada se conecta a una entrada del multiplexor, mientras que la salida común del módulo se conecta hacia la entrada del osciloscopio DSO138.

El Arduino controla el multiplexor mediante líneas digitales de selección. Según la combinación enviada a estos pines, el multiplexor habilita un canal específico y permite que esa señal llegue al osciloscopio. Esta configuración evita conectar manualmente cada señal al instrumento de medición, ya que la selección puede realizarse desde el sistema de control.

El uso del multiplexor simplifica el monitoreo interno del banco didáctico, ya que permite observar diferentes señales utilizando una sola entrada de osciloscopio. Además, mantiene una arquitectura más ordenada, debido a que las señales se concentran en un solo módulo antes de llegar al instrumento de visualización.

Tabla 41.

Función del multiplexor dentro del montaje.

Elemento	Conexión	Función
Entradas C0 a C15	Señales simuladas	Reciben las señales analógicas o digitales seleccionables
Pines de selección	Arduino Mega	Definen el canal activo
Salida común	Osciloscopio DSO138	Envía la señal seleccionada para visualización
Alimentación	Rama de 5 V	Energiza el módulo multiplexor
Tierra común	GND del sistema	Referencia eléctrica compartida

Fuente: Elaboración propia.

10.10.9 Organización del cableado interno

Una parte importante del montaje final fue la organización del cableado interno. Debido a la cantidad de señales utilizadas, se procuró distribuir los cables por bloques funcionales, separando las líneas de alimentación, las señales PWM, las señales digitales, las líneas de comunicación y los cables destinados a módulos auxiliares.

Las conexiones de alimentación se ubicaron principalmente en la parte inferior del sistema, cerca de la fuente y de los reguladores. Las conexiones de señal se dirigieron hacia el Arduino, el multiplexor y las salidas externas. Esta organización permite identificar con mayor facilidad cada grupo de cables durante una revisión o modificación.

También se conectaron los cables correspondientes a la pantalla Nextion, incluyendo alimentación de 5 V, tierra común y líneas de comunicación serial TTL. Con esta conexión, la pantalla quedó instalada dentro de la caja del banco didáctico y enlazada con el Arduino Mega 2560 para el intercambio de comandos y actualización de datos durante la operación del sistema.

Tabla 42.

Organización del cableado durante el montaje.

Grupo de cableado	Elementos conectados	Criterio de organización
Alimentación principal	Fuente, reguladores y módulos	Ubicación inferior y recorridos cortos
Rama de 9 V	Arduino y osciloscopio	Separada de señales sensibles
Rama de 5 V	RFID, microSD, multiplexor y Nextion	Distribución común para módulos auxiliares
Señales PWM	Arduino, filtros y salidas	Agrupadas por señales analógicas
Señales digitales	Arduino y salidas correspondientes	Conexión directa sin filtrado
Comunicación	RFID, microSD y Nextion	Cableado separado por módulo
Monitoreo	Multiplexor y osciloscopio	Enlace hacia la entrada de medición

Fuente: Elaboración propia.



Figura 40.

Organización del cableado interno y ubicación del módulo osciloscopio dentro de la caja.

10.10.10 Verificación de accesorios de la pantalla Nextion

Antes de integrar la pantalla Nextion dentro de la caja final del banco didáctico, se realizó la verificación física de los accesorios principales necesarios para su programación, alimentación, operación y retroalimentación auditiva. Esta revisión permitió comprobar la disponibilidad de los elementos requeridos para completar la etapa de interfaz HMI del sistema.

Entre los accesorios revisados se incluyeron la pantalla Nextion Intelligent, el convertor Nextion Foca Max USB a TTL y el altavoz Nextion Box Speaker. La pantalla cumple la función de interfaz gráfica principal, permitiendo al usuario navegar por los menús, visualizar variables, seleccionar señales y operar el banco didáctico. El Foca Max se empleó como interfaz de comunicación entre la computadora y la pantalla durante el proceso de carga del proyecto HMI. Por su parte, el altavoz Nextion Box Speaker se consideró como elemento auxiliar de retroalimentación sonora, utilizado para emitir clics, avisos o sonidos asociados a eventos de la interfaz.

Esta etapa fue importante porque permitió comprobar que los elementos externos de la pantalla se encontraban disponibles antes de realizar la programación y el montaje final.

Además, permitió organizar el orden de trabajo: primero verificar accesorios, luego realizar el primer encendido, instalar el controlador USB a TTL, cargar el proyecto HMI y finalmente probar el funcionamiento de la pantalla dentro del sistema.



Figura 41.

Accesorios principales de la pantalla Nextion empleados en el montaje final.

Tabla 43.

Accesorios verificados antes de la integración de la pantalla Nextion.

Accesorio	Función dentro del proyecto	Importancia en el montaje final
Pantalla Nextion Intelligent 10.1"	Interfaz gráfica principal del banco didáctico	Permite visualizar variables, navegar entre menús y controlar funciones del sistema
Nextion Foca Max	Convertor de comunicación	Permite cargar el proyecto HMI desde

Accesorio	Función dentro del proyecto	Importancia en el montaje final
USB a TTL	entre computadora y pantalla	Nextion Editor
Nextion Box Speaker	Altavoz auxiliar para la pantalla	Permite generar sonidos de interfaz o avisos durante la operación
Cable USB	Comunicación entre computadora y Foca Max	Necesario para la programación de la pantalla
Cable de conexión TTL	Enlace entre Foca Max y pantalla Nextion	Permite la transferencia de datos hacia la pantalla
Memoria microSD de la pantalla	Alternativa de carga del archivo HMI	Permite actualizar el proyecto de pantalla de forma manual
Fuente de alimentación	Energización de la pantalla durante pruebas	Garantiza que la pantalla reciba el voltaje adecuado durante la programación

Fuente: Elaboración propia.

10.10.11 Primer encendido de la pantalla Nextion

Una vez revisados los accesorios, se realizó el primer encendido de la pantalla Nextion fuera de la caja final. Esta prueba tuvo como propósito verificar que la pantalla respondiera correctamente al suministro de energía, que no presentara fallas visuales iniciales y que pudiera establecerse comunicación con el computador mediante el convertidor Foca Max.

Durante esta prueba, la pantalla fue conectada al módulo Foca Max y a la computadora, manteniendo una alimentación estable. Al energizar el conjunto, la pantalla mostró su secuencia inicial, lo que permitió confirmar que el módulo encendía correctamente y que se encontraba listo para recibir el proyecto HMI desarrollado en Nextion Editor.

Esta etapa también permitió revisar el cableado básico de la pantalla, especialmente las líneas de alimentación, tierra, transmisión y recepción serial. Debido a que la comunicación entre el Arduino Mega y la pantalla se realiza mediante UART TTL, fue

importante confirmar previamente que las conexiones TX y RX respondieran correctamente durante el proceso de programación.

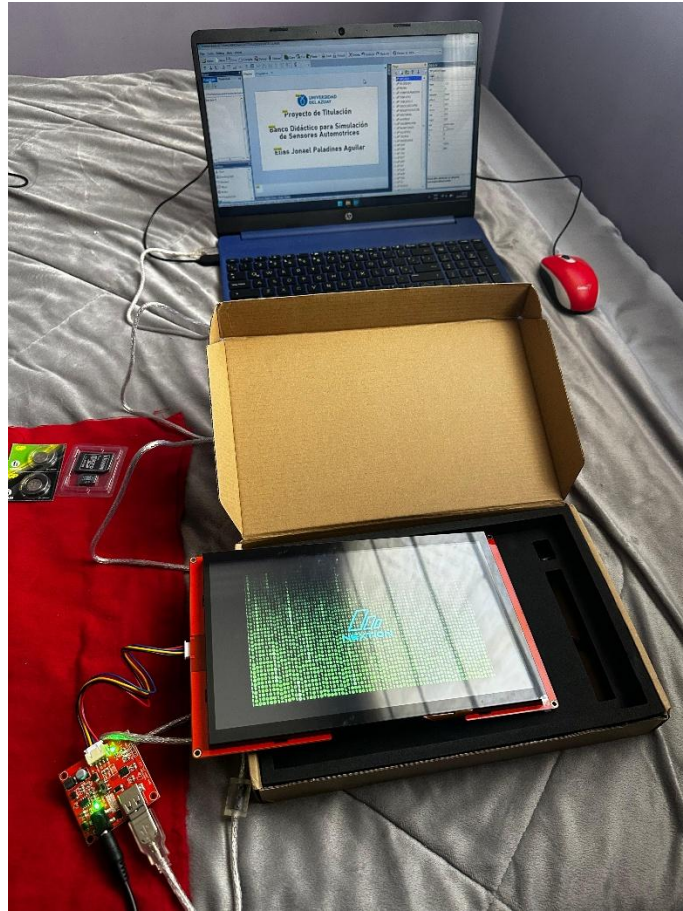


Figura 42.

Primer encendido de la pantalla Nextion y verificación inicial de alimentación.

Tabla 44.

Verificaciones realizadas durante el primer encendido de la pantalla Nextion.

Elemento revisado	Verificación realizada	Criterio de aceptación
Alimentación de pantalla	Comprobación de encendido inicial	La pantalla debe iniciar sin reinicios ni parpadeos anormales
Cableado de energía	Revisión de polaridad positiva y tierra	No deben existir conexiones invertidas
Comunicación TTL	Revisión de líneas TX y RX	La pantalla debe permitir comunicación con el Foca Max

Elemento revisado	Verificación realizada	Criterio de aceptación
Foca Max	Verificación de encendido del conversor	El módulo debe ser reconocido por el computador
Pantalla táctil	Revisión visual de respuesta general	La pantalla debe mostrar imagen de inicio o proyecto cargado
Estabilidad del sistema	Observación durante varios minutos	No deben presentarse apagados ni reinicios inesperados

Fuente: Elaboración propia.

10.10.12 Instalación del controlador CP210x para comunicación USB a TTL

Durante la conexión del módulo Foca Max al computador, se verificó que el dispositivo era reconocido mediante el conversor CP2102 USB to UART Bridge Controller. Inicialmente, el sistema operativo mostró el dispositivo dentro del Administrador de dispositivos, en la sección de otros dispositivos, lo cual indicó que era necesario instalar o actualizar el controlador correspondiente para habilitar correctamente la comunicación serial.

La instalación del controlador fue necesaria porque el Foca Max trabaja como interfaz USB a TTL, permitiendo que la computadora se comuniquen con la pantalla Nextion durante la carga del proyecto HMI. Sin este controlador, Nextion Editor puede no detectar correctamente el puerto COM, impidiendo la transferencia del programa hacia la pantalla.

Para solucionar esta condición, se buscó el controlador CP210x correspondiente para Windows y se procedió con su instalación. Una vez instalado el controlador, el conversor pudo ser reconocido como puerto de comunicación serial, permitiendo seleccionar el puerto COM desde Nextion Editor y continuar con la carga del proyecto.

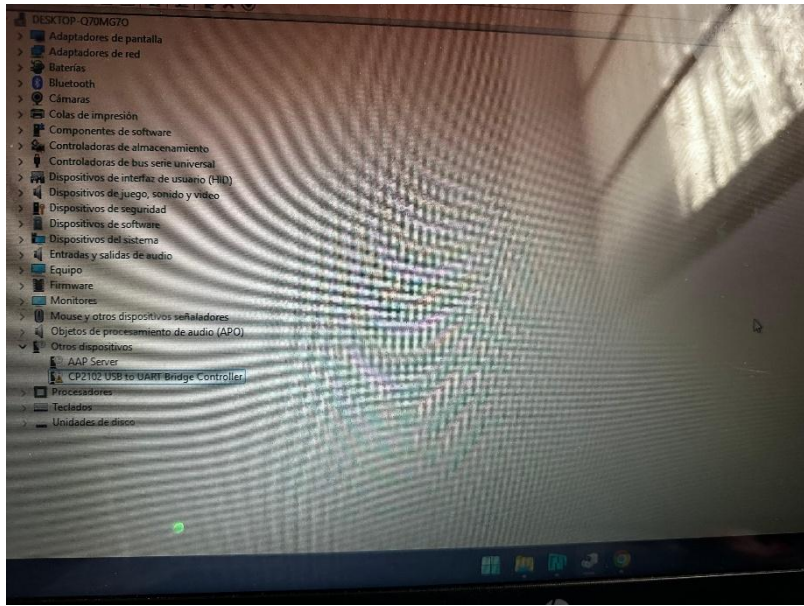


Figura 43.
Identificación del conversor CP2102 USB a UART en el Administrador de dispositivos.

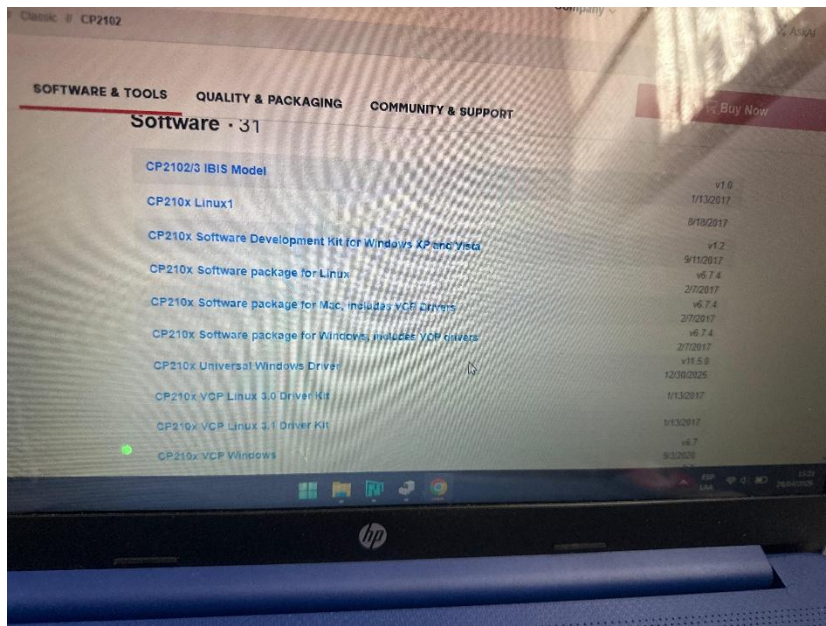


Figura 44.
Selección del controlador CP210x para la comunicación USB a TTL.

Tabla 45.
Proceso de instalación del controlador CP210x.

Etapa	Acción realizada	Finalidad
-------	------------------	-----------

Etapa	Acción realizada	Finalidad
Conexión inicial	Se conectó el Foca Max al computador mediante USB	Verificar si el sistema reconocía el conversor
Revisión del Administrador de dispositivos	Se observó la presencia del CP2102 USB to UART	Identificar el tipo de controlador requerido
Búsqueda del controlador	Se seleccionó el controlador CP210x para Windows	Habilitar la comunicación USB a TTL
Instalación del driver	Se instaló el paquete correspondiente	Permitir que el equipo genere un puerto COM
Verificación posterior	Se revisó nuevamente el reconocimiento del dispositivo	Confirmar que el Foca Max podía utilizarse en Nextion Editor
Selección del puerto COM	Se configuró el puerto en el entorno de carga	Preparar la transferencia del proyecto HMI

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46.

Importancia del controlador CP210x en la programación de la pantalla.

Elemento	Función	Relación con el proyecto
CP2102	Conversor USB a UART	Permite que la computadora envíe datos seriales hacia la pantalla
Foca Max	Tarjeta de programación Nextion	Sirve como puente entre Nextion Editor y la pantalla
Puerto COM	Canal de comunicación en Windows	Permite seleccionar el enlace de carga desde el software

Elemento	Función	Relación con el proyecto
Nextion Editor	Software de diseño y carga HMI	Transfiere el proyecto gráfico hacia la pantalla
Driver CP210x	Controlador del conversor	Habilita el reconocimiento correcto del dispositivo en el computador

Fuente: Elaboración propia.

10.10.13 Carga del programa HMI en la pantalla Nextion

Una vez instalado el controlador y verificado el reconocimiento del Foca Max, se procedió con la carga del proyecto HMI hacia la pantalla Nextion. Este proceso se realizó desde Nextion Editor, seleccionando el puerto de comunicación correspondiente al conversor USB a TTL y configurando la velocidad de comunicación adecuada.

Durante la transferencia, la pantalla mostró el modo de actualización por USART, indicando la velocidad de comunicación y el avance de escritura de datos. Esta visualización permitió confirmar que el archivo del proyecto estaba siendo enviado correctamente hacia la memoria interna de la pantalla.

La carga del proyecto HMI representa una etapa fundamental dentro del montaje final, ya que permite transferir a la pantalla todas las páginas diseñadas previamente, incluyendo presentación, menú principal, tablero, osciloscopio, monitoreo, calibración, registro de datos, teoría, averías y ajustes. Una vez finalizada la transferencia, la pantalla queda preparada para operar como interfaz gráfica del banco didáctico.

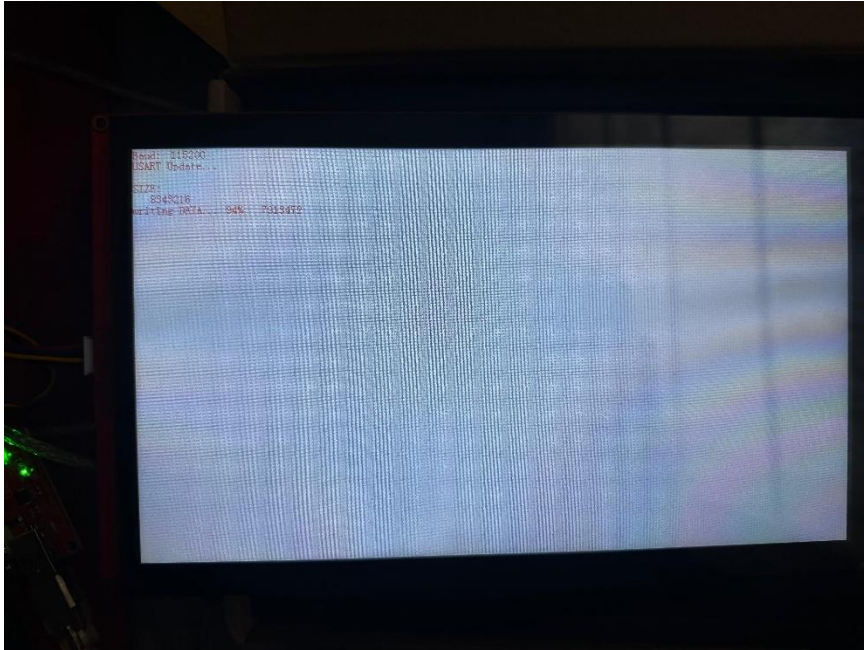


Figura 45.

Proceso de transferencia del proyecto HMI hacia la pantalla Nextion.

Tabla 47.

Secuencia de carga del proyecto HMI en la pantalla Nextion.

Paso	Acción realizada	Descripción
1	Conexión de la pantalla	Se conectó la pantalla Nextion al Foca Max
2	Conexión al computador	Se conectó el Foca Max mediante USB
3	Selección del puerto	Se eligió el puerto COM generado por el controlador CP210x
4	Configuración de velocidad	Se utilizó la velocidad de comunicación definida para la carga
5	Inicio de transferencia	Se envió el proyecto desde Nextion Editor
6	Escritura de datos	La pantalla mostró el avance de carga del archivo
7	Reinicio de pantalla	Al finalizar, la pantalla inició con el proyecto HMI cargado

Paso	Acción realizada	Descripción
8	Verificación visual	Se revisó que las páginas principales aparecieran correctamente

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48.

Elementos involucrados en la carga del programa HMI.

Elemento	Función durante la carga	Observación técnica
Computadora	Ejecuta Nextion Editor	Permite compilar y enviar el proyecto
Nextion Editor	Software de diseño y transferencia	Genera y carga el archivo HMI
Foca Max	Convertor USB a TTL	Permite la comunicación serial con la pantalla
CP210x Driver	Controlador del convertor	Habilita el puerto COM en Windows
Pantalla Nextion	Dispositivo receptor del proyecto	Almacena la interfaz gráfica cargada
Cable TTL	Enlace físico TX/RX	Debe conectarse con transmisión y recepción cruzadas
Alimentación externa	Energiza la pantalla durante la carga	Evita reinicios durante la transferencia

Fuente: Elaboración propia.

10.10.14 Verificación inicial de funcionamiento de la HMI

Después de cargar el proyecto HMI, se verificó el funcionamiento de las páginas principales de la interfaz. En primer lugar, se revisó el menú principal, donde se encuentran los accesos a los diferentes módulos del banco didáctico, tales como osciloscopio, tablero, calibración, averías, monitoreo, registro de datos, teoría y ajustes.

Esta revisión permitió confirmar que la pantalla cargó correctamente el diseño gráfico y que los botones principales se mostraban de manera ordenada. Además, se comprobó que la pantalla podía navegar entre páginas, mostrando los elementos visuales programados previamente.

Posteriormente, se revisó la pantalla de tablero, donde se presentan indicadores gráficos como RPM, velocidad del vehículo, presión de combustible y presión de aceite. Esta prueba permitió confirmar que la interfaz podía representar variables de forma visual, cumpliendo la función de panel de monitoreo del banco didáctico.

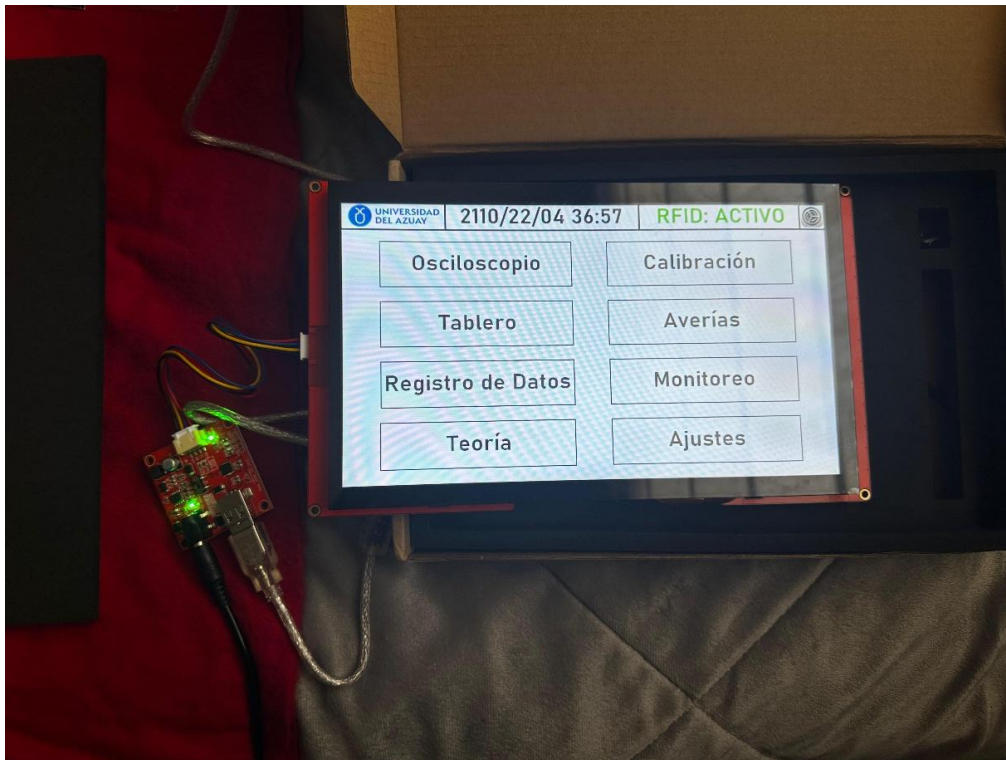


Figura 46.

Visualización del menú principal después de cargar el proyecto HMI.

Tabla 49.

Páginas verificadas después de cargar la interfaz HMI.

Página revisada	Función dentro del banco	Verificación realizada
Presentación	Identificación institucional del proyecto	Visualización de título, logotipo y datos principales

Página revisada	Función dentro del banco	Verificación realizada
Menú principal	Navegación general del sistema	Revisión de botones y accesos principales
Tablero	Visualización de variables del motor simulado	Revisión de indicadores tipo manómetro
Osciloscopio	Representación gráfica de señales	Verificación de pantalla de monitoreo de formas de onda
Registro de datos	Gestión de almacenamiento	Revisión de controles de inicio, pausa e historial
Monitoreo	Supervisión de variables	Visualización de valores y barras de estado
Ajustes	Configuración de parámetros	Revisión de controles de modificación
Calibración	Ajuste fino de señales	Revisión de selección de sensores y valores

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50.

Comprobaciones visuales de la interfaz HMI.

Aspecto revisado	Descripción	Importancia
Carga de imágenes	Se verificó la aparición correcta de fondos e indicadores	Confirma que los recursos gráficos se cargaron correctamente
Botones de navegación	Se revisó la distribución de botones principales	Permite operar la interfaz de forma ordenada
Orientación de	Se comprobó la orientación	Evita errores de visualización en el

Aspecto revisado	Descripción	Importancia
pantalla	visual de la HMI	montaje final
Texto e indicadores	Se revisó legibilidad de nombres y valores	Facilita la interpretación durante prácticas
Estado RFID	Se observó el campo destinado al control de acceso	Permite identificar si el sistema se encuentra habilitado
Pantalla de tablero	Se revisó la presentación de RPM y velocidad	Confirma la función visual automotriz del sistema

Fuente: Elaboración propia.

10.10.15 Prueba del altavoz Nextion Box Speaker

Luego de verificar el funcionamiento gráfico de la pantalla, se realizó la prueba del altavoz Nextion Box Speaker. Este accesorio se conecta directamente a la pantalla Nextion y permite generar sonidos asociados a la interfaz, como clics de navegación, avisos de activación o alertas básicas.

La prueba del altavoz permitió comprobar que la pantalla podía entregar salida de audio hacia el módulo externo. Esta función, aunque no es indispensable para la generación de señales automotrices, mejora la interacción del usuario con el banco didáctico, ya que aporta una respuesta auditiva durante la navegación o activación de funciones.

Desde el punto de vista didáctico, el altavoz permite reforzar eventos importantes dentro del sistema, como acceso autorizado por RFID, inicio de registro de datos, activación de una avería o selección de una señal. Por esta razón, fue considerado como un complemento de la interfaz HMI.

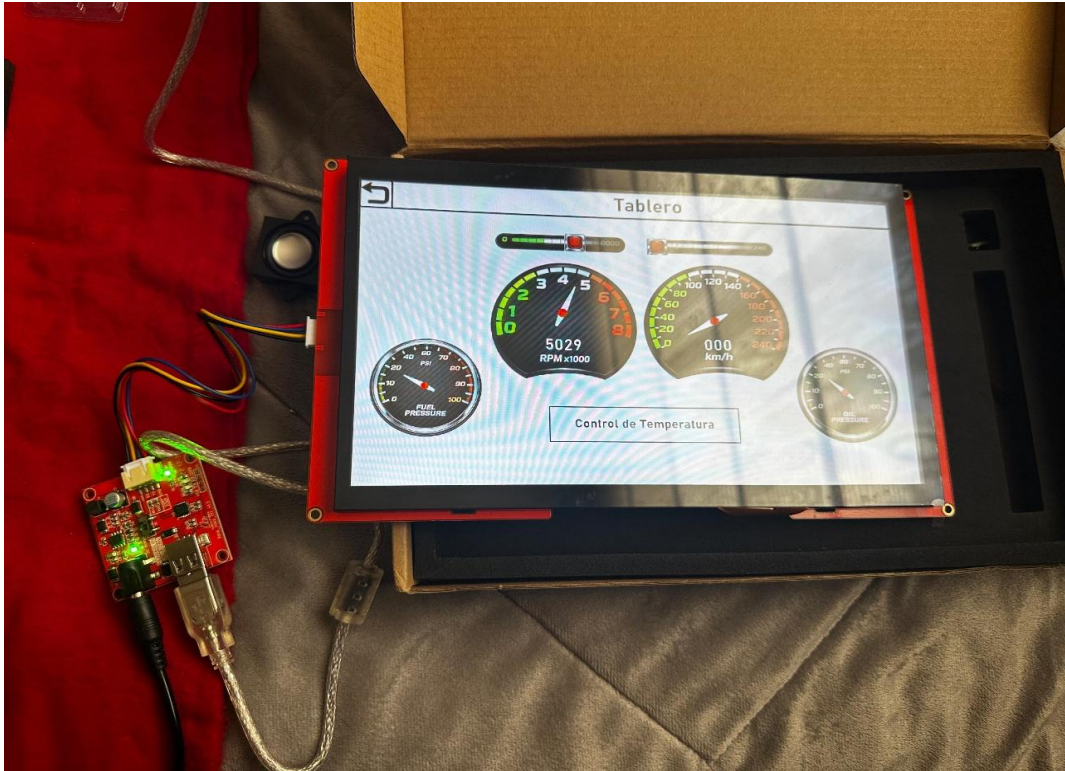


Figura 47.

Prueba de conexión del altavoz Nextion Box Speaker.

Tabla 51.

Prueba funcional del altavoz Nextion Box Speaker.

Elemento	Acción realizada	Finalidad
Box Speaker	Conexión al puerto de audio de la pantalla	Verificar salida sonora desde la HMI
Pantalla Nextion	Activación de eventos de interfaz	Comprobar respuesta auditiva
Botones de la HMI	Navegación entre páginas	Confirmar sonidos de interacción
Eventos del sistema	Avisos o notificaciones	Asociar sonidos a estados importantes
Montaje final	Ubicación del speaker dentro de	Mantener el sonido audible sin afectar

Elemento	Acción realizada	Finalidad
	la caja	la estructura

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52.

Aplicaciones del altavoz dentro del banco didáctico.

Aplicación	Descripción	Beneficio
Clic de pantalla	Sonido al presionar botones	Mejora la percepción de respuesta táctil
Acceso RFID	Aviso de autorización o bloqueo	Permite identificar eventos de seguridad
Registro de datos	Sonido al iniciar o pausar registro	Facilita el seguimiento de la práctica
Simulación de averías	Aviso cuando se activa una falla	Refuerza el análisis didáctico
Navegación HMI	Confirmación sonora entre pantallas	Mejora la experiencia de uso

Fuente: Elaboración propia.

10.10.16 Integración de la pantalla Nextion en la estructura final

Después de comprobar la programación y el funcionamiento inicial de la pantalla, se procedió con su integración física dentro de la caja del banco didáctico. Esta etapa permitió ubicar la HMI en la parte superior de la estructura, de manera que el usuario pueda visualizar y controlar el sistema de forma directa.

La pantalla fue instalada considerando el espacio diseñado previamente en Fusion 360, verificando su ajuste dentro de la abertura frontal y su alineación con la superficie de la caja. También se dejó acceso a los conectores de alimentación, comunicación y ranura

microSD, debido a que estos elementos pueden requerir mantenimiento o actualización en el futuro.

Durante la integración se cuidó que el cableado de la pantalla no quedara presionado ni doblado de forma excesiva. Las líneas de alimentación de 5 V, tierra común y comunicación serial TTL fueron encaminadas hacia la zona interna del sistema, donde se conectan con la alimentación regulada y con el Arduino Mega 2560.

Esta etapa permitió consolidar la interfaz HMI como parte del montaje final del banco didáctico, mejorando la presentación del prototipo y dejando el sistema listo para la verificación de encendido completo.



Figura 48.

Integración física de la pantalla Nextion en la caja del banco didáctico.

Tabla 53.

Criterios de integración física de la pantalla Nextion.

Criterio	Aplicación en el montaje	Importancia
Alineación frontal	Ubicación centrada de la pantalla en la caja	Mejora la presentación del banco

Criterio	Aplicación en el montaje	Importancia
Acceso visual	Pantalla visible desde la parte superior	Facilita la operación del usuario
Acceso a microSD	Espacio para extraer o insertar memoria	Permite actualizar la interfaz HMI
Protección física	Sujeción dentro de la estructura	Evita movimientos durante el uso
Cableado interno	Paso de alimentación y comunicación	Mantiene ordenado el montaje
Separación de módulos	Evitar presión sobre cables y conectores	Reduce riesgo de fallas por contacto
Orientación correcta	Pantalla ubicada en sentido de lectura	Mejora la usabilidad del sistema

Fuente: Elaboración propia.

10.10.17 Encendido final, comunicación serial y pruebas funcionales del banco didáctico

Con la pantalla Nextion integrada en la caja, el módulo osciloscopio instalado y el cableado principal conectado, se realizó el encendido final del banco didáctico. Esta etapa tuvo como finalidad comprobar el comportamiento general del sistema una vez ensamblados los principales elementos electrónicos y mecánicos del prototipo, considerando la alimentación, la interfaz HMI, el Arduino Mega 2560, el módulo osciloscopio, el sistema RFID, el módulo microSD, el multiplexor y las salidas de señales simuladas.

En primer lugar, se verificó el encendido de la fuente principal y de las ramas reguladas de alimentación. La rama de 9 V fue utilizada para alimentar el Arduino Mega 2560 y el módulo osciloscopio DSO138, mientras que la rama de 5 V fue destinada a la pantalla Nextion y a los módulos auxiliares del sistema. Durante esta revisión se comprobó que los módulos encendieran correctamente, sin reinicios inesperados ni caídas evidentes de

tensión. Además, se realizó una inspección visual del cableado interno para confirmar que no existieran cables sueltos, contactos expuestos o conexiones que pudieran interferir con la pantalla, el osciloscopio o los demás módulos instalados.

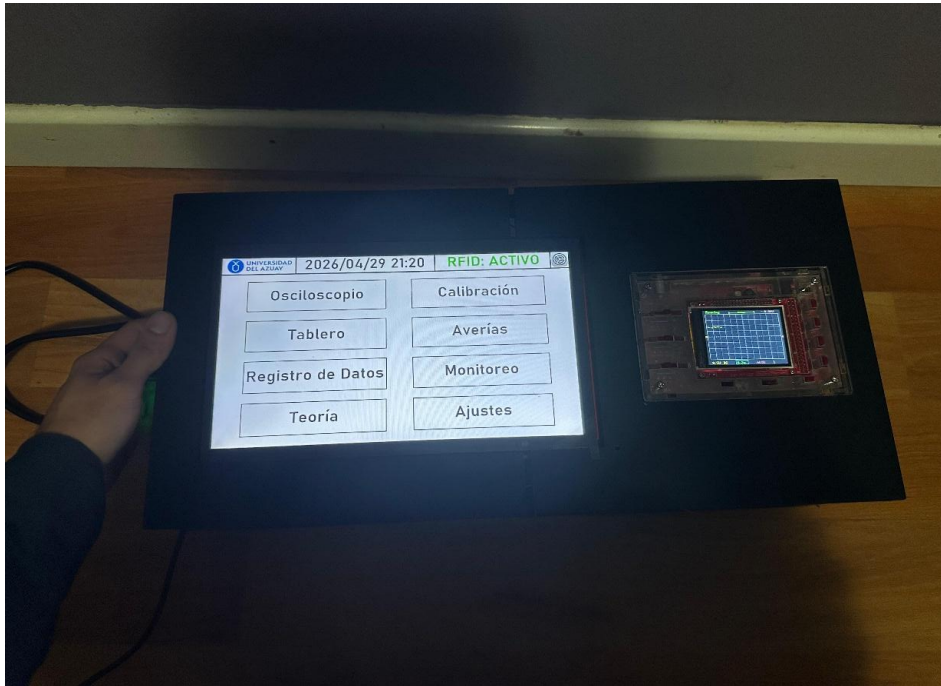


Figura 49.

Encendido general del banco didáctico con pantalla HMI y osciloscopio DSO138 integrados.

Posteriormente, se revisó el funcionamiento de la pantalla Nextion dentro del banco. Se comprobó que la interfaz HMI iniciara correctamente y que las páginas principales fueran accesibles desde el menú. En esta etapa se verificó la visualización del menú principal, la pantalla de tablero, la pantalla de osciloscopio, las secciones de monitoreo, calibración, averías, teoría, registro de datos y ajustes. La navegación táctil respondió de forma adecuada, permitiendo el cambio entre páginas sin bloqueos ni errores visibles.

Una parte importante de esta etapa fue la comprobación de la comunicación serial entre la pantalla Nextion y el Arduino Mega 2560. Para ello se conectaron las líneas TX y RX de forma cruzada entre ambos dispositivos, manteniendo una referencia común de GND. Esta conexión permitió que la pantalla enviara comandos al Arduino y que el Arduino actualizara información visual en la HMI. Durante la prueba se verificó que la comunicación no generara interferencias en la navegación de la pantalla, que los datos enviados se reflejaran correctamente y que el sistema respondiera de manera estable a las acciones del usuario.

La prueba de comunicación serial permitió confirmar que el Arduino Mega recibía correctamente las instrucciones enviadas desde la pantalla, como selección de páginas, activación de funciones y cambios de parámetros. De igual manera, se comprobó que el Arduino podía actualizar datos mostrados en la interfaz, como el estado del sistema, variables simuladas y mensajes de operación. Esta validación fue fundamental, ya que la pantalla Nextion actúa como el medio principal de interacción del usuario con el banco didáctico.

Tabla 54.

Verificación de la comunicación serial entre Arduino Mega y pantalla Nextion.

Elemento verificado	Comprobación realizada	Criterio de aceptación
Conexión TX/RX	Revisión de conexión cruzada entre Arduino y Nextion	La pantalla y el Arduino deben intercambiar datos correctamente
Tierra común	Verificación de GND compartido entre módulos	La comunicación debe ser estable y sin señales erráticas
Recepción de comandos	Pulsación de botones en la HMI	El Arduino debe interpretar la orden enviada
Actualización de pantalla	Envío de datos desde Arduino hacia la HMI	Los valores deben mostrarse en la interfaz
Cambio de páginas	Navegación entre menú, tablero, osciloscopio y ajustes	Las páginas deben abrir sin bloqueo
Estado RFID	Visualización del estado de habilitación	La HMI debe mostrar el estado correspondiente
Estabilidad de comunicación	Operación continua durante la prueba	No deben existir reinicios ni cambios aleatorios de pantalla

Fuente: Elaboración propia.

Durante esta comprobación también se revisó que la pantalla no presentara cambios involuntarios de página, parpadeos en los datos ni activaciones no solicitadas. Una vez corregida y estabilizada la comunicación, la interfaz funcionó correctamente junto con el Arduino Mega, permitiendo la operación normal del banco. Con esto se confirmó que la conexión serial TTL era adecuada para la transmisión de comandos y actualización de datos dentro del sistema.

Además de la interfaz, se verificó el funcionamiento del módulo osciloscopio DSO138 instalado en la parte frontal del banco. Este módulo fue utilizado como elemento de visualización interna para observar las señales seleccionadas desde el sistema. La señal enviada hacia el osciloscopio se controla mediante el multiplexor analógico, el cual permite seleccionar qué señal será dirigida al canal de medición. Esta prueba permitió comprobar la relación entre la selección realizada desde la interfaz, el control ejecutado por el Arduino y la visualización obtenida en el osciloscopio.

Tabla 55.

Pruebas funcionales realizadas durante el encendido final.

Prueba	Descripción	Elementos involucrados
Encendido general	Activación completa del banco desde la alimentación principal	Fuente, reguladores, Arduino, pantalla y osciloscopio
Inicio de HMI	Verificación de arranque de la pantalla Nextion	Pantalla Nextion y proyecto HMI
Navegación táctil	Ingreso a las páginas principales de la interfaz	Pantalla Nextion
Comunicación serial	Intercambio de datos entre HMI y Arduino	Nextion, Arduino Mega, TX, RX y GND
Selección de señal	Elección de una señal desde la interfaz	Nextion, Arduino y multiplexor
Visualización interna	Observación de señal en el osciloscopio	Multiplexor y DSO138

Prueba	Descripción	Elementos involucrados
Señales analógicas	Revisión de salidas PWM filtradas	Arduino, filtros RC y borneras
Señales digitales	Verificación de pulsos simulados	Arduino y salidas digitales
Control RFID	Habilitación mediante tarjeta o llavero	PN532 y Arduino
Registro de datos	Comprobación del módulo microSD	Arduino y módulo microSD
Audio HMI	Prueba del altavoz Nextion Box Speaker	Pantalla Nextion y altavoz

Fuente: Elaboración propia.

El sistema RFID también fue revisado durante la prueba final. La pantalla mostró el estado de habilitación del sistema, permitiendo confirmar que el módulo de acceso se integraba correctamente con la lógica general del banco. Esta función resulta importante porque permite condicionar el uso del prototipo mediante una validación previa, simulando un control de acceso antes de operar las funciones principales.

De igual forma, se realizó la comprobación del módulo microSD, utilizado para el almacenamiento de datos o registros del sistema. Esta prueba permitió confirmar que el módulo permanecía conectado al Arduino y que podía ser considerado dentro de la operación general del firmware. Aunque su función principal se relaciona con el registro de información, su verificación durante el montaje final permitió confirmar la correcta integración física y eléctrica del módulo.

Tabla 56.

Relación entre módulos durante la prueba final.

Módulo	Relación con otros elementos	Función durante la prueba final
Arduino Mega 2560	Pantalla, RFID, microSD, multiplexor y salidas	Coordina la operación general del banco

Módulo	Relación con otros elementos	Función durante la prueba final
Pantalla Nextion	Arduino Mega y Box Speaker	Permite la interacción visual y táctil del usuario
Foca Max	Computadora y pantalla Nextion	Utilizado previamente para cargar el proyecto HMI
RFID PN532	Arduino Mega	Permite la habilitación del sistema
Módulo microSD	Arduino Mega	Permite el registro de datos del sistema
CD74HC4067	Arduino, señales y osciloscopio	Selecciona la señal enviada al DSO138
Osciloscopio DSO138	Multiplexor y salida de señal	Visualiza la señal seleccionada
Regulador de 9 V	Fuente, Arduino y osciloscopio	Alimenta la rama de control y monitoreo
Regulador de 5 V	Fuente, pantalla y módulos auxiliares	Alimenta la interfaz y periféricos
Box Speaker	Pantalla Nextion	Genera retroalimentación sonora de la HMI

Fuente: Elaboración propia.

También se realizó una prueba del altavoz Nextion Box Speaker, conectado a la pantalla para verificar la retroalimentación sonora de la interfaz. Esta comprobación permitió confirmar que el accesorio podía trabajar junto con la HMI, aportando una señal audible durante determinadas acciones o eventos de navegación. Su integración mejora la interacción con el usuario, ya que permite asociar sonidos a botones, cambios de página o avisos del sistema.

Finalmente, se realizó una revisión general del montaje físico. Se verificó que la pantalla Nextion quedara correctamente ubicada en la abertura frontal de la caja, que el osciloscopio DSO138 permaneciera visible y accesible, y que los cables internos estuvieran distribuidos de forma que no presionaran los módulos ni dificultaran el cierre del conjunto. Esta revisión permitió confirmar que la caja cumplía su función de soporte, protección y organización del sistema.

Tabla 57.

Verificaciones mecánicas y de montaje durante el encendido final.

Elemento revisado	Verificación realizada	Criterio de aceptación
Pantalla Nextion	Ajuste físico en la abertura frontal	Debe quedar firme y visible
Osciloscopio DSO138	Ubicación y acceso frontal	Debe permitir visualizar la señal
Arduino Mega	Ubicación interna y conexión de cables	Debe permanecer fijo y accesible
Fuente de alimentación	Posición dentro de la caja	Debe quedar estable y ventilada
Reguladores de voltaje	Ubicación y conexión de entrada/salida	Deben mantenerse firmes
Cableado interno	Revisión de rutas y orden general	No debe presionar pantalla ni módulos
Laterales de la caja	Revisión de acceso visual interno	Deben permitir observar conexiones
Salidas y conectores	Revisión de accesibilidad externa	Deben quedar disponibles para pruebas

Fuente: Elaboración propia.

Con estas pruebas se confirmó que el banco didáctico funcionaba de forma estable después de integrar la pantalla, el Arduino Mega, el osciloscopio y los módulos auxiliares. La comunicación serial entre la pantalla Nextion y el Arduino Mega operó correctamente, permitiendo el intercambio de comandos y datos entre la interfaz y el controlador. Asimismo, se verificó que la navegación de la HMI, el estado RFID, el módulo microSD, el altavoz, la selección de señales y la visualización en el osciloscopio quedaran integrados dentro de una misma estructura funcional.

10.10.18 Cierre de la etapa de montaje final

La etapa de montaje final permitió integrar físicamente los elementos principales del banco didáctico dentro de la caja diseñada. En esta fase se incorporaron la pantalla Nextion, el osciloscopio DSO138, el Arduino Mega 2560, los módulos auxiliares, la fuente de alimentación, los reguladores de voltaje, el sistema RFID, el módulo microSD, el altavoz Nextion Box Speaker y el cableado interno necesario para la operación del sistema.

Además del montaje físico, se verificó el proceso completo de preparación de la pantalla. Para ello se realizó la conexión de la pantalla Nextion mediante el módulo Foca Max, se instaló el controlador CP210x requerido para el reconocimiento del convertidor USB a TTL, se cargó el proyecto HMI desde el software Nextion Editor y se comprobó el funcionamiento de las páginas principales. Este procedimiento permitió confirmar que la pantalla quedaba correctamente programada antes de su integración definitiva en la caja.

La validación de la comunicación serial con el Arduino Mega fue uno de los puntos más importantes de esta etapa. Mediante esta conexión se comprobó que la interfaz no solo funcionaba como elemento visual, sino también como medio de control del banco didáctico. La pantalla permitió enviar instrucciones al Arduino, mientras que el controlador actualizó información y estados dentro de la HMI. Esta interacción confirmó que la arquitectura de control planteada era adecuada para operar el sistema desde una interfaz táctil.

Tabla 58.

Elementos validados al finalizar el montaje.

Elemento	Validación realizada	Estado de integración
-----------------	-----------------------------	------------------------------

Elemento	Validación realizada	Estado de integración
Pantalla Nextion	Carga de HMI, navegación y comunicación serial	Integrada en el panel frontal
Arduino Mega 2560	Ejecución del firmware y comunicación con módulos	Instalado como controlador central
Osciloscopio DSO138	Encendido y disponibilidad para medición	Integrado en el panel frontal
RFID PN532	Lectura de habilitación del sistema	Conectado al controlador
Módulo microSD	Integración para registro de datos	Conectado al controlador
Multiplexor CD74HC4067	Selección de señal para osciloscopio	Integrado al sistema de señales
Box Speaker	Retroalimentación sonora desde la HMI	Conectado a la pantalla
Fuente y reguladores	Alimentación de 9 V y 5 V	Instalados dentro de la caja
Cableado interno	Distribución entre módulos y salidas	Organizado dentro del prototipo

Fuente: Elaboración propia.

Con esta integración, el prototipo pasó de una configuración de prueba a una estructura funcional montada dentro de su caja final. La pantalla HMI quedó disponible para la operación del usuario, el osciloscopio interno permitió el monitoreo de señales y el Arduino Mega quedó como unidad central de procesamiento y control. Además, la correcta comunicación serial entre la pantalla Nextion y el Arduino permitió confirmar que la interfaz podía controlar el sistema de forma estable.

Durante esta etapa también se realizó la comprobación general de las señales generadas por el sistema, verificando la respuesta de las salidas analógicas simuladas, las señales

digitales, la selección de canales mediante el multiplexor y la visualización correspondiente en el osciloscopio. Asimismo, se revisó la navegación entre los diferentes módulos de la interfaz HMI, comprobando el acceso a las secciones de tablero, osciloscopio, calibración, monitoreo, averías, registro de datos, teoría y ajustes. Esta validación permitió confirmar que los módulos principales del sistema se encontraban correctamente integrados y que la interacción entre alimentación, control, visualización, acceso RFID, almacenamiento y generación de señales funcionaba de manera coherente.

Finalmente, se validaron los componentes principales del banco didáctico tanto a nivel eléctrico como funcional, comprobando su encendido, comunicación, respuesta y operación dentro del conjunto final. Con ello, el sistema quedó ensamblado, operativo y listo para el uso del usuario, permitiendo la simulación, visualización y monitoreo de señales de sensores automotrices desde una interfaz didáctica, ordenada y funcional.

11 Resultados

Como resultado del desarrollo del proyecto se obtuvo un banco didáctico funcional para la simulación de señales de sensores automotrices, integrado por una etapa de control basada en Arduino Mega 2560, una interfaz HMI mediante pantalla Nextion, un sistema de generación de señales analógicas y digitales, un módulo de monitoreo con osciloscopio DSO138, almacenamiento mediante microSD, control de acceso por RFID y una estructura física diseñada para el montaje final del sistema.

El sistema permitió centralizar la operación del banco desde la interfaz HMI, facilitando la navegación entre los módulos de tablero, osciloscopio, calibración, monitoreo, averías, registro de datos, teoría y ajustes. Durante las pruebas se comprobó la correcta comunicación serial entre el Arduino Mega 2560 y la pantalla Nextion, verificando el envío y recepción de información, la actualización de variables en pantalla, la navegación entre páginas y la respuesta general de los componentes gráficos.

También se validó el funcionamiento de las señales simuladas, tanto analógicas como digitales, observando que las variables del sistema cambiaban de forma coherente con las condiciones de operación configuradas. Las señales analógicas permitieron representar sensores como MAP, MAF, TPS, APP, IAT, ECT y O2, mientras que las señales digitales permitieron simular pulsos asociados a CKP, CMP e VSS. Esta integración permitió representar de manera didáctica el comportamiento de sensores y actuadores utilizados en sistemas de control electrónico automotriz.

Además, se comprobó el funcionamiento de los módulos auxiliares del sistema. El RFID permitió representar una condición de habilitación del banco, la microSD permitió considerar el registro de datos, el osciloscopio DSO138 facilitó la visualización de señales internas y el altavoz Nextion Box permitió incorporar una salida sonora asociada a la interfaz. Finalmente, el montaje físico permitió integrar los componentes principales dentro de una estructura ordenada, accesible y adecuada para el uso del usuario.

11.1 Evidencia fotográfica del funcionamiento final

Las fotografías finales permiten evidenciar el montaje físico de la pantalla Nextion y del osciloscopio DSO138, así como la operación de las páginas principales de la interfaz HMI durante las pruebas de encendido, autorización RFID, monitoreo, registro, calibración y ajustes del banco didáctico.



Figura 50.
Sistema bloqueado en espera de lectura RFID para habilitar el banco didáctico.



Figura 51.
Sistema autorizado después de la lectura RFID en la pantalla HMI.



Figura 52.

Pantalla de tablero principal con indicadores de operación del banco didáctico.

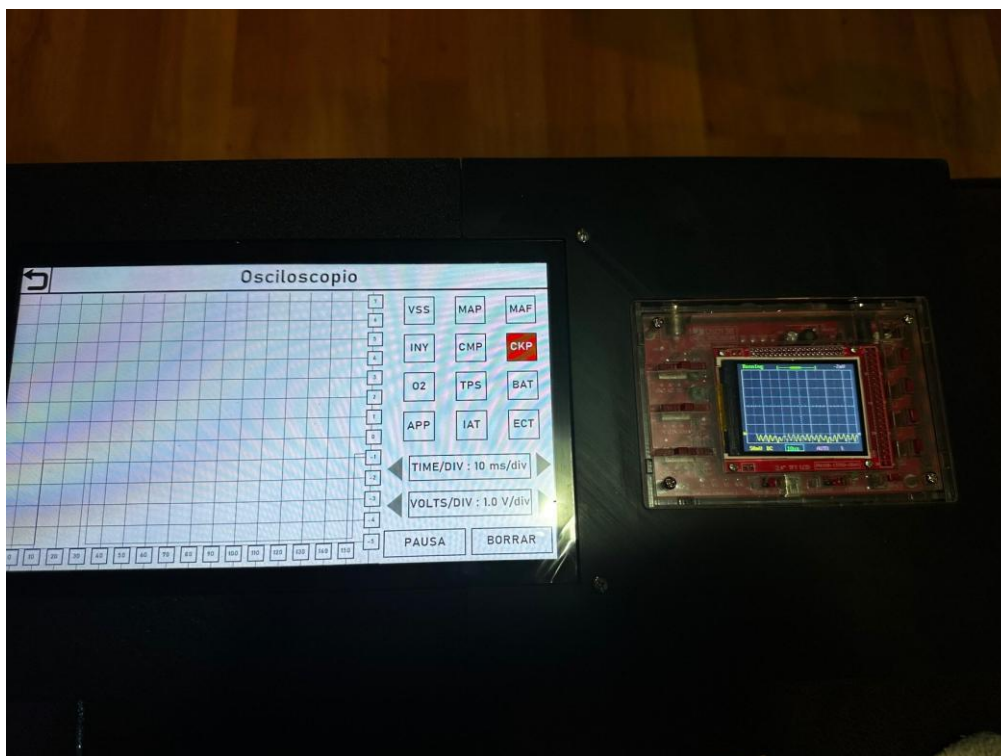


Figura 53.

Pantalla de osciloscopio integrada con el módulo DSO138 para monitoreo de señales.

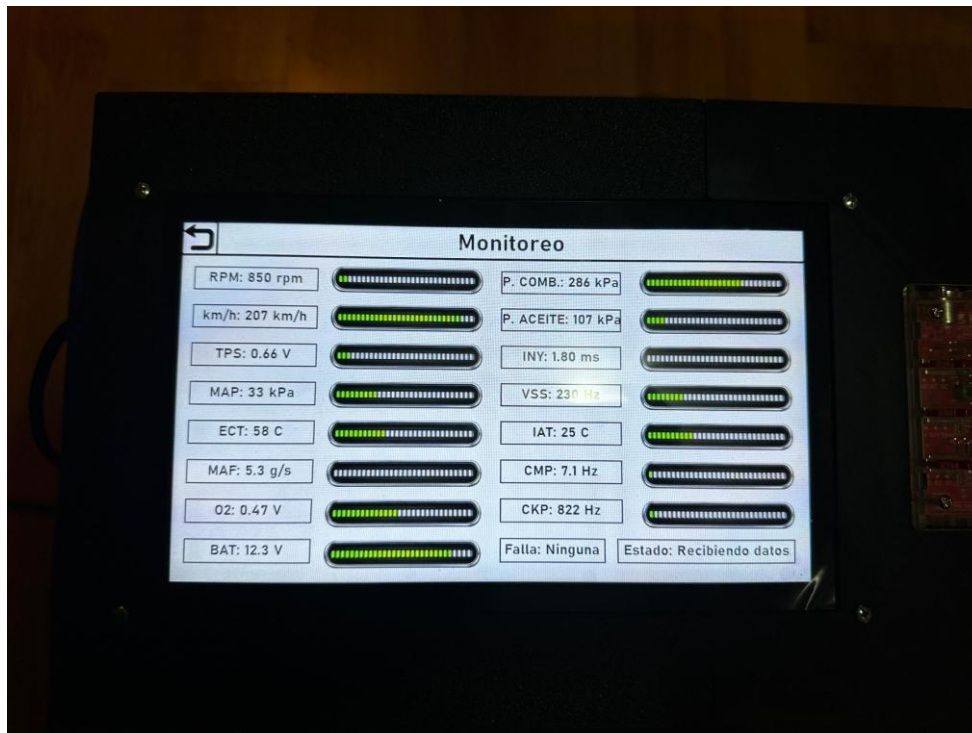


Figura 54.

Pantalla de monitoreo de variables simuladas durante el funcionamiento del sistema.

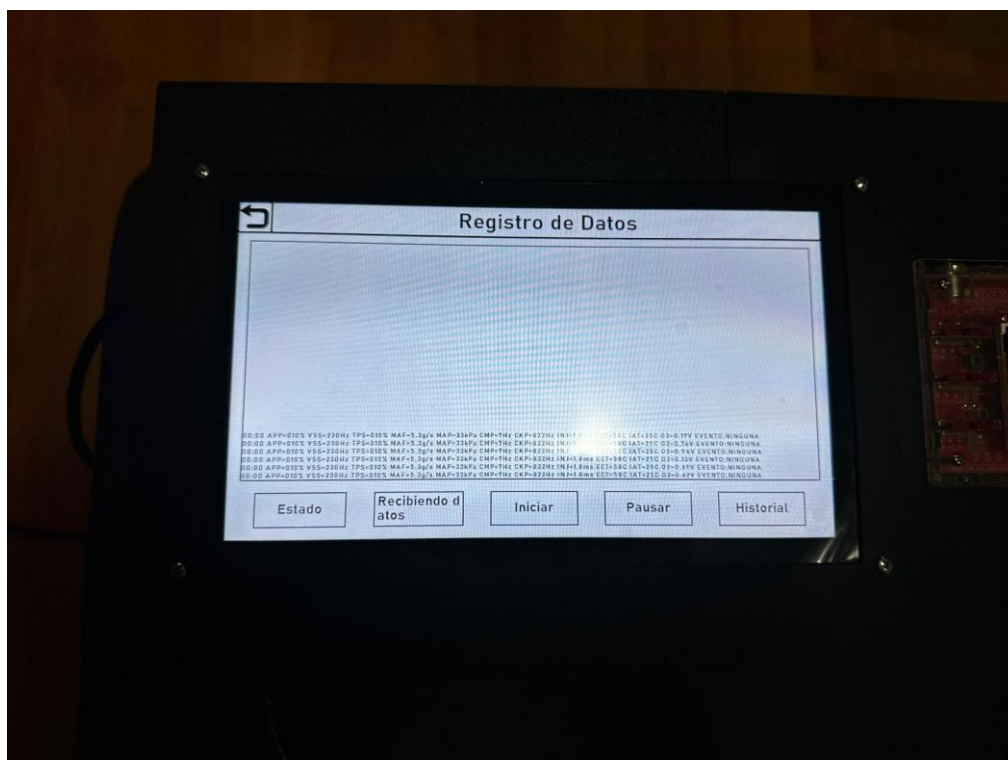


Figura 55.

Pantalla de registro de datos con variables recibidas por la interfaz HMI.

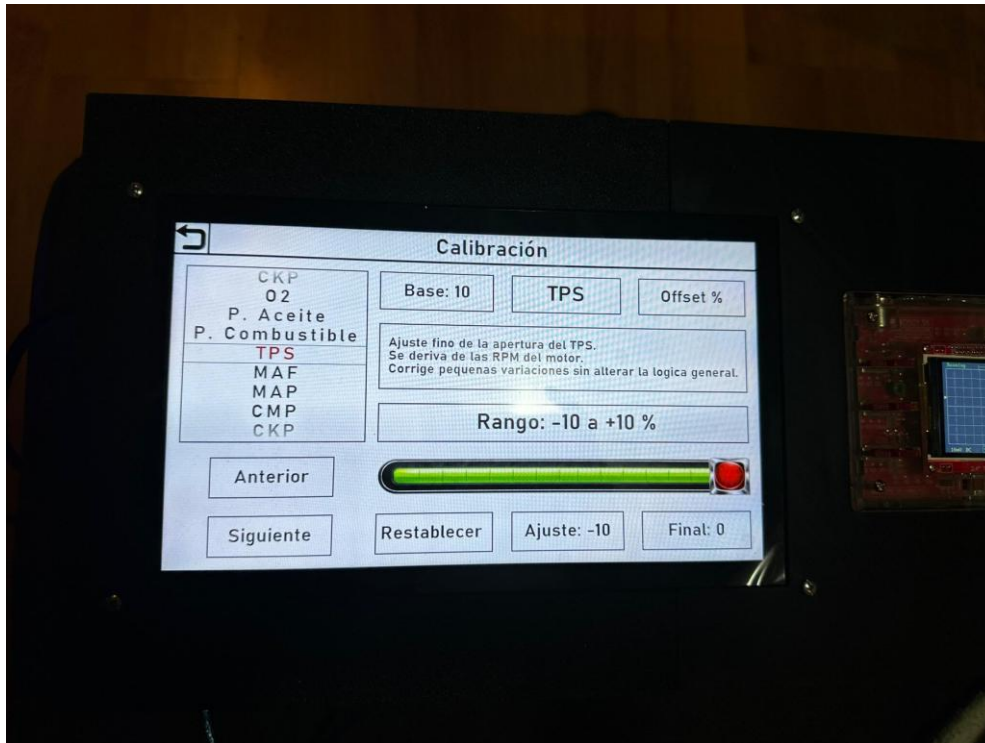


Figura 56.

Pantalla de calibración para ajuste de variables del banco didáctico.

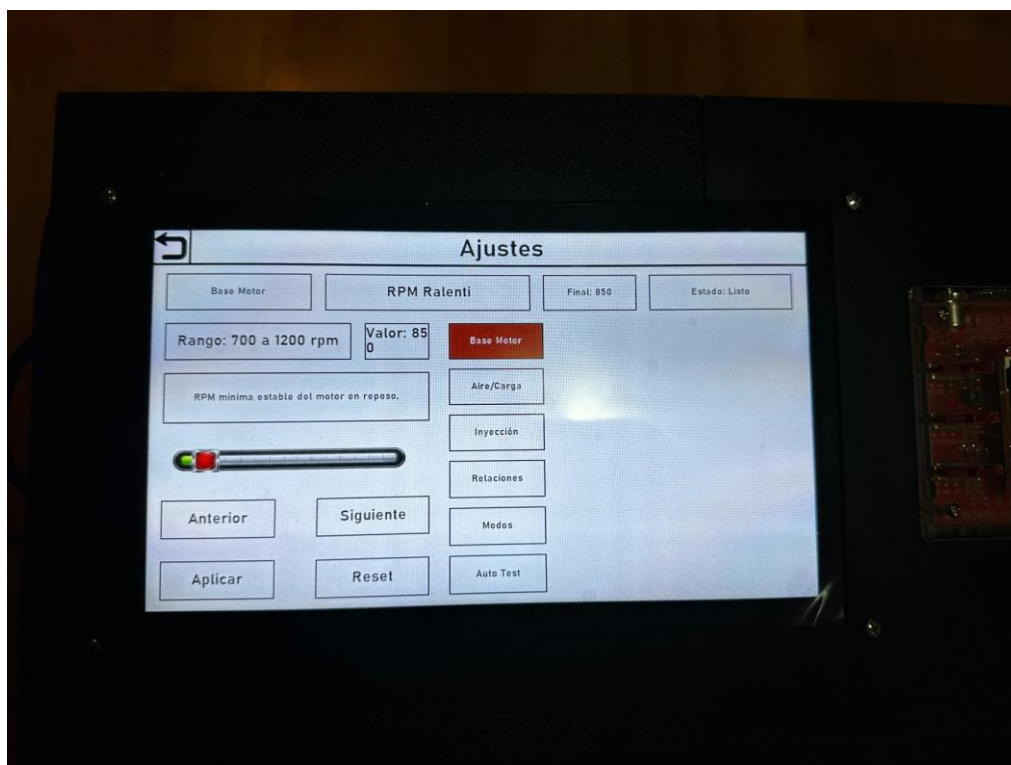


Figura 57.

Pantalla de ajustes para configuración de parámetros de operación del sistema.

En conjunto, estas evidencias confirman que la pantalla fue integrada y que las

funciones principales del sistema pudieron ser operadas desde la HMI. La incorporación de estas fotografías complementa la validación técnica descrita en el montaje final y respalda los resultados obtenidos durante las pruebas funcionales.

Tabla 59.

Resultados generales obtenidos en el banco didáctico.

Área evaluada	Resultado obtenido
Alimentación del sistema	Encendido estable de los módulos principales
Interfaz HMI	Navegación funcional entre las páginas del proyecto
Comunicación serial	Intercambio correcto de datos entre Arduino Mega y pantalla Nextion
Señales analógicas	Generación de variables simuladas para sensores automotrices
Señales digitales	Generación de pulsos físicos para CKP, CMP y VSS; visualización de tiempo de inyección en la HMI
Osciloscopio DSO138	Visualización de señales internas del sistema
RFID	Validación de habilitación del banco
microSD	Integración para registro de datos
Altavoz Nextion Box	Comprobación de funcionamiento sonoro
Montaje físico	Integración ordenada de pantalla, osciloscopio, módulos y cableado

Fuente: Elaboración propia.

12 Conclusiones

Se diseñó e implementó un banco didáctico para la simulación de sensores automotrices, integrando elementos de control, visualización, generación de señales, monitoreo y montaje físico dentro de una misma plataforma. La estructura final permitió organizar los módulos principales del sistema y facilitar su operación desde una interfaz HMI.

La selección del Arduino Mega 2560 como unidad principal de control resultó adecuada para el proyecto, debido a la cantidad de pines disponibles, sus puertos de comunicación y su capacidad para gestionar simultáneamente señales analógicas, señales digitales, periféricos y comunicación con la pantalla Nextion. Esto permitió centralizar la lógica de funcionamiento del banco y coordinar los diferentes módulos del sistema.

La pantalla Nextion permitió desarrollar una interfaz gráfica clara y funcional, desde la cual se puede acceder a las diferentes secciones del banco didáctico. Las pruebas de comunicación serial demostraron que la interacción entre la HMI y el Arduino Mega funcionó correctamente, permitiendo la navegación entre módulos, la visualización de datos y la actualización de variables del sistema.

El sistema de generación de señales permitió representar condiciones de operación asociadas a sensores automotrices analógicos y digitales. Las señales simuladas se comportaron de forma coherente con las variables principales del sistema, lo que permite utilizar el banco como herramienta de práctica, observación y análisis para el aprendizaje de electrónica automotriz.

La integración de módulos auxiliares como RFID, microSD, osciloscopio DSO138 y altavoz Nextion Box permitió ampliar las funciones del banco didáctico, incorporando habilitación de uso, registro de datos, monitoreo interno y retroalimentación sonora. Con ello, el prototipo obtuvo una estructura más completa y cercana a una plataforma didáctica de uso real.

Finalmente, el montaje físico permitió consolidar el sistema en una estructura ordenada, accesible y funcional. La disposición de la pantalla, el osciloscopio, los módulos electrónicos y las zonas de conexión facilita la operación del usuario y deja el banco didáctico listo para su empleo en actividades de demostración, práctica y aprendizaje.

13 Lista de referencias

Arduino. (2025). *Arduino® Mega 2560 Rev3: User manual*.

<https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000067-datasheet.pdf>

Arduino. (2025, 9 de mayo). *analogWrite()*. Arduino Documentation.

<https://docs.arduino.cc/language-reference/en/functions/analog-io/analogWrite/>

Arduino. (2025, 12 de junio). *Serial.begin()*. Arduino Documentation.

<https://docs.arduino.cc/language-reference/en/functions/communication/serial/begin/>

JYE Tech. (s. f.). *DSO138 DIY kit*. Recuperado el 30 de abril de 2026, de

<https://www.jyetech.com/Products/LcdScope/e138.php>

Nextion. (2025, 12 de marzo). *NX1060P101-011C-I*.

<https://nextion.tech/datasheets/nx1060p101-011c-i/>

Nextion. (2025, 9 de julio). *The Nextion Editor Guide*. https://nextion.tech/editor_guide/

Nextion. (2025, 10 de julio). *Instruction set*. <https://nextion.tech/instruction-set/>