



Universidad Nacional de San Luis
Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias

Control y supervisión de un banco de ensayo de motores de combustión interna.

Giudice Agustin

Director: Mgtr. Guillermo L. Magaldi

Codirector: Dr. Maximiliano Asensio

Asesor: Ing. Luis Mercuri

Ingeniería mecatrónica
Villa Mercedes, San Luis
Año 2025

DERECHO DE AUTOR

© 2025, Agustin Giudice.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Dedicatoria

A mis padres y a mi hermana, por haber sido el sostén más importante durante toda mi formación, brindándome con amor los valores, el esfuerzo y la confianza que me permitieron llegar hasta aquí.

A mi novia y a su familia, por su cariño, paciencia y por acompañarme en este proceso con apoyo incondicional, siendo parte fundamental de cada paso que di.

A mis amigos, por su compañía, por los buenos momentos compartidos y por estar siempre presentes tanto en lo académico como en lo personal.

Y de manera muy especial, a mi abuela Beta, que me guió y acompañó en todo este camino desde el cielo. Su recuerdo, su fuerza y su amor me inspiran cada día y me acompañan en cada logro alcanzado.

Agradecimientos

A mis padres y a mi hermana, por su apoyo incondicional y por acompañarme en cada etapa de mi formación, transmitiéndome con su ejemplo los valores del esfuerzo, la perseverancia y la responsabilidad.

A mi novia y a su familia, por su compañía, comprensión y aliento constante durante todo este camino, siendo un sostén fundamental en los momentos más exigentes.

Al Mgtr. Guillermo L. Magaldi, director de este Trabajo Final, por su guía técnica y académica a lo largo del proyecto.

Al Codirector: Dr. Maximiliano Asensio codirector, por su disposición, compromiso y valiosos aportes en las distintas etapas.

Al Ing. Luis Mercuri por su colaboración, sugerencias y acompañamiento durante el desarrollo.

Al Ing. Carlos Catuogno, por sus aportes y la ayuda brindada, que resultaron de gran valor para la concreción de este trabajo.

Al Laboratorio de Control Automático y al Laboratorio de Máquinas Térmicas, por brindarme el espacio, los recursos y el soporte técnico necesarios para llevar adelante este proyecto.

A mis compañeros y amigos de la carrera, por el apoyo, la motivación y los buenos momentos compartidos durante estos años de formación, que hicieron más llevadero el esfuerzo académico y enriquecieron este camino tanto en lo académico como en lo personal.

De manera especial, a Lucas, Jorge, Humberto y Federico, con quienes compartí no solo la amistad sino también el compromiso profesional y académico a lo largo de este proyecto, y cuyo acompañamiento constante fue clave en cada etapa del camino.

Finalmente, a la Universidad Nacional de San Luis, por haberme brindado la formación y las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente.

Resumen

El presente trabajo final tiene como objetivo principal el diseño, desarrollo e implementación de una plataforma de control y supervisión para un banco de ensayos de motores de combustión interna ubicado en el Taller Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de San Luis. Este sistema desarrollado permite operar el banco de ensayos mencionado, garantizando la seguridad del personal y optimizando los procesos de prueba y análisis de datos.

El proyecto surge de la necesidad de modernizar el banco de ensayos existente, el cual actualmente presenta desafíos en términos de seguridad y eficiencia. La plataforma propuesta utiliza un software de desarrollo para controlar variables clave del motor mediante una placa de adquisición conectada a sensores y actuadores. Esto permite a los usuarios monitorear y controlar el motor desde una sala de control, reduciendo la exposición a riesgos como ruidos intensos, gases tóxicos y altas temperaturas.

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo utilizando los recursos disponibles en el laboratorio. Como parte del trabajo, también se realizó una readecuación del entorno físico del banco de ensayos, modificando la disposición de los elementos, mejorando el cableado, la ventilación y la protección térmica del área de trabajo, con el objetivo de integrar de manera segura y eficiente el nuevo sistema de control y adquisición. Además, se realizaron pruebas experimentales para validar el funcionamiento del sistema, garantizando su eficiencia, seguridad y adaptabilidad al entorno de trabajo real.

Palabras clave: Motores de combustión interna, banco de ensayos, adquisición de datos, control automático, seguridad operativa, Node-RED, Arduino.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Índice de figuras	9
Capítulo 1: PROPUESTA	14
1.1. INTRODUCCIÓN	14
1.1.1. PRESENTACIÓN DEL TRABAJO	14
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo general	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
1.3. Alcances y limitaciones	15
1.4. Justificación	17
1.5. Marco teórico	17
1.5.1. Generalidades sobre BE de MCI	17
1.5.2. Motores de Combustión Interna	18
1.5.3. Parámetros Clave a Evaluar	20
1.5.4. Sistemas de Adquisición de Datos	21
1.5.5. Importancia de la refrigeración en ensayos de motores y frenos dinamométricos	22
1.5.6. Frenos dinamométricos	25
1.5.7. Normativas Aplicables a Bancos de Ensayo y Motores de Combustión Interna 28	
1.6. Estado del arte	29
Capítulo 2: DESCRIPCION DE LA PLANTA	31
2.1. Motor a combustión interna	31
2.2. Freno dinamométrico	31
Capítulo 3: SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	34

3.1.	Diseño.....	34
3.2.	Cañería y acoples para el circuito de refrigeración.....	36
3.3.	Soporte del electro ventilador	41
Capítulo 4: ADQUISICIÓN DE DATOS		44
4.1.	Variables de interés	44
4.2.	Selección de la plataforma de adquisición de datos y entorno de desarrollo	44
4.3.	Sensores, actuadores y materiales complementarios utilizados	46
Capítulo 5: INTEGRACIÓN DEL SISTEMA Y PUESTA EN MARCHA		57
5.1.	Verificación individual de componentes y prueba en protoboard.....	57
5.2.	Cableado y distribución de la alimentación.....	58
5.3.	Soportes para módulos electrónicos y actuadores	63
5.4.	Instalación de sensores y actuadores.....	70
5.5.	Pruebas de funcionamiento del sistema	72
Capítulo 6: INTERFAZ GRAFICA, SISTEMA DE COMBUSTIBLE Y TABLERO ELÉCTRICO.....		74
Capítulo 7: PRIMERAS PRUEBAS, RESULTADOS OBTENIDOS Y MITIGACIÓN DE PROBLEMAS		78
7.1.	Acciones para para reducción de interferencias electromagnéticas.....	78
7.2.	Detección y minimización de ruido en señales de módulos adaptadores.	81
7.3.	Cambio de tablero de sistema de control.....	82
7.4.	Pruebas y modificaciones en el hardware del sistema de adquisición y control.....	84
7.5.	Reemplazo de cables de bujía por modelos con supresión magnética	90
7.6.	Cambio en el actuador del acelerador	91
7.7.	Solución a los problemas de la Celda de carga y medición de RPM.....	98
Capítulo 8: RECURSOS Y ANALISIS DE COSTOS		100
8.1.	Recursos humanos.....	100

8.2. Recursos físicos	100
8.2.1. Equipamiento informático y software.....	101
8.2.2. Herramientas y dispositivos.....	101
8.3. Recursos económicos	102
8.3.1. Sensores y módulos electrónicos.....	102
8.3.2. Materiales estructurales y de montaje.....	102
8.4. Resumen general de gastos	103
Capítulo 9: RESULTADOS Y PROPUESTAS DE MEJORAS.....	104
Capítulo 10: CONCLUSIONES.....	107
Glosario	108
<i>Referencias Bibliográficas</i>	109
Anexo 1 – Programación del sistema	111
Anexo 2 – Esquema de conexionado y tablero de potencia.....	126
Anexo 3 – Manual de usuario	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un banco de ensayos de un motor a combustión interna [2].	18
Figura 2. Ciclos de un MCI 4 tiempos [5].	19
Figura 3. Ciclos de un motor a combustión interna dos tiempos [6].	20
Figura 4. Refrigeración de un MCI con radiador [13].	23
Figura 5. Radiador [14].	24
Figura 6. Funcionamiento de una torre de enfriamiento [15].	25
Figura 7. Sistema MCI-freno dinamométrico. (1) MCI – (2) Unión cardánica – (3) Freno dinamométrico – (4) Sistema de arranque del motor.	32
Figura 8. Sistema de arranque del motor. (1) Motor de arranque – (2) Embrague centrífugo para realizar el arranque.	33
Figura 9. Esquema del sistema de refrigeración.	35
Figura 10. Diseño planteado para el soporte del radiador.	35
Figura 11. Prueba de altura de radiador.	36
Figura 12. Proceso de limpieza interna de la cañería.	37
Figura 13. Proceso de corte/roscado/pintura de las cañerías.	37
Figura 14. Soldado de los perfiles angulares.	38
Figura 15. Perfiles angulares soldados.	38
Figura 16. Fijado de las cañerías.	39
Figura 17. Acople del frenómetro a las cañerías.	40
Figura 18. Acople entre el radiador y entrada del frenómetro y entre salida del frenómetro y entrada del motor.	40
Figura 19. Acople salida del motor y entrada del radiador.	41
Figura 20. Soporte del electro ventilador soldado.	42
Figura 21. Soporte del electro ventilador pintada y fijación del mismo.	42
Figura 22. Caños sin tapa.	43

Figura 23. Caños con tapas de seguridad colocadas.....	43
Figura 24. Módulo MAX6675 y termocupla tipo K seleccionada.	46
Figura 25. Ubicación termocupla temperatura de motor.	47
Figura 26. Ubicación termocupla temperatura de freno.	47
Figura 27. Sensor BME280.	48
Figura 28. Funcionamiento para la obtención del torque.	49
Figura 29. Celda de carga y HX711.	50
Figura 30. Módulo KY003 con sensor hall A3144.	51
Figura 31. Ubicación KY003.	51
Figura 32. Módulo relay 4 canales.....	52
Figura 33. Servo motor MG946R.....	53
Figura 34. Ubicación mecanismo acelerador.	53
Figura 35. Arduino Mega.	54
Figura 36. Bomba de combustible.	55
Figura 37. Fuente 12V.	56
Figura 38. Fuente de alimentación 5V-3A.	56
Figura 39. Esquema de conexión.	58
Figura 40. Guía cable monocanal.....	59
Figura 41. Guía cable tricanal.....	59
Figura 42. Guía cable para superficie circular monocanal.	60
Figura 43. Guía cable para superficie circular tetracanal.	60
Figura 44. Cables del medidor de RPM y celda de carga fijados al frenómetro.....	61
Figura 45. Cables del medidor de RPM y celda de carga fijados al frenómetro y al piso. .	61
Figura 46. Cables del medidor de RPM, celda de carga y MAX6675 de temperatura de freno fijados a la base del banco de ensayos.....	62

Figura 47. Cables del medidor de RPM, celda de carga y MAX6675 de temperatura de freno fijados a la base del banco de ensayos.....	62
Figura 48. Distribución y organización del cableado restante correspondiente a sensores, actuadores y alimentación de potencia.	63
Figura 49. Soporte para Arduino, bornera y módulo relé fijado al gabinete.	64
Figura 50. Soporte del gabinete estanco.....	65
Figura 51. Soporte y tapa para módulo MAX6675.	65
Figura 52. Módulo MAX6675 temperatura de freno instalado.	66
Figura 53. Módulo MAX6675 temperatura de motor instalado.	67
Figura 54. Soporte y tapa para módulo KY-035.	68
Figura 55. Soporte de RPM instalado.....	68
Figura 56. Servomotor fijado.	69
Figura 57. Termocupla de temperatura del frenómetro fijada.	70
Figura 58. Termocupla de temperatura de motor fijada.	71
Figura 59. Instalación del servomotor.....	72
Figura 60. Interfaz gráfica.....	75
Figura 61. Instalación de nafta realizada y demostración de longitud y ubicación en el exterior para el tanque de combustible.....	76
Figura 62. Tablero de potencia.....	77
Figura 63. Telurómetro instalado.....	79
Figura 64. Nueva ubicación y detalle de montaje del tablero de comando.	81
Figura 65. Instalación provisoria del módulo MAX6675.	82
Figura 66. Nuevo tablero metálico de comando (exterior e interior).....	83
Figura 67. Diseño y montaje del disco para medición de RPM.	86
Figura 68. Esquema del circuito con filtro para termocupla.....	87
Figura 69. Detección del ruido producido por el encendido del motor.	89
Figura 70. Canalización de cables y nuevo tablero para el segundo Arduino.....	90

Figura 71. Antiguo cableado de bujía / Nuevo cableado de bujía.	91
Figura 72. Diseño en 3D de las piezas necesarias para implementar el mecanismo.	92
Figura 73. Mecanismo de acelerador instalado.	92
Figura 74. Diseño en 3D del accionador y soporte del paso a paso.	94
Figura 75. Sistema fijado al motor.	94
Figura 76. Diseño e implementación de mecanismo de posición del acelerador.	96
Figura 77. Diseño e implementación del nuevo mecanismo del acelerador.	97
Figura 78. Instrumento medidor de avance y RPM.	99
Figura 79. Interfaz gráfica en funcionamiento.	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estimación de horas de trabajo dedicadas.....	100
Tabla 2. Software y equipamiento informático.....	101
Tabla 3. Herramientas y dispositivos.....	101
Tabla 4. Sensores y módulos electrónicos.....	102
Tabla 5. Materiales estructurales y de montaje.....	103
Tabla 6. Resumen general de gastos.....	103

CAPÍTULO 1: PROPUESTA

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.1. PRESENTACIÓN DEL TRABAJO

Los motores de combustión interna (MCI) son dispositivos ampliamente utilizados en la industria automotriz, la maquinaria agrícola, la generación de energía y una gran variedad de aplicaciones donde se requiere transformar energía química en energía mecánica. Su estudio y análisis ocupan un lugar central en la formación de ingenieros, ya que permiten comprender fenómenos relacionados con la termodinámica, la transferencia de calor, la eficiencia energética y el control de procesos.

En los laboratorios de ingeniería, los bancos de ensayo (BE) de MCI cumplen un rol esencial en la enseñanza y la investigación, ya que permiten realizar pruebas controladas para analizar el comportamiento del motor en distintas condiciones de carga, velocidad y temperatura. A través de estos ensayos, es posible evaluar el rendimiento del motor, medir emisiones, determinar curvas características y validar modelos teóricos.

Este trabajo final se centra en el diseño e implementación de una plataforma de control y adquisición de datos para el BE de MCI ubicado en el Taller Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de San Luis, en la ciudad de Villa Mercedes. El banco de ensayos fue trasladado a su nueva ubicación, y desde entonces ha enfrentado diversas limitaciones técnicas que impidieron su funcionamiento, entre ellas la falta de una instalación eléctrica trifásica y la ausencia de un sistema de comando para el funcionamiento del motor como para el freno dinamométrico.

Frente a esta situación, el proyecto plantea la modernización del BE mediante el desarrollo de un sistema que permita operarlo desde una sala de control, reduciendo la exposición del personal a riesgos como ruidos intensos, altas temperaturas y gases tóxicos. Para ello, se integraron sensores y actuadores conectados a una placa de adquisición, junto con un software de supervisión que permite visualizar, registrar y analizar las variables clave del motor en tiempo real.

Además del desarrollo del sistema electrónico y de control, se realizó una readecuación del entorno físico del banco de ensayos, reorganizando los componentes, mejorando el cableado, la ventilación y la seguridad general del área de trabajo. El sistema fue sometido a pruebas experimentales para validar su funcionamiento y se comprobó su efectividad tanto desde el punto de vista técnico como pedagógico.

El presente trabajo no solo busca devolver la operatividad al BE, sino también aportar una herramienta moderna que facilite el aprendizaje, fomente la investigación y sienta las bases para futuras mejoras y ampliaciones en el laboratorio.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Como objetivo general se plantea desarrollar e implementar un sistema de control y supervisión para el banco de ensayos de motores de combustión interna del LMT, con el fin de garantizar la seguridad del personal, mejorar la eficiencia de los procesos de prueba y optimizar el análisis de los datos obtenidos.

1.2.2. Objetivos específicos

- Aplicar los conocimientos de mecánica, electrónica y adquisición de datos.
- Diseñar la arquitectura del sistema de control y supervisión que permita monitorear en tiempo real las variables críticas del motor.
- Automatizar la adquisición, procesamiento de datos y visualización gráfica de variables.
- Obtener una herramienta de apoyo práctico que permita la formación de los estudiantes en esta temática.

1.3. Alcances y limitaciones

Alcance

El presente trabajo abarca el diseño, implementación y validación de una plataforma de control y supervisión para un BE de MCI, con el objetivo de permitir su operación remota y segura desde una sala de control. El proyecto contempla:

- El desarrollo de un sistema de adquisición de datos capaz de registrar variables fundamentales como la velocidad de giro del motor, la fuerza aplicada por el freno dinamométrico, la temperatura en distintos puntos del sistema y las condiciones ambientales del entorno de ensayo.
- La implementación de un sistema de control básico que permite accionar remotamente ciertas funciones del banco de ensayos, como el encendido del motor, el control del acelerador y el funcionamiento de elementos auxiliares como bombas o ventiladores.
- La creación de una interfaz de usuario desarrollada con software de supervisión, que permite visualizar en tiempo real las variables medidas y enviar comandos de control.
- La adecuación del entorno físico del banco de ensayos para integrar los elementos del sistema de control, priorizando criterios de seguridad, orden y funcionalidad.
- La realización de pruebas experimentales para verificar el correcto funcionamiento del sistema en condiciones reales de laboratorio.

Limitaciones

El proyecto presenta ciertas restricciones que delimitan su alcance:

- No se contempló el rediseño completo ni la automatización integral del banco de ensayos, limitando el desarrollo al sistema de control y supervisión.
- El control del freno dinamométrico se mantuvo de forma manual, sin incorporar sistemas electrónicos de regulación automática de la carga.
- No se incluyeron mediciones avanzadas relacionadas con el proceso de combustión, como análisis de gases de escape, consumo específico de combustible o emisiones contaminantes.
- Las mediciones obtenidas no están certificadas bajo normas metrológicas industriales, ya que el sistema fue desarrollado con fines didácticos y experimentales, priorizando la funcionalidad sobre la precisión profesional.
- La elección de sensores, actuadores y dispositivos de control estuvo condicionada por la disponibilidad de recursos del laboratorio, lo que limitó en parte la selección de tecnologías más avanzadas o comerciales.

- La selección de sensores, actuadores y dispositivos de control se orientó hacia componentes de bajo costo, como placas Arduino y módulos compatibles, priorizando la accesibilidad económica y la facilidad de integración en un entorno educativo. Si bien todos los elementos fueron adquiridos específicamente para el proyecto, se optó por tecnologías abiertas y comerciales de bajo costo en lugar de soluciones industriales como controladores lógicos programables (PLC) o sensores de gama profesional.

1.4. Justificación

La modernización del BE de MCI responde a la necesidad actualizar el funcionamiento del sistema existente aprovechando las bondades de la nueva infraestructura, garantizando así la seguridad del personal (docentes y estudiantes), mejora en la calidad de las prácticas de laboratorio y optimización en la obtención y análisis de datos experimentales. La implementación de una plataforma de control y adquisición de datos permite operar el banco de ensayos de manera remota, lo que reduce la exposición a riesgos y brinda una mayor precisión en la supervisión de las variables críticas del motor.

En ese sentido este proyecto favorece la enseñanza en el área de motores de combustión interna, en un ambiente tecnológicamente actualizado para desarrollar competencias prácticas. Asimismo, contribuye a la investigación en el área y fortalece la capacidad del laboratorio para ofrecer servicios especializados en el sector industrial.

1.5. Marco teórico

1.5.1. Generalidades sobre BE de MCI

Un banco de ensayos de motores de combustión interna es una instalación diseñada para evaluar el desempeño y las características operativas de un motor en condiciones controladas. Su principal objetivo es analizar parámetros como potencia, torque, consumo de combustible y emisiones, permitiendo la optimización y validación de diseños y estrategias de operación [1].

Los bancos de ensayos desempeñan un papel fundamental en la industria automotriz y en la investigación de motores. Son utilizados en el desarrollo de nuevas tecnologías, en la verificación del cumplimiento de normativas ambientales y en la

optimización de la eficiencia energética de los motores. Además, resultan esenciales en el desarrollo de motores de competición, donde se busca maximizar el rendimiento y alcanzar el máximo potencial en términos de potencia, eficiencia y fiabilidad.

Existen distintos tipos de bancos de ensayo, clasificados según su aplicación:

- Bancos de ensayo de motores: Diseñados para probar motores de combustión interna en condiciones de carga variable.
- Bancos de ensayo de transmisiones: Utilizados para evaluar el rendimiento de cajas de cambios y sistemas de transmisión de potencia.
- Bancos de ensayo de vehículos completos: Permiten analizar el comportamiento dinámico de un vehículo en un entorno controlado.



Figura 1. Estructura de un banco de ensayos de un motor a combustión interna [2].

1.5.2. Motores de Combustión Interna

Un MCI convierte la energía química del combustible en energía mecánica mediante reacciones de combustión dentro de un cilindro. Este proceso genera una fuerza que impulsa un pistón, el cual, a través de un sistema de bielas y cigüeñal, produce un movimiento rotativo. El funcionamiento se basa en diferentes ciclos termodinámicos, siendo el más común el ciclo Otto para motores nafteros y el ciclo diésel para motores de encendido por compresión [3] [4].

Además, el motor cuenta con un sistema de reglaje de válvulas, encargado de habilitar y deshabilitar, en el momento preciso, tanto la entrada de la mezcla aire–combustible como la salida de los gases de escape. Este sincronismo asegura que todos

los componentes trabajen de manera armónica y que el ciclo de funcionamiento se cumpla de forma eficiente.

Estos ciclos incluyen las siguientes etapas:

- Admisión: Entrada de la mezcla de aire y combustible (en motores de gasolina) o solo aire (en motores diésel) al cilindro.
- Compresión: El pistón comprime la mezcla, aumentando la presión y temperatura.
- Combustión y expansión: En los motores Otto, la mezcla se enciende con una chispa; en los motores diésel, la alta temperatura provoca la auto ignición del combustible inyectado. La expansión de los gases genera trabajo mecánico.
- Escape: Expulsión de los gases quemados del cilindro [3] [4].

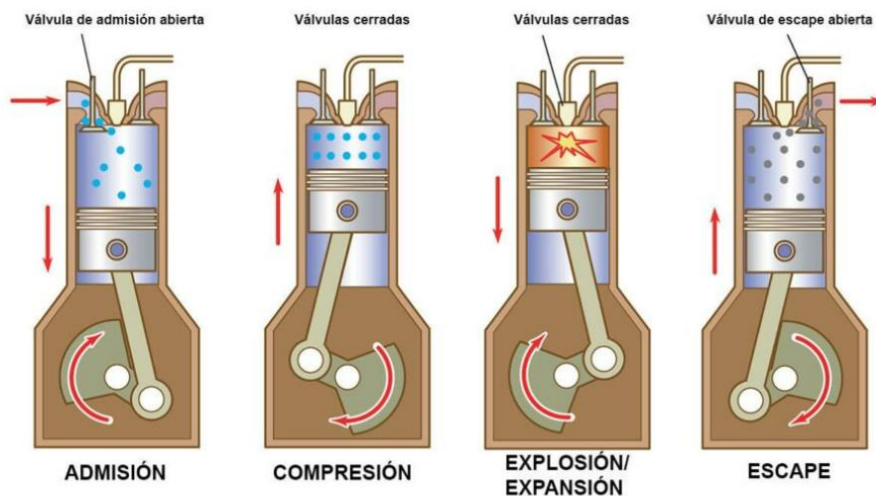


Figura 2. Ciclos de un MCI 4 tiempos [5].

Estas máquinas pueden clasificarse según diversos criterios:

- Por el tipo de encendido:
 - Encendido por chispa (motores a gasolina): Utilizan una bujía para iniciar la combustión.
 - Encendido por compresión (motores diésel): La combustión se produce por la alta temperatura generada en la compresión.
- Por la configuración de los cilindros:
 - En línea: Todos los cilindros alineados en una sola fila.
 - En V: Los cilindros se disponen en dos filas en forma de "V".

- Opuestos: Motores con cilindros ubicados en dos bancadas horizontales formando 180°. Dentro de esta configuración se distinguen dos variantes: los motores en V de 180°, en los que dos pistones opuestos comparten la misma manivela en el cigüeñal, y los motores bóxer, en los que cada pistón posee su propia manivela, lo que produce un movimiento perfectamente opuesto y equilibrado. En los bóxer, además, la disposición de las cabezas de los pistones suele estar orientada hacia afuera, salvo en algunos casos particulares en los que apuntan hacia el centro del motor.
- Por el ciclo de operación:
 - Motores de 4 tiempos: Realizan el ciclo completo en cuatro carreras del pistón.
 - Motores de 2 tiempos: Realizan el ciclo en solo dos carreras, logrando mayor potencia específica pero menor eficiencia y mayor desgaste.

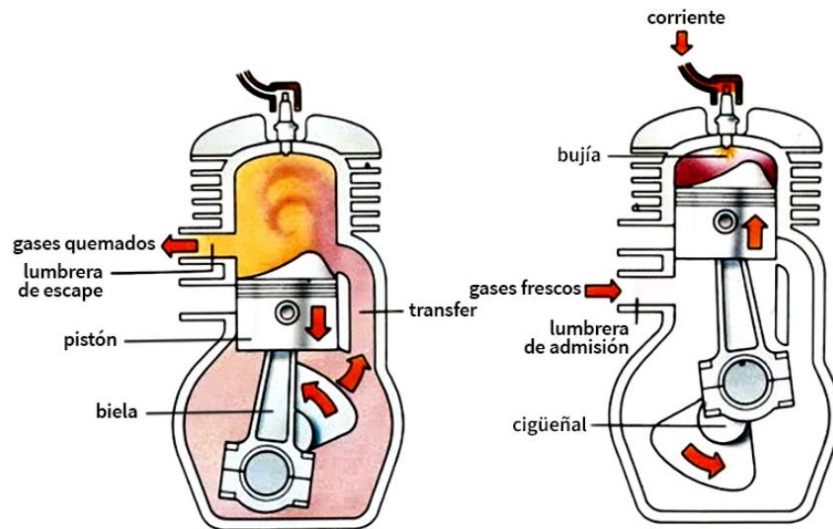


Figura 3. Ciclos de un motor a combustión interna dos tiempos [6].

1.5.3. Parámetros Clave a Evaluar

El correcto funcionamiento de un MCI puede ser evaluado a través de distintos parámetros que pueden ser medidos directamente u obtenidos a través de distintas variables [7] [8] [9] [10]:

- Potencia y torque: Indican la capacidad de trabajo del motor y su rendimiento en distintas condiciones de carga.

- Consumo de combustible: Permite evaluar la eficiencia del motor, generalmente expresado en litros por hora o gramos de combustible por kWh.
- Emisiones contaminantes: Se analizan gases como CO₂(dióxido de carbono), NO_x(óxidos de nitrógeno, principalmente monóxido de nitrógeno NO y dióxido de nitrógeno NO₂) y partículas para determinar el impacto ambiental del motor y su cumplimiento con normativas vigentes [11] [12].
- Relación aire-combustible: Se mide mediante sensores de oxígeno o sonda lambda para evaluar la eficiencia de combustión y asegurar que el motor opere dentro de los rangos adecuados para maximizar potencia y minimizar emisiones.
- Temperatura de gases de escape: Proporciona información sobre la eficiencia térmica del motor y el correcto funcionamiento del sistema de combustión. Estas y otras variables de funcionamiento pueden ser medidas de manera independiente utilizando instrumentos dedicados, por ejemplo, bancos analógicos diseñados para parámetros específicos o, aprovechando el desarrollo tecnológico actual, mediante sistemas integrados de adquisición y análisis de datos que permiten registrar simultáneamente múltiples magnitudes. Esta última alternativa ofrece una visión más completa y en tiempo real del comportamiento del motor, dando el pie a la sección siguiente.

1.5.4. Sistemas de Adquisición de Datos

Los sistemas de adquisición de datos permiten medir, registrar y analizar las variables de funcionamiento del motor en tiempo real. En el contexto de un banco de ensayos, estos sistemas proporcionan información crucial para evaluar el desempeño del motor bajo diferentes condiciones de carga.

Para la adquisición de datos, se utilizan diversos sensores y dispositivos:

- Sensores de temperatura: Miden la temperatura del refrigerante, aceite y gases de escape.
- Sensores de presión: Miden la presión en los cilindros, el colector de admisión y el sistema de lubricación.
- Sensores de flujo: Determinan el caudal de aire y combustible consumido por el motor.

- Tacómetros y dinamómetros: Registran la velocidad de rotación y la potencia generada.

Los bancos de ensayo requieren sensores para medir parámetros críticos del sistema, lo que permite evaluar por ejemplo el rendimiento del motor y del freno dinamométrico. Entre las variables más importantes que se monitorean se incluyen:

- Temperatura del refrigerante, motor y otros componentes térmicamente críticos.
- Velocidad de giro, medida mediante sensores ópticos o encoders.
- Torque y potencia, obtenidos a partir de sensores de carga y sistemas de adquisición de datos.

El uso de sensores adecuados permite realizar mediciones precisas y en tiempo real, lo que es fundamental para garantizar la confiabilidad de los ensayos.

1.5.5. Importancia de la refrigeración en ensayos de motores y frenos dinamométricos

Durante los ensayos, tanto los MCI como los frenos dinamométricos generan grandes cantidades de calor debido a la conversión de energía mecánica en térmica. Si este calor no se disipa adecuadamente, puede provocar sobrecalentamientos, pérdida de eficiencia y, lo que es más importante, daños en los componentes del sistema. Por esta razón, es fundamental contar con un sistema de refrigeración eficiente que mantenga las temperaturas de operación dentro de rangos seguros y garantice el correcto desarrollo de pruebas [1].

La refrigeración por agua es uno de los métodos más eficientes para disipar el calor en bancos de ensayo, permitiendo mantener temperaturas de operación estables en componentes sometidos a altas exigencias térmicas. Su funcionamiento se basa en la circulación de un fluido refrigerante, generalmente agua, que absorbe el calor de los elementos calientes y lo transfiere a un intercambiador de calor o radiador, donde se disipa de manera controlada.

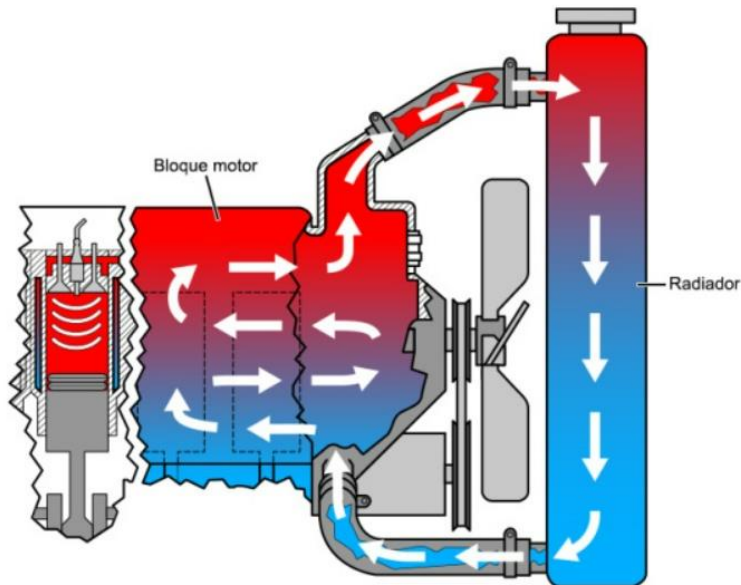


Figura 4. Refrigeración de un MCI con radiador [13].

Entre sus principales ventajas se encuentran:

- Alta capacidad de disipación térmica, lo que permite manejar grandes cargas de calor sin comprometer la estabilidad del sistema.
- Control preciso de la temperatura, facilitando el mantenimiento de condiciones óptimas para los ensayos y evitando fluctuaciones térmicas que puedan afectar los resultados.
- Funcionamiento estable y continuo, ya que el flujo de refrigerante permite una disipación uniforme del calor, reduciendo la posibilidad de puntos calientes en los componentes.
- Adaptabilidad a diferentes configuraciones, pudiendo integrarse con intercambiadores de calor, torres de enfriamiento o sistemas cerrados para optimizar su rendimiento según los requerimientos del ensayo.
- Mayor eficiencia en la transferencia de calor, debido a las propiedades térmicas del agua, que permiten una disipación rápida y efectiva sin necesidad de estructuras voluminosas.

Estas características hacen que la refrigeración por agua sea una opción ampliamente utilizada en entornos donde se requiere un control térmico riguroso y una gestión eficiente del calor generado durante los ensayos.

Para mejorar la eficiencia de la refrigeración por agua, se emplean dispositivos como radiadores y torres de enfriamiento, los cuales permiten disipar el calor del fluido refrigerante y mantener una temperatura estable en el sistema. La elección entre uno u otro depende de factores como la potencia térmica a disipar, el espacio disponible y las condiciones ambientales.

- Radiadores: Son intercambiadores de calor que utilizan aire para disipar el calor del agua de refrigeración. Funcionan mediante el paso del líquido caliente a través de un conjunto de tubos y aletas metálicas, donde el calor se transfiere al aire circundante, facilitando su disipación. Existen distintos diseños, como radiadores de flujo cruzado y de flujo paralelo, cada uno con características específicas que afectan su eficiencia. Estos sistemas son ideales para aplicaciones donde el caudal de agua es relativamente bajo y se requiere una solución compacta y de fácil mantenimiento.



Figura 5. Radiador [14].

- Torres de enfriamiento: Son estructuras diseñadas para enfriar grandes volúmenes de agua mediante el contacto con el aire. Su principio de funcionamiento se basa en la evaporación parcial del agua, lo que permite una disipación térmica eficiente. Dependiendo del mecanismo de circulación del aire, pueden clasificarse en torres de tiro natural, tiro inducido o tiro forzado. Estas son especialmente útiles en bancos de ensayo de motores de alta potencia y frenos dinamométricos que generan grandes cantidades de calor, ya que permiten una disipación térmica sostenida incluso en condiciones de operación prolongadas.

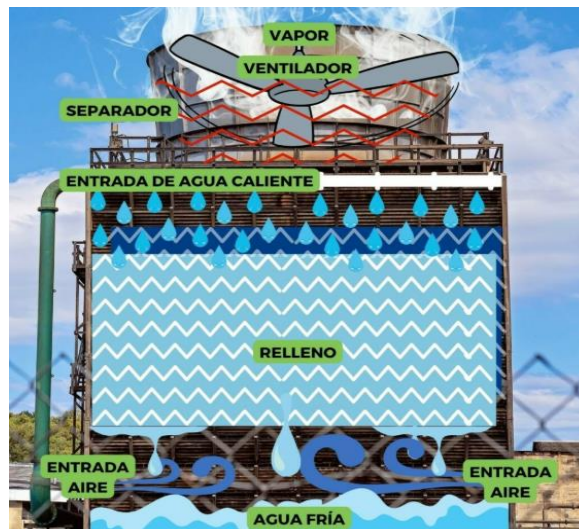


Figura 6. Funcionamiento de una torre de enfriamiento [15].

La correcta implementación de estos sistemas asegura que la temperatura del fluido refrigerante se mantenga dentro de los límites adecuados, evitando riesgos de sobrecalentamiento y garantizando la fiabilidad de los ensayos. Además, su diseño y selección deben considerar factores como la capacidad térmica requerida, las condiciones climáticas y el consumo de energía, para optimizar el rendimiento del sistema de refrigeración.

1.5.6. Frenos dinamométricos

Los frenos dinamométricos (FD) son dispositivos utilizados en BE para medir y controlar la potencia de motores, absorbiendo la energía mecánica generada y disipándola de diversas formas. La elección del tipo de freno depende de factores como la precisión requerida, la potencia del motor a ensayar, el rango de velocidad y las condiciones de disipación térmica. A continuación, se describen los principales tipos de frenos utilizados en estos sistemas:

1. Frenos mecánicos (de fricción)

Estos frenos utilizan discos o tambores con material de fricción para generar resistencia a la rotación del motor. Su principio de funcionamiento es similar al de los frenos convencionales en vehículos, donde la fuerza de fricción convierte la energía mecánica en calor, que luego se disipa al ambiente.

Características y aplicaciones:

- Diseño simple y económico, con un mecanismo basado en pastillas o zapatas de fricción.
- Requieren un mantenimiento frecuente debido al desgaste del material de fricción.
- Se utilizan en aplicaciones donde no es necesaria una regulación precisa de la carga aplicada.
- Limitados en su capacidad de disipación térmica, lo que restringe su uso en motores de alta potencia o ensayos prolongados.

2. Frenos hidráulicos

Los frenos hidráulicos emplean un fluido, generalmente aceite o agua, para generar resistencia mediante la acción de paletas o rotores en un circuito cerrado. La energía mecánica del motor se convierte en energía térmica, que luego es disipada por intercambiadores de calor.

Ventajas y aplicaciones:

- Permiten una disipación de calor más eficiente en comparación con los frenos mecánicos.
- Son capaces de manejar grandes potencias y cargas elevadas sin sufrir desgaste significativo.
- Proporcionan una carga estable y regulable, lo que los hace ideales para pruebas prolongadas de motores de combustión interna.
- Su uso es común en bancos de ensayo industriales y en aplicaciones donde se requiere una absorción de potencia considerable.

3. Frenos eléctricos

Estos frenos convierten la energía mecánica en energía eléctrica o térmica mediante generadores eléctricos o sistemas de corrientes parásitas. Se caracterizan por su alta precisión y capacidad de regulación de carga.

a. Frenos por generador eléctrico

Funcionan como un generador que convierte la energía mecánica en electricidad, la cual puede ser disipada en resistencias de carga o reutilizada en la red eléctrica.

Beneficios:

- Permiten recuperar parte de la energía absorbida, aumentando la eficiencia del sistema.
- Capacidad para manejar altas potencias sin generar desgaste mecánico.
- Adecuados para pruebas en motores eléctricos y sistemas de propulsión híbridos.

b. Frenos por corrientes parásitas

Estos frenos utilizan un campo magnético variable para inducir corrientes eléctricas en un rotor metálico, generando resistencia sin contacto mecánico. La energía absorbida se disipa en forma de calor, generalmente con sistemas de refrigeración integrados.

Características clave:

- No tienen contacto físico, por lo que no sufren desgaste mecánico.
- Ofrecen una regulación precisa de la carga aplicada.
- Son ideales para pruebas de motores en un amplio rango de velocidades y cargas.
- Requieren sistemas de disipación térmica eficientes para evitar sobrecalentamiento del rotor.

El freno por corrientes parásitas es un tipo de freno eléctrico que utiliza el principio de inducción electromagnética para generar resistencia a la rotación del motor. Consiste en un rotor metálico que gira dentro de un campo magnético generado por electroimanes. Este campo induce corrientes parásitas en el rotor, las cuales generan fuerzas opuestas a su movimiento, disipando energía en forma de calor.

Este tipo de freno es ampliamente utilizado en bancos de ensayo debido a sus ventajas, como:

- Alta precisión en la regulación de la carga aplicada.
- Ausencia de contacto mecánico, lo que reduce el desgaste y el mantenimiento.
- Capacidad de disipar grandes cantidades de energía térmica, aunque requiere un sistema de refrigeración eficiente.
- Respuesta rápida y control estable, lo que permite mediciones precisas durante los ensayos.

Algunas ventajas del freno por corrientes parásitas incluyen:

- Control electrónico preciso de la carga aplicada.
- Larga vida útil debido a la ausencia de fricción mecánica.
- Rápida respuesta dinámica, lo que permite ajustes instantáneos en el ensayo.

- Menor generación de ruido en comparación con otros sistemas de frenado.
Sin embargo, también presenta algunas desventajas:
- Generación de grandes cantidades de calor, lo que requiere sistemas de refrigeración eficientes.
- Dependencia de la alimentación eléctrica para su funcionamiento, lo que puede ser una limitante en algunos entornos.
- Costo inicial relativamente alto en comparación con otros sistemas de frenado.

Estos aspectos hacen que la elección del freno adecuado dependa de las necesidades específicas del ensayo y las condiciones operativas del banco de pruebas [3] [4].

1.5.7. Normativas Aplicables a Bancos de Ensayo y Motores de Combustión Interna

Existen determinadas normativas o estándares aplicables al funcionamiento de un BE y al funcionamiento de un MCI, por lo cual se realiza a continuación una breve descripción de las mismas

La norma ISO 1585 especifica los métodos para medir la potencia neta de los motores de combustión interna. Esta norma es crucial para garantizar que las mediciones de potencia sean consistentes y comparables entre diferentes fabricantes y laboratorios. En este proyecto, la norma ISO 1585 asegura que los datos de potencia generados en el banco de ensayos sean precisos y cumplan con estándares internacionales [7].

La norma ISO 3046 establece las especificaciones técnicas y los métodos de ensayo para motores de combustión interna alternativos. También incluye directrices sobre tolerancias, condiciones de prueba y parámetros de referencia. En el contexto del proyecto, esta norma regula las condiciones bajo las cuales se realizan los ensayos y garantiza la confiabilidad de los resultados [8].

La norma SAE J1349 detalla los procedimientos para medir la potencia y el torque de los motores en condiciones específicas. Esta norma es especialmente relevante en la industria automotriz y complementa las especificaciones de la ISO 1585, con un enfoque más detallado en la medición de motores para vehículos de carretera [10].

La norma ISO 5167 aborda los métodos para medir el flujo de fluidos utilizando dispositivos de presión diferencial, como placas orificio y toberas. En el banco de ensayos, esta norma regula el uso de caudalímetros para garantizar que las mediciones de flujo de aire y combustible sean precisas y reproducibles [9].

Así también regulaciones como EURO 6 en Europa y EPA Tier 4 en Estados Unidos establecen límites estrictos para las emisiones de motores de combustión interna. Estas normativas son esenciales para garantizar que los motores ensayados cumplan con estándares ambientales y minimicen su impacto en el medio ambiente [12].

1.6. Estado del arte

Los BE de MCI cumplen un rol esencial en la caracterización, permitiendo realizar mediciones en condiciones controladas y analizar variables como la potencia, el par motor, la temperatura o la velocidad de giro. En el ámbito industrial, estos bancos se encuentran completamente automatizados, con sensores de alta precisión, sistemas de adquisición de datos certificados y controladores programables que regulan dinámicamente la carga, el encendido y la inyección de combustible. Sin embargo, estas soluciones suelen estar asociadas a altos costos y una complejidad que no siempre resulta compatible con los entornos educativos.

Ante esta realidad, numerosas instituciones académicas han desarrollado soluciones de bajo costo basadas en tecnologías abiertas. En Argentina, varias universidades han implementado plataformas de adquisición y control utilizando placas Arduino o Raspberry Pi, junto con sensores comerciales y software de desarrollo propio, priorizando la accesibilidad económica, la didáctica y la flexibilidad para la experimentación [16].

La Universidad Nacional de La Plata diseñó un banco de ensayo didáctico con adquisición de datos en tiempo real utilizando, sensores termoresistivos para registrar temperaturas y celdas de carga para estimar el par. Todo esto controlado mediante una interfaz en LabVIEW y una placa de adquisición económica [17].

En universidades latinoamericanas, también se han publicado tesis y proyectos que documentan experiencias similares: adaptación de frenos dinamométricos existentes,

incorporación de sensores de bajo costo, diseño de interfaces gráficas personalizadas y validación de sistemas mediante ensayos experimentales. Estas iniciativas buscan brindar herramientas concretas para la formación de estudiantes de ingeniería, permitiendo un contacto directo con sistemas reales sin requerir equipamiento industrial [18] [19].

El presente trabajo se enmarca en este enfoque, proponiendo una solución modular y replicable basada en tecnologías abiertas, diseñada específicamente para el entorno del laboratorio académico. A través de la implementación de una plataforma de control y adquisición de datos, se logró reactivar el banco de ensayos existente, permitiendo su operación remota y segura, y sentando las bases para futuras ampliaciones o mejoras.

CAPÍTULO 2: DESCRIPCION DE LA PLANTA

2.1. Motor a combustión interna

El BE está compuesto por un MCI tipo Tornado de cuatro bancadas, perteneciente a una planta motriz de vehículos de producción nacional. Las características técnicas de esta máquina son descriptas en la tabla 1.

Tabla N°1. Características del motor.

Característica	Detalle
Tipo de motor	Seis cilindros en línea, árbol de levas en cabeza (SOHC), 4 bancadas
Cilindrada	~3.770 cm ³ (230 in ³)
Diámetro x carrera	Ø 84,94 mm × carrera 111,12 mm
Potencia	~145 HP (142 CV) a 4.200 rpm (versión básica)
Torque máximo	~30 kg·m a 2.000 rpm
Relación de compresión	~8,5:1 (versión estándar); versiones de alto rendimiento hasta ~10,0:1
Alimentación	Carburador Carter RBS 3957 (serie básica); versiones de rendimiento con tres Weber 45 mm
Aplicación	Rambler Ambassador, Classic, Torino (IKA/IKA-Renault); Jeep Wagoneer/Gladiator en EE. UU.

2.2. Freno dinamométrico

Este motor se encuentra acoplado a un freno dinamométrico por corrientes parásitas FYL-03, el cual permite simular distintas condiciones de carga y resistencia, facilitando la caracterización del comportamiento del motor bajo distintas sollicitaciones.

El acoplamiento entre el motor y el freno se realiza mediante una unión cardánica, lo que garantiza una transmisión eficiente del par motor al sistema de frenado, permitiendo al mismo tiempo cierta tolerancia a desalineaciones mecánicas menores.

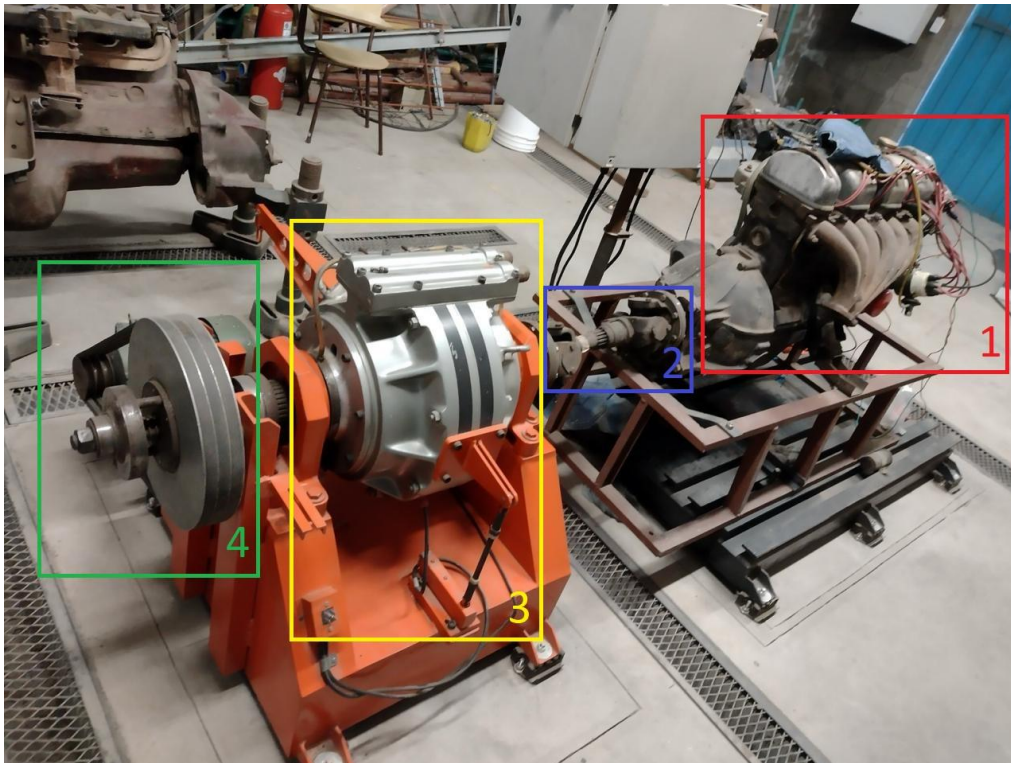


Figura 7. Sistema MCI-freno dinamométrico. (1) MCI – (2) Unión cardánica – (3) Freno dinamométrico – (4) Sistema de arranque del motor.

Ambos equipos están montados sobre estructuras metálicas diseñadas a medida, como puede observarse en la figura 7. Estas estructuras se encuentran fijadas sobre soportes de goma, los cuales cumplen la función de aislar vibraciones y evitar que se transmitan al piso o entre los propios elementos del banco, asegurando así un funcionamiento más estable y seguro.

Dado que el MCI no cuenta con burro de arranque, se utiliza un motor trifásico para realizar el encendido. Este transmite el movimiento mediante un sistema de poleas a un embrague centrífugo de funcionamiento completamente mecánico, el cual está acoplado al eje solidario del freno dinamométrico. Al encender el motor trifásico, se genera la rotación necesaria para poner en marcha el motor de combustión interna. Una vez que este alcanza una velocidad superior a la del motor trifásico, el embrague centrífugo se desacopla automáticamente, sin necesidad de intervención externa.

Este sistema (Figura 8), además de ser eficaz, resulta una solución práctica y sencilla, ya que no requiere componentes electrónicos ni sistemas de control complejos

para realizar el arranque. La simplicidad mecánica reduce los puntos de falla y facilita tanto el mantenimiento como la operación del banco de ensayos.

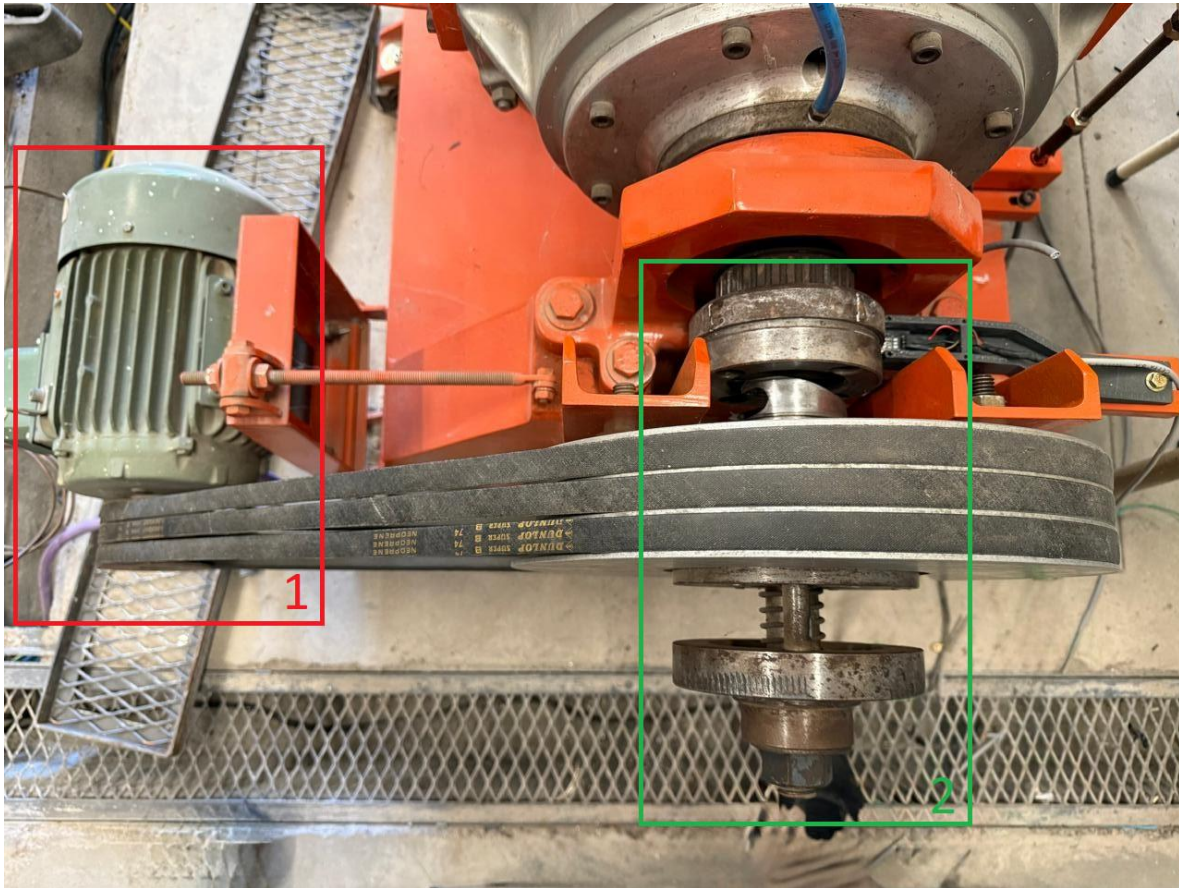


Figura 8. Sistema de arranque del motor. (1) Motor de arranque – (2) Embrague centrifugo para realizar el arranque.

El conjunto se encuentra aislado del recinto desde donde se opera el banco de ensayos, con el objetivo de proteger al operador del ruido y de eventuales proyecciones de partículas durante el funcionamiento. Esta configuración permite accionar el motor de forma segura desde el exterior.

CAPÍTULO 3: SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

3.1. *Diseño*

La primera problemática a resolver fue la implementación de un sistema de refrigeración para asegurar la condición operativa del banco de ensayos descrito. Como se describió precedentemente, tanto el motor de combustión interna como el freno dinamométrico por corrientes parásitas generan una gran cantidad de calor durante su funcionamiento. Por un lado, el motor necesita mantener una temperatura de trabajo adecuada para evitar sobrecalentamientos que puedan producir deformaciones en sus componentes, fallas en la lubricación o incluso daños permanentes. Por otro lado, el freno por corrientes parásitas convierte la energía mecánica del motor en calor a través de la disipación magnética, lo cual aumenta rápidamente su temperatura interna, requiriendo también un sistema de refrigeración eficiente para evitar que pierda efectividad o se dañe por exceso de temperatura.

Teniendo en cuenta esta necesidad, y buscando una solución rápida y sencilla, se aprovechó la disponibilidad de un radiador de dimensiones adecuadas, permitiendo implementar un sistema de refrigeración de manera económica y eficaz para esta aplicación en particular

Se diseñó entonces un circuito de refrigeración en serie, compuesto por la siguiente secuencia: salida del radiador → freno dinamométrico → motor → entrada del radiador, tal y como se muestra en la figura 9. Esta configuración permite que el fluido refrigerante extraiga el calor generado primero por el freno y luego por el motor, para finalmente disiparlo en el radiador. Además, se aprovechó la bomba de agua original del motor, que por su caudal y presión resultó suficiente para mantener la circulación del fluido en todo el circuito, eliminando así la necesidad de utilizar bombas auxiliares o torres de enfriamiento, simplificando la instalación general.

Si bien la implementación de un sistema de refrigeración “en serie” constituye una solución práctica y económica para la presente aplicación, debe señalarse que su capacidad podría resultar limitada en condiciones de funcionamiento extremo, como un ensayo de “pleno gas” sostenido durante largos períodos. En ese contexto, un sistema de

mayor envergadura, con circuito independiente para el motor y torre de enfriamiento, sería más adecuado.

No obstante, en este trabajo la metodología de ensayo fue optimizada, reduciendo significativamente el tiempo de prueba. A diferencia del procedimiento anterior que consistía en llevar el motor a distintos regímenes de giro y estabilizarlo en cada punto para tomar mediciones, el nuevo sistema permite ejecutar automáticamente la curva de potencia. De esta forma, el motor es llevado a régimen, se acciona el freno dinamométrico y el ensayo se completa en pocos segundos, lo que evita sobreexigencias térmicas prolongadas. En este marco, el circuito de refrigeración implementado resulta plenamente suficiente para garantizar la seguridad y confiabilidad de las pruebas realizadas.

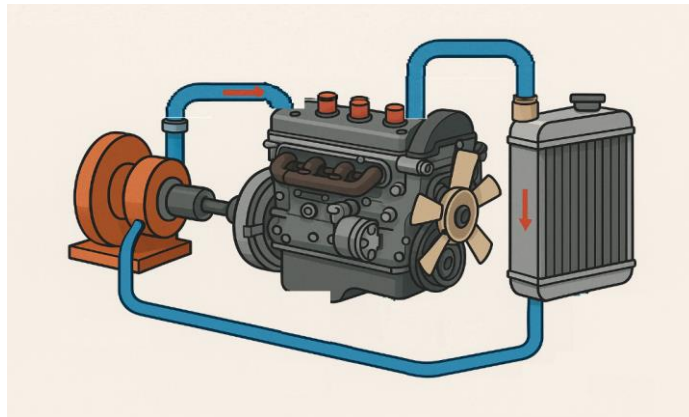


Figura 9. Esquema del sistema de refrigeración.

Para la instalación del radiador, se realizó un diseño en SolidWorks con el fin de estimar los materiales necesarios y sus respectivas cantidades, también en función de materiales disponibles en el taller, tal y como se muestra en la figura 10.

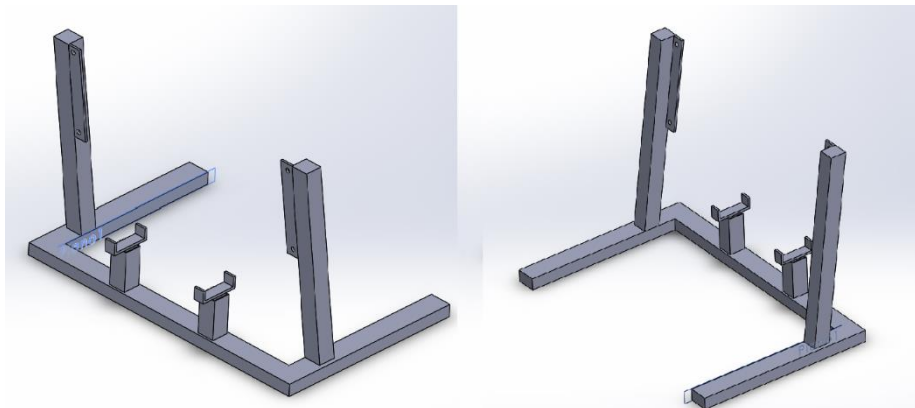


Figura 10. Diseño planteado para el soporte del radiador.

El criterio de diseño utilizado para el soporte fue la de posicionar al radiador a la altura superior la tapa de cilindros del motor, con el fin de evitar la acumulación de aire en el circuito de refrigeración. En la figura 11 se muestran pruebas realizadas sobre el diseño del soporte.

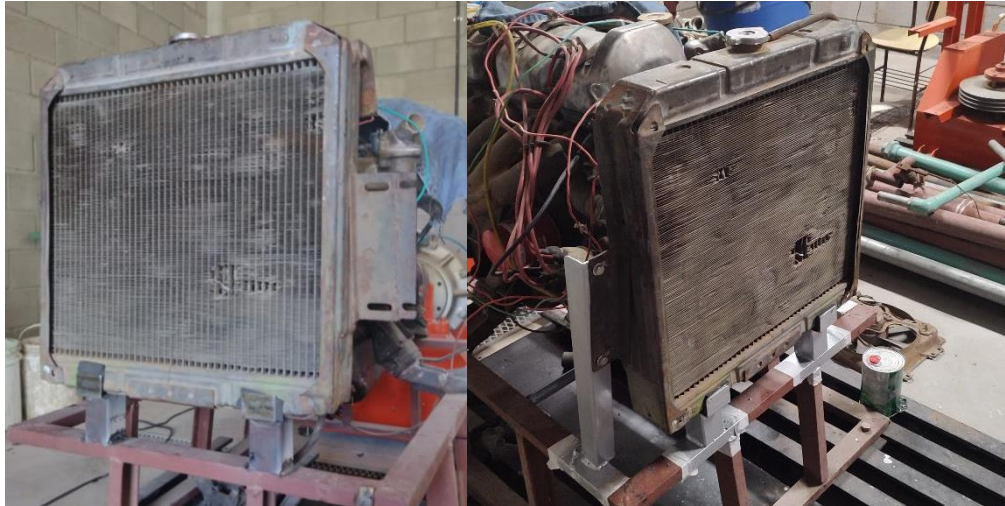


Figura 11. Prueba de altura de radiador.

3.2. *Cañería y acoples para el circuito de refrigeración*

Debido a la disponibilidad de cañerías en el taller, se clasificaron todas las cañerías necesarias junto con sus respectivas reducciones y accesorios, asegurando su correcta compatibilidad con lo requerido para el armado del sistema. Sin embargo, al haber estado fuera de servicio durante un largo período de tiempo, presentaban una acumulación considerable de óxido y sarro en su interior/exterior. Se realizó una limpieza integral y preparación la cual consistió en limpieza interior y pintura así como también corte/roscado según la necesidad. Tales trabajos descriptos se visualizan en las figuras 12 y 13, los cuales fueron removidos y preparados exteriormente.



Figura 12. Proceso de limpieza interna de la cañería.



Figura 13. Proceso de corte/roscado/pintura de las cañerías.

Debido a la decisión de utilizar cañerías de acero, fue necesario construir soportes adecuados, ya que este tipo de material presenta un peso considerablemente mayor en comparación con un sistema realizado íntegramente con mangueras. Aprovechando los materiales disponibles en el taller, se optó por utilizar perfiles angulares de 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16", los cuales fueron soldados a la estructura metálica que sostiene el motor. En dichos perfiles se realizaron perforaciones para fijar grampas tipo omega mediante tornillos de 6 mm, acompañados de arandelas biseladas y tuercas con freno. Estas tareas realizadas se muestran en las figuras 14, 15 y 16.



Figura 14. Soldado de los perfiles angulares.



Figura 15. Perfiles angulares soldados.



Figura 16. Fijado de las cañerías.

Para conectar las cañerías al motor y al frenómetro se optó por utilizar tramos de manguera en lugar de uniones rígidas. Esta decisión respondió a la necesidad de absorber las vibraciones generadas durante el funcionamiento del conjunto, evitando así posibles esfuerzos mecánicos indeseados sobre las conexiones y cañerías. Además, las mangueras permiten cierta flexibilidad en el montaje y mantenimiento del sistema. Los tramos utilizados fueron reciclados del propio taller, seleccionando aquellos que se encontraban en buen estado y compatibles con los diámetros requeridos, lo cual también representó una solución económica y sustentable.



Figura 17. Acople del frenómetro a las cañerías.



Figura 18. Acople entre el radiador y entrada del frenómetro y entre salida del frenómetro y entrada del motor.



Figura 19. Acople salida del motor y entrada del radiador.

3.3. Soporte del electro ventilador

El soporte del electro ventilador se construyó en función de la disponibilidad de materiales en el taller. En primer lugar, se definió la distancia adecuada entre el electro ventilador y el radiador, evaluando un rango de separación entre 40 y 80 mm. Finalmente, se optó por utilizar el ancho del caño disponible como distancia de separación, ajustando la altura de montaje para que el electro ventilador quedara centrado respecto al núcleo del radiador. Las planchuelas fueron soldadas en la zona donde se ubicaría el electro, sirviendo como base para su sujeción. Se realizaron las perforaciones correspondientes para el montaje, cuidando que los caños estuvieran nivelados durante el proceso de soldadura. Finalmente, se procedió al pintado de la estructura para su protección y, una vez seca la pintura, se fijó el electro ventilador.



Figura 20. Soporte del electro ventilador soldado.

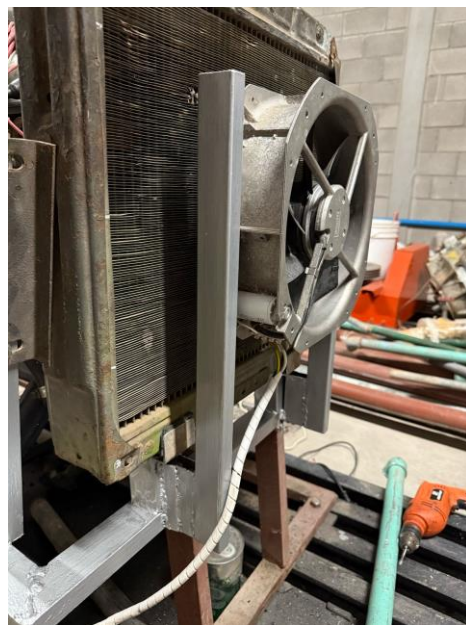


Figura 21. Soporte del electro ventilador pintada y fijación del mismo.

Como detalle adicional, y priorizando tanto la seguridad como la estética general del conjunto, se colocaron tapas en los extremos abiertos de los caños estructurales. Esto permite evitar enganches accidentales de vestimenta, contacto con filos cortantes o

acumulación de suciedad dentro de los perfiles huecos, otorgando un acabado más prolijo y seguro a la instalación.



Figura 22. Caños sin tapa.



Figura 23. Caños con tapas de seguridad colocadas.

CAPÍTULO 4: ADQUISICIÓN DE DATOS

4.1. Variables de interés

En esta sección se describe cuáles son las principales variables físicas que deben ser medidas para evaluar el comportamiento de un MCI en un banco de ensayos. Estas variables permiten no solo caracterizar el rendimiento del motor, sino también identificar posibles fallas o comportamientos anómalos durante su funcionamiento. Entre las variables más relevantes se encuentran:

- Velocidad de giro (RPM): indica el régimen de funcionamiento del motor.
- Temperatura del motor: permite evaluar el sistema de refrigeración y evitar sobrecalentamientos.
- Temperatura del freno dinamométrico: para controlar su estado térmico y evitar sobrecalentamientos.
- Temperatura, humedad y presión ambiente: necesarias para corregir condiciones de ensayo y normalizar resultados.
- Potencia: es el principal parámetro evaluado durante las pruebas. Se obtiene a partir del torque proporcionado por el frenómetro y la velocidad de giro.
- Señales de control: para la posición del servo que regula la aceleración del motor, y el estado de distintos relés que activan funciones clave como el arranque, la bomba de combustible, la bobina de encendido o el ventilador del radiador. Estos datos permiten registrar con precisión las condiciones en las que se encuentra el motor durante cada instante del ensayo.

4.2. Selección de la plataforma de adquisición de datos y entorno de desarrollo

En una primera instancia, y aprovechando la disponibilidad en el Laboratorio de Control Automático (LCA), se propuso utilizar una placa de adquisición de datos National Instruments PCI-6221. Para evaluar su viabilidad de uso, se evaluaron sus especificaciones técnicas en función de los sensores disponibles. Se concluyó que para compatibilizar los dispositivos era necesario diseñar un hardware adicional, tanto para alimentar los sensores como para poder manejar salidas analógicas activas, ya que la PCI-6221 no proporciona

alimentación externa de 5V ni es capaz de entregar corriente suficiente para accionar actuadores directamente

Considerando las necesidades del proyecto se decidió optar por una placa Arduino Mega, ampliamente compatible con sensores analógicos y digitales de bajo costo y con prestaciones suficientes para los requerimientos del sistema, en comparación con placas de adquisición industriales.

En paralelo a la elección del sistema de adquisición de datos, se evaluaron distintas plataformas de software para el desarrollo de la interfaz de usuario y el monitoreo en tiempo real. En una primera instancia, y por recomendación de los directores, se decidió utilizar LabVIEW, dado que esta herramienta está especialmente diseñada para trabajar con placas de National Instruments como la PCI-6221, y su estructura de programación gráfica facilita la lectura y escritura de datos mediante esta clase de hardware.

Al cambiar el sistema de adquisición a una placa Arduino Mega, se continuó trabajando con LabVIEW ya que se contaba con una base de conocimiento (adquirida durante el cursado de la carrera) sobre cómo desarrollar interfaces utilizando este entorno, mediante comunicación serial utilizando VISA y también empleando LINX para interactuar directamente con los pines de entrada y salida del microcontrolador.

Sin embargo, esta combinación comenzó a presentar limitaciones. El uso de LINX resultó poco flexible y el manejo de múltiples sensores a través de VISA requería una estructuración compleja del flujo de datos y procesamiento. Esto afectó tanto el rendimiento como la escalabilidad del sistema, además de generar dificultades al momento de personalizar o extender la interfaz.

Frente a esta problemática, se investigaron alternativas más adecuadas para sistemas embebidos se decidió migrar la interfaz a Node-RED. Esta plataforma de desarrollo visual basada en flujos, ampliamente utilizada en entornos de Internet de las Cosas (IoT), permitió una integración directa con Arduino mediante comunicación serial ofreciendo una interfaz web fácilmente personalizable y accesible desde cualquier dispositivo conectado a la red.

Gracias a esta transición, se logró un entorno de desarrollo más ágil, modular y escalable, con mejor rendimiento y mayor control sobre el diseño de la interfaz y la lógica de procesamiento de datos.

4.3. **Sensores, actuadores y materiales complementarios utilizados**

- **Temperatura de agua del motor y del frenómetro:** se utilizaron dos sensores MAX6675 junto a termocuplas tipo K, elegidas por su capacidad para medir temperaturas elevadas de forma precisa y estable. Estas termocuplas cuentan con un extremo roscado que facilita su instalación en contacto directo con las superficies de interés, como el bloque del motor o la cañería del frenómetro. El módulo MAX6675 se encarga de convertir la señal analógica de la termocupla en una lectura digital, utilizando para ello un conversor analógico-digital interno de 12 bits. La comunicación con el microcontrolador se realiza mediante el protocolo SPI, lo que permite una lectura rápida y confiable de los datos. Este módulo fue seleccionado por su compatibilidad directa con el Arduino Mega, su facilidad de conexión, y por eliminar la necesidad de realizar calibraciones adicionales, ya que internamente compensa la unión fría. Además, su robustez y bajo costo lo convierten en una excelente opción para aplicaciones de medición de temperatura en entornos industriales o de ensayo como el presente proyecto.



Figura 24. Módulo MAX6675 y termocupla tipo K seleccionada.

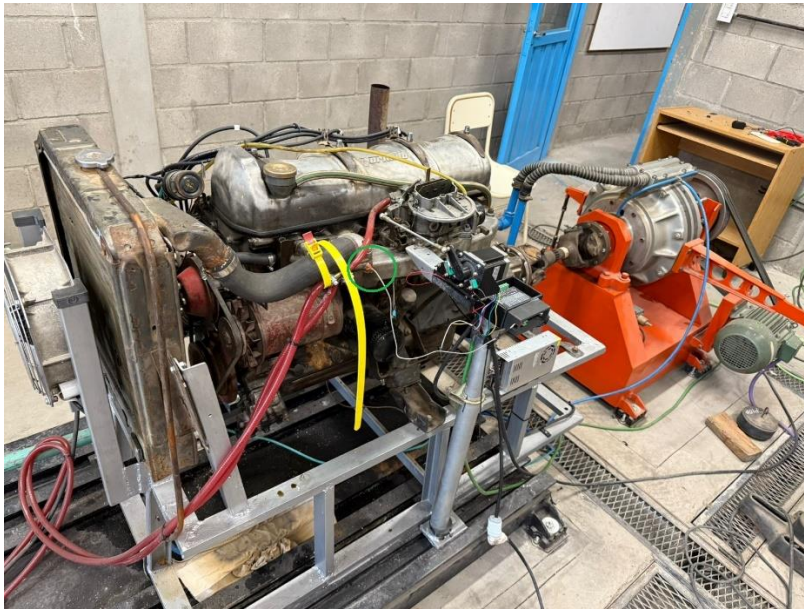


Figura 25. Ubicación termocupla temperatura de motor.



Figura 26. Ubicación termocupla temperatura de freno.

- **Condiciones ambientales:** Para la medición de variables ambientales se utilizó un sensor BME280, el cual permite obtener temperatura ambiente, presión barométrica y humedad relativa en un solo módulo compacto. Este sensor fue elegido por su alta precisión, bajo consumo de energía y facilidad de integración con microcontroladores como el Arduino Mega.

El BME280 es un sensor digital desarrollado por Bosch, capaz de operar tanto por comunicación I2C como SPI, aunque en este proyecto se utilizó el protocolo I2C por su simplicidad y menor cantidad de cables requeridos.

Entre sus características destacadas se encuentran:

- Rango de temperatura: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Rango de presión: 300 hPa a 1100 hPa
- Rango de humedad: 0 % a 100 % HR
- Precisión típica de $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura), $\pm 1\text{ hPa}$ (presión) y $\pm 3\%$ (humedad)

El uso de este sensor resulta clave para contextualizar las condiciones en las que se realiza el ensayo, ya que la temperatura ambiente y la presión atmosférica pueden influir en el comportamiento del motor y en la densidad del aire, lo que afecta directamente al rendimiento. Asimismo, la humedad relativa puede ser un dato útil para el análisis en ensayos prolongados.



Figura 27. Sensor BME280.

- **Medición de fuerza:** Para determinar la fuerza aplicada en el freno y, a partir de ella, calcular la potencia desarrollada por el motor, se empleó una celda de carga ya instalada en la estructura del freno.

El primer paso fue identificar las características de la celda existente. Para ello, se realizó un análisis del sistema de alimentación del frenómetro y se determinó el voltaje de excitación aplicado a la celda. Luego, se midieron las resistencias internas entre los terminales, con el fin de verificar su configuración. A partir de este análisis se concluyó que se trataba de una celda de carga con configuración de puente Wheatstone, lo cual es común en sensores de este tipo por su capacidad para amplificar señales de muy bajo nivel y compensar efectos térmicos.

Una vez identificada la celda, se procedió a su conexión con un amplificador de señal HX711, un módulo ampliamente utilizado para leer este tipo de sensores. El HX711 proporciona una ganancia programable y una interfaz digital mediante comunicación serial, lo que lo hace ideal para trabajar con microcontroladores como Arduino.

Este conjunto celda-HX711 permitió obtener lecturas precisas del esfuerzo ejercido en el freno, lo cual es esencial para calcular el par motor y, finalmente, la potencia mecánica entregada por el motor bajo prueba.

En este sistema, se utiliza un freno dinamométrico de corrientes parásitas para aplicar una carga resistiva al eje del motor en ensayo. Este frenómetro está fijado de manera rígida al banco de pruebas, pero internamente genera una fuerza de reacción proporcional al torque entregado por el motor. Para medir ese torque, se utiliza un brazo de torque solidario al estator del frenómetro.

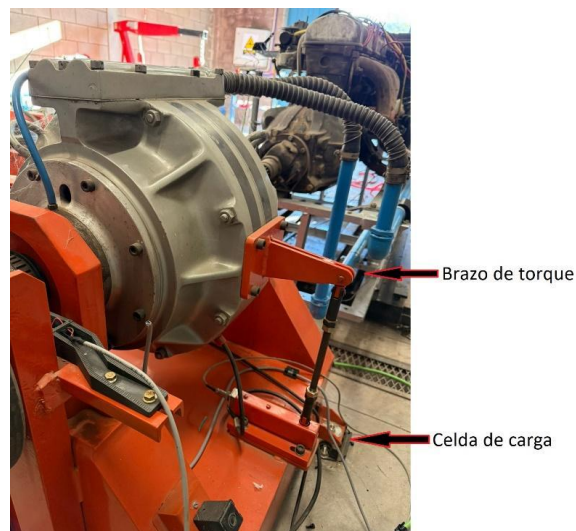


Figura 28. Funcionamiento para la obtención del torque.

El brazo de torque transmite la reacción generada por el frenómetro hacia la celda de carga, la cual está montada en el extremo del brazo. Esta celda de carga está unida al brazo mediante una conexión articulada con rótulas, lo que permite que la fuerza aplicada sea casi exclusivamente axial, evitando momentos parásitos o cargas laterales que podrían afectar la precisión de la medición.

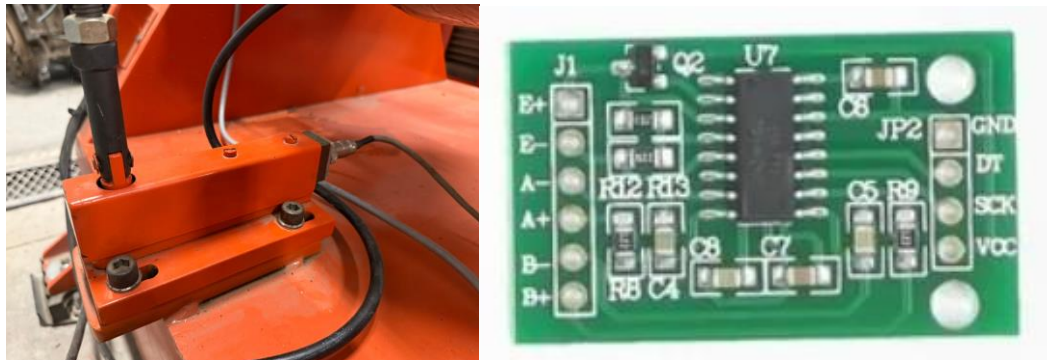


Figura 29. Celda de carga y HX711.

- **Medición de RPM:** Para medir las revoluciones por minuto (RPM) del motor, se utilizó el módulo KY-035, que integra un sensor de efecto Hall A3144 montado sobre una pequeña placa adaptadora. Esta incluye una resistencia de pull-up, un LED indicador y un conector de tres pines claramente identificados para facilitar su conexión: alimentación (VCC), masa (GND) y señal (S). El principio de funcionamiento se basa en la detección de campos magnéticos. Cada vez que un imán pasa frente al sensor, el módulo genera un pulso bajo, acompañado por el encendido del LED, lo cual permite una verificación visual inmediata del correcto funcionamiento. A partir de los pulsos recibidos por segundo, se calculan las RPM de forma precisa y continua. El módulo KY-035 fue elegido por su simplicidad de uso, su compatibilidad directa con microcontroladores, su robustez en ambientes con ruido eléctrico, y por tratarse de una solución económica y confiable ampliamente utilizada en proyectos de automatización y automotrices.

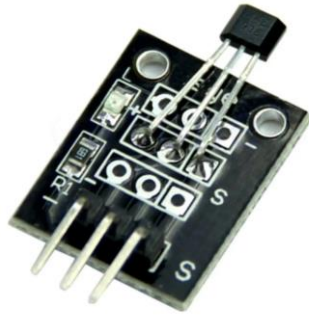


Figura 30. Módulo KY003 con sensor hall A3144.



Figura 31. Ubicación KY003.

- **Control de actuadores:** Para la conmutación de cargas de mayor potencia o tensión que no pueden ser controladas directamente desde el Arduino, se utilizó un módulo de relé de 4 canales. Cada uno de estos relés actúa como un interruptor electromecánico, permitiendo controlar dispositivos de corriente alterna o continua a través de una señal de control de 5 V proveniente del microcontrolador.

Este módulo fue utilizado para automatizar las siguientes funciones dentro del sistema:

- Arranque del motor.
- Accionamiento de la bomba de nafta.
- Accionamiento de la bobina del motor.
- Encendido del electro ventilador.

Cada canal dispone de un LED indicador de estado, lo cual es útil durante el desarrollo y diagnóstico para comprobar que las señales desde Arduino se generan de forma correcta. Los relés poseen contactos NA (normalmente abiertos) y NC (normalmente cerrados), lo que brinda flexibilidad a la hora de diseñar el circuito de control.

Además, incorpora optoacopladores, que aíslan eléctricamente el sistema de control del circuito de potencia, aumentando la seguridad y la confiabilidad del sistema.

Este componente permitió automatizar el proceso de arranque y la alimentación de distintos subsistemas del motor, cumpliendo un rol clave en la interacción entre la electrónica de control y los dispositivos reales del banco de ensayo.



Figura 32. Módulo relay 4 canales.

- **Actuador del acelerador:** Para controlar electrónicamente el acelerador del motor en el banco de ensayos, se utilizó un servo motor de alto torque MG946R el cual es ampliamente utilizado en aplicaciones que requieren fuerza y precisión en el movimiento angular. Este modelo ofrece un par motor superior al de los servos estándar y está construido con engranajes metálicos, lo que le otorga mayor resistencia mecánica y durabilidad.

Funciona con señales PWM para controlar su posición angular, y tiene un rango de giro de hasta 180°. Su alimentación se realiza típicamente con tensiones de entre 4.8 V y 6.6 V, y su conector posee tres pines: señal, alimentación positiva y GND. Gracias a sus prestaciones, es adecuado para tareas donde se requiere mover mecanismos con cierta carga o mantener posiciones bajo esfuerzo mecánico.



Figura 33. Servo motor MG946R.

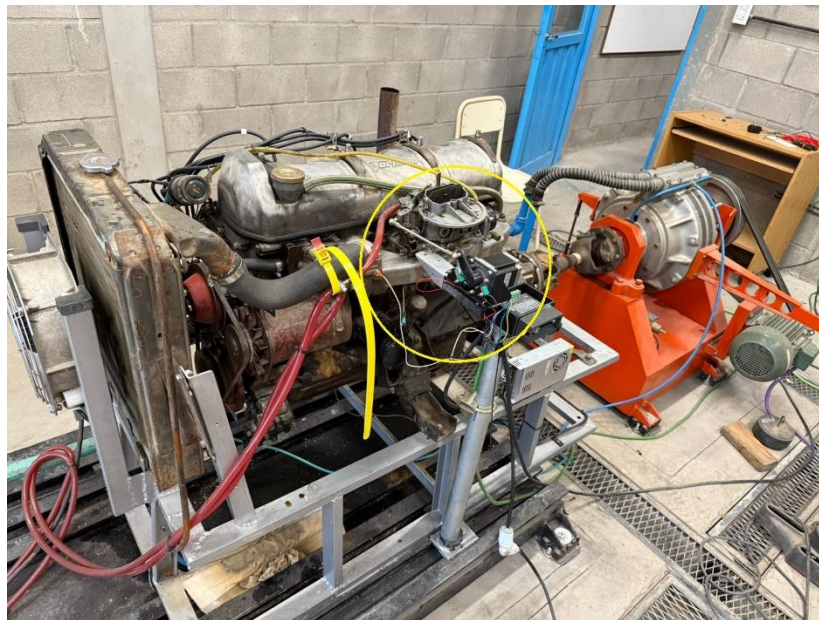


Figura 34. Ubicación mecanismo acelerador.

- **Unidad de procesamiento y control principal:** El sistema está basado en un microcontrolador Arduino Mega 2560, el cual cumple la función de coordinar la lectura de sensores, la activación de actuadores y la comunicación con la interfaz gráfica. Este dispositivo se seleccionó por su mayor cantidad de entradas/salidas digitales y analógicas en comparación con otros modelos, permitiendo así la conexión simultánea de múltiples componentes del banco de ensayo.

El Arduino Mega cuenta con un microcontrolador ATmega2560, funcionando a una frecuencia de 16 MHz, y dispone de 54 pines digitales de los cuales 15 pueden usarse como salidas PWM, 16 entradas analógicas, y 4 puertos de comunicación serial UART, lo que facilita el manejo de sensores que requieren comunicación por SPI, I2C o UART de forma simultánea. En este proyecto, se utilizó para las siguientes tareas principales:

- Adquisición de datos desde sensores analógicos y digitales.
- Control de un servomotor que regula el acelerador del motor.
- Comunicación con la PC mediante puerto serial para visualizar los datos en tiempo real.
- Envío de señales de control a módulos de relé y otros dispositivos.

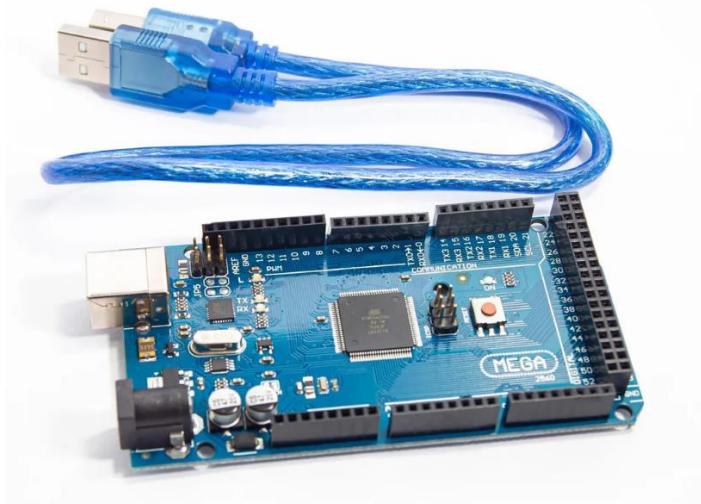


Figura 35. Arduino Mega.

- **Bomba de combustible:** Para el suministro de combustible al motor, se utilizó una bomba de nafta eléctrica del tipo sumergible, alimentada con 12 V de corriente continua (CC)(figura 36). Este tipo de bomba es comúnmente utilizada en

automóviles debido a su capacidad para operar sumergida dentro del tanque de combustible, lo cual permite una refrigeración eficiente del motor eléctrico y una reducción significativa del ruido durante el funcionamiento.

Su función es garantizar un flujo continuo y adecuado de combustible hacia el motor durante las pruebas en el banco de ensayos, si bien no se dispone de la ficha técnica exacta del modelo utilizado, se comprobó que su funcionamiento es estable bajo carga, y que puede entregar el caudal requerido para el correcto desempeño del motor a ensayar.



Figura 36. Bomba de combustible.

- **Fuentes de alimentación:** Para la alimentación de los distintos actuadores del sistema y para suministrar energía a la bobina de encendido y la bomba de nafta, se utilizó una fuente de alimentación conmutada de salida fija de 12 V de CC (figura 37). Esta fuente incorpora protecciones contra sobrecarga, sobre temperatura y cortocircuitos, lo que mejora la seguridad del sistema ante posibles fallas. Además, su carcasa metálica con ventilación asegura una buena disipación térmica durante el funcionamiento continuo en el banco de pruebas.



Figura 37. Fuente 12V.

Por otro lado, también se utilizó una fuente de alimentación con salida estabilizada de 5 V y 3 A, destinada principalmente a alimentar el servo motor, el cual requiere una corriente superior a la que puede suministrar directamente una placa Arduino. Además, esta fuente se emplea para la alimentación del conjunto de sensores y demás dispositivos electrónicos conectados al sistema, asegurando un suministro estable y confiable. Al entregar un voltaje constante y una corriente adecuada, se garantiza el funcionamiento estable del servo motor y de los sensores, evitando caídas de tensión o reinicios por sobrecarga.



Figura 38. Fuente de alimentación 5V-3A.

CAPÍTULO 5: INTEGRACIÓN DEL SISTEMA Y PUESTA EN MARCHA

5.1. *Verificación individual de componentes y prueba en protoboard*

Antes de realizar el montaje del sistema, se procedió a conectar y probar cada uno de los sensores y actuadores de manera individual sobre una protoboard. Esta etapa tuvo como objetivo verificar el correcto funcionamiento de todos los componentes electrónicos adquiridos, como los sensores de temperatura MAX6675, el sensor ambiental BME280, la celda de carga con su correspondiente amplificador HX711, el sensor de RPM tipo Hall y el servo motor encargado del accionamiento del acelerador.

Una vez verificados los datos entregados por cada componente y el comportamiento esperado de los actuadores, se desarrolló un primer programa en Arduino que integró todos los dispositivos conectados simultáneamente. Esto permitió realizar una validación del funcionamiento conjunto del sistema, identificar posibles conflictos de comunicación y verificar la estabilidad general del código.

Durante esta fase también se diseñó el diagrama de conexiones general del sistema, el cual sirvió como referencia para el cableado definitivo, la cual se observa en la figura 39.

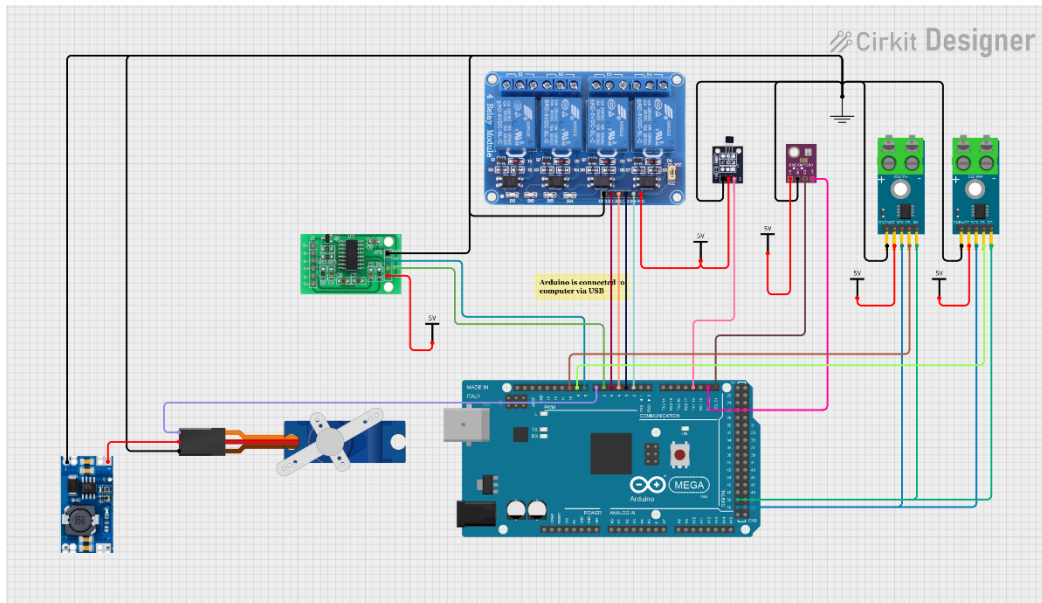


Figura 39. Esquema de conexión.

5.2. Cableado y distribución de la alimentación

Debido a la gran cantidad de conexiones necesarias para vincular sensores y actuadores, y considerando su distribución a lo largo del banco de ensayos, se optó por utilizar cables de red tipo UTP. Este tipo de cable resultó ideal para la aplicación debido a que ofrece ocho conductores aislados dentro de una misma vaina, lo que permite transportar múltiples señales o líneas de alimentación en un solo tendido, facilitando el orden y reduciendo el volumen del cableado general.

Además, se diseñaron y fabricaron guía-cables personalizados mediante impresión 3D, los cuales permitieron organizar el cableado de forma prolija, asegurando una sujeción firme, evitando interferencias mecánicas y contribuyendo a una mejor estética del montaje, los cuales se muestran en las figuras 40 a 48.

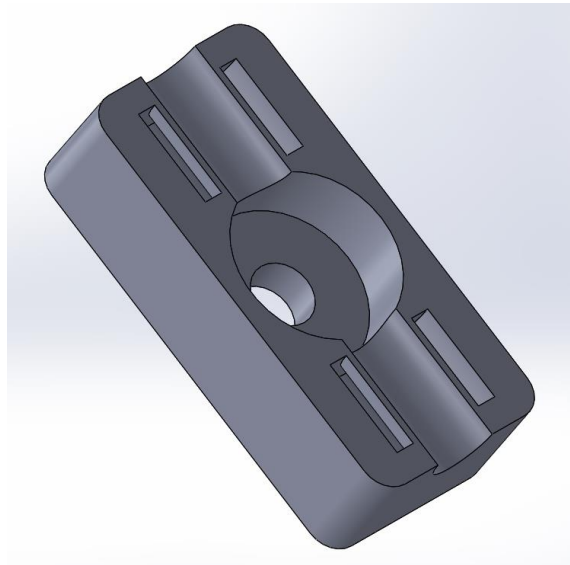


Figura 40. Guía cable monocanal.

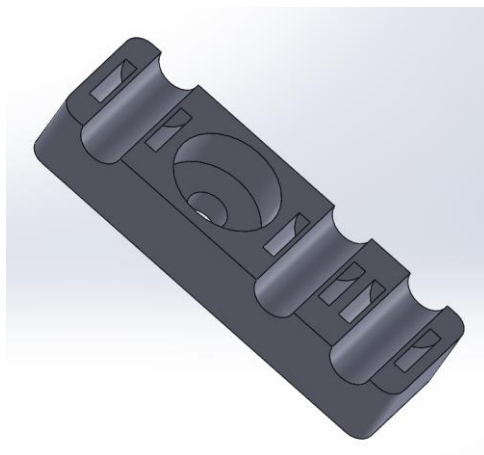


Figura 41. Guía cable tricanal.



Figura 42. Guía cable para superficie circular monocanal.



Figura 43. Guía cable para superficie circular tetra canal.



Figura 44. Cables del medidor de RPM y celda de carga fijados al frenómetro.

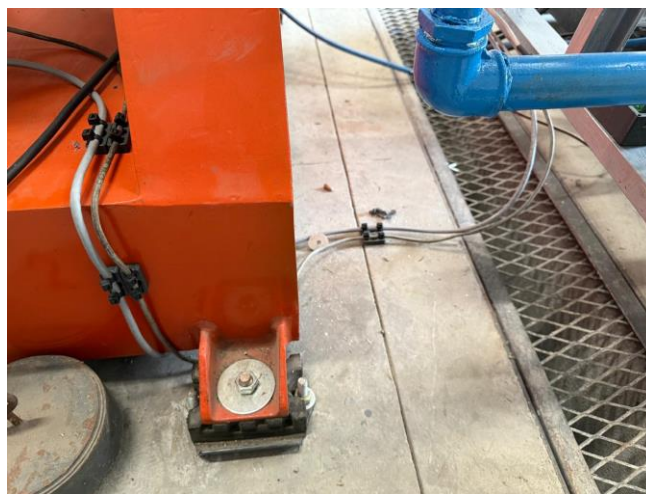


Figura 45. Cables del medidor de RPM y celda de carga fijados al frenómetro y al piso.



Figura 46. Cables del medidor de RPM, celda de carga y MAX6675 de temperatura de freno fijados a la base del banco de ensayos.



Figura 47. Cables del medidor de RPM, celda de carga y MAX6675 de temperatura de freno fijados a la base del banco de ensayos.



Figura 48. Distribución y organización del cableado restante correspondiente a sensores, actuadores y alimentación de potencia.

5.3. Soportes para módulos electrónicos y actuadores

Con el objetivo de organizar y proteger los componentes electrónicos del sistema, se decidió reutilizar un gabinete estanco con tapa transparente disponible en el TLMT. En su interior se distribuyeron dispositivos clave como el Arduino, el módulo relé, el amplificador HX711 y borneras de fabricación artesanal destinadas a la alimentación. Para su correcta sujeción y disposición, se diseñó un soporte en impresión 3D que permitió fijarlos de forma segura, facilitando además el orden del cableado (figura 49).



Figura 49. Soporte para Arduino, bornera y módulo relé fijado al gabinete.

Para montar el gabinete, se fabricó una estructura en forma de “T” reutilizando pies previamente disponibles, los cuales se fijan al anclaje del banco de ensayos. Esta estructura fue modificada mediante la soldadura de un perfil angular de 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16", al cual se le realizaron perforaciones para permitir la fijación del gabinete mediante tornillos de 6 mm con sus respectivas tuercas.



Figura 50. Soporte del gabinete estanco.

Continuando con el uso de impresión 3D, se diseñó en primera instancia un soporte específico para los módulos MAX6675, encargados de la medición de temperatura. Estos soportes cuentan con una tapa que permite encapsular los módulos, protegiéndolos de la suciedad, humedad u otros agentes externos presentes en el entorno del banco de ensayos (figura 51).

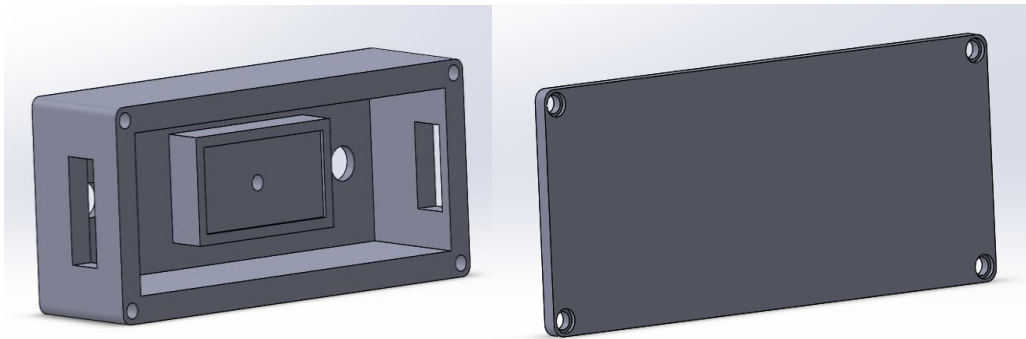


Figura 51. Soporte y tapa para módulo MAX6675.

Una vez finalizada la impresión, se procedió a ubicar cada soporte en posiciones previamente evaluadas como seguras, accesibles para tareas de mantenimiento y acordes a la longitud de las termocupas. El módulo de temperatura del frenómetro fue fijado en la base del banco de ensayos (figura 52) mediante tornillos de 6 mm con tuerca. En tanto, el módulo de temperatura asociado al motor se instaló utilizando uno de los pies ajustables del banco, en una zona próxima al tubo de admisión, donde circula el líquido refrigerante del motor (figura 53).



Figura 52. Módulo MAX6675 temperatura de freno instalado.



Figura 53. Módulo MAX6675 temperatura de motor instalado.

Luego se realizó el diseño del soporte del sensor de RPM, considerando la posición exacta donde se sitúan los imanes. Este soporte se montó sobre un perfil angular previamente instalado en el freno dinamométrico. Dicho perfil cuenta con correderas que permiten ajustar la posición del sensor en dirección radial respecto al eje del disco. Esta regulación es fundamental para establecer la distancia óptima entre el sensor y los imanes, asegurando una correcta detección sin interferencias ni pérdidas de señal. A su vez, se lo diseñó con una tapa para evitar que el sensor quede expuesto, como se observa en la figura 54.

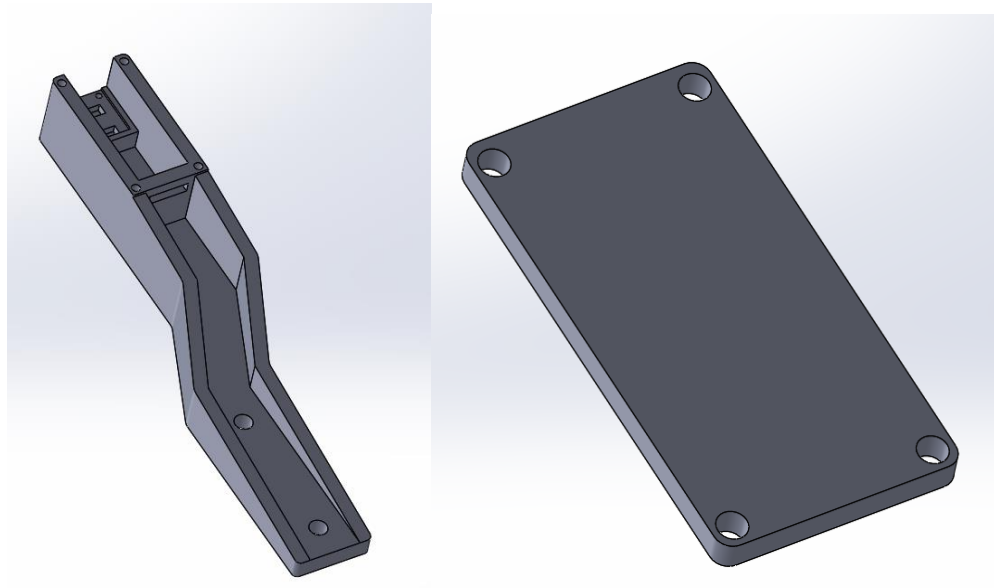


Figura 54. Soporte y tapa para módulo KY-035.

El sensor detecta la presencia de campos magnéticos generados por los imanes montados en el eje del frenómetro, como se muestra en la figura 55. El funcionamiento del mismo es como un interruptor digital, cada vez que un imán pasa frente a él, genera una señal lógica que puede ser leída por el microcontrolador para contar pulsos y así determinar las revoluciones por minuto (RPM).



Figura 55. Soporte de RPM instalado.

Durante la medición, los pulsos generados por el sensor se envían a un microcontrolador, el cual contabiliza la cantidad de flancos detectados por unidad de tiempo. Sabiendo la cantidad de imanes instalados en el eje, se puede calcular con precisión la cantidad de vueltas completas del eje por minuto mediante la siguiente fórmula.

$$RPM = \frac{60 * f}{n} \quad (1)$$

Donde:

- f es la frecuencia de pulsos (Hz) detectada por el sensor,
- n es la cantidad de imanes montados en el eje.

Este sistema permite obtener una lectura digital precisa y en tiempo real de la velocidad del motor, la cual es necesaria tanto para el cálculo de potencia como para controlar el régimen de funcionamiento durante los ensayos.

Finalmente, se realizó el montaje del soporte del servomotor, cuyo diseño fue obtenido desde una plataforma de modelos 3D de uso libre. Posteriormente, se imprimió y se fijó sobre un soporte fabricado con un perfil angular de 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16", el cual había sido previamente preparado para ser asegurado mediante un bulón ubicado en la zona del carburador.



Figura 56. Servomotor fijado.

5.4. Instalación de sensores y actuadores

Se comenzó por la instalación de las termocuplas, ya que presentaban un desafío adicional debido al formato de su extremo, el cual debía hacer tope en una superficie para fijarse correctamente y evitar pérdidas en el circuito de refrigeración. Aprovechando que una cañería tenía una salida en forma de "T" y un tapón, se decidió colocar en ese punto la termocupla destinada a indicar la temperatura del frenómetro.

Para la medición de la temperatura del motor, luego de analizar distintas posibilidades de fijación como en la manguera de salida del motor, en el múltiple de admisión o en el radiador, finalmente se optó por instalarla en la parte de refrigeración del múltiple de admisión, seleccionando un sector con mayor espesor.

Finalmente, para evitar cualquier tipo de filtración, se aplicó sellador de roscas H3 tanto en la rosca como en el extremo de la termocupla tal y como se muestra en las figuras 57 y 58.

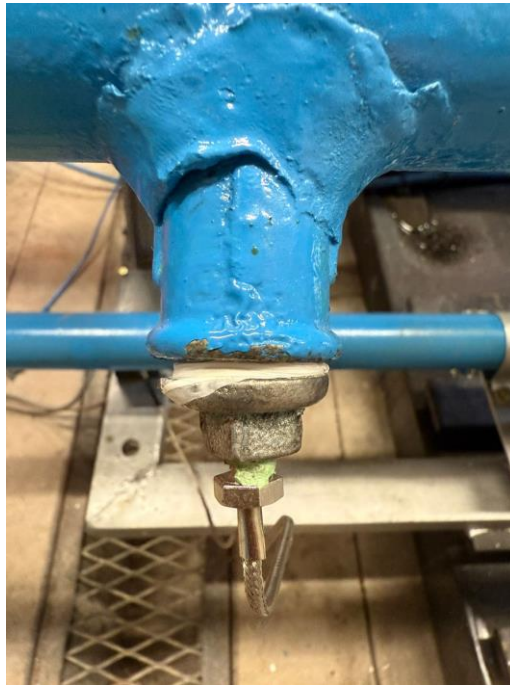


Figura 57. Termocupla de temperatura del frenómetro fijada.



Figura 58. Termocupla de temperatura de motor fijada.

Luego, se continuó con el conexionado del servomotor. El mismo incluye sus propias palancas, aunque presentan una longitud muy reducida. Debido a esto, se diseñó e imprimió un prolongador con el objetivo de reducir el esfuerzo requerido por el servo y, además, permitir que el accionamiento completo de la mariposa se logre con una rotación menor a 90° (figura 59). El enlace entre el prolongador y el mecanismo de accionamiento de la mariposa del carburador se realizó mediante rótulas de 5 mm y una varilla roscada, encargada de unir ambos extremos. De esta forma, se logró un accionamiento liviano y suave, evitando forzar el servomotor.



Figura 59. Instalación del servomotor.

5.5. Pruebas de funcionamiento del sistema

Finalizada la instalación de los sensores, módulos electrónicos y relés de control, se realizaron las primeras pruebas de funcionamiento del sistema completo. Cabe destacar que, en esta etapa inicial, aún no se disponía de una instalación eléctrica trifásica, por lo que las pruebas se limitaron a la verificación del funcionamiento lógico del sistema, sin conectar la parte de potencia del motor ni del frenómetro.

El objetivo principal de estas pruebas fue confirmar la correcta lectura de los sensores y la respuesta de los actuadores a las órdenes enviadas desde la interfaz de usuario. Para ello, se encendió el sistema con todos los sensores conectados, y se observó el comportamiento general del circuito, comprobando que no se produjeran conflictos entre módulos, errores de lectura ni bloqueos del sistema.

Durante esta verificación se utilizaron indicadores simples en Node-RED, destinados únicamente a comprobar que los datos llegaban correctamente desde el

Arduino. Se visualizaron con éxito las temperaturas obtenidas mediante los sensores MAX6675, los valores de presión, humedad y temperatura ambiente proporcionados por el sensor BME280, el peso leído por la celda de carga, y la señal del sensor de RPM. Además, se comprobó que los relés respondían correctamente al ser activados desde la interfaz, aunque en esta etapa no se encontraban conectados a los dispositivos reales, ya que el sistema aún no estaba alimentado con carga.

También se verificó la capacidad de controlar el servo desde la pantalla de Node-RED, observando la correcta recepción de los comandos enviados desde la interfaz y su ejecución por parte de Arduino. El servo respondió adecuadamente a las órdenes, confirmando el correcto funcionamiento de la estructura de control y de la comunicación entre el software y el hardware. Estas pruebas demostraron que el canal de control para dicho actuador era completamente funcional.

Tras validar el funcionamiento general del sistema, se procedió a diseñar de forma más detallada la interfaz gráfica definitiva, incorporando controles más precisos, organización por pestañas, indicadores analógicos y digitales, y campos de control para los diferentes actuadores.

CAPÍTULO 6: INTERFAZ GRAFICA, SISTEMA DE COMBUSTIBLE Y TABLERO ELÉCTRICO.

Para el diseño de una primera versión de la interfaz gráfica, la cual se muestra en la figura 60, primero se definió la ubicación de los interruptores encargados de accionar los relés, junto con su respectivo rotulado que indica claramente qué componente encienden y apagan. El primer interruptor corresponde al arranque del motor, encargado de activar el motor eléctrico trifásico, el cual se acopla al motor de combustión mediante un sistema mecánico. Este sistema está diseñado para desacoplarse automáticamente cuando el motor a combustión interna alcanza un mayor régimen de RPM que el motor trifásico.

El segundo relé controla la bobina de encendido del motor mientras que el tercero acciona la bomba de nafta. Por último el cuarto pone en funcionamiento el electro ventilador del sistema de refrigeración, el cual funciona con corriente monofásica.

A continuación, se ubicó en el centro de la pantalla un control tipo slider, encargado de accionar el servo motor que regula la mariposa del acelerador. Esta posición central se eligió porque se trata de un valor que se modificará constantemente durante el ensayo. Justamente por esa razón, se colocó también cerca del slider un botón de parada. Este botón corta la alimentación de los relés correspondientes al arranque, la bobina y la bomba de nafta, manteniendo únicamente en funcionamiento el electro ventilador, para asegurar una adecuada refrigeración del motor tras la detención.

A la derecha del slider se ubicaron los indicadores de temperatura, presión y humedad ambiente. En el centro de la interfaz se dispuso un gráfico en tiempo real que muestra la potencia desarrollada. A su derecha se instaló un gauge tipo aguja para indicar las RPM del motor, mientras que a la izquierda se colocaron dos indicadores en formato tipo termómetro que muestran las temperaturas del motor y del freno dinámico.

Finalmente, en la parte inferior de la pantalla se presenta la lectura del sensor de carga, principalmente con el objetivo de verificar si su calibración es correcta antes y durante el ensayo.

La programación completa desarrollada en Arduino y Node-RED utilizada para el control y la adquisición de datos se adjunta en el Anexo 1.

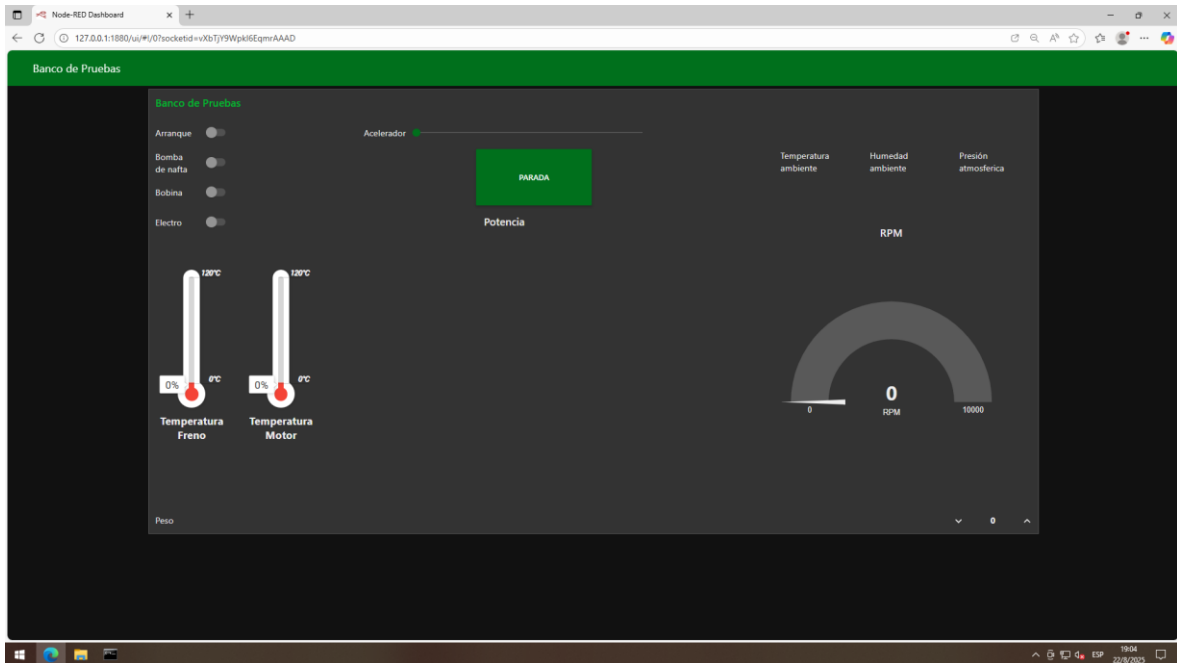


Figura 60. Interfaz gráfica.

De acuerdo con la norma IRAM 3078, basada en la NFPA 30, los tanques de líquidos inflamables deben instalarse en áreas ventiladas y seguras, preferentemente en el exterior de los edificios, a fin de reducir los riesgos de incendio y explosión [20]. Con el objetivo de cumplir esta normativa y, al mismo tiempo, facilitar su conexión y desconexión, se buscó una solución que evitara dejar mangueras con combustible expuestas de forma permanente tendidas en el piso, lo cual representaría un riesgo. Se dispusieron mangueras retractiles hasta el tanque de combustible móvil, grifo de regulación de caudal y alimentación de la bomba para mitigar posible rebalse del carburador, tal y como se muestra en la figura 61.



Figura 61. Instalación de nafta realizada y demostración de longitud y ubicación en el exterior para el tanque de combustible.

Por último, en el sector opuesto al suministro de combustible del motor, se colocó el tablero eléctrico (figura 62) donde se ubica la parte de potencia del banco de ensayos. Este tablero cuenta con una entrada de corriente trifásica, neutro y puesta a tierra. En su interior se instalaron los contactores encargados de accionar el arranque, la bobina, la bomba de nafta y el electro ventilador. El sistema dispone de su correspondiente térmica y guarda motor para proteger el motor de arranque trifásico. También se alojó en este tablero una fuente de alimentación de 12 volts, la cual proporciona la energía necesaria para alimentar la bobina y la bomba de nafta.

El esquema completo de conexionado de los relés y el tablero de potencia se presenta en el Anexo 2.

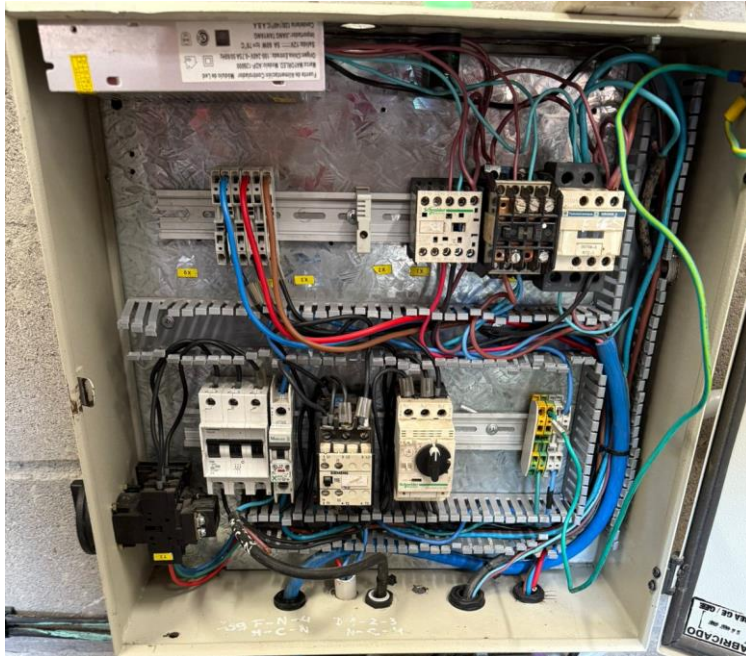


Figura 62. Tablero de potencia.

CAPÍTULO 7: PRIMERAS PRUEBAS, RESULTADOS OBTENIDOS Y MITIGACIÓN DE PROBLEMAS

Se realizaron las debidas comprobaciones preliminares para el funcionamiento de todo el sistema comenzando con la activación del motor trifásico y el giro en el sentido adecuado. Luego se comprobaron los accionamientos correctos de la bobina de ignición y de la bomba de nafta, al igual que el electro ventilador.

A continuación, se verificó el funcionamiento de los actuadores y medición a través de sensores, utilizando la interfaz gráfica diseñada.

Posteriormente se inició la secuencia de arranque observando una falta de respuesta del sistema de adquisición (Arduino), impidiendo no solo el control del sistema sino también la falta de observación de las variables por no existir comunicación con el sistema. Dado que el motor ya se encontraba en marcha, se realizaron las comprobaciones de funcionamiento propias del mismo, como la presión de aceite y el correcto desempeño de la bomba del circuito de agua.

Si bien en esta primera puesta en marcha no se lograron los objetivos plateados, fue considerada más que satisfactoria, ya que se confirmó la validez de todas las conexiones y el correcto funcionamiento general del sistema.

El fallo observado en el hardware y la pérdida de comunicación con los sensores fueron atribuidos a interferencias producidas por ruido electromagnético generado durante el arranque del motor, lo cual dejó en evidencia la necesidad de implementar acciones para mitigar estas perturbaciones en el sistema, las cuales se describen en las subsecciones siguientes.

7.1. Acciones para para reducción de interferencias electromagnéticas.

Para descartar que el origen del malfuncionamiento del hardware de medición pueda provenir de un problema eléctrico se realizaron diferentes pruebas, modificaciones y mejoras. La primera prueba que se realizó fue alimentar la bobina del motor mediante una batería externa, con el objetivo de descartar que el ruido electromagnético se estuviera filtrando a través de la fuente de alimentación del sistema. Esta prueba no arrojó ningún

tipo de mejora, dejando en evidencia que el problema no provenía de dicha fuente. Cabe destacar que el circuito eléctrico se encuentra aislado mediante relés con optoacopladores, por lo cual no se esperaba acoplamiento directo entre los circuitos de potencia y los de control. Esta prueba sirvió para confirmar dicha hipótesis.

Con el objetivo de evitar la transmisión de vibraciones mecánicas y reducir posibles interferencias electromagnéticas generadas por la cercanía entre el motor y el tablero de del sistema de control, se decidió desacoplar físicamente el tablero de la estructura base del motor. Para ello, se fijó el anclaje del tablero directamente al piso, utilizando tarugos como sistema de sujeción, aislándolo así estructuralmente del conjunto motor-banco. A pesar de esta modificación, la prueba no arrojó mejoras en el funcionamiento del sistema, lo que indicó que las vibraciones mecánicas o el acoplamiento estructural no eran la causa principal del mal funcionamiento observado.

Posteriormente se instaló una puesta a tierra (PAT) independiente para aterrizar las masas y referencias del sistema de control y de esa forma mantenerlo “flotado” de la tierra eléctrica del sistema. Para verificar la resistencia de dicha jabalina, se utilizó un telurómetro (figura 63) disponible en el laboratorio de instalaciones eléctricas. La medición se realizó empleando el método de caída de potencial, utilizando las respectivas picas de corriente (H) y de potencial (S) suministradas con el instrumento. Teniendo en cuenta el tipo de terreno sobre el cual se encuentra construido el taller se lograron resistencias de PAT menores a 40Ω .

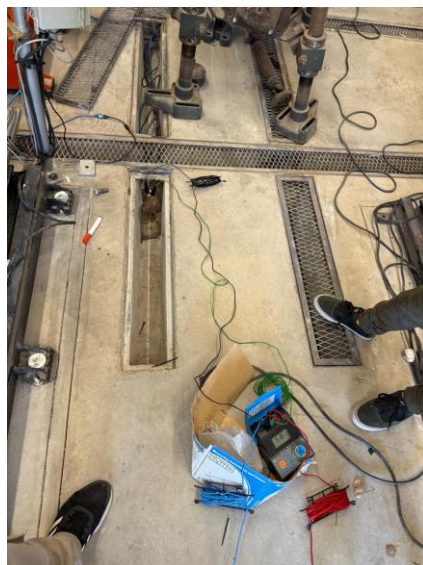


Figura 63. Telurómetro instalado.

Luego, se procedió a aislar galvánicamente la alimentación de la computadora y de la pantalla de la misma respecto de la tierra del sistema eléctrico general, con el fin de evitar la formación de lazos de tierra y minimizar posibles diferencias de potencial. Para ello, se conectó la PAT dedicada directamente al terminal GND del Arduino, unificando el plano de referencia de todo el sistema de control.

Adicionalmente, se incorporó una fuente de alimentación externa de 9V 1A conectada al Arduino, con el objetivo de mejorar la estabilidad del sistema, evitar caídas de tensión causadas por el consumo de los periféricos y aumentar la inmunidad frente a interferencias electromagnéticas. Con esta implementación se logró una mejora significativa en el funcionamiento general: los relés continuaron operando de manera correcta, permitiendo maniobras de arranque y parada desde la pantalla de forma segura y confiable.

No obstante, los sensores aún presentaban inconvenientes, ya que dejaban de enviar datos al poco tiempo de iniciado el motor, a excepción del sensor de RPM, que continuó funcionando, aunque con errores y lecturas inestables.

Para continuar con el aislamiento del sistema de control respecto de las fuentes de interferencia, se decidió reubicar el tablero de control, alejándolo aún más del sector de potencia y ubicándolo en la misma dirección, pero a una distancia mayor. Además, se construyó un soporte específico para el tablero, el cual fue montado sobre elementos de goma, con el objetivo de absorber vibraciones mecánicas provenientes del motor o del entorno. Este desacople mecánico contribuye tanto a la protección de los componentes electrónicos como a la estabilidad de las conexiones. Una ventaja adicional de esta nueva disposición fue la posibilidad de utilizar un cable de comunicación significativamente más corto de aproximadamente 1,5 metros, lo que reduce la susceptibilidad a interferencias electromagnéticas y mejora la calidad de la transmisión de datos entre el Arduino y la computadora, tal y como se muestra en la figura 64.



Figura 64. Nueva ubicación y detalle de montaje del tablero de comando.

Otra mejora realizada fue la utilización para las señales de control/sensado de un cable multifilar con 16 conductores reunidos en una sola vaina, el cual cuenta con una malla metálica de apantallamiento a lo largo de todo su recorrido, resultando beneficiosa para la reducción de interferencias electromagnéticas cuando la misma es conectada a tierra.

Una de las principales ventajas de este cableado fue la posibilidad de concentrar todas las señales de sensores en un único conducto, simplificando el tendido y reduciendo la exposición a interferencias externas. Debido a esta importante modificación, se logró una mejora significativa en el funcionamiento general del sistema. Además de mantener el correcto funcionamiento de los relés, todos los sensores comenzaron a operar, aunque aún se registraron algunos valores atípicos en determinadas lecturas. Sin embargo, las termocuplas seguían presentando fallos críticos: al encender el motor, dejaban de enviar datos, y solo retomaban su funcionamiento normal una vez que el motor se detenía.

7.2. Detección y minimización de ruido en señales de módulos adaptadores.

Para detectar presencia de ruido en señales provenientes de módulos adaptadores de sensores se realizaron pruebas utilizando un osciloscopio para medir características en las mismas. Para el caso del adaptador MX6675 se observaron que las fluctuaciones de

ruido en la alimentación presentaban valores reducidos descartando un malfuncionamiento. Luego sobre el mismo adaptador se procedió a analizar la señal del pin CS (Chip Select), que es el pin mediante el cual el Arduino habilita la lectura del sensor. En esta señal se detectó la primera falla: se enviaba un pulso cada 0,2 segundos, que corresponde al intervalo de adquisición configurado en el Arduino. Sin embargo, al encender el motor, esta señal comenzaba a presentar inestabilidad, desapareciendo y reapareciendo constantemente. Esto permitió identificar un posible origen del error.

Para el caso de este adaptador se propuso trasladar el módulo al tablero del sistema de control, alejándolo así del entorno ruidoso del motor (figura 65). Para esta prueba se utilizó una termocupla sin aislación observando que el módulo funcionaba correctamente con el motor en marcha, no alterando las mediciones de temperatura.

A partir de estas pruebas, se decidió instalar los módulos MAX6675 dentro del tablero de comando. Para ello, se optó por extender las termocuplas con cables de mayor longitud, mientras que los cables de comunicación digital fueron mantenidos lo más cortos posible para reducir la captación de interferencias.

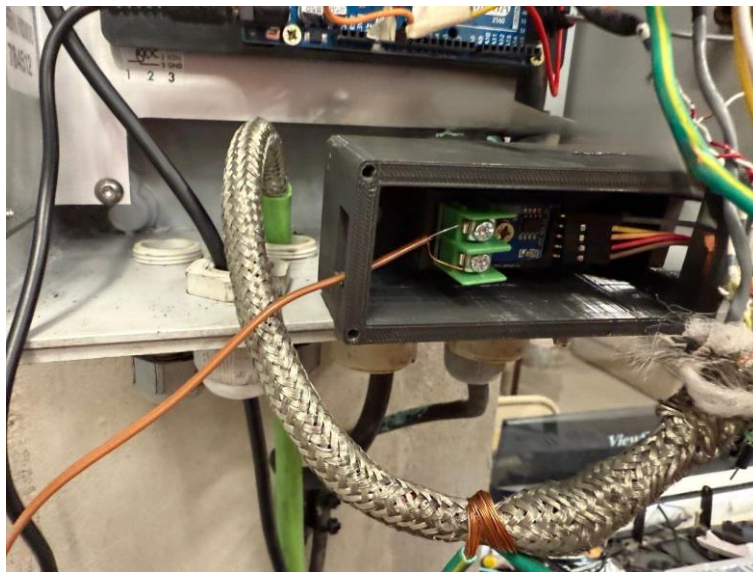


Figura 65. Instalación provisoria del módulo MAX6675.

7.3. Cambio de tablero de sistema de control

Como parte del proceso de adecuación y mejora del sistema en base a las modificaciones mencionadas anteriormente, se llevó a cabo el reemplazo del tablero

original por uno nuevo, priorizando una optimización en el material de construcción del mismo. El nuevo tablero, de tipo metálico, fue elegido con el objetivo de mejorar el aislamiento electromagnético del sistema.

El material metálico permite que el gabinete actúe como una caja de Faraday, lo cual en teoría contribuye a reducir la influencia de interferencias externas y ruidos eléctricos sobre los componentes electrónicos ubicados en su interior. Si bien en las pruebas realizadas no se observaron mejoras sustanciales en la calidad de las señales o en el comportamiento general del sistema, el cambio representa una mejora en términos de robustez y protección potencial ante perturbaciones electromagnéticas.

Adicionalmente, el nuevo tablero presenta dimensiones mayores en comparación con el anterior, lo cual permitió organizar la instalación de forma mucho más cómoda y ordenada. Este mayor espacio facilitó el montaje de borneras, la separación adecuada de señales débiles y fuertes, y una distribución más limpia del cableado, favoreciendo tanto la funcionalidad como las tareas de mantenimiento y diagnóstico (figura 66).

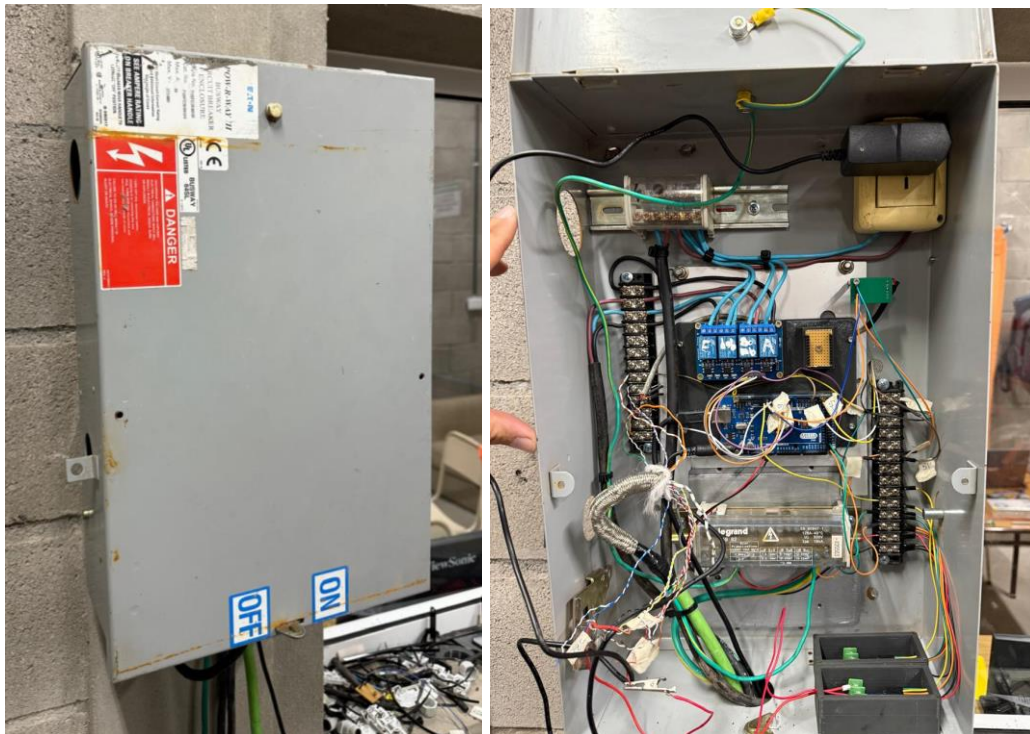


Figura 66. Nuevo tablero metálico de comando (exterior e interior).

7.4. Pruebas y modificaciones en el hardware del sistema de adquisición y control.

Debido a la falta de avances significativos en la mejora del funcionamiento del sistema en cuanto a la persistencia de fallas e interferencias, se comenzaron a realizar pruebas incrementales agregando un solo sensor o actuador por vez, con el objetivo de identificar con precisión en qué momento aparecían los errores o comportamientos anómalos. Además, se tuvo en cuenta la arquitectura del Arduino Mega 2560, está compuesto por dos microcontroladores: el ATmega2560, encargado del procesamiento principal del programa, y el ATmega16U2, que actúa como interfaz USB a serial. Esta separación implica que podrían producirse conflictos tanto en la ejecución del programa como en la transmisión de datos hacia la computadora, por lo que fue necesario identificar si el origen de los problemas se encontraba en el microcontrolador principal o en el canal de comunicación.

Como primera prueba dentro del nuevo enfoque metodológico, se decidió conectar únicamente los módulos de relés, dado que resultaban esenciales para encender el motor y activar elementos auxiliares como el electro ventilador, la bomba de combustible y la bobina del motor. El objetivo de esta prueba fue verificar si los relés, por sí solos, generaban interferencias que afectarían el funcionamiento del sistema. El resultado fue positivo: los relés operaron correctamente, permitiendo el arranque del motor y el accionamiento de los periféricos, sin que se presentaran bloqueos ni comportamientos anómalos en el Arduino. Esta etapa sirvió como punto de partida para ir agregando progresivamente otros componentes del sistema, con el fin de identificar el origen exacto de las perturbaciones.

Con el fin de continuar con las pruebas incrementales y lograr un control completo del sistema desde la interfaz gráfica, se decidió conectar únicamente el servo motor, sin ningún otro sensor o actuador adicional. El funcionamiento fue correcto, permitiendo la regulación del acelerador desde la pantalla de control. Se observaron leves movimientos o vibraciones en reposo, característicos del modelo de servo utilizado, los cuales no afectaban significativamente el desempeño general del sistema ni interferían con otras funciones. Esta prueba permitió confirmar que el control del servo podía mantenerse estable

al estar aislado de otros elementos del circuito, y que su comportamiento era aceptable dentro del margen previsto.

Posteriormente la celda de carga fue el primer sensor agregado al sistema durante las pruebas mencionadas. Esta elección respondió a la importancia crítica de obtener la curva de potencia del motor, uno de los datos fundamentales para el análisis en el banco de ensayos.

La celda de carga se conectó mediante el módulo amplificador HX711, y durante los primeros encendidos, su funcionamiento fue aparentemente correcto mientras el Arduino operaba en solitario. Sin embargo, al poner en marcha el motor, el sistema completo dejaba de funcionar, obligando a accionar el botón de parada de emergencia para detener el funcionamiento del motor.

Con el fin de diagnosticar la causa de la falla, se realizaron mediciones con un osciloscopio. En la línea de alimentación no observando perturbaciones significativas, pero sí se detectaron pérdidas de datos y la presencia de un offset de aproximadamente 0,7 V en la señal que llegaba desde el HX711 al Arduino. Se resolvió posponer el análisis detallado de esta interferencia para una etapa posterior, priorizando la incorporación y evaluación de otros componentes del sistema.

Luego de realizar la desconexión completa de la celda de carga, se procedió con la incorporación del sensor KY-035, basado en un sensor Hall A3144, para la medición de las revoluciones por minuto (RPM) del motor.

Durante las primeras pruebas, al poner en marcha el motor, el sistema arrojaba valores de RPM incorrectos, en el orden de 40.000 a 45.000 RPM, cuando en condiciones de ralentí los valores esperados eran del orden de 800 a 1.200 RPM.

Al inspeccionar el módulo, se detectó que no incluía componentes fundamentales para el correcto funcionamiento del sensor Hall: una resistencia pull-up y un capacitor de desacople. Se colocó una resistencia pull-up de 10 k Ω entre la salida del sensor y Vcc. Esta resistencia es necesaria ya que el A3144 tiene una salida de colector abierto, es decir, puede llevar la línea a nivel bajo, pero no puede elevarla a nivel alto por sí solo. La resistencia asegura que, en ausencia de campo magnético, la señal esté en nivel lógico alto. También se incorporó un capacitor cerámico de 100 nF entre la salida del sensor y GND, actuando como filtro de ruidos de alta frecuencia, evitando falsos disparos causados por interferencias electromagnéticas.

Luego de implementar estos componentes pasivos, se volvió a probar el sistema. Si bien los valores de RPM disminuyeron, seguían siendo considerablemente más altos que los valores reales del motor en marcha lenta.

Se descubrió que el disco donde se encontraban montados los imanes presentaba una imantación residual, lo que generaba pulsos adicionales no deseados. Para solucionar este problema, se diseñó e imprimió un disco en impresora 3D, con el objetivo de aislar magnéticamente los imanes del material base y lograr una distribución equidistante y simétrica de cuatro imanes los cuales fueron fijados al mismo mediante un adhesivo de tipo instantáneo (figura 67).

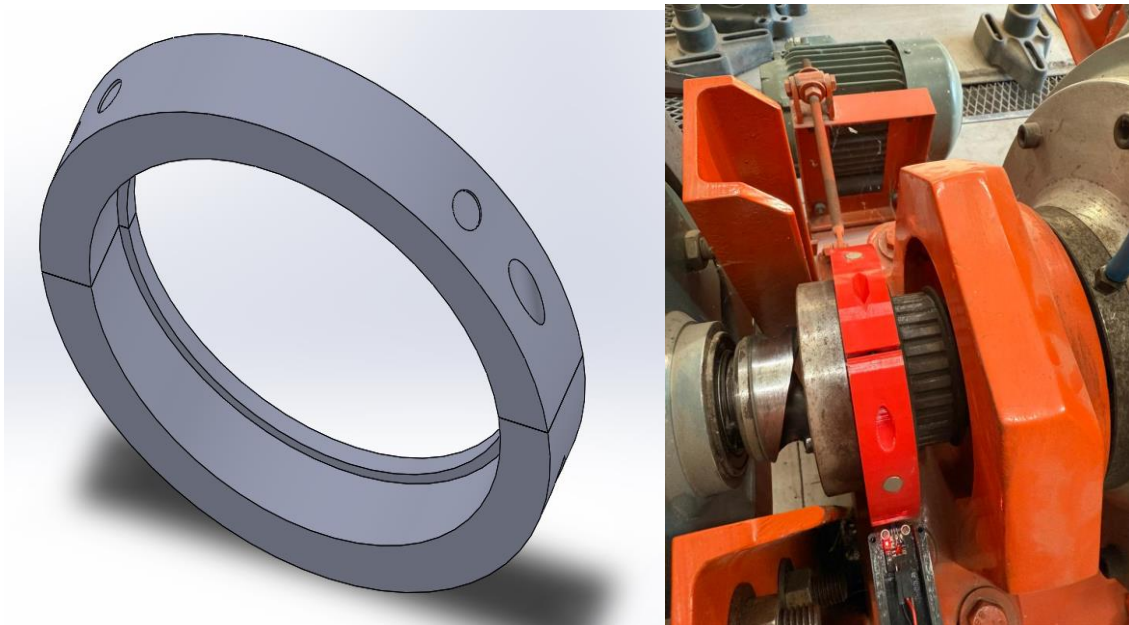


Figura 67. Diseño y montaje del disco para medición de RPM.

Tras colocar el nuevo disco se observó una mejora en la medición, con valores más cercanos a los teóricos, aunque aún alejados de la realidad. Para corregir este desvío, se decidió implementar un filtro por software, el cual consistió en un algoritmo de promedio móvil que suaviza las variaciones abruptas de la señal, descartando pulsos espurios y promediando lecturas sucesivas para obtener una estimación más estable y coherente de la velocidad. Gracias a este filtrado digital, se obtuvo un comportamiento lógico y estable en la lectura de RPM, aunque sin validación absoluta de su exactitud. Se dejó asentado que la calibración final se realizará posteriormente, utilizando un instrumento de medición confiable disponible en el Taller de Laboratorio de Motores Térmicos (TLMT).

Finalmente, y luego de haber reubicado los módulos MAX6675 en el tablero de comando, se observó que persistían las fallas en la lectura de temperatura proveniente de las termocuplas tipo K, especialmente al poner en marcha el motor. Esto indicaba que el problema no estaba asociado únicamente a la ubicación física de los módulos respecto a las fuentes de ruido electromagnético. Ante esta situación, se consultó diversa bibliografía de entornos industriales y de automoción, donde se sugería el uso de filtros pasivos RC como solución efectiva frente a interferencias de alta frecuencia en líneas de comunicación digital. Siguiendo esta recomendación, se implementó un filtro RC en las líneas SCK, SO y CS del módulo MAX6675. La implementación consistió en:

- Una resistencia de $100\ \Omega$ en serie con cada línea.
- Un capacitor cerámico de $10\ \text{nF}$, conectado entre cada línea y GND.

Esta configuración actúa como un filtro pasa bajos, permitiendo el paso de señales útiles de baja frecuencia y atenuando ruidos de alta frecuencia que puedan inducirse en los cables por fuentes externas.

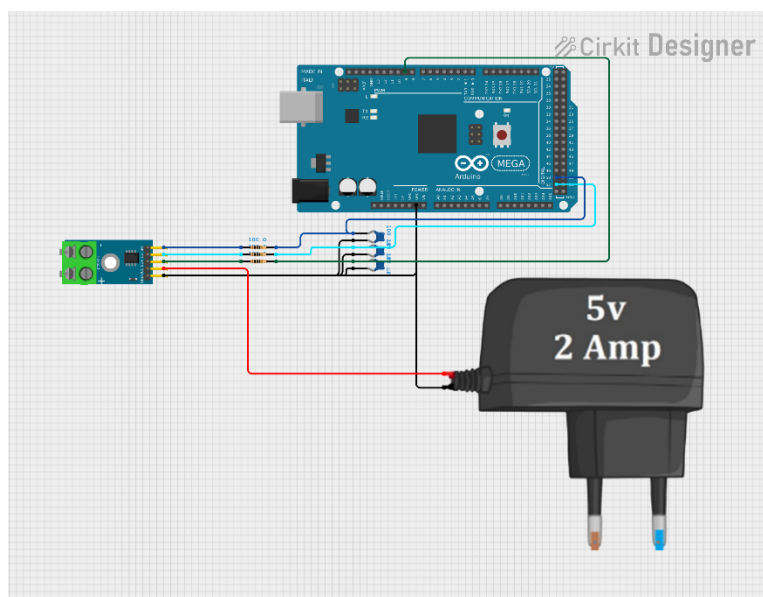


Figura 68. Esquema del circuito con filtro para termocupla.

La Figura 68 muestra el esquema del circuito implementado, incluyendo el uso de una fuente externa de 5V 2A para alimentar el módulo y el Arduino, lo cual también contribuye a reducir problemas por caída de tensión o ruidos inducidos por consumo

compartido. Con la implementación de los filtros RC en las líneas de comunicación del módulo MAX6675, se lograron mejoras sustanciales con el motor en marcha.

Durante todo el proceso de pruebas y ajustes del sistema, se detectaron fallos intermitentes e inestabilidad en el funcionamiento general del banco de ensayos. En algunas ocasiones, el sistema de adquisición de datos se bloqueaba de forma inesperada o registraba valores erróneos sin causa aparente. Esta situación dificultaba la continuidad de las pruebas y generaba resultados poco confiables.

Tras una serie de observaciones y ensayos, se identificó una correlación entre estas fallas y el accionamiento de los relés que controlan distintos dispositivos del banco, como la bomba de combustible o la bobina de encendido. Particularmente, se detectó que al activar o desactivar estos relés se inducía un ruido eléctrico significativo en las señales sensibles del sistema, afectando directamente al Arduino encargado de adquirir los datos.

Este ruido, de origen electromagnético, es típico cuando cargas inductivas como relés, bobinas o motores se energizan o desenergizan. En estas condiciones, se generan picos de tensión (conocidos como transitorios) que pueden interferir en las líneas de señal o alimentación, provocando comportamientos erráticos en microcontroladores u otros dispositivos electrónicos sensibles.

Como medida de mitigación, se implementó una arquitectura distribuida utilizando un segundo Arduino dedicado exclusivamente al control de los relés, físicamente separado del que realiza la adquisición de datos. Esta modificación resultó altamente efectiva, ya que se redujo notablemente la interferencia observada y se logró una mayor estabilidad del sistema. Además, se identificó otra fuente significativa de ruido: al monitorear la señal digital utilizada para calcular las revoluciones por minuto (RPM) del motor, se visualizaron superpuestas seis señales sinusoidales por cada revolución, coincidentes con los impulsos del sistema de encendido. Esta interferencia, mostrada en la figura 69 e inducida probablemente por el sistema de encendido del motor, contribuye a la inestabilidad de la lectura de RPM y confirma la necesidad de un filtrado más robusto o un aislamiento adicional en dicha señal.

Estas observaciones permitieron entender con mayor profundidad los fenómenos eléctricos presentes en el entorno del banco de ensayos y sentaron las bases para una nueva metodología de conexión y adquisición que se describe en el siguiente capítulo.

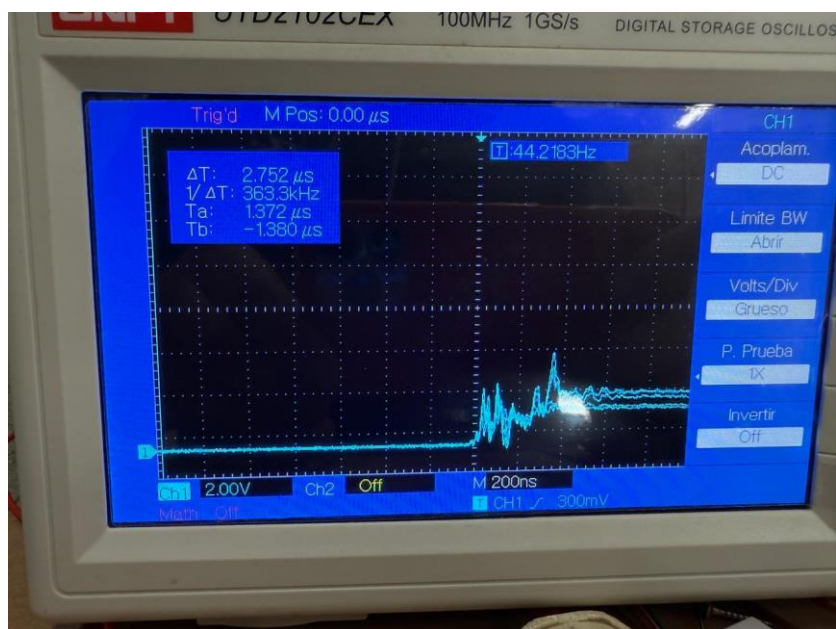


Figura 69. Detección del ruido producido por el encendido del motor.

Como resultado de los problemas de interferencia electromagnética detectados durante el funcionamiento del sistema, se decidió implementar una arquitectura distribuida mediante la incorporación de un segundo Arduino, dedicado exclusivamente al accionamiento de los relés de control. Para ello, se instaló un nuevo tablero de control en una ubicación físicamente separada del sistema principal de adquisición de datos, con el objetivo de minimizar el acoplamiento de ruido entre ambos circuitos.

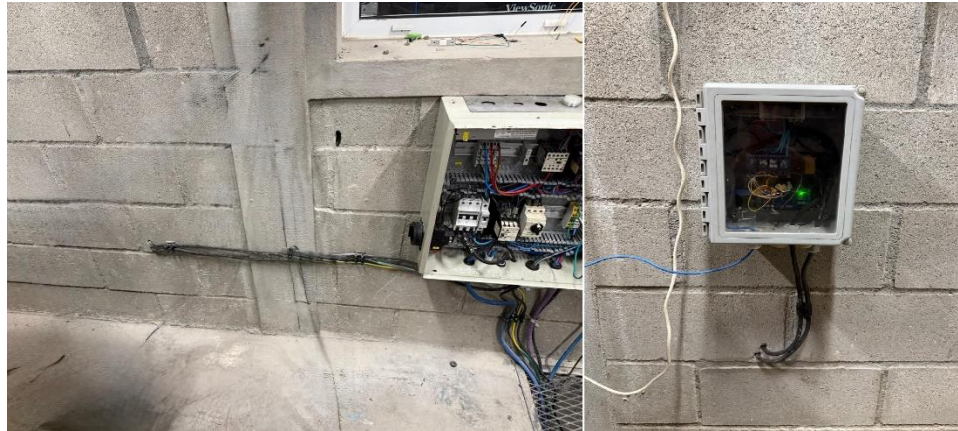


Figura 70. Canalización de cables y nuevo tablero para el segundo Arduino.

En la Figura 70 se observa la ubicación del nuevo tablero, donde se alojó el segundo Arduino con su correspondiente fuente de alimentación, junto con el sistema de relés. La instalación permitió mejorar significativamente la estabilidad del sistema, al reducir las interferencias que anteriormente afectaban las señales críticas del sistema de adquisición de datos.

7.5. Reemplazo de cables de bujía por modelos con supresión magnética

Durante las pruebas experimentales, se detectó que la señal utilizada para medir las RPM del motor presentaba un patrón de ruido periódico superpuesto. Este ruido coincidía con los eventos de encendido del motor, observándose claramente seis señales sinusoidales por revolución, correspondientes a cada uno de los cilindros como se aprecia en la figura 69. Estas señales interferían directamente en la medición de RPM, pero también afectaban otros componentes del sistema, en especial al servomotor encargado de accionar

el mecanismo del acelerador. En este último se registraban oscilaciones imprevistas, vibraciones intermitentes y respuestas erráticas, incluso cuando el sistema de control no estaba enviando comandos.

Frente a este diagnóstico, se decidió realizar el reemplazo de los cables de bujía convencionales por cables de encendido con supresión magnética. Estos nuevos cables poseen un núcleo resistivo diseñado específicamente para atenuar las emisiones electromagnéticas generadas durante el proceso de encendido, evitando su propagación por el entorno cercano.

Tras la instalación de estos cables, se verificó una notable mejora en la estabilidad general del sistema. La lectura de RPM se volvió más estable y consistente, mientras que el comportamiento del servomecanismo del acelerador mostró una reducción significativa en la vibración no deseada, permitiendo un control más preciso y confiable. Esta mejora también contribuyó a la reducción del número de bloqueos del microcontrolador, confirmando que el encendido del motor era una de las principales fuentes de interferencia.



Figura 71. Antiguo cableado de bujía / Nuevo cableado de bujía.

7.6. Cambio en el actuador del acelerador

Durante las primeras pruebas del sistema de aceleración, se utilizó un servomotor de alto torque para accionar el mecanismo del acelerador del motor, como se explicó en la sección 5.4. Se diseñó una estructura fabricada mediante impresión 3D, la cual incorporaba rodamientos para absorber la carga axial y minimizar los esfuerzos directos sobre el eje del servo. La intención de este diseño, mostrado en las figuras 72 y 73, era que el servomotor únicamente realizara el movimiento rotacional necesario para accionar la mariposa del carburador, sin que se transmitieran cargas adicionales que pudieran afectar su funcionamiento.

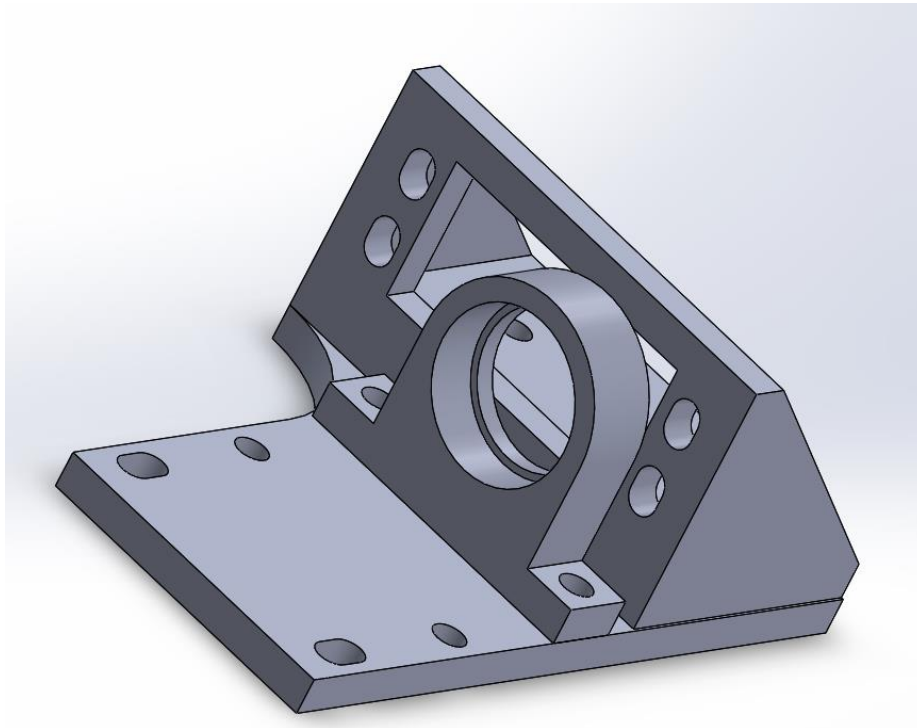


Figura 72. Diseño en 3D de las piezas necesarias para implementar el mecanismo.

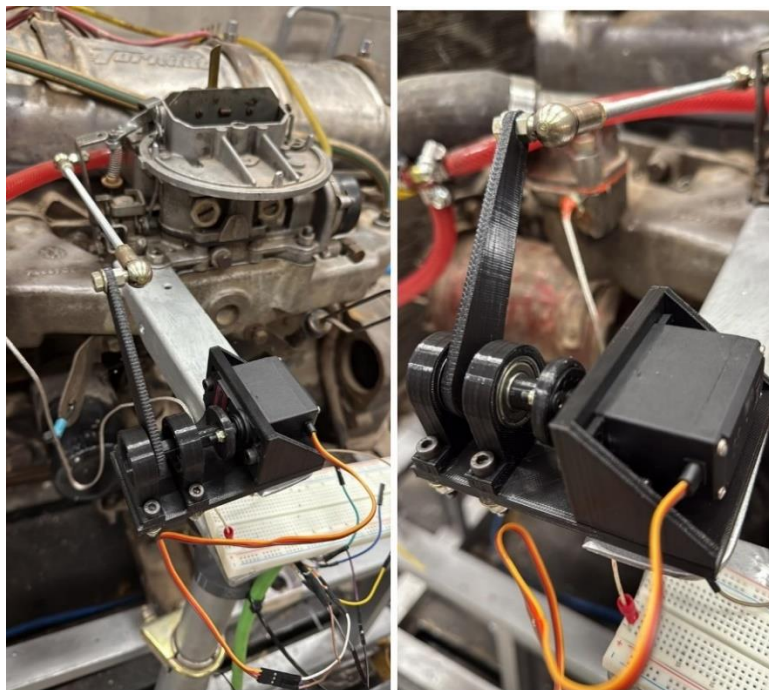


Figura 73. Mecanismo de acelerador instalado.

Sin embargo, en medio de una serie de pruebas y demostraciones a estudiantes y docentes, el servomotor sufrió una rotura. Al desarmarlo se observó que posiblemente el daño fue ocasionado por la vibración propia del motor de combustión interna o por movimientos axiales imprevistos en su eje de salida. Esta rotura afectó los alojamientos de los engranajes internos, impidiendo su correcto funcionamiento.

Si bien el servo en cuestión fue adquirido como un modelo con engranajes metálicos, tras su desmontaje se constató que algunos de estos aún eran plásticos, lo cual podría haber influido en su temprana falla. Se procedió entonces a la compra de un nuevo servo de las mismas características debido a su buena relación torque/costo. No obstante, se consideró necesario analizar alternativas más robustas.

Durante esta etapa, se evaluaron servos de mayor calidad, completamente metálicos y con especificaciones industriales. Sin embargo, su costo resultaba significativamente superior, alcanzando valores hasta 10 veces más altos que el modelo previamente adquirido, lo cual no se justificaba en el marco del presente proyecto y su enfoque académico.

Dado que en el laboratorio se contaba con motores paso a paso y sus respectivos controladores, se propuso como alternativa la utilización de este tipo de motor para el sistema de aceleración. Esta solución permitiría mejorar la precisión del movimiento, eliminar el juego mecánico y brindar mayor robustez frente a cargas imprevistas, lo cual se aborda en el siguiente apartado.

Tras las repetidas fallas de los servomotores durante las pruebas, y considerando las limitaciones mecánicas y de costos que implicaba reemplazarlo por uno de mejor calidad, se optó por una alternativa viable con los recursos disponibles en el laboratorio: la implementación de un motor paso a paso NEMA 23 con un controlador TB6600.

Para su montaje, fue necesario diseñar un soporte específico en CAD y posteriormente fabricarlo mediante impresión 3D, lo que permitió un ensamblaje preciso, estable y resistente a vibraciones (figuras 77 y 78).

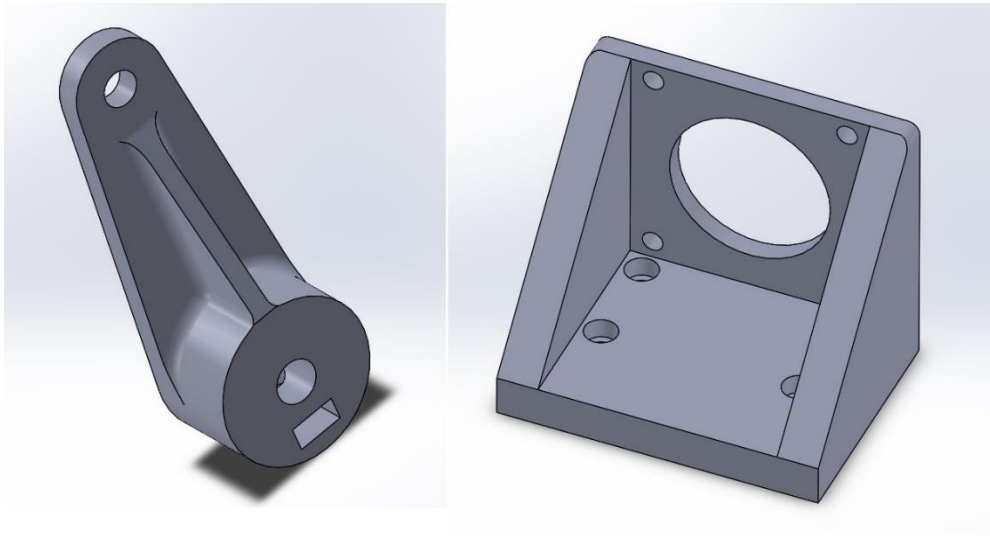


Figura 74. Diseño en 3D del accionador y soporte del paso a paso.

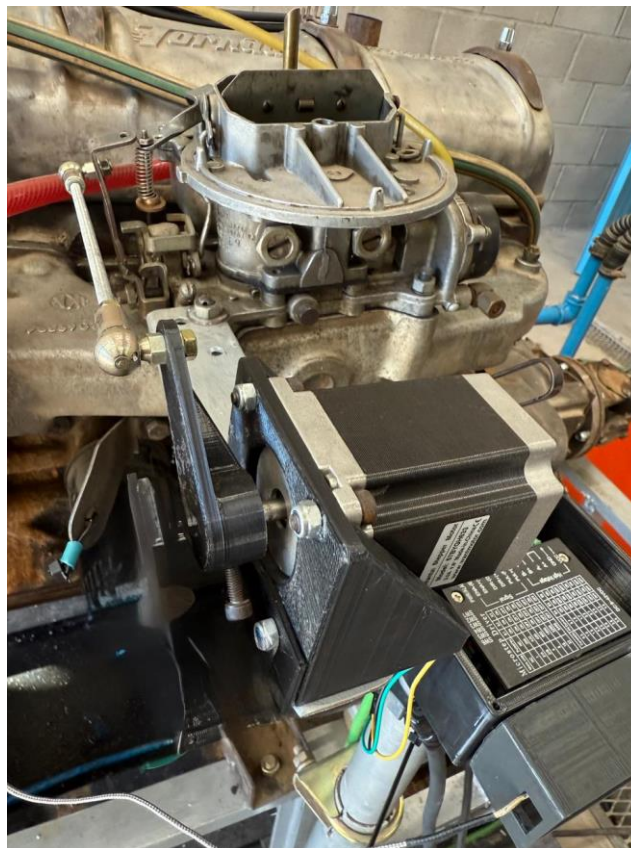


Figura 75. Sistema fijado al motor.

La primera prueba se realizó mediante programación directa, enviando pulsos desde un microcontrolador Arduino hacia el driver, con el fin de accionar el motor en distintas posiciones. El sistema operaba abriendo y cerrando la mariposa del carburador mediante secuencias de pasos preestablecidos.

Sin embargo, durante los ensayos se identificó una limitación importante: en ciertas ocasiones el motor no completaba todos los pasos esperados, provocando una pérdida de sincronización con la posición real. Esto generaba errores acumulativos y una disminución en la precisión del control del acelerador.

A raíz de esta problemática, se consideró la necesidad de implementar un sistema de realimentación que permitiera conocer en tiempo real la posición del eje del motor, para corregir desviaciones y asegurar un control más fiable.

Con el objetivo de mejorar la precisión del sistema de control del acelerador, se decidió incorporar un potenciómetro que actuara como sensor de posición. Esta solución se eligió por ser rápida, económica y de fácil implementación, ya que este tipo de componentes se consigue fácilmente en tiendas de electrónica locales, sin necesidad de recurrir a soluciones industriales o especializadas.

El potenciómetro lineal seleccionado fue de 10 k Ω , el cual se conectó directamente a una entrada analógica del microcontrolador Arduino. Para su montaje, se diseñó y fabricó un soporte personalizado mediante impresión 3D (figura 76), que incluye una corredera que permite ajustar su posición con precisión durante la instalación.

La calibración del sistema se realizó identificando el valor de lectura correspondiente a las dos posiciones extremas del acelerador:

- Cerrado o en reposo: cuando la mariposa del carburador está completamente cerrada.
- Totalmente abierto: cuando se encuentra en su máxima apertura.

Estos valores de referencia fueron utilizados dentro del software de control para mapear el movimiento del motor paso a paso con la posición real del acelerador, permitiendo detectar desfasajes y realizar correcciones si fuera necesario.

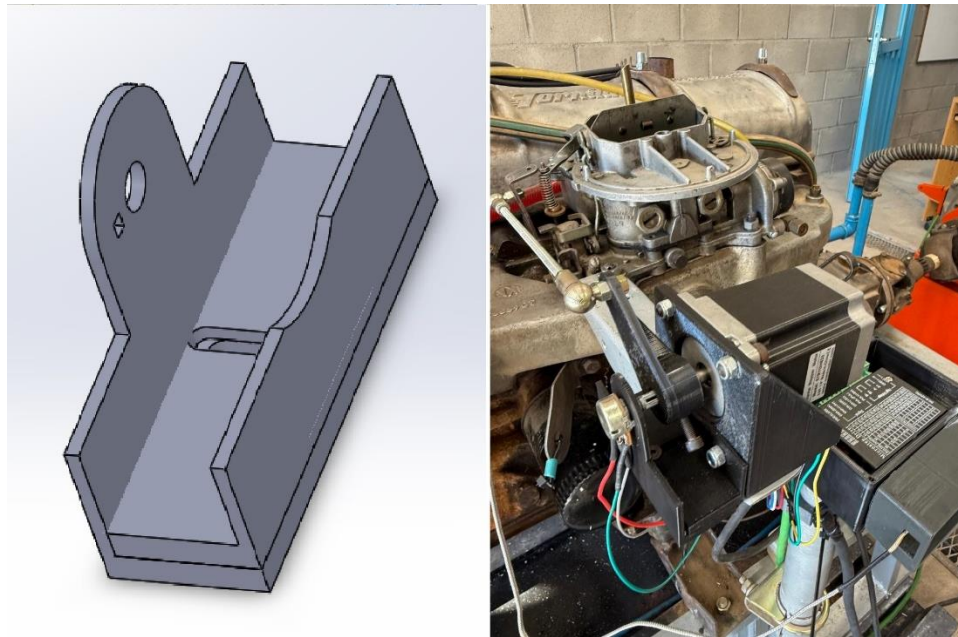


Figura 76. Diseño e implementación de mecanismo de posición del acelerador.

En un primer momento, el potenciómetro del mecanismo del acelerador se conectó directamente al sistema sin aplicar ningún tipo de procesamiento a la señal. Durante estas pruebas iniciales se observaron oscilaciones constantes en la lectura, lo que provocaba movimientos indeseados en el actuador. Estas variaciones se atribuyeron principalmente a la baja calidad del potenciómetro utilizado, que presentaba ruido eléctrico y fluctuaciones mecánicas en su pista resistiva, sumadas a posibles interferencias propias del entorno del motor.

Con el objetivo de reducir estas oscilaciones, se implementó un filtrado digital por promedio móvil que consistió en tomar un conjunto de muestras consecutivas y calcular su valor medio antes de procesarlo. Esta técnica permitió suavizar la señal y disminuir en parte las variaciones rápidas. Sin embargo, si bien el comportamiento mejoró, las oscilaciones seguían presentes en un nivel que aún resultaba perceptible en el control del acelerador.

Para optimizar aún más la estabilidad de la lectura, se incorporó un filtro por histéresis, definiendo un umbral mínimo de variación antes de aceptar un nuevo valor como válido. De esta forma, pequeñas fluctuaciones en la señal quedaban descartadas, evitando movimientos innecesarios del actuador. Gracias a esta combinación de filtrado e histéresis, el comportamiento del sistema mejoró notablemente en comparación con las pruebas

iniciales, reduciendo las oscilaciones a un nivel mucho menor y permitiendo un control más preciso y estable del mecanismo.

Si bien la utilización de un potenciómetro como sensor de posición del acelerador representó en un inicio una solución adecuada, durante las pruebas se evidenciaron varias limitaciones. El principal inconveniente fue la inestabilidad en la señal: al acelerar, las lecturas presentaban oscilaciones, lo que generaba imprecisiones en el control del motor y comportamientos erráticos. Para superar estas limitaciones, se decidió reemplazar el potenciómetro por dos finales de carrera, ubicados en los extremos del recorrido del actuador del acelerador:

- Un final de carrera en la posición de cero.
- Un final de carrera en la posición de apertura máxima.

De esta forma, el sistema trabaja en lazo abierto en el rango intermedio, pero siempre puede recalibrar su posición de referencia al accionar cualquiera de los dos finales de carrera. Esto asegura que, aunque se pierdan pasos en el motor o se produzcan desajustes, el sistema retorne a una posición conocida al llegar a alguno de los extremos.

Se diseñó en 3D la estructura de soporte (figura 77) donde se ubican los finales de carrera, garantizando una instalación precisa, robusta y ajustada al recorrido del actuador. Esta etapa de diseño fue clave para lograr una integración mecánica confiable entre el sistema de control electrónico y el mecanismo físico del acelerador.

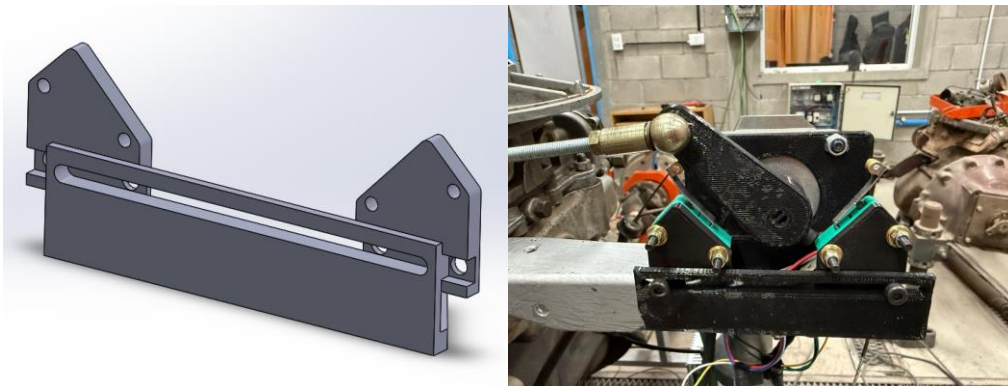


Figura 77. Diseño e implementación del nuevo mecanismo del acelerador.

7.7. Solución a los problemas de la Celda de carga y medición de RPM

Como se mencionó precedentemente la celda de carga utilizada para medir la fuerza ejercida por el brazo del freno dinamométrico y así calcular el par motor, fue uno de los componentes que presentó mayores dificultades durante el desarrollo del sistema.

En una primera etapa, cualquier intento de conectar la celda de carga al sistema de adquisición provocaba el bloqueo completo del microcontrolador, deteniendo la ejecución del programa. Este comportamiento se repitió con diferentes celdas disponibles en el laboratorio, lo que inicialmente llevó a deducir que el problema podría estar asociado al módulo de acondicionamiento de señal HX711 o a la forma en la que estaba siendo alimentado e integrado con el resto de los sensores.

Luego de múltiples pruebas, el sistema dejó de presentar bloqueos al conectar la celda; sin embargo, se observó un nuevo inconveniente: los valores obtenidos mostraban picos esporádicos y variaciones abruptas que no correspondían al comportamiento real del sistema. Estas perturbaciones no solo afectaban a la medición de fuerza, sino que también interferían con la lectura de RPM, generando valores incoherentes que llegaban a duplicar o triplicar las mediciones reales.

Se probaron diferentes configuraciones de cableado, filtrado y separación física de componentes, pero el problema persistía. Finalmente, se concluyó que la causa probable era una falla interna en el módulo HX711 utilizado, ya fuera por un defecto de fábrica o por daños previos a su uso en este proyecto.

Para confirmar esta hipótesis, se utilizó otro módulo HX711 en buen estado mostrando un cambio significativo, el sistema logró operar de manera estable y sin bloqueos, permitiendo la adquisición confiable de datos de torque. Sin embargo, se observó nuevamente que la medición de RPM presentaba valores elevados en ralentí, cercanos a 1200 rpm, cuando el valor real se encuentra alrededor de 700 rpm.

Este comportamiento llevó a la conclusión de que, si bien el sistema en general funciona correctamente, la lectura de RPM continúa siendo sensible a interferencias. Por

tal motivo, se consideró la posibilidad de reemplazar el sensor de RPM por uno más robusto y menos susceptible al ruido eléctrico o bien implementar un filtrado digital con el fin de asegurar una medición precisa en todas las condiciones de operación del banco de ensayos.

Buscando la solución de menor costo económico, se implementó un filtrado por software basado en un filtro exponencial suavizado, el cual calcula el valor de RPM a partir de una combinación ponderada entre la última lectura y el valor filtrado previo. De esta manera, las variaciones abruptas son atenuadas y se obtiene una señal más estable y representativa del régimen de giro real.

El funcionamiento de este filtro se programó directamente en el microcontrolador, ajustando el coeficiente de ponderación (α) hasta encontrar un equilibrio entre la respuesta rápida a cambios reales en la velocidad del motor y la supresión de fluctuaciones no deseadas.

Finalmente, las mediciones obtenidas tras la aplicación del filtro fueron cotejadas con un medidor de RPM y avance de encendido (figura 78) disponible en el Laboratorio de Máquinas Térmicas. La comparación confirmó que los valores procesados coincidían con las mediciones de referencia, validando así el correcto funcionamiento del sistema de filtrado y garantizando una lectura confiable de las RPM.



Figura 78. Instrumento medidor de avance y RPM.

CAPÍTULO 8: RECURSOS Y ANALISIS DE COSTOS

Este capítulo reúne y describe los recursos necesarios para la construcción y operación del banco de ensayos desarrollado. Se incluyen tanto los recursos materiales como sensores, dispositivos electrónicos, sistemas de adquisición de datos y componentes mecánicos, como los recursos humanos involucrados en las distintas etapas de diseño, montaje y pruebas.

8.1. Recursos humanos

El proyecto fue desarrollado principalmente por el alumno, con el acompañamiento académico de un director, un codirector y un asesor. En la tabla 1 se presenta la estimación de horas de trabajo dedicadas a cada etapa

Tabla 1. Estimación de horas de trabajo dedicadas.

Actividad	Horas estimadas [Hs]
Investigación y marco teórico	40
Diseño y planificación del banco de ensayos	100
Fabricación, mecanizado e impresión 3D de componentes	200
Instalación y conexionado de sensores	200
Programación y configuración de Arduino/Node-RED	250
Pruebas experimentales en banco	200
Resolución de problemas de ruido e interferencias	300
Documentación y redacción del informe	150
Total	1440

Horas de acompañamiento académico (estimadas):

- Mgr. Guillermo L. Magaldi (director): 25 hs
- Dr Maximiliano Asensio (codirector): 20 hs
- Ing. Luis Mercuri (asesor): 15 hs

8.2. Recursos físicos

Los recursos físicos empleados fueron una combinación de elementos del laboratorio de máquinas térmicas y el LCA. Se utilizaron notebooks, computadora de

escritorio, impresora 3D, herramientas de mano y multímetro, junto con softwares como SolidWorks, PrusaSlicer, Arduino Ide.

8.2.1. Equipamiento informático y software

Tabla 2. Software y equipamiento informático.

Elemento	Observaciones
PC de escritorio	Equipo fijo destinado al funcionamiento del banco de ensayos, adquisición de datos en tiempo real y control de instrumentos.
Notebook personal	Utilizada para el diseño CAD en SolidWorks, generación de documentación y preparación de archivos para impresión 3D.
Software SolidWorks	Herramienta CAD empleada para diseño de soportes y componentes del sistema.
Software PrusaSlicer	Preparación de archivos G-code para la impresión 3D de piezas.
Software Node-RED	Plataforma principal para adquisición y visualización de datos en tiempo real.
Software LabVIEW (versión de prueba)	Utilizado en etapas iniciales para ensayos de adquisición antes de migrar a Node-RED.

8.2.2. Herramientas y dispositivos

Tabla 3. Herramientas y dispositivos

Elemento	Observaciones
Multímetro digital	Medición de tensiones y corrientes durante el conexionado de sensores y módulos.
Osciloscopio	Análisis de señales eléctricas y verificación de ruidos e interferencias en el sistema.
Herramientas de mano (destornilladores, pinzas, llaves)	Montaje y ajuste mecánico de los distintos componentes del banco.
Taladro y accesorios de fijación	Perforaciones y armado de la estructura de soporte.
Software Node-RED	Plataforma principal para adquisición y visualización de datos en tiempo real.
Software LabVIEW (versión de prueba)	Utilizado en etapas iniciales para ensayos de adquisición antes de migrar a Node-RED.
Amoladora	Corte y preparación de piezas metálicas para la estructura.
Soldadora Inverter	Ensamblado y refuerzo de la estructura metálica.

Impresora 3D	Fabricación de soportes, carcasas y piezas de fijación para sensores.
--------------	-----------------------------------------------------------------------

8.3. Recursos económicos

El análisis económico del proyecto contempla los costos asociados a la adquisición de sensores, módulos electrónicos y materiales empleados en la construcción del banco de ensayos. En este apartado se diferencian los elementos vinculados a la instrumentación y electrónica de control, y aquellos destinados a la estructura y montaje mecánico.

Si bien gran parte de los componentes ya se encontraban disponibles en el laboratorio, se presentan en las tablas con sus valores de referencia a fin de dimensionar el costo total de los recursos utilizados. De esta forma, se obtiene un panorama general de la inversión que requeriría replicar el sistema en otro entorno.

8.3.1. Sensores y módulos electrónicos

En la tabla 4 se detallan los principales sensores y dispositivos electrónicos empleados en el banco de ensayos, junto con sus costos estimados:

Tabla 4. Sensores y módulos electrónicos

Elemento	Cantidad	Costo unitario [\$]	Subtotal [\$]
Arduino MEGA	2	30300	60600
Termopares MAX6675	2	7035	14070
Sensor BME280	1	14900	14900
Celda de carga + HX711	1	7162	7162
Sensor KY003 A3144	1	2990	2990
Paso a paso + driver	1	53450	53450
Relés	1	5649	5649
Fuente 5V	1	23410	23410
Fuente 12V	1	12580	12580
Fuente 24V	1	25800	25800
Total			220611

8.3.2. Materiales estructurales y de montaje

La construcción del banco también requirió materiales para la estructura, fijaciones y piezas auxiliares. En la tabla 5 se presentan los principales insumos junto con sus valores de referencia.

Tabla 5. Materiales estructurales y de montaje

Elemento	Cantidad	Costo unitario [\$]	Subtotal [\$]
Perfilería metálica	1	66000	66000
Electrodos	1	30000	30000
Tornillería, cables y conectores	1	100000	100000
Filamento PLA/PETG para impresión 3D	2	19000	38000
Tratamiento superficial y pintura	1	40000	40000
Total			274000

8.4. Resumen general de gastos

Finalmente, en la tabla 6 se presenta un resumen con los costos estimados por categoría:

Tabla 6. Resumen general de gastos

Categoría	Total
Sensores y módulos electrónicos	220611
Materiales estructurales y de montaje	274000
Total general	494611

Los valores indicados corresponden a estimaciones de mercado de cada componente al momento del desarrollo del proyecto. Una parte importante de estos recursos ya se encontraba disponible en el laboratorio, por lo que no representaron un costo directo.

Cabe señalar que los precios fueron relevados en agosto de 2025, considerando un tipo de cambio aproximado de 1 USD = 1350 ARS. En base a dicho valor, la sumatoria total estimada asciende a aproximadamente 367 USD.

CAPÍTULO 9: RESULTADOS Y PROPUESTAS DE MEJORAS

Luego de las diferentes pruebas, ajustes y modificaciones implementadas, el sistema alcanzó un nivel de funcionamiento estable en la mayoría de sus módulos. El acelerador, los sensores de temperatura, presión y el sistema de adquisición de datos demostraron un desempeño confiable, permitiendo el registro y la visualización en tiempo real de las principales variables de funcionamiento del motor.

Durante las pruebas modelo se observaron mejoras significativas, particularmente en la corrección de las oscilaciones presentes en las señales de RPM y del acelerador.

En la figura 79 se presenta una captura de la interfaz gráfica desarrollada en Node-RED, correspondiente al funcionamiento del banco de ensayos. En la misma se observan los valores ambientales registrados al momento de la prueba, junto con la lectura de las RPM del motor.

En el sector izquierdo se visualizan los indicadores de temperatura del motor y del freno, correspondientes al momento de la captura. También se observan los switches que controlan los relés principales: los de arranque y electroventilador aparecen apagados, dado que el motor ya se encontraba en marcha y aún no era necesario activar el sistema de refrigeración. En cambio, los switches de bobina y bomba de nafta permanecen activos, ya que resultan indispensables para el correcto funcionamiento del motor.

En el centro se dispone el gráfico de potencia, que en esta prueba aparece en cero debido a que el freno dinamométrico por corrientes parásitas se encontraba apagado.

Finalmente, en la parte inferior se aprecia el valor de peso obtenido por la celda de carga, el cual resulta útil para la calibración de dicho sensor y para el posterior cálculo de torque y potencia.

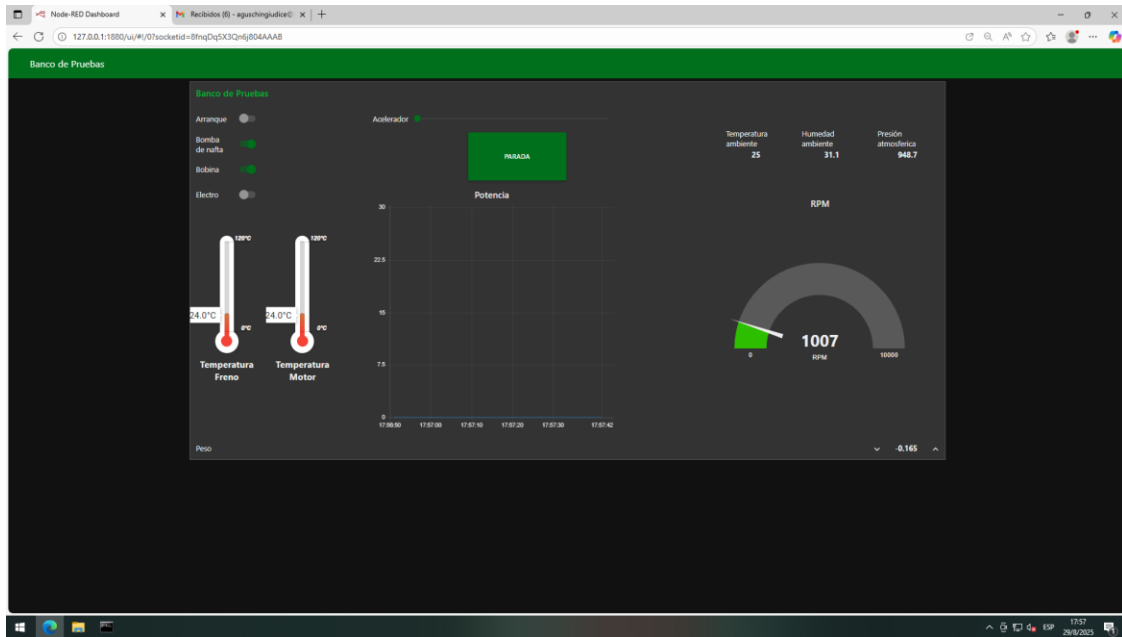


Figura 79. Interfaz gráfica en funcionamiento.

A pesar de los logros alcanzados, el sistema aún presenta una limitación importante, la imposibilidad de graficar de manera confiable la curva de potencia. El inconveniente surge al poner en marcha el freno dinamométrico de corrientes parásitas, ya que este genera perturbaciones electromagnéticas que afectan tanto el control del acelerador como la adquisición de datos, provocando inestabilidad en las mediciones.

Con el objetivo de optimizar el banco de ensayos y ampliar sus capacidades, se plantean las siguientes líneas de trabajo futuro:

- Aislamiento del freno dinamométrico: implementar blindajes eléctricos y una mejor separación física entre el freno y los sistemas de adquisición, con el fin de eliminar las interferencias que afectan la estabilidad de las mediciones y así poder graficar la curva de potencia del motor.
- Implementación de sensores para ciclo Otto: incorporar un transductor de presión en el cilindro y un encoder de cigüeñal de alta resolución, que permitan obtener el diagrama presión-volumen ($p-V$) y graficar de forma experimental el ciclo Otto. Esto brindaría un análisis más completo del comportamiento termodinámico del motor y su relación con las demás variables medidas.

- Sonda lambda: adquirir o fabricar una sonda lambda para medir la proporción aire/combustible en los gases de escape. Esto permitiría determinar el estado de la combustión y evaluar la eficiencia energética y ambiental del motor.
- Torre de enfriamiento: construir un sistema tipo torre de enfriamiento con ventilación forzada que garantice una temperatura de trabajo estable, evitando el sobrecalentamiento en ensayos prolongados y asegurando condiciones reproducibles.
- Control de carga del freno dinamométrico: renovar o rediseñar el sistema de control de la carga administrada al freno, de manera de lograr una regulación más precisa y segura durante las pruebas.
- Tratamiento de gases de escape: implementar un sistema de conducción y filtrado de los gases de escape, que permita una operación más segura en el laboratorio y reduzca el impacto ambiental de los ensayos.
- Plataforma de adquisición y control industrial: migrar a un sistema de clase industrial con entradas analógicas diferenciales de alta resolución, aislamiento galvánico, y módulos específicos para encoder de cigüeñal y salidas PWM/analógicas. Esta actualización incrementa la inmunidad al ruido generado por el freno de corrientes parásitas, mejora la seguridad eléctrica, habilita muestreo síncrono entre señales críticas y asegura operación estable en condiciones de laboratorio prolongadas.

CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES

En este trabajo se desarrolló el diseño e implementación de un sistema de supervisión y control para la puesta en marcha de un banco de ensayos para motores de combustión interna, capaz de registrar en tiempo real variables críticas de funcionamiento como el régimen de giro, torque y temperatura del motor, así como también variables del entorno donde se realiza el ensayo. La integración de sensores, sistemas de adquisición de datos y mecanismos de control permitió desarrollar una herramienta funcional para la evaluación del desempeño de un motor bajo diferentes condiciones de operación, en un laboratorio académico.

Durante el proceso de desarrollo se presentaron diversos desafíos técnicos, entre los que se destacan las interferencias eléctricas generadas por el freno dinamométrico de corrientes parásitas. Si bien estas perturbaciones condicionaron el correcto funcionamiento del sistema, se generaron diversas acciones de mejora logrando alcanzar un nivel de estabilidad aceptable en la medición de las principales variables propuestas, sentando las bases para futuras optimizaciones.

La implementación realizada sobre el banco de ensayos se distingue por su carácter de bajo costo relativo, al emplear componentes electrónicos accesibles, recursos propios de laboratorio y piezas fabricadas mediante impresión 3D. Este enfoque no solo permitió reducir costos, sino también emular trabajos ya realizados en otros ámbitos académicos o de investigación que requieran una plataforma de pruebas versátil y adaptable.

Más allá de lo técnico, el desarrollo de este proyecto representó un proceso formativo integral. La necesidad de combinar conocimientos de diseño mecánico, instrumentación, electrónica, programación y análisis experimental brindó una experiencia de aprendizaje interdisciplinaria, estrechamente vinculada a la práctica profesional de la ingeniería. Asimismo, la resolución de problemas reales como el ruido eléctrico, la integración de sensores o el control de actuadores, aportó un valor agregado en términos de capacidad de adaptación y perseverancia frente a dificultades.

Si bien aún persisten aspectos a mejorar particularmente en relación con el aislamiento del freno dinamométrico y la obtención confiable de la curva de potencia, el sistema desarrollado constituye un aporte significativo que combina funcionalidad, economía de recursos y potenciales desarrollos.

GLOSARIO

MCI	Motor de Combustión Interna. Máquina térmica que convierte energía química del combustible en energía mecánica mediante la combustión interna.
BE	Banco de Ensayos. Instalación que permite probar motores en condiciones controladas, midiendo variables críticas de su funcionamiento.
DAQ	(<i>Data Acquisition</i>) Sistema de adquisición de datos, encargado de captar, digitalizar y almacenar señales físicas provenientes de sensores.
ECU	(<i>Engine Control Unit</i>) Unidad electrónica de control de un motor. En automóviles regula la inyección, encendido y otras funciones.
RPM	Revoluciones por minuto. Medida de la velocidad angular del cigüeñal del motor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bosch, Manual de Tecnología del Automóvil., Barcelona: EDITORIAL REVERTÉ, S.A., 1999.
- [2] Edibon, «<https://www.edibon.com/>,» [En línea]. Available: <https://www.edibon.com/es/banco-de-ensayos-para-motores-de-75-kw-controlado-desde-computador-pc/>. [Último acceso: 28 Agosto 2025].
- [3] Heywood, Fundamentos de Motores de Combustión Interna..
- [4] Pulkrabek, Fundamentos de Motores de Combustión Interna., Prentice Hall.
- [5] Como funciona, «<https://como-funciona.org/>,» [En línea]. Available: <https://como-funciona.org/como-funciona-el-ciclo-otto/>. [Último acceso: 28 Agosto 2025].
- [6] Á. P. Amaya, «Autonocion,» [En línea]. Available: <https://www.autonocion.com/motores-dos-tiempos-funcionamiento/>. [Último acceso: 28 Agosto 2025].
- [7] International Organization for Standardization, Road vehicles — Engine test code — Net power, 1992.
- [8] International Organization for Standardization, Reciprocating internal combustion engines — Performance — Part 1: Declarations of power, fuel and lubricating oil consumptions, and test methods — Additional requirements, 2002.
- [9] International Organization for Standardization, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 1: General principles and requirements, 2022.
- [10] SAE International, Engine Power Test Code — Spark Ignition and Compression Ignition — Net Power Rating, 2011.
- [11] European Union, Euro 5 and Euro 6, 2007.
- [12] U.S. Environmental Protection Agency, Control of Emissions from New and In-Use Highway Vehicles and Engines, Code of Federal Regulations, 2012.
- [13] Grup Eina, «[buscadordealleres,](https://buscadordealleres.com/blog/diferentes-tipos-de-sistemas-de-refrigeracion/)» [En línea]. Available: <https://buscadordealleres.com/blog/diferentes-tipos-de-sistemas-de-refrigeracion/>. [Último acceso: 28 Agosto 2025].
- [14] wikipedia, «wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Radiador>. [Último acceso: 28 Agosto 2025].
- [15] cofrico, «[https://www.cofrico.com,](https://www.cofrico.com/)» [En línea]. Available: <https://www.cofrico.com/consejos-tecnicos/que-es-una-torre-de-enfriamiento-industrial/>. [Último acceso: 28 Agosto 2025].
- [16] M. Barreiro, Banco de ensayo de motores de combustión interna, 2018.
- [17] E. D. J. H. C. M. M. J. W. P. C. Carlos Alberto Romero, DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES, La Plata, 2016.
- [18] T. E. R. F. Ayala Míguez Germán Eduardo, Automatización de la adquisición de datos y control de encendido del banco de pruebas motor de combustión interna a diesel plint TE-16 del laboratorio de motores del DECEM, Sangolquí-Ecuador, 2015.

- [19] S. N. R. R. María Claudia Bastidas López, DISEÑO DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA., Bogota-Colombia, 2018.
- [20] Instituto Argentino de Normalización y Certificación, IRAM 3078: Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles – Requisitos de seguridad, Buenos Aires, 2012.

ANEXO 1 – PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA

A continuación, se presenta el código desarrollado en Arduino y los flujos de programación en Node-RED implementados para la adquisición de datos y el control del banco de ensayos. Este material se incluye como referencia para comprender en detalle la lógica de funcionamiento del sistema y facilitar futuras modificaciones o mejoras.

Anexo 1 – Programación del sistema de adquisición

1) Introducción

Este anexo describe, de forma sintética, cómo está organizada la programación del banco: lectura de sensores, control del acelerador y comunicación con Node-RED.

2) Firmware en Arduino (resumen funcional)

- Sensores:
 - MAX6675 (2 canales): temperaturas de motor y freno.
 - BME280: temperatura, humedad y presión ambiente.
 - HX711: celda de carga (peso/torque).
 - Sensor Hall: medición de RPM por interrupciones, con filtro exponencial.
- Actuador:
 - Motor paso a paso (STEP/DIR) con finales de carrera en 0% y 100% para calibración y referencia.
- Cálculos:
 - $\text{Torque} = \text{peso}(\text{kg}) \times 9,80665 \times \text{brazo}(\text{m})$.
 - $\text{Potencia (HP)} = \text{Torque}(\text{N}\cdot\text{m}) \times \text{RPM} / 7127$.
- Telemetría:
 - Envío periódico en **JSON** por puerto serie (115200).
 - Recepción de comandos de control desde Node-RED (terminados en “\n”).

3) Formato de datos enviado (JSON)

El Arduino transmite un objeto con las variables principales para el Dashboard. Campos típicos:

- tempMotor, tempFreno
- rpm
- tempAmb, humedad, presion
- peso, torqueNm, potenciaHP
- angulo (acelerador)
- relBomba, relBobina, relArranque, relElectro (0/1)

Ejemplo (una sola línea, sin espacios extra):

```
{ "tempMotor":67.8, "tempFreno":45.3, "rpm":1200, "tempAmb":28.1, "humedad":54.2, "presion":1008.0, "peso":15.600, "torqueNm":55.00, "potenciaHP":9.25, "angulo":0, "relBomba":1, "relBobina":1, "relArranque":0, "relElectro":0 }
```

4) Comandos recibidos por Arduino (desde Node-RED)

- Control de acelerador:
ANGULO:0 ... ANGULO:170
- Relés:
BOMBA_ON / BOMBA_OFF
BOBINA_ON / BOBINA_OFF
ARRANQUE_ON / ARRANQUE_OFF
ELECTRO_ON / ELECTRO_OFF
- Utilidad/servicio:
CALIBRAR (recorrido del acelerador)
STATUS? (envía JSON inmediato con estado actual)
- Parámetros (opcionales si están en tu firmware):
SET_ALPHA:x.xx (0<alfa≤1 para el filtro RPM)
SET_CAL_FACTOR:xxxx (factor HX711)
SET_BRAZO_MM:xxx (longitud de brazo en mm)

5) Node-RED – Puesta en marcha

1. Abrir consola y ejecutar: node-red
2. Acceder a:
 - Editor: <http://127.0.0.1:1880/>
 - Dashboard: <http://127.0.0.1:1880/ui/>
3. Cargar el flujo del proyecto y verificar que el **nodo serial** apunte al COM del Arduino.

6) Flujo general de Node-RED

- Bloque A: **Recepción de datos** (Serial in → Parse JSON → Functions → Widgets).
- Bloque B: **Envío de comandos** (Widgets → Functions → Serial out).

7) Parseo y extracción para widgets

El nodo “Parse JSON” convierte el texto en objeto y lo deja en **msg.payload**.

Cada widget necesita un valor único, por lo que se usa una Function por variable, por ejemplo:

- Entrada a la Function: msg.payload = { tempFreno: 45.3, tempMotor: 67.8, ... }
- Salida a widget (termómetro de freno): msg.payload = msg.payload.tempFreno

Repetir el mismo criterio para: rpm, potenciaHP, torqueNm, tempMotor, tempAmb, humedad, presión, peso, etc.

8) Envío de comandos desde el Dashboard

- Switch de arranque (true/false) → convertir a cadena:
true → “ARRANQUE_ON\n”
false → “ARRANQUE_OFF\n”
- Slider del acelerador (0-170) → “ANGULO:<valor>\n”
- Switches de bomba, bobina y electro → comandos *_ON / *_OFF como arriba.

9) Configuración de nodos serie

- Serial in (entrada):
 - Port: COM del Arduino
 - Baud: 115200
 - Delimitador de entrada: \n
 - “Split input by delimiter”: habilitado
- Serial out (salida):
 - Port: mismo COM
 - Baud: 115200
 - Agregar “\n” al final de cada mensaje (desde la Function o con “append newline”).

10) Código completo con comentarios

```
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include "HX711.h"
#include "max6675.h"

// ----- Mapeo de pines -----
#define pinDT 8 // HX711 DT (dato)
#define pinSCK 6 // HX711 SCK (reloj)
#define pinMAX1_SO 50 // MAX6675 SO (salida datos)
#define pinSCK_MAX 52 // MAX6675 SCK (reloj)
#define pinCS1 10 // MAX6675 #1 CS (termocupla motor)
#define pinCS2 9 // MAX6675 #2 CS (termocupla freno)
#define pinRPM 2 // Sensor Hall KY-003 (interrupción ext.)

// Motor paso a paso (driver tipo step/dir)
#define PUL_PIN 11 // Pulso
#define DIR_PIN 12 // Dirección

// Finales de carrera del acelerador
#define LIMIT_0 22 // Tope en 0%
#define LIMIT_FULL 23 // Tope en 100%
```

```

// ----- Constantes de sistema -----
const int pulsos_por_vuelta = 4; // Cantidad de imanes/pulsos por vuelta
float calibration_factor = -7050.0; // Calibración HX711 (ajustar valor el día de utilización)
const int MAX_ANGLE = 170; // Recorrido útil del acelerador (grados aprox.)

// ----- Objetos de sensores -----
HX711 balanza;
MAX6675 termocupla1(pinSCK_MAX, pinCS1, pinMAX1_SO); // Temp. motor
MAX6675 termocupla2(pinSCK_MAX, pinCS2, pinMAX1_SO); // Temp. freno
Adafruit_BME280 bme; // Temp/Humedad/Presión ambiente

// ===== Cálculo de RPM (interrupción) =====
// Conteo por ventana fija + antirrebote por soft + filtro exponencial
volatile unsigned long conteoPulsos = 0; // Pulsos contados por ISR
unsigned long ultimoPulsoMs = 0; // Marca del último pulso (para debounce/timeout)
const unsigned long ventanaRPM_ms = 50; // Ventana de cálculo (20 Hz de actualización)
unsigned long tUltimoCalculoRPM = 0; // Marca para recalcular
float rpmFiltrada = 0.0; // RPM tras filtro exponencial
const float alfaRPM = 0.1; // 0<alfa<=1, a medida que se disminuye responde forma mas suave
const unsigned long timeout_ms = 500; // Si no hay pulsos en este tiempo => RPM=0
const unsigned long debounce_ms = 2; // Antirrebote considerando 4 imanes

// ISR: incrementa el contador sólo si pasó el tiempo de debounce
void contarPulsos() {
if (millis() - ultimoPulsoMs >= debounce_ms) {
conteoPulsos++;
ultimoPulsoMs = millis();
}
}

// ===== Control del paso a paso =====
unsigned int stepDelayMicros = 300; // Velocidad del paso (µs entre pulsos)
int targetDeg = 0; // Setpoint en “grados” de acelerador (0..MAX_ANGLE)
long total_steps = 0; // Pasos totales entre LIMIT_0 y LIMIT_FULL (se mide en calibración)
long current_steps = 0; // Posición actual en pasos

// Pulso básico de un paso en la dirección indicada (HIGH=fwd, LOW=rev)
void moverPasoAPaso(int dir) {
digitalWrite(DIR_PIN, dir);
digitalWrite(PUL_PIN, HIGH);
delayMicroseconds(1);
digitalWrite(PUL_PIN, LOW);
delayMicroseconds(stepDelayMicros);
}

```

```

// ===== Utilidades de medición =====
float leerPeso() {
// Retorna el promedio de 5 lecturas ya escaladas (HX711)
return balanza.get_units(5);
}

// ===== Rutina de calibración =====
// Lleva al tope 0%, mide el total de pasos hasta 100% y vuelve al 0%
void calibrate() {
// Asegura llegar al tope 0%
if (digitalRead(LIMIT_0) == LOW) {
current_steps = 0;
} else {
while (digitalRead(LIMIT_0) == HIGH) {
moverPasoAPaso(LOW);
}
current_steps = 0;
}

// Recorre hasta el tope 100% contando pasos
long count = 0;
while (digitalRead(LIMIT_FULL) == HIGH) {
moverPasoAPaso(HIGH);
count++;
}
total_steps = count;
current_steps = count;

// Vuelve al 0% para arrancar desde referencia conocida
for (long i = 0; i < count; i++) {
moverPasoAPaso(LOW);
}
current_steps = 0;
}

// ===== Setup =====
void setup() {
Serial.begin(115200);

// Paso a paso
pinMode(PUL_PIN, OUTPUT);
pinMode(DIR_PIN, OUTPUT);
digitalWrite(PUL_PIN, LOW);
digitalWrite(DIR_PIN, LOW);

```

```

// Finales de carrera con pull-up interno (activos en LOW)
pinMode(LIMIT_0, INPUT_PULLUP);
pinMode(LIMIT_FULL,INPUT_PULLUP);

// LED de vida
pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);

// BME280 (ambiente)
if (!bme.begin(0x76)) {
// Si falla, informar por JSON para que el frontend lo capture
Serial.println("{\"error\":\"BME280\"}");
}

// HX711 (celda de carga)
balanza.begin(pinDT, pinSCK);
balanza.set_scale(calibration_factor); // Ajustar según calibración real
balanza.tare(); // Pone el cero

// RPM por interrupción externa
pinMode(pinRPM, INPUT_PULLUP);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinRPM), contarPulsos, FALLING);

// Calibración del recorrido del acelerador (mide total_steps)
calibrate();

tUltimoCalculoRPM = millis();
}

// ===== Loop principal =====
unsigned long ultimoEnvio = 0; // Para el envío periódico
const unsigned long intervaloEnvio = 500; // ms entre envíos de JSON

// Parpadeo del LED integrado (heartbeat)
unsigned long tiempoAnteriorBlink = 0;
const unsigned long intervaloBlink = 500;
bool estadoLED = false;

void loop() {

// ----- Recepción de setpoint de ángulo por puerto serie -----
// Protocolo simple: "ANGULO:<valor>\n"
if (Serial.available()) {
String comando = Serial.readStringUntil('\n');
comando.trim();
if (comando.startsWith("ANGULO:")) {
targetDeg = constrain(comando.substring(7).toInt(), 0, MAX_ANGLE);
}
}
}

```

```

}
}

// ----- Cálculo de RPM cada 'ventanaRPM_ms' -----
if (millis() - tUltimoCalculoRPM >= ventanaRPM_ms) {

// Copiamos y reseteamos contador de forma atómica
noInterrupts();
unsigned long pulsosLeidos = conteoPulsos;
conteoPulsos = 0;
interrupts();

// Pasa a RPM: pulsos * (60 s / (ventana * pulsos_por_vuelta))
float rpm = 0.0;
if (pulsos_por_vuelta > 0) {
rpm = (float)pulsosLeidos * (60000.0f / ((float)ventanaRPM_ms *
(float)pulsos_por_vuelta));
}

// Si no hubo pulsos por mucho tiempo, consideramos RPM=0 (motor parado)
if (millis() - ultimoPulsoMs > timeout_ms) {
rpm = 0.0f;
}

// ----- FILTRO EXPONENCIAL de RPM -----
// Suaviza oscilaciones: rpmFiltrada(t) = alfa * rpm(t) + (1-alfa) * rpmFiltrada(t-1)
rpmFiltrada = alfaRPM * rpm + (1.0f - alfaRPM) * rpmFiltrada;

tUltimoCalculoRPM = millis();

}

// ----- Control del acelerador (con límites hardware) -----
if (targetDeg == 0) {
// Ir hasta LIMIT_0 (LOW cuando se presiona)
while (digitalRead(LIMIT_0) == HIGH) {
moverPasoAPaso(LOW);
}
current_steps = 0;

} else if (targetDeg == MAX_ANGLE) {
// Ir hasta LIMIT_FULL
while (digitalRead(LIMIT_FULL) == HIGH) {
moverPasoAPaso(HIGH);
}
current_steps = total_steps;
}

```

```

} else {
// Posicionamiento proporcional dentro del recorrido calibrado
long target_steps = (long)targetDeg * total_steps / MAX_ANGLE;
if (target_steps != current_steps) {
int dir = (target_steps > current_steps) ? HIGH : LOW;
moverPasoAPaso(dir);
current_steps += (dir == HIGH) ? 1 : -1;
}
}

// ----- Envío periódico de datos en JSON -----
if (millis() - ultimoEnvio >= intervaloEnvio) {
float peso = leerPeso(); // kg (según calibración)
float torque = peso * 0.358; // N·m (ejemplo: brazo 0.358 m -> ajustar a tu banco)
float potenciaHP= (torque * rpmFiltrada) / 7127.0; // HP (7127 = 5252* (π/30) aprox.)

// Mensaje JSON para Node-RED

Serial.print("{");

Serial.print("\tempMotor\"); Serial.print(temocupla1.readCelsius(), 1);

Serial.print(",\tempFreno\"); Serial.print(temocupla2.readCelsius(), 1);

Serial.print(",\rpm\"); Serial.print(rpmFiltrada, 0);

Serial.print(",\tempAmb\"); Serial.print(bme.readTemperature(), 1);

Serial.print(",\humedad\"); Serial.print(bme.readHumidity(), 1);

Serial.print(",\presion\"); Serial.print(bme.readPressure() / 100.0, 1); // hPa

Serial.print(",\peso\"); Serial.print(peso, 3);

Serial.print(",\potenciaHP\"); Serial.print(potenciaHP, 2);

Serial.println("}");

ultimoEnvio = millis();

}

// ----- Indicador de vida (LED integrado) -----
if (millis() - tiempoAnteriorBlink >= intervaloBlink) {

```

```
estadoLED = !estadoLED;
digitalWrite(LED_BUILTIN, estadoLED);
tiempoAnteriorBlink = millis();
}
}
```

MÓDULO DE RELÉS – ARDUINO DEDICADO

1) Propósito

Este firmware acciona **bomba de combustible, bobina, arranque y electroventilador** desde Node-RED, manteniendo un **estado seguro por defecto** (todo OFF) y un **tiempo máximo de arranque** para protección.

2) Comunicación y comandos

- Puerto serie a **115200 baudios**.
- Mensajes **terminados en “\n”**.
- Comandos soportados:
BOMBA_ON / BOMBA_OFF
BOBINA_ON / BOBINA_OFF
ARRANQUE_ON / ARRANQUE_OFF (con timeout automático)
ELECTRO_ON / ELECTRO_OFF
STATUS? (envía JSON con el estado actual de los relés)

3) Mapeo de pines (ajustar a tu placa)

- Relé bomba: REL_BOMBA = 4
- Relé bobina: REL_BOBINA = 5
- Relé arranque: REL_ARRANQUE = 6
- Relé electro: REL_ELECTRO = 7
- **Nota:** si usás un Arduino Mega y tu tablero ya está cableado, podés cambiar estos pines por 30–33 (u otros) sin modificar la lógica.

4) Integración en Node-RED

- Agregar un **segundo par de nodos serie** (Serial in/out) apuntando al **COM del Arduino de relés**.
- Los **switches** del Dashboard generan los comandos *_ON / *_OFF (con “\n”).
- Node-RED puede **interrogar estado** enviando STATUS? para mostrar si cada relé está en 0/1.

5) Seguridad y verificación

- **Estado seguro al iniciar:** todos los relés en OFF.
- **Timeout de arranque:** corta automáticamente ARRANQUE si supera el tiempo configurado.
- Antes de ensayar, confirmar en el Dashboard que el JSON de estado refleja correctamente las conmutaciones.

6) Código completo

```
// ===== Pines relés =====
#define RELE_ARRAQUE    2
#define RELE_BOMBA     3
#define RELE_BOBINA    4
#define RELE_RADIADOR  5

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  // Inicialización de relés (apagados por defecto)
  pinMode(RELE_ARRAQUE, OUTPUT); digitalWrite(RELE_ARRAQUE, HIGH);
  pinMode(RELE_BOMBA, OUTPUT);  digitalWrite(RELE_BOMBA, HIGH);
  pinMode(RELE_BOBINA, OUTPUT); digitalWrite(RELE_BOBINA, HIGH);
  pinMode(RELE_RADIADOR, OUTPUT); digitalWrite(RELE_RADIADOR, HIGH);
}

void loop() {
  if (Serial.available()) {
    String comando = Serial.readStringUntil('\n');
    comando.trim();

    if (comando == "ARRAQUE_ON") digitalWrite(RELE_ARRAQUE, LOW);
    else if (comando == "ARRAQUE_OFF") digitalWrite(RELE_ARRAQUE, HIGH);
    else if (comando == "BOMBA_ON") digitalWrite(RELE_BOMBA, LOW);
    else if (comando == "BOMBA_OFF") digitalWrite(RELE_BOMBA, HIGH);
    else if (comando == "BOBINA_ON") digitalWrite(RELE_BOBINA, LOW);
    else if (comando == "BOBINA_OFF") digitalWrite(RELE_BOBINA, HIGH);
  }
}
```

```
else if (comando == "RADIADOR_ON") digitalWrite(RELE_RADIADOR, LOW);  
else if (comando == "RADIADOR_OFF") digitalWrite(RELE_RADIADOR, HIGH);  
}  
}
```

ADQUISICIÓN Y CONTROL EN NODE-RED

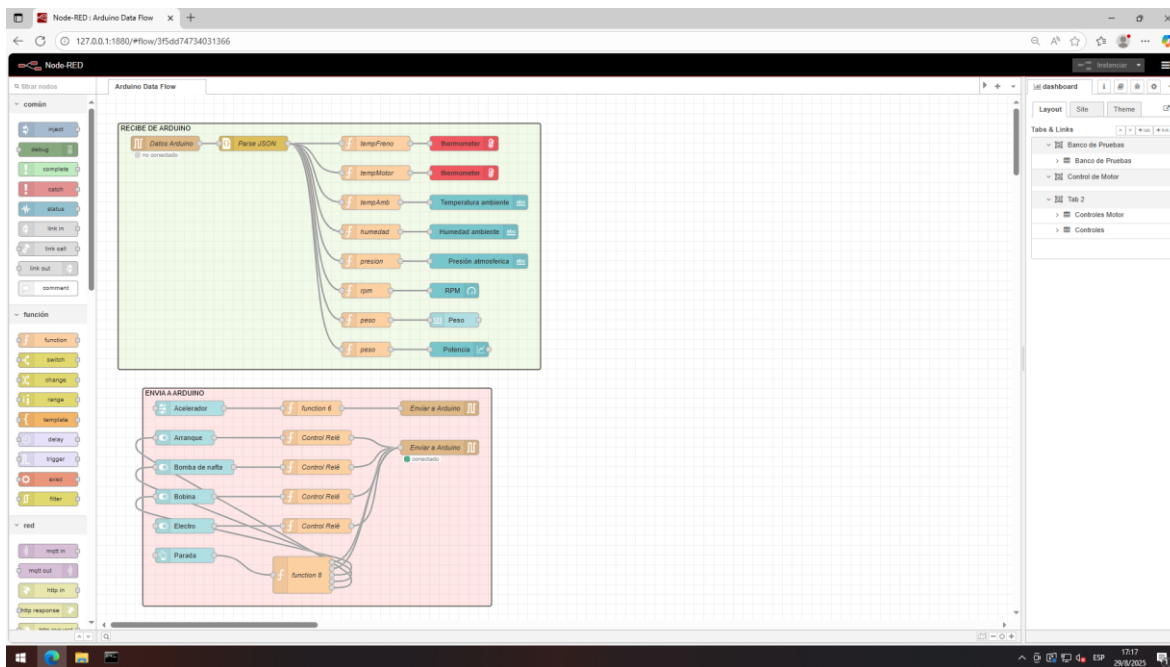


Figura 1. Back end node-red.

1) Puesta en marcha del entorno

- Node-RED corre sobre Node.js y permite programar con bloques.
- En la consola, ejecutar: node-red
- Accesos predeterminados:
 - Editor de flujos: <http://127.0.0.1:1880/>
 - Dashboard: <http://127.0.0.1:1880/ui/>
- Abrir el flujo del proyecto y verificar que el nodo serie apunte al COM del Arduino.

2) Estructura general del flujo

- Bloque A: **Recepción de datos desde Arduino** (Serial in → Parse JSON → Functions → Widgets).
- Bloque B: **Envío de comandos a Arduino** (Widgets → Functions → Serial out).
(Figura 1: Flujo de adquisición y control en Node-RED.)

3) Recepción y visualización de datos

- Arduino envía periódicamente un objeto **JSON** con variables medidas: tempMotor, tempFreno, tempAmb, humedad, presion, rpm, peso, torqueNm, potenciaHP, angulo y estados de relés.
- El nodo **Parse JSON** convierte el texto a objeto y lo deja en **msg.payload**.

- Ejemplo típico (solo campos ilustrativos):
tempFreno: 45.3; tempMotor: 67.8; tempAmb: 28.1; humedad: 54.2; presion: 1008;
rpm: 1200; peso: 15.6.

4) Extracción de variables para widgets

- Cada widget del Dashboard consume **un único valor**.
- Se usa un nodo **Function** por variable para dejar ese valor en **msg.payload**.
- Ejemplo (temperatura de freno):
Antes: msg.payload = { tempFreno: 45.3, tempMotor: 67.8, ... }
Después (Function): msg.payload = msg.payload.tempFreno; return msg;
- Repetir el criterio para rpm, potenciaHP, torqueNm, tempMotor, tempAmb, humedad, presion, peso, etc.

5) Envío de comandos a Arduino

- Los controles del Dashboard (switches/slider) generan mensajes que se formatean en **cadena**s para el firmware.
- Relé de arranque (switch booleano):
true → payload = "ARRANQUE_ON\n"
false → payload = "ARRANQUE_OFF\n"
- Control del acelerador (slider 0–170):
payload = "ANGULO:<valor>\n" (el salto de línea es esencial)
- El Arduino interpreta la cadena, extrae el valor y actúa (posiciona acelerador, conmuta relés, etc.).

6) Configuración de los nodos serie

- **Serial in (entrada):**
Port: COM del Arduino · Baud: 115200 · Input delimiter: \n · “Split input” por nueva línea: habilitado.
- **Serial out (salida):**
Port: mismo COM · Baud: 115200 · Agregar “\n” al final (desde la Function o con “append newline”).

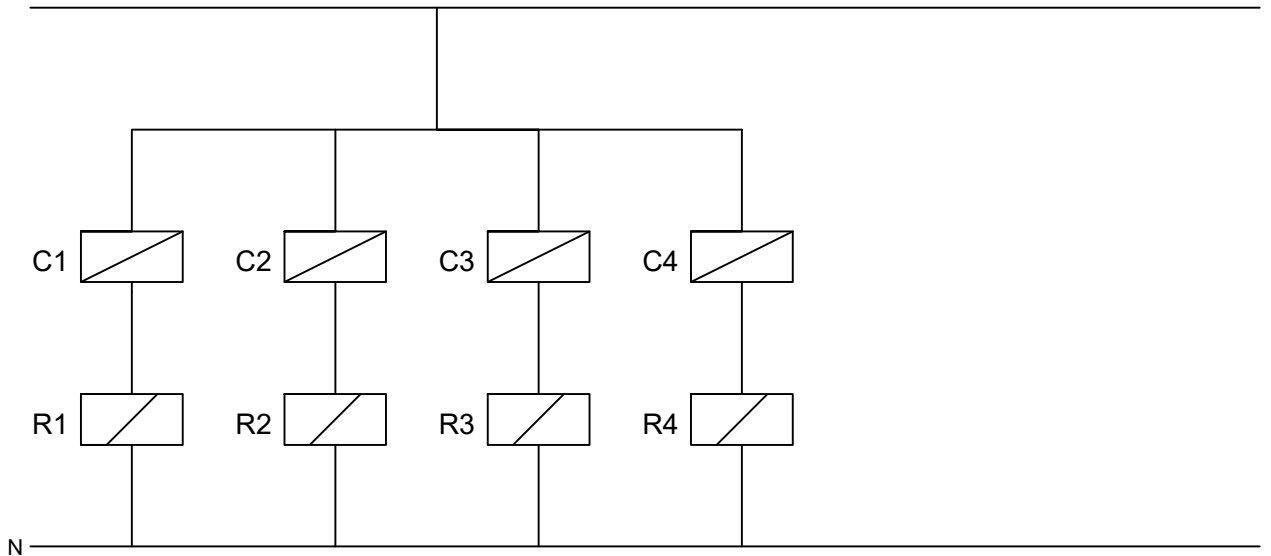
7) Verificación rápida

- Ver que el JSON recibido incluya todas las variables esperadas.
- Mover el slider: debe variar “angulo” en el JSON.
- Conmutar switches: deben reflejarse los estados 0/1 de los relés.
- Confirmar respuesta de **rpm** y que **potenciaHP** cambie con torque y RPM.

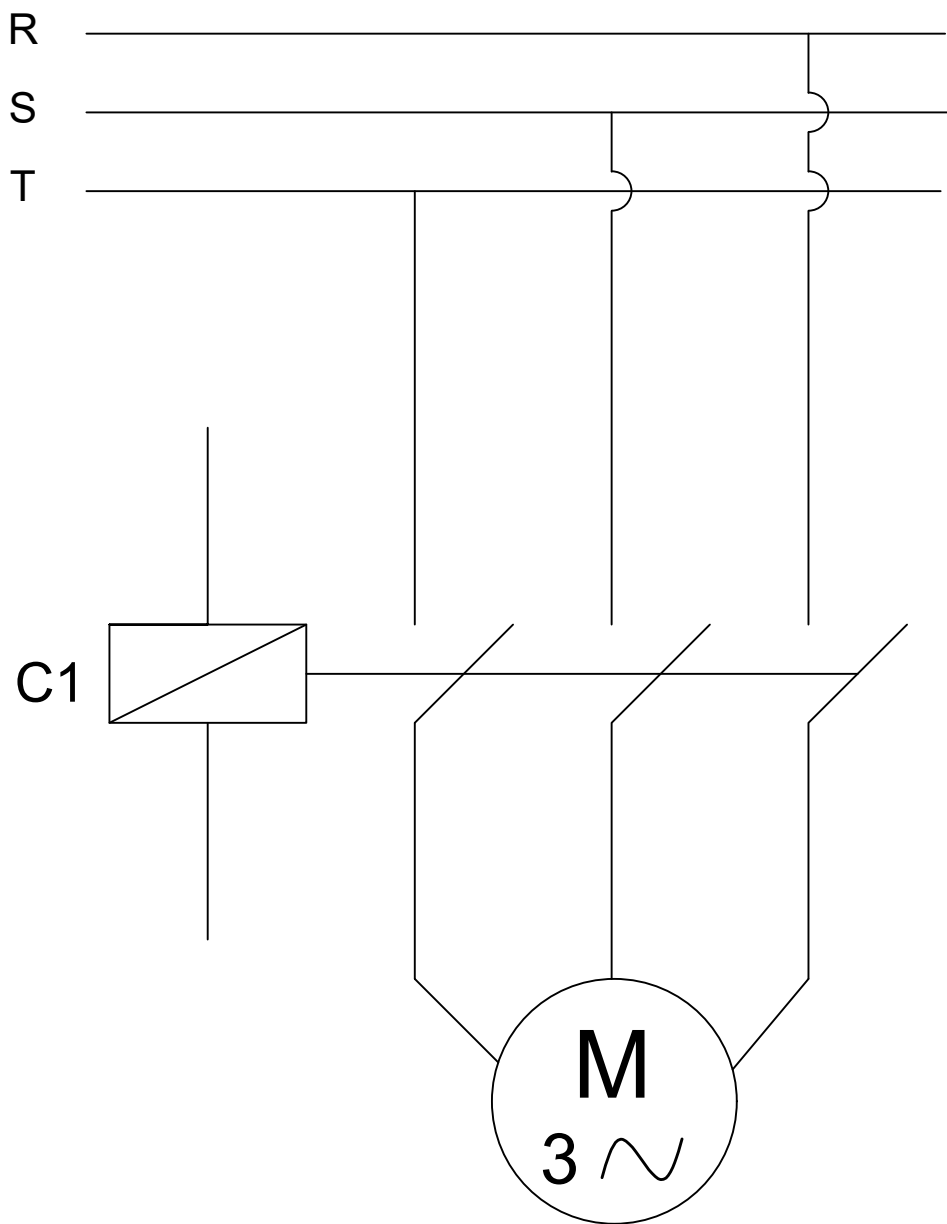
ANEXO 2 – ESQUEMA DE CONEXIONADO Y TABLERO DE POTENCIA

En este anexo se detallan los planos eléctricos correspondientes al conexionado de los relés y al tablero de potencia. Se incluyen diagramas generales y la disposición de los principales componentes, con el fin de documentar la configuración final del sistema de control y asegurar su correcta replicación en caso de mantenimiento o ampliación.

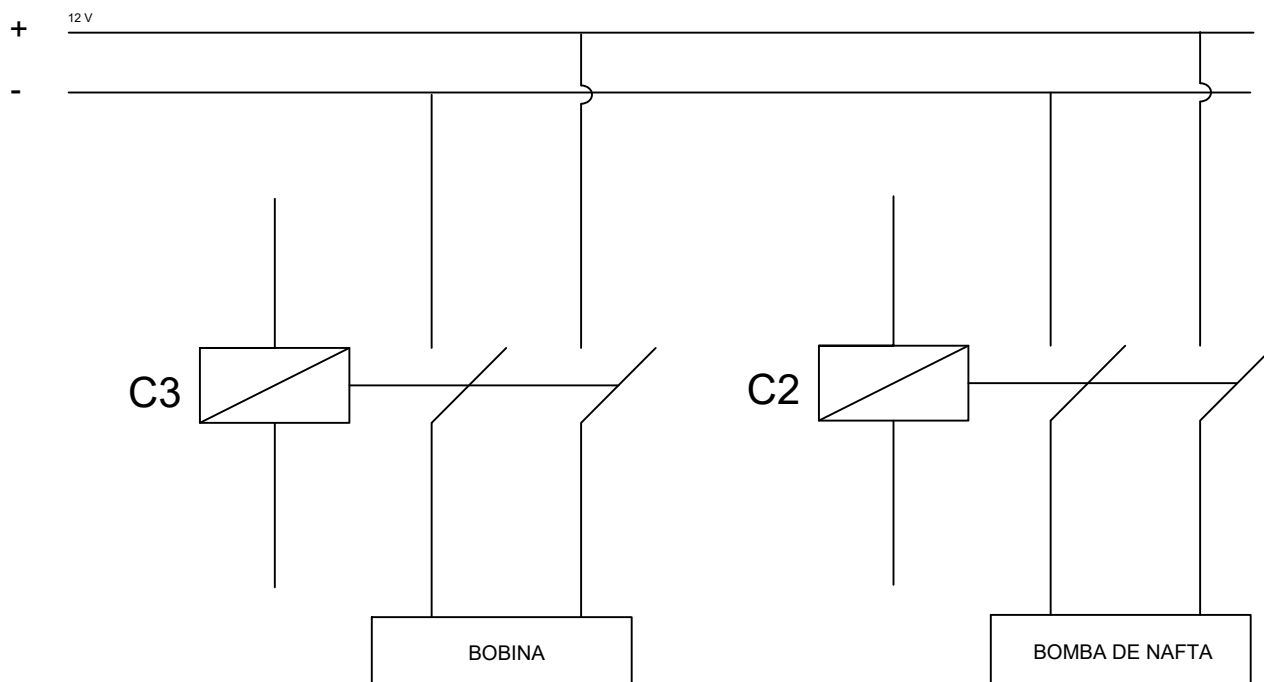
R
S
T



		Fecha	Nombre	UNSL FICA	CONTROL Y SUPERVISION DE UN BANCO DE ENSAYOS DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA
	Dibujo		Giudice Agustin		CIRCUITO DE COMANDO
	Reviso				
	Aprobo				
	Esc.	PROYECTO DE INGENIERIA MECATRONICA		HOJA 1/4	
				PLANO N°1	
Toler					



	Fecha	Nombre	UNSL FICA	CONTROL Y SUPERVISION DE UN BANCO DE ENSAYOS DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA
Dibujo		Giudice Agustin		CIRCUITO DE COMANDO
Reviso				
Aprobo				
Esc.	PROYECTO DE INGENIERIA MECATRONICA			HOJA 2/4
Toler				PLANO N°1



		Fecha	Nombre	UNSL FICA	CONTROL Y SUPERVISION DE UN BANCO DE ENSAYOS DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA
Dibujo			Giudice Agustin		CIRCUITO DE COMANDO
Reviso					
Aprobo					
Esc.	PROYECTO DE INGENIERIA MECATRONICA				HOJA 3/4
Toler					PLANO N°2

ANEXO 3 – MANUAL DE USUARIO

Se adjunta un manual preliminar de usuario, elaborado con el objetivo de guiar la operación básica del banco de ensayos y la interfaz de control. Este documento reúne las principales instrucciones de uso y consideraciones de seguridad, constituyendo una herramienta de apoyo para la correcta utilización del sistema por parte de futuros operadores.

Anexo 3 - Procedimiento de Operación

Consideraciones de Seguridad Previas

- **Ventilación:** Antes de operar el banco de ensayos, **abrir por completo el portón de ingreso**. Esto es fundamental ya que el sistema aún no cuenta con tratamiento de gases de escape.
- **Combustible:** **Ubicar el tanque de nafta en el exterior del recinto**. De esta manera se evita la acumulación de vapores inflamables dentro del taller.
- **Botón de emergencia:** Verificar que el **botón de golpe de puño** (parada de emergencia), ubicado en el escritorio de control, **no se encuentre presionado**. Este dispositivo debe quedar siempre accesible durante toda la operación.
- **Presencia de personas:** Asegurarse de que **no haya personas dentro del recinto del motor** al momento de la puesta en marcha.

Puesta en Marcha

1. **Energización eléctrica**
 - Subir las llaves **termomagnéticas** del tablero ubicado en el ingreso del taller y del tablero posterior al motor.
 - Verificar que estén correctamente conectadas las **fuentes de alimentación**:
 - Fuente de **5 V** en el tablero del Arduino de adquisición de datos.
 - Fuente de **24 V** ubicada en la base del motor, destinada al motor paso a paso.
2. **Preparación mecánica**
 - Acoplar el **mecanismo centrífugo de arranque** al motor.
 - Corroborar que el área esté despejada y que no existan objetos sueltos alrededor.
3. **Acceso al recinto de control**
 - Ingresar al recinto de la computadora de control.
 - **Cerrar la puerta divisoria** para evitar ingreso de gases de escape y atenuar el ruido.
4. **Inicialización del sistema de control**
 - Encender la computadora de control.
 - Abrir la consola, iniciar **Node-RED** y luego el **Dashboard** ubicado en el escritorio.
 - Verificar que se visualicen en pantalla las variables ambientales y de temperatura (estas deben mostrar valores inmediatos).
5. **Prueba del acelerador**
 - Accionar el acelerador desde la interfaz gráfica para comprobar su correcto funcionamiento.
 - Dejarlo en posición **0** antes del arranque.
6. **Arranque del motor**

- Activar el **switch de bomba de combustible** y esperar a que la nafta llegue al carburador.
- Accionar el **switch de bobina**.
- Encender el **switch de arranque** hasta que el motor ponga en marcha, y luego desactivarlo inmediatamente.
- Verificar el **indicador de presión de aceite** en la ventana divisoria: debe superar **1 kg/cm²**.
- Dejar que el motor alcance **temperatura de régimen** antes de iniciar los ensayos.

Parada del Motor

- Para detener el motor utilizar el **botón de parada** ubicado en la pantalla de control.
- En caso de emergencia, accionar el **botón de golpe de puño** ubicado en el escritorio.