



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO SEMIAUTOMÁTICO DE
MONITOREO DE VOLTAJE Y CONTROL DE TEMPERATURA PARA BATERÍAS
NÍQUEL-CADMIO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingenieras en Mecatrónica

AUTORAS: MARÍA REBECA BARRIONUEVO PORTERO

MARÍA HELENA PAMBI SINCHI

TUTOR: EDWIN MARCELO CASA CASA

Quito – Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, María Rebeca Barrionuevo Portero con documento de identificación N.º 1726020330 y María Helena Pambi Sinchi con documento de identificación N.º 1753825254; manifestamos que:

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

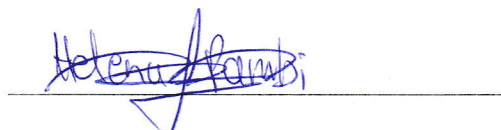
Quito, 5 de agosto del 2024

Atentamente,



María Rebeca Barrionuevo Portero

1726020330



María Helena Pambi Sinchi

1753825254

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

Nosotras, María Rebeca Barrionuevo Portero con documento de identificación N.º 1726020330 y María Helena Pambi Sinchi con documento de identificación N.º 1753825254; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Dispositivo Tecnológico: “Diseño e implementación de un banco semiautomático de monitoreo de voltaje y control de temperatura para baterías níquel-cadmio”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieras en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

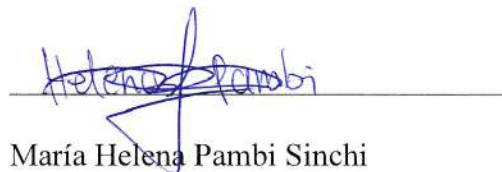
Quito, 5 de agosto del 2024

Atentamente,



María Rebeca Barrionuevo Portero

1726020330



María Helena Pambi Sinchi


1753825254

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edwin Marcelo Casa Casa con documento de identificación N° 0503405946, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO SEMIAUTOMÁTICO DE MONITOREO DE VOLTAJE Y CONTROL DE TEMPERATURA PARA BATERÍAS NÍQUEL-CADMIO, realizado por María Rebeca Barrionuevo Portero con documento de identificación N.º 1726020330 y María Helena Pambi Sinchi con documento de identificación N.º 1753825254, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Dispositivo Tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 5 de agosto del 2024

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, reading "Edwin Marcelo Casa Casa" with a superscript "2" at the end. The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal line.

Ing. Edwin Marcelo Casa Casa, MSc

0503405946

Dedicatoria

Este logro, fruto de tanto esfuerzo, dedicación y sacrificio, está dedicado con todo mi amor a aquellos seres que han sido mi mayor motivación y mi fuente inagotable de fortaleza. A mi familia, mi refugio eterno y mi inspiración constante. A mi padre, cuya tenacidad inquebrantable, determinación férrea han sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante. A mi madre, cuya paciencia infinita, sabiduría invaluable y cálido abrazo han sido mi roca inamovible, brindándome la fuerza necesaria para superar todos los obstáculos que se han cruzado en mi camino. A mis hermanos, con quienes he compartido risas interminables, desafíos emocionantes y momentos inolvidables que atesoraré por siempre en lo más profundo de mi corazón. Ustedes han sido mi compañía fiel, mi apoyo incondicional y mi mayor motivación para seguir adelante. A mi mejor amiga, mi confidente incondicional, quien ha estado presente en mis alegrías y tristezas, motivándome constantemente a salir de mi zona de confort y a perseguir mis sueños sin miedo alguno. Gracias por escuchar mis historias una y otra vez, por tus palabras de aliento y por ser mi compañero fiel en esta travesía. Y no puedo olvidar a mis fieles compañeros de cuatro patas, que han estado a mi lado día y noche a lo largo de mi carrera. Su amor incondicional, sus juegos traviosos y su presencia reconfortante han sido un bálsamo en los momentos de estrés y cansancio. Este logro es tanto mío como de todos ustedes.

María Barrionuevo

Dedico con mucho amor y cariño todo el esfuerzo y sacrificio, a mi mamá que es la que me ha apoyado en cada paso de este largo trayecto, aunque hemos tenido muchas dificultades ella siempre ha sido mi soporte y fortaleza, la que me ha acompañado en las largas noches de vela cuando era necesario. A mi familia que a pesar de todo han estado para mí, guiándome y no permitiendo que me desvíe del horizonte, con quienes hemos tenido muchas experiencias más buenas que malas, las cuales nos han permitido crecer. A mi mejor amiga, quien ha sido una gran fuente motivación para continuar, la que ha sabido comprenderme, sobre todo me ha acompañado en cada etapa, me ha dado el empujón necesario para seguir adelante, gracias por ser una gran amiga si no te tuviera mi vida sería aburrida. Pero mi más grande compañía han sido mis mascotas, las que siempre han estado conmigo todos los días y me animan con su presencia, aunque a veces sean muy traviosos, me han regalado muchos momentos alegres que se quedaron grabados.

Helena Pambi

Agradecimientos

Quisiera expresar mi más profunda y sincera gratitud a todas aquellas personas que han sido parte fundamental de este arduo pero gratificante camino. En primer lugar, a mis estimados profesores y tutor de la Universidad Politécnica Salesiana, quienes, con su vasta sabiduría, dedicación inquebrantable y paciencia infinita, han sido los faros que han iluminado mi trayecto académico. Sus enseñanzas, su apoyo incondicional y su invaluable orientación han sido pilares fundamentales para llevar a cabo este proyecto. Cada una de sus palabras, cada uno de sus consejos, ha sido como una brújula que me ha guiado por el sendero correcto, permitiéndome superar los desafíos y alcanzar metas que alguna vez parecieron inalcanzables. Sin su guía, su comprensión y su fe inquebrantable en mí, este logro no habría sido posible. Estoy profundamente agradecido a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme un entorno de aprendizaje excepcional y por su compromiso con la excelencia educativa.

María Barrionuevo

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que hicieron posible la realización de esta tesis. En primera instancia, agradezco a nuestro tutor, el cual nos ha acompañado durante el proceso y nos ha dado la oportunidad de desarrollar este trabajo. También agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana la cual nos ha proporcionado un buen ambiente académico, necesario para llevar a cabo mi trabajo de titulación. Un especial agradecimiento a mis compañeros y amigos, por su apoyo constante y por las experiencias vividas juntos, permitiendo que este proceso se una experiencia gratificante. Finalmente quiero agradecer a mi madre y familia por darme su apoyo y confianza, porque sin su compañía no hubiera sido posible cumplir este logro.

Helena Pambi

Índice de contenido

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Índice de contenido	vii
Índice de figuras	xi
Índice de tablas	xiii
Índice de anexos	xiv
Resumen	xv
Abstract	xvi
Planteamiento del problema	1
Formulación del problema	1
Justificación	2
Objetivos	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Metodología	4
Capítulo I	5
Marco contextual y teórico	5
1.1 Mantenimiento aeronáutico en Ecuador	5
1.2 Organización de mantenimiento aeronáutico del Ecuador	6
1.2.1 Aviación mayor	6
1.2.2 Aviación menor	6
1.2.3 Helicópteros	6
1.2.4 Organizaciones de mantenimiento autorizadas	7
1.3 Batería de níquel-cadmio	7
1.4 Banco de carga para baterías níquel-cadmio	8
1.4.1 Proceso de descarga	8
1.4.2 Proceso de carga	9
1.5 Sensor de temperatura	9

1.5.1	Sensores de contacto	9
1.5.2	Sensores sin contacto	10
1.6	Sensor de voltaje	10
1.7	Resistencia térmicas eléctricas industriales.....	11
1.8	Sistema de enfriamiento por aire	12
1.9	Microcontrolador.....	12
1.10	Pantalla LCD.....	13
1.11	Multiplexor analógico.....	13
1.12	Módulo de microSD	14
1.13	Acero	15
1.13.1	Clasificación de acero	16
CAPÍTULO II	17
Análisis de alternativas	17
2.1	Sistema de calificación de alternativas del material estructural	17
2.1.1	Análisis de alternativas del material estructural.....	17
2.2	Sistema de clasificación de alternativas del material de tapas	19
2.2.1	Análisis de alternativas del material de tapas.....	19
2.3	Sistema de calificación de alternativas de aislantes	20
2.3.1	Análisis de alternativas de aislantes térmicos	21
2.4	Sistema de calificación de alternativas de microcontroladores.	22
2.4.1	Análisis de alternativas de microcontroladores	22
2.5	Sistema de calificación de alternativas del sistema térmico.....	23
2.5.1	Análisis de alternativas del sistema térmico	24
CAPÍTULO 3	26
Diseño e implementación	26
3.1	Diseño mecánico.....	26
3.1.1	Modelado 3D del banco de monitoreo.....	27
3.1.2	Selección de perfiles estructurales	27
3.1.3	Cálculos del momento flector máximo	27
3.1.4	Cálculo del módulo de sección requerido	28
3.1.5	Análisis comparativo de perfiles empleados	28
3.1.6	Cálculo de la tensión aplicada	30
3.1.7	Cálculo del factor de seguridad.....	30
3.2	Cálculos de elementos de sujeción.....	31
3.3	Cálculos de soldadura	34

3.3.1 Soldadura para los tubos cuadrados	35
3.3.2 Selección del electrodo	37
3.3.3 Soldadura para perfiles angulares	38
3.4 Cálculos de potencia para las resistencias térmicas industriales.....	42
3.5 Cálculo de la fuerza aplicada a la estructura	46
3.5.1 Masa de la batería	46
3.5.2 Volumen de los perfiles angulares.....	47
3.5.3 Volumen de los tubos estructurales cuadrados	49
3.5.4 Peso propio de la estructura	51
3.5.5 Volumen de las tapas	52
3.5.6 Peso propio de las tapas	54
3.5.7 Distribución del peso propio.....	54
3.6 Simulaciones.....	55
3.6.1 Simulación de las cargas y fuerza en la estructura.....	56
3.6.2 Simulación de la carga distribuida del peso de la batería	57
3.6.3 Simulación de las cargas compresoras en los soportes secundarios laterales	58
3.6.4 Simulación de las cargas en los soportes secundarios posteriores	58
3.6.5 Simulación de las cargas en los soportes principales.....	59
3.6.6 Simulación de análisis de tensiones de la estructura.....	60
3.6.7 Simulación del análisis de la deformación axial.....	60
3.6.8 Simulación del análisis de factor de seguridad de la estructura.....	61
3.7 Diseño electrónico	62
3.7.1 Circuito electrónico en Proteus.....	63
3.7.2 Conexión con descripción de cada pin de la placa	67
3.7.3 Diagrama de flujo del monitoreo de voltaje.....	71
3.8 Circuito simulado	72
3.8.1 Simulación de flujo de aire en el banco de monitoreo	74
3.9 Control PID externo de las resistencias térmicas industriales.....	76
3.9.1 Importación y análisis inicial de datos.....	79
3.9.2 Visualización y análisis de datos.....	80
3.9.3 Estimación de la función de transferencia	81
3.9.4 Sintonización del modelo.....	82
3.9.5 Validación del modelo.....	82
3.9.6 Sintonización del controlador PID.....	83
3.9.7 Implementación en el controlador físico.....	84

3.9.8 Cálculos de K_p , K_i y K_d	85
3.10 Implementación	87
3.10.1 Proceso de construcción banco de monitoreo	87
3.10.2 Proceso del circuito electrónico	90
CAPÍTULO 4.....	92
Análisis de resultados.....	92
4.1 Resultados.....	92
4.1.1 Comprobación de resultados.....	92
4.1.2 Manual de operación.....	100
4.2 Análisis y discusión.....	101
4.2.1 Ventajas del prototipado inicial del circuito.....	101
4.2.2 Consideraciones para la optimización del circuito	102
4.2.3 Rol del microcontrolador ESP32 en el sistema.....	102
4.2.4 Evaluación del rendimiento final comparado con los objetivos iniciales	102
4.2.5 Potencial para expansión o modificaciones del sistema	103
4.3 Análisis económico.....	103
4.3.1 Costos directos	103
4.3.2 Costos indirectos	106
4.3.3 Costos de diseño	107
4.3.4 Costos imprevistos	107
4.3.5 Justificación de costos	107
4.3.6 Valor actual neto (VAN)	108
4.3.7 Tasa interna de retorno (TIR).....	109
4.3.8 Resumen de costos y precios de la máquina	110
4.3.9 Conclusión del análisis económico	111
Conclusiones	112
Recomendaciones.....	113
Anexos	119

Índice de figuras

Figura 1. Mantenimiento aeronáutico de un motor [41]	6
Figura 2. Baterías de níquel de última generación marca Saft [4]	8
Figura 3. Banco de carga y descarga de baterías níquel-cadmio.....	9
Figura 4. Sonda de contacto [9]	10
Figura 5. Pirómetros por infrarrojo [10].....	10
Figura 6. Sensor de voltaje [11]	11
Figura 7. Resistencias térmicas industriales [14]	11
Figura 8. Sistema de enfriamiento por aire [42].....	12
Figura 9. Partes de un microcontrolador [43]	13
Figura 10. Pantalla LCD [19].....	13
Figura 11. Multiplexor analógico [22]	14
Figura 12. Módulo de microSD [48].....	15
Figura 13. Tuberías y perfiles de acero [44].....	15
Figura 14. Diseño 3D del banco de monitoreo de baterías.	26
Figura 15. Croquis 3D del banco de monitoreo de voltaje.....	27
Figura 16. Tabla de longitudes de remaches [40].....	34
Figura 17. Propiedades torsionales de las soldaduras de filete [50].....	34
Figura 18. Dimensiones de referencia para el cálculo térmico	43
Figura 19. Dimensiones principales del perfil angular [45]	47
Figura 20. Dimensiones principales del tubo estructural cuadrado [46]	49
Figura 21. Esquema estructural.	56
Figura 22. Características del material ASTM 36 en SolidWorks.	56
Figura 23. Distribución de fuerzas y cargas en la estructura del banco de monitoreo.	57
Figura 24. Distribución de Fuerza-1.	57
Figura 25. Distribución de Fuerza-2 y Fuerza-3.	58
Figura 26. Distribución de Fuerza-6 y Fuerza-7.	59
Figura 27. Distribución de Fuerza-4 y Fuerza-5.	59
Figura 28. Análisis de tensiones.	60
Figura 29. Análisis de deformación.....	61
Figura 30. Análisis de factor de seguridad.	62
Figura 31. Esquema completo del circuito electrónico del banco en Proteus.....	63
Figura 32. Disposición y conexión de pines del microcontrolador ESP32 en el circuito de monitoreo.	64
Figura 33. Módulo LCD con adaptador I2C integrado para la interfaz de usuario.....	65
Figura 34. Representación de los sensores de voltaje mediante resistencias en el entorno de simulación.	65
Figura 35. Módulo lector microSD para almacenamiento de datos de monitoreo.	66
Figura 36. Motores para transferencia de calor, extractor y sensor de temperatura en Proteus.	67
Figura 37. Configuración pull-down de los pulsadores para la navegación del menú.....	67
Figura 38. Esquema de conexiones entre el ESP32 y los multiplexores para la expansión de entradas analógicas.	68

Figura 39. Distribución de pines y configuración de los multiplexores para la adquisición de múltiples señales.	69
Figura 40. Asignación de pines del ESP32 para pulsadores de control del sistema.....	70
Figura 41. Conexión del módulo I2C y del lector de microSD al ESP32.....	70
Figura 42. Esquema de conexión de los motores de control térmico y el switch de encendido al ESP32.....	71
Figura 43. Diagrama de flujo del proceso de monitoreo de voltaje y control térmico.....	72
Figura 44. Pantalla de bienvenida en el LCD al iniciar el sistema de monitoreo.....	73
Figura 45. Menú de selección para el tipo de monitoreo a realizar.....	73
Figura 46. Visualización de alertas en el LCD durante el proceso de monitoreo.....	73
Figura 47. Simulación de la placa PCB en Proteus (3D Visualizer)	74
Figura 48. Simulación CFD del flujo de aire en el banco de monitoreo (velocidad).....	75
Figura 49. Simulación CFD del flujo de aire en el banco de monitoreo (temperatura).	76
Figura 50. Medición de corriente en las resistencias térmicas del banco de monitoreo.....	77
Figura 51. Diagrama de conexiones del controlador CH102 para control de temperatura [49].	79
Figura 52. Importación de datos en System Identification.....	80
Figura 53. Grafica de datos importados.	81
Figura 54. Selección de estimación de función de transferencia.....	81
Figura 55. Interfaz de ajuste de función de transferencia.....	82
Figura 56. Comparación de salida del modelo.	83
Figura 57. Interfaz de PID Tuner	84
Figura 58. Parámetros finales del controlador PID	85
Figura 59. Estructura lateral preliminar del banco de monitoreo de voltaje.	88
Figura 60. Elaboración de puntos y cordones de soldas en la estructura.....	88
Figura 61. Construcción del banco de monitoreo de voltaje.....	89
Figura 62. Banco de monitoreo posterior al pintado.	90
Figura 63. Implementación física del banco de monitoreo en protoboard.	91
Figura 64. Calibración con potenciómetros.....	93
Figura 65. Pantalla de software Arduino IDE mostrando lecturas del potenciómetro en el Monitor Serial.	94
Figura 66. Configuración del circuito utilizando fuente de alimentación variable en laboratorio.	95
Figura 67. Pantalla LCD mostrando alerta de bajo voltaje en celda específica del banco de monitoreo.	95
Figura 68. Pantalla de software Arduino IDE mostrando lecturas de las fuentes en el Monitor Serial.	96
Figura 69. Pruebas de monitoreo en baterías de carro.	97
Figura 70. Interfaz de usuario del banco de monitoreo.....	97
Figura 71. Registro de voltaje en Excel.	98
Figura 72. Pinzas de sujeción para terminales de baterías.	98
Figura 73. Calibración del PID: Sensor de temperatura en el banco de monitoreo.	99

Índice de tablas

Tabla 1. Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas en 2017 [1].....	7
Tabla 2. Análisis alternativas del material estructural.	18
Tabla 3. Análisis de alternativas de material de las tapas.....	20
Tabla 4. Análisis alternativas de aislantes térmicos.....	21
Tabla 5. Análisis alternativas de microcontroladores.	23
Tabla 6. Análisis alternativas del sistema térmico.....	24
Tabla 7. Tabla de especificaciones de perfiles estructurales angulares	48
Tabla 8. Tabla de especificaciones de perfiles estructurales tubo estructural cuadrado	50
Tabla 9. Costo de los componentes mecánicos.	104
Tabla 10. Costo de los componentes electrónicos.	105
Tabla 11. Costos directos.....	106
Tabla 12. Costos indirectos.	106
Tabla 13. Costos de diseño.....	107
Tabla 14. Costos totales justificados.	108

Índice de anexos

Anexo 1. Plano de construcción: Tapa superior	119
Anexo 2. Plano de construcción: Tapa interna	120
Anexo 3. Plano de construcción: Tapa posterior inferior	121
Anexo 4. Plano de construcción: Tapa posterior superior	122
Anexo 5. Plano de construcción: Tapa lateral derecha	123
Anexo 6. Plano de construcción: Tapa lateral izquierda	124
Anexo 7. Plano de construcción: Tapa frontal.	125
Anexo 8. Plano de construcción: Estructura	126
Anexo 9. Plano de construcción: Soportes resistencias.....	127
Anexo 10. Plano de construcción: Protección resistencias.....	128
Anexo 11. Plano de construcción: Banco de monitoreo.....	129

Resumen

El diseño e implementación del sistema de monitoreo de voltaje y control de temperatura para baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd) se estructuró en cuatro fases principales. En la primera fase, se analizaron los procesos electroquímicos durante los ciclos de carga y descarga de las baterías Ni-Cd, identificando las variables de diseño preponderantes, con énfasis en la monitorización del voltaje y la regulación térmica.

La segunda fase se enfocó en el diseño multidisciplinario de los componentes del banco de monitoreo, utilizando herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) y software de simulación de elementos finitos (FEA). Se seleccionaron sensores de voltaje de alta precisión, termistores de coeficiente negativo de temperatura (NTC) y algoritmos de control basados en lógica difusa.

Durante la tercera fase, se implementó y validó empíricamente el sistema, sometiendo el banco de monitoreo a pruebas con ciclos de carga y descarga galvanostáticos. Se emplearon técnicas de calibración por mínimos cuadrados y algoritmos de filtrado digital para ajustar los sensores y mitigar el ruido en las señales.

En la fase final, se verificó y probó el funcionamiento del modelo mecatrónico desarrollado, corrigiendo errores y realizando ajustes finales. Se analizaron y discutieron los resultados obtenidos, evaluando el cumplimiento de los objetivos y la eficacia del sistema diseñado. Esta fase de pruebas y validación fue crucial para asegurar que el modelo cumpliera con los requisitos técnicos y funcionales necesarios para su implementación exitosa en aplicaciones reales dentro del sector aeroespacial.

Palabras claves: Baterías níquel-cadmio (Ni-Cd), monitoreo de voltaje, ciclos de carga y descarga, diseño multidisciplinario

Abstract

The design and implementation of the voltage monitoring and temperature control system for nickel-cadmium (Ni-Cd) batteries was structured in four main phases. In the first phase, the electrochemical processes during the charge and discharge cycles of Ni-Cd batteries were analyzed, identifying the prevailing design variables, with emphasis on voltage monitoring and thermal regulation.

The second phase focused on the multidisciplinary design of the monitoring bench components, using computer-aided design (CAD) tools and finite element simulation (FEA) software. High-precision voltage sensors, negative temperature coefficient (NTC) thermistors and fuzzy logic-based control algorithms were selected.

During the third phase, the system was implemented and empirically validated by testing the monitoring bench with galvanostatic charge and discharge cycles. Least squares calibration techniques and digital filtering algorithms were used to adjust the sensors and mitigate noise in the signals.

In the final phase, the operation of the developed mechatronic model was verified and tested, correcting errors and making final adjustments. The results obtained were analyzed and discussed, evaluating the fulfillment of the objectives and the effectiveness of the designed system. This testing and validation phase was crucial to ensure that the model met the technical and functional requirements necessary for its successful implementation in real applications within the aerospace sector.

Keywords: Nickel-cadmium (Ni-Cd) batteries, voltage monitoring, charge and discharge cycles, multidisciplinary design.

Planteamiento del problema

Las baterías de níquel-cadmio son ampliamente utilizadas en sistemas críticos debido a su capacidad para proporcionar energía de respaldo confiable y estable en situaciones esenciales, como la aviónica, el control de vuelo y la iluminación de emergencia. En estos sistemas, donde la fiabilidad es fundamental, el control preciso del voltaje durante los procesos de carga y descarga es crucial para evitar la degradación prematura, la pérdida de capacidad y posibles fallas catastróficas. Por esta razón, este trabajo de titulación se enfoca en la implementación de un banco de monitoreo de voltaje como una medida estratégica para mejorar la eficiencia operativa de las baterías de níquel-cadmio.

La implementación de un banco de monitoreo semiautomático responde a la necesidad de optimizar el tiempo del personal asignado a esta tarea. Este sistema reduce la supervisión manual, permitiendo que los empleados se enfoquen en actividades más estratégicas y productivas. Dado que el monitoreo de voltaje demanda largos períodos de atención, su automatización mediante este banco es una solución eficaz. Esta herramienta no solo agiliza el proceso, sino que también identifica eficientemente los problemas en las celdas durante la carga y descarga, optimizando la gestión de recursos y mejorando la calidad general del procedimiento.

Formulación del problema

¿Cómo diseñar un banco de monitoreo de voltaje y control de temperatura semiautomático para baterías de níquel-cadmio con el fin de implementar y optimizar la eficiencia operativa, mejorar la precisión del monitoreo, facilitar la detección temprana de problemas en las celdas, mejorar la confiabilidad de los sistemas de energía de respaldo y al mismo tiempo optimizar el tiempo del personal asignado a las actividades de seguimiento para tareas más estratégicas y productivas?

Justificación

Un banco de monitoreo de voltaje adaptado a las baterías Société des Accumulateurs Fixes et de Traction (SAFT) tomando como referencia el modelo 539-CH1 y 5319CH1 permite un control más eficiente, optimizando la gestión de la energía y prolongando la vida útil de la batería. Este enfoque busca identificar celdas con bajo rendimiento o deterioro. La necesidad radica en optimizar la asignación de recursos humanos y aprovechar los avances tecnológicos en el monitoreo de voltaje. Al permitir el uso de personal en otras actividades, se garantiza una distribución más eficiente de los recursos.

La implementación de tecnologías avanzadas mejora la eficacia y precisión del monitoreo de voltaje, reduciendo la dependencia de recursos humanos que, por los largos tiempos de monitoreo, acumulan cansancio y errores en la medición y registro de los resultados del proceso. Este enfoque promueve la eficiencia operativa y contribuye al desarrollo e innovación en la industria aeronáutica.

El alcance de este proyecto de titulación consiste en el diseño, implementación y evaluación de un sistema semiautomático de monitoreo de voltaje y control de temperatura, el cual está específicamente orientado para baterías de níquel-cadmio utilizadas en aviones. Se verificó el impacto de esta tecnología en la eficiencia operativa, la confiabilidad y la estabilidad de las baterías, así como en la optimización de recursos humanos. Además, se analizó la viabilidad técnica y económica de la implementación de este sistema en la industria aeronáutica, considerando los estándares de seguridad y regulaciones aplicables.

Objetivos

Objetivo general

- Diseñar e implementar un banco semiautomático de monitoreo de voltaje y control de temperatura para baterías níquel-cadmio.

Objetivos específicos

- Establecer el proceso de carga y descarga mediante observación y recolección de datos para la identificación de variables de diseño.
- Diseñar los componentes mecánicos, electrónicos y de control utilizando software de ingeniería en la creación del banco de monitoreo para baterías de níquel-cadmio.
- Ejecutar diferentes pruebas operativas mediante el monitoreo de varios procesos de carga y descarga para la validación de funcionamiento.

Metodología

La metodología empleada en el desarrollo del banco semiautomático de monitoreo de voltaje y control de temperatura para baterías de níquel-cadmio se fundamentó en un enfoque sistemático y multidisciplinario, abarcando aspectos de ingeniería mecánica, electrónica y de control. El proceso se dividió en cuatro etapas principales: análisis de requerimientos, diseño conceptual, implementación y validación.

En la etapa inicial de análisis de requerimientos, se llevó a cabo una revisión bibliográfica y un estudio de las especificaciones técnicas de las baterías de níquel-cadmio modelo 539-CH1 y 5319CH1. Se identificaron los parámetros críticos a monitorear, como el voltaje y la temperatura, así como los rangos de operación óptimos para garantizar la eficiencia y longevidad de las baterías.

Durante la fase de diseño conceptual, se desarrollaron modelos 3D preliminares utilizando software CAD, considerando aspectos ergonómicos, de seguridad y facilidad de uso. Se evaluaron diferentes alternativas de materiales para la estructura, seleccionando el acero ASTM 36 por su resistencia mecánica y durabilidad. Asimismo, se diseñaron los circuitos electrónicos, incluyendo la selección de sensores, microcontroladores y elementos de potencia, teniendo en cuenta criterios de precisión, confiabilidad y compatibilidad.

En la etapa de implementación, se procedió a la fabricación de los componentes mecánicos y el ensamblaje de la estructura del banco de monitoreo. Se realizó la integración de los subsistemas electrónicos, incluyendo el cableado, la programación del microcontrolador y la configuración de la interfaz de usuario a través de una pantalla LCD. Se desarrollaron algoritmos de control para regular la temperatura mediante resistencias térmicas y un sistema de enfriamiento por aire, asegurando la estabilidad térmica durante los ciclos de carga y descarga.

Finalmente, en la fase de validación, se llevaron a cabo pruebas exhaustivas del banco de monitoreo, simulando diferentes escenarios de operación y sometiendo el sistema a condiciones extremas. Se verificó la precisión de las mediciones de voltaje y temperatura, así como la capacidad del sistema para mantener los parámetros dentro de los límites establecidos. Se realizaron ajustes y optimizaciones basados en los resultados obtenidos, garantizando la robustez y fiabilidad del banco de monitoreo.

Capítulo I

Marco contextual y teórico

El presente capítulo proporciona una fundamentación técnica para el desarrollo de un banco de monitoreo de voltaje y control de temperatura destinado a baterías de níquel-cadmio en el contexto de la industria aeronáutica ecuatoriana. Se aborda una gama de temas que abarcan desde la evolución histórica y normativa del mantenimiento aeronáutico en Ecuador hasta los principios electroquímicos de las baterías Ni-Cd, pasando por la instrumentación avanzada con sensores térmicos y de voltaje, sistemas de control térmico industrial, y la integración de componentes electrónicos digitales como microcontroladores y multiplexores analógicos.

1.1 Mantenimiento aeronáutico en Ecuador

Tiene su origen con la aviación militar. Los primeros profesionales ecuatorianos en mecánica de aviación ejercieron actividades en el año 1913, cuando inició la era del mantenimiento de aeronaves en los aeropuertos de Quito y Guayaquil [1]. En los años ochenta, la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), se dedicó al estudio y desarrollo de la industria aeronáutica para lograr la autosuficiencia en el mantenimiento de sus aviones. En 1989, la FAE, crea la Dirección de la Industria Aeronáutica (DIAF), para dar servicios de mantenimiento especializados, tanto a aeronaves civiles como militares [1]. En la actualidad, el mantenimiento aeronáutico en Ecuador está sujeto a normativas locales e internacionales que garantizan la seguridad y eficiencia de las operaciones. Para el siglo XXI, la evolución, modernización e innovación de este sector ha sido fundamental para el desarrollo de la industria aeronáutica en el país, apegado a estándares de calidad y seguridad en el mantenimiento de aeronaves nacionales e internacionales.

En la Figura 1 muestra un momento en el mantenimiento de una aeronave, donde se puede observar al personal capacitado de la (Organización de Mantenimiento Aprobada-Dirección de la Industria Aeronáutica de la Fuerza Aérea) OMA-DIAF trabajando directamente en el motor.



Figura 1. Mantenimiento aeronáutico de un motor [41].

1.2 Organización de mantenimiento aeronáutico del Ecuador

El mantenimiento aeronáutico en Ecuador se menciona está estructurado, organizado y normado por la Dirección General de Aviación Civil (DGAC), que es la entidad competente para la supervisión y regulación de programas, procesos y actividades aeronáuticas. Como parte importante de la DGAC, se crearon diferentes departamentos y unidades especializadas en el mantenimiento aeronáutico. Estas organizaciones pueden clasificarse en tres grupos principales, aviación mayor, aviación menor y helicópteros.

1.2.1 Aviación mayor

Las entidades que forman parte de este conjunto se dedican a trabajar con aeronaves de gran tamaño, definidas como aquellas que tienen un “peso máximo certificado para despegue de más de 5,700 kg (12,500 libras) (DGAC 2010). El mantenimiento intensivo necesita de una infraestructura que pueda alojar a la aeronave dentro de sus instalaciones. Este tipo de revisiones pueden prolongarse durante varios meses, lo que implica que la aeronave queda fuera de servicio durante ese periodo [1].

1.2.2 Aviación menor

Las entidades mencionadas operan utilizando aeronaves de dimensiones reducidas, cuyo peso máximo autorizado para el despegue no supera los 5.700 kilogramos (equivalente a 12.500 libras) [1].

1.2.3 Helicópteros

Esta categoría comprende organizaciones autorizadas para realizar mantenimiento en helicópteros, incluyendo sus componentes específicos y sistemas de ensamblaje [1].

1.2.4 Organizaciones de mantenimiento autorizadas

Se muestran todas las Organizaciones de Mantenimiento Autorizadas (OMA) para operar dentro del país, según el Departamento de Certificación Aeronáutica perteneciente a la (DGAC), en el año 2017.

En la Tabla 1 se presentan las diferentes organizaciones que realizaron actividades de mantenimiento aprobadas en el Ecuador durante el año 2017.

Tabla 1. Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas en 2017 [1].

OMA	CAPACIDAD	REGLAMENTO
Aerogal	Equipo A320	RDAC 145
Alas de socorro	Aviación menor	RDAC 145
AMSA	Helicópteros	RDAC 145
CEMEFA	Aviónica	RDAC 145
DIAF	Equipo B737	RDAC 145
ESPEND	Inspección NDI/ Hélices	RDAC 145
INTERPROPEC	Hélices	RDAC 145
LAN	Ecuador Equipo A320	RDAC 145
Mantomain	Transporte línea	RDAC 145
SETE	Inspección NDI	RDAC 145
TRANSAM	Equipo ATR	RDAC 145
ARICA	Aviación menor	RDAC 145

1.3 Batería de níquel-cadmio

Dentro de la categoría de tecnología alcalina, se encuentran las baterías de níquel-cadmio. Estas utilizan hidróxido de potasio como electrolito y están compuestas por dos electrodos: uno positivo hecho de hidróxido de níquel y otro negativo de cadmio en estado metálico. A medida que se utilizan, estas baterías experimentan una reducción gradual en su capacidad máxima de almacenamiento de energía, fenómeno atribuido al llamado efecto memoria [2]. Esta batería se distingue por sus elementos sellados, su ligereza y su resistencia a temperaturas elevadas.

Presenta una autodescarga mínima. El hidróxido de potasio (KOH), que actúa como electrolito, es químicamente neutro y no participa en las reacciones electroquímicas. Esto significa que sus propiedades se mantienen estables con el paso del tiempo, cumpliendo principalmente funciones de conducción eléctrica y disipación térmica. Gracias a esto, y a que sus placas de acero inoxidable no sufren corrosión ni desprendimiento de material, la resistencia interna de la batería permanece constante durante toda su vida útil [3].

La Figura 2 presenta gama de baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd) de última generación fabricadas por la marca Saft. Estas baterías se comercializan en tres tamaños diferentes para adaptarse a las diversas aplicaciones y requisitos de energía.



Figura 2. Baterías de níquel de última generación marca Saft [4].

1.4 Banco de carga para baterías níquel-cadmio

El MasterCharger es un versátil instrumento diseñado para cargar, realizar cargas lentas y analizar diversos tipos de baterías recargables, incluyendo níquel-cadmio y plomo-ácido selladas, con capacidades de hasta 100 A/h. Este cargador-analizador de calidad cuenta con múltiples modos de funcionamiento, como corriente constante, tensión constante, carga de pico, análisis y descarga de ciclo profundo. Además, incorpora funciones de seguridad para proteger al operador, al cargador y a la batería en caso de conexión con polaridad invertida, cortocircuito, circuito abierto y sobretensión. El MasterCharger también dispone de un temporizador basado en un microprocesador, que permite la programación en tres velocidades, y dos grandes contadores digitales para el control simultáneo de la tensión y la corriente [5].

1.4.1 Proceso de descarga

La capacidad efectiva aumenta con la temperatura y disminuye con la intensidad de la corriente de descarga [6]. El aumento de temperatura permite un ligero aumento en la capacidad efectiva pero no es un valor importante, en cambio si la temperatura baja más de lo recomendado (15-20 °C) existe una disminución grande en cuanto al rendimiento de la batería [6].

1.4.2 Proceso de carga

En esta etapa de mantenimiento de la batería, debe tener una temperatura aproximada entre 20-25°C [6]. Por lo general, se recomienda cargar las baterías de níquel-cadmio manteniendo una corriente constante, típicamente igual a su capacidad nominal. No es aconsejable utilizar un método de carga a voltaje constante, ya que podría resultar en corrientes excesivamente altas si las celdas están muy descargadas. Durante la carga, el voltaje en los terminales de la batería se incrementa paulatinamente, sin mostrar un cambio repentino al completarse la carga. Por lo tanto, este parámetro no es adecuado para monitorear el proceso de carga. En su lugar, el control debe realizarse mediante la supervisión de la intensidad de corriente suministrada a la batería y el tiempo de duración de la carga [6].

En la Figura 3 se tiene el banco de carga MASTERCharger realiza ambos procesos, tanto de carga como descarga de las baterías.



Figura 3. Banco de carga y descarga de baterías níquel-cadmio.

1.5 Sensor de temperatura

Los dispositivos de detección térmica se emplean para cuantificar las variaciones de temperatura en el entorno. Su función principal es garantizar que un determinado procedimiento se mantenga dentro de unos límites térmicos predefinidos, ya sea para condiciones de calor o frío [7]. La determinación exacta de los niveles térmicos resulta esencial en una gran variedad de operaciones tanto en el ámbito industrial como en el tecnológico [8]. Son dispositivos que transforman los cambios de temperatura (calor/frío) en cambios dados en señales eléctricas que son procesados por algún equipo eléctrico o electrónico [7].

1.5.1 Sensores de contacto

Los dispositivos térmicos de contacto evalúan su propia condición térmica. La temperatura del objeto se infiere indirectamente, asumiendo un estado de equilibrio térmico entre el sensor y el elemento medido, lo que implica ausencia de transferencia calórica. Es importante distinguir

estos instrumentos de aquellos que operan sin contacto directo, los cuales emplean principios de convección y radiación para detectar variaciones térmicas [9].

La Figura 4 ilustra una sonda de contacto, también conocido como sensor de proximidad o final de carrera.



Figura 4. Sonda de contacto [9].

1.5.2 Sensores sin contacto

Los sensores de este tipo miden la temperatura de objetos sin contacto mediante radiación infrarroja, independientemente del material, el tamaño y el estado físico. Dos salidas de conmutación y una salida analógica permiten comparar los valores nominales y reales, así como las mediciones absolutas [10]. Los pirómetros por infrarrojos son un tipo de sensores sin contacto.

La Figura 5 enseña un pirómetro infrarrojo sin contacto, también conocido como termómetro IR o sensor de temperatura radiante.



Figura 5. Pirómetros por infrarrojo [10].

1.6 Sensor de voltaje

Este sensor de voltaje monitorea y calcula el voltaje de suministro, tanto en corriente alterna (CA) como en corriente continua (CC). Recibe como entrada el voltaje y puede proporcionar diversas salidas, incluyendo interruptores, señales analógicas de voltaje o corriente, señales audibles, PWM (modulación de ancho de pulso) o FM (modulación de frecuencia). La precisión de estos sensores puede depender del divisor de tensión utilizado [11].

La Figura 6 muestra un módulo sensor de voltaje basado en un divisor de tensión resistivo. Este componente está diseñado para medir y acondicionar señales de voltaje para su procesamiento por microcontroladores.



Figura 6. Sensor de voltaje [11].

1.7 Resistencia térmicas eléctricas industriales

En diversos sectores, incluyendo la industria, el comercio, la ciencia y el ámbito militar, se destaca un tipo de elemento calefactor por su adaptabilidad y amplio uso. Este dispositivo combina eficazmente los principios de radiación y convección para generar calor. Su estructura tubular le confiere características de robustez y longevidad, haciéndolo particularmente adecuado para aplicaciones que requieren durabilidad [12]. Estos dispositivos térmicos encuentran aplicación en una amplia gama de operaciones que requieren la producción de calor. Su uso abarca desde el calentamiento de fluidos, tanto líquidos como gaseosos, hasta procesos más intensivos como la licuefacción de materiales metálicos. En su diseño, se ha puesto especial énfasis en dotarlas de la capacidad para funcionar eficazmente bajo condiciones extremas, incluyendo la exposición a temperaturas muy elevadas y ambientes operativos particularmente demandantes [13].

La Figura 7 presenta una selección de resistencias térmicas industriales, ilustrando sus diferentes configuraciones disponibles en el mercado.



Figura 7. Resistencias térmicas industriales [14].

1.8 Sistema de enfriamiento por aire

En los mecanismos de refrigeración que utilizan aire, se emplea un proceso de enfriamiento sin humedad. El aire circula sobre un dispositivo de transferencia térmica provisto de aletas, el cual contiene el fluido operativo. Se produce una transmisión de calor sensible desde este fluido hacia la corriente de aire que atraviesa la unidad. Para lograr una reducción eficaz de la temperatura del fluido hasta el nivel requerido por el sistema, es imperativo que la temperatura del aire seco sea considerablemente inferior a la del fluido en cuestión [15].

La Figura 8 ilustra un ventilador de caja genérico color negro con características indeterminadas, diseñado para la circulación de aire en sistemas electrónicos.



Figura 8. Sistema de enfriamiento por aire [42].

1.9 Microcontrolador

Un componente electrónico diseñado para ejecutar operaciones lógicas con el fin de realizar una función determinada se conoce como microcontrolador. Para que este dispositivo pueda cumplir con su cometido, es necesario que el usuario defina las instrucciones utilizando un lenguaje de programación específico [16]. Son dispositivos versátiles capaces de ejecutar diversas funciones, entre las que se incluye la gestión de flujos de información en procesos computacionales específicos. Su utilidad se hace especialmente evidente en el ámbito industrial, donde se emplean comúnmente en sistemas de control y en variadas aplicaciones de automatización.

La Figura 9 enseña un diagrama esquemático de los componentes interno de un microcontrolador genérico, presenta un diagrama de bloques funcionales que ilustra los componentes claves internos.

de control capaz de activar selectivamente cada uno de estos conmutadores [20]. Los selectores de entrada interactúan con un sistema de decodificación digital, cuyo output controla los conmutadores analógicos, determinando en cada instante qué conexión debe establecerse. Una característica destacable de estos dispositivos es su capacidad de operación en ambas direcciones, permitiendo que cada punto de conexión del multiplexor pueda funcionar como vía de entrada o de salida. Además, su diseño está optimizado para el procesamiento de señales analógicas, en contraste con los sistemas que manejan exclusivamente información digital [21].

La Figura 11 muestra el módulo multiplexor analógico bidireccional un componente electrónico fabricado por Texas Instruments y distribuido por diversos proveedores, incluido Amazon bajo la marca BROLEO.

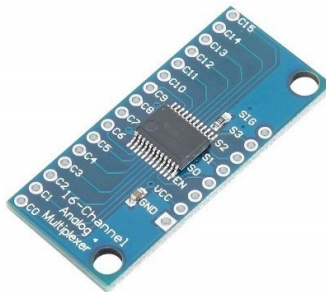


Figura 11. Multiplexor analógico [22].

1.12 Módulo de microSD

Los lectores SD son dispositivos que permiten utilizar tarjetas SD y microSD como medio de almacenamiento en proyectos de electrónica y Arduino [23]. Generalmente utilizan el bus SPI para la transferencia de datos debido a su alta velocidad. Estos lectores son compatibles con tarjetas SD, SDSC y SDHC formateadas en FAT16 o FAT32, y aunque operan a 3.3V, la mayoría incluye la electrónica necesaria para una conexión directa a 5V, facilitando su integración en proyectos Arduino [23].

La Figura 12 muestra un módulo de microSD placa de circuito impreso azul, el dispositivo presenta una ranura para tarjetas microSD en el extremo derecho, permitiendo una fácil inserción y extracción de la tarjeta de memoria. Este módulo compacto y versátil es ampliamente utilizado en proyectos que necesitan registrar datos, reproducir archivos multimedia o manejar grandes volúmenes de información.

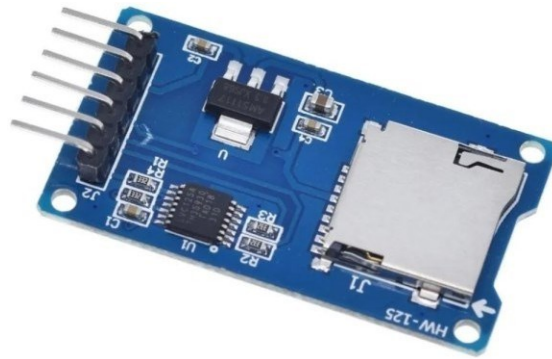


Figura 12. Módulo de microSD [48].

1.13 Acero

El término "acero" se aplica a una familia de materiales metálicos cuya base es el hierro (Fe), al cual se le incorporan diversos elementos. El componente principal de estas mezclas suele ser el carbono (C), aunque también pueden incluir zinc (Zn), silicio (Si) o aluminio (Al), entre otros. La integración de estos elementos modifica las características intrínsecas del hierro puro, resultando en un compuesto con propiedades mejoradas, como una mayor resistencia mecánica o una reducida tendencia a la oxidación [24]. El carbono desempeña un papel fundamental en la composición de los aceros. En aquellos denominados de carbono simple, la proporción de este elemento ejerce una influencia significativa en las características del material. Además, el contenido de carbono es un factor determinante al elegir los procesos de tratamiento térmico adecuados para lograr propiedades específicas en el acero [25]. Tienen amplias aplicaciones como tuberías y perfiles aptos para varias aplicaciones.

La Figura 13 presenta una gama de perfiles y tuberías de acero, categorizados según su geometría transversal y sus dimensiones nominales.



Figura 13. Tuberías y perfiles de acero [44].

1.13.1 Clasificación de acero

Los aceros aleados contienen cantidades o porcentajes específicos de otros elementos químicos, en la composición de estos aceros especiales, se destacan ciertos elementos que se incorporan en mayor medida. Entre estos, sobresalen el níquel, el cromo, el molibdeno, el vanadio y el tungsteno. Es importante señalar que el manganeso (Mn) también se considera parte de este grupo selecto, siempre y cuando su presencia en la aleación supere el umbral del 1% [25]. La creación de un sistema de categorización exhaustivo y preciso que abarque todas las variedades de acero existentes representa un desafío considerable. Aún más complejo resulta el establecimiento de correspondencias exactas entre aceros de diversas nomenclaturas, dado que los criterios de ordenamiento y normalización de estos materiales varían significativamente según su país de procedencia [26].

CAPÍTULO II

Análisis de alternativas

En este capítulo se exploran y evalúan las diferentes alternativas disponibles para el diseño e implementación del banco semiautomático de monitoreo de voltaje y control de temperatura para baterías níquel-cadmio. Se analizan detalladamente las opciones para el material estructural, aislantes térmicos, microcontroladores y sistema térmico, considerando factores como costos, eficiencia, disponibilidad y adecuación a los requerimientos específicos del proyecto.

2.1 Sistema de calificación de alternativas del material estructural

Se presentan los parámetros de equivalencia que se utilizan para identificar las características más idóneas. Estas deben ser capaces de soportar las cargas planteadas en el diseño estructural. La elección del material es un aspecto crítico, ya que debe soportar las condiciones de operación a las que va a ser sometido incluyendo fluctuaciones de temperatura, resistencia a la corrosión, propiedades dieléctricas y las propiedades mecánicas requeridas para cumplir con los objetivos de diseño.

2.1.1 Análisis de alternativas del material estructural

En la selección del material estructural para el banco de monitoreo, se han considerado criterios fundamentales que incluyen el costo y la disponibilidad en el mercado local, también propiedades como la resistencia a la corrosión y las características mecánicas específicas. En la Tabla 2 presenta una comparación detallada de las alternativas evaluadas, cada una con sus propias ventajas y consideraciones particulares para este proyecto.

- **Acero AISI 1018:** Tiene excelentes propiedades de soldadura, resistencia a la corrosión y conductividad eléctrica [27]. Es conocido por su excelente maleabilidad y respuesta a los acabados superficiales [28], se utiliza en varias áreas como en la construcción, entre otros.
 - Mecánico: El límite de fluencia mínimo de 250 MPa y con resistencia a la tracción de 400-500 MPa, ofreciendo buena conductividad y soldabilidad [29].
 - Químico: Contiene principalmente hierro y carbono (max. 0.26%), con pequeñas cantidades de manganeso, silicio, fósforo y azufre [30].
 - Térmico: Presenta un coeficiente de expansión térmica de aproximadamente $11.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ una conductividad térmica de alrededor de $50 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ a temperatura ambiente [30].

- **Aluminio 6063:** Es utilizado en la creación de estructuras en general debido a sus tres características físicas principales: mecánico, químico y térmico.
 - Mecánico: Un límite de fluencia mínimo de 170-210 MPa y la resistencia a la tracción de 205-245 MPa, con excelente maleabilidad y acabado superficial [29].
 - Químico: Es una aleación de aluminio con magnesio (0.45-0.9%) y silicio (0.2-0.6%) como principales elementos de aleación [30].
 - Térmico: Presenta un coeficiente de expansión térmica de aproximadamente $23.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ una conductividad térmica de alrededor de $200 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ a temperatura ambiente [30].
- **Acero A992:** Es un tipo de acero estructural, el cual tiene una excelente soldabilidad, resistencia a la corrosión [27], es muy utilizado para la construcción de estructuras mecánicas [31].
 - Mecánico: Alta resistencia física, el límite de fluencia mínimo de 345 MPa y con resistencia a la tracción de 450-620 MPa, combinado con buena ductilidad [29].
 - Químico: Tiene un contenido controlado de carbono (max. 0.23%) y manganeso (max. 1.35%), con adicciones limitadas de otros elementos para mejorar sus propiedades [30].
 - Térmico: Posee un coeficiente de expansión térmica de aproximadamente $11.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ y una conductividad térmica de alrededor de $52 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ a temperatura ambiente [30].

Tabla 2. Análisis alternativas del material estructural.

N.º	Parámetros	Aluminio 6063	Acero AISI 1018	Acero A992
1	Costo	2	8	6
2	Peso	8	6	4
3	Propiedades mecánicas	4	7	8
4	Maquinabilidad	7	4	4
5	Resistencia a la corrosión	6	5	5
Sumatoria		27	30	27
Índice porcentual		0,54	0,6	0,54
Orden de selección		54%	60%	54%

Considerando las características mencionadas previamente, se optó por utilizar el Acero AISI 1018 para la fabricación del dispositivo. Esta decisión se basó en dos factores principales: en primer lugar, la amplia disponibilidad de este material en el mercado, lo que facilita su adquisición; y, en segundo lugar, las propiedades intrínsecas del Acero AISI 1018, las cuales se ajustan perfectamente a los requerimientos técnicos establecidos para el correcto funcionamiento del dispositivo.

2.2 Sistema de clasificación de alternativas del material de tapas

Para determinar las características más adecuadas de los materiales. Este debe ser capaz de resistir la corrosión causada por el ácido que podría liberar la batería, en el proceso de carga y descarga, además de poseer un buen aspecto estético y ser ligero para facilitar la manipulación de las tapas si lo requieran. Asimismo, la maquinabilidad es un factor importante para seleccionar correctamente el tipo de junta a utilizar en estas aplicaciones.

2.2.1 Análisis de alternativas del material de tapas

El material utilizado para el recubrimiento de la estructura debe tener diferentes características, como resistencia a la corrosión, ligereza, facilidad de instalación y, principalmente, debe estar disponible en los catálogos de los distribuidores dentro del país. En la Tabla 3 muestra las alternativas analizadas para la selección adecuada del material de las tapas.

- **Acero AISI 1018:** Tiene excelentes propiedades de soldadura, resistencia a la corrosión y conductividad eléctrica. Es conocido por su excelente maleabilidad y respuesta a los acabados superficial [32] es, se utiliza en varias áreas como en la construcción, electrónica y dispositivos, entre otros.
 - Mecánico: Con un límite de fluencia mínimo de 250 MPa y la resistencia a la tracción de 400-500 MPa, ofreciendo buena conductividad y soldabilidad [29].
 - Químico: Contiene principalmente hierro y carbono (max. 0.26%), con pequeñas cantidades de manganeso, silicio, fósforo y azufre [32]. La presencia de fósforo puede ocasionar que el material se vuelva frágil y la presencia de azufre reduce su resistencia a la corrosión.
- **Aluminio 6063:** Es utilizado en la creación de estructuras en general debido a sus tres características físicas principales: mecánico, químico y térmico.
 - Mecánico: Su límite de fluencia mínimo de 170-210 MPa y la resistencia a la tracción de 205-245 MPa, con excelente maleabilidad y acabado superficial [29].

- Químico: Es una aleación de aluminio con magnesio (0.45-0.9%) y silicio (0.2-0.6%) como principales elementos de aleación [30]. Tiene una excelente resistencia a la corrosión, pero no en el mercado no se encuentra tan fácilmente y hay poco conocimiento de como trabajar este material.
- **Acero galvanizado:** Debido a su recubrimiento de zinc, presenta un conjunto de propiedades que lo hacen ideal para diversas aplicaciones donde se tiene como prioridad la resistencia a la corrosión [33]. Es altamente encontrado en el mercado nacional.
 - Mecánico: tiene una resistencia a la tracción similar al acero sin recubrimiento, debido a que la galvanización no afecta directamente a esta propiedad, pero si puede aumentar ligeramente la dureza superficial mejorando su resistencia [33].
 - Químico: El zinc que lo recubre actúa como capa de sacrificio, es decir, que se oxida antes que el hierro protegiendo la capa metálica de la corrosión. Su composición química contiene $C < 0.25\%$, $P < 0.05\%$, $Mn < 1.3\%$ y Si entre 0.15% y 0.22% [33].

Tabla 3. Análisis de alternativas de material de las tapas.

N.º	Parámetros	Aluminio 6063	Acero AISI 1018	Acero Galvanizado
1	Costo	2	8	7
2	Peso	8	4	6
3	Estética	6	2	8
4	Maquinabilidad	7	4	7
5	Facilidad de instalación	6	3	7
6	Resistencia a la corrosión	8	3	6
7	Proveedores de material	1	5	8
Sumatoria		38	29	49
Índice porcentual		0,542857143	0,414285714	0,7
Orden de selección		54%	41%	70%

La selección del acero galvanizado se debe en gran parte a que es un material que se puede encontrar dentro del país a bajo costo, y también influyen sus demás características no menos importantes como lo son la resistencia a la corrosión, costo, facilidad de instalación, etc., su facilidad de instalación permitirá escoger de manera adecuada el tipo de unión a realizar al igual que su mediana resistencia a la corrosión permitirá la durabilidad de las tapas.

2.3 Sistema de calificación de alternativas de aislantes

Se presenta un sistema integral de evaluación para materiales aislantes, diseñado para facilitar la selección óptima de estos en aplicaciones específicas. Este método de calificación se basa en el análisis de cuatro parámetros críticos: costo, peso, eficacia del aislamiento y durabilidad.

La consideración equilibrada de estos factores permite una valoración comprehensiva de las diversas alternativas de aislantes disponibles en el mercado, asegurando una elección informada y adaptada a las necesidades particulares de cada proyecto o aplicación.

2.3.1 Análisis de alternativas de aislantes térmicos

El aislante es uno de los elementos más importantes, ya que la temperatura ambiente al que es sometido el banco es muy fría. Por lo tanto, no debe permitir que haya muchas pérdidas de calor. En la Tabla 4 se muestran las alternativas a usar en el banco de monitoreo.

- **Corcho:** El material conocido como corcho se distingue por su robustez y ligereza, además de su notable capacidad para aislar tanto térmica como acústicamente. Otra de sus cualidades destacables es su impermeabilidad frente a los líquidos. Asimismo, el corcho exhibe elasticidad y compresibilidad, a la vez que presenta resistencia al fuego. Por último, cabe mencionar su naturaleza hipoalérgica [34].
- **Espuma polietileno:** Este material se caracteriza por su refrigeración, tiene la propiedad de prevenir la formación de agua condensada. Además, funciona eficazmente como una barrera que impide el paso del vapor. Otra cualidad destacable es su capacidad para resistir la acción de diversas sustancias químicas [35].
- **Poliestireno expandido:** Este material se distingue su capacidad para repeler líquidos, manteniendo su integridad incluso en entornos húmedos. Además, exhibe una remarcable aptitud para soportar golpes y choques sin sufrir daños significativos. Otra cualidad digna de mención es la constancia de su comportamiento frente a la transmisión de calor, que permanece inalterada bajo diversas condiciones [36].

Tabla 4. Análisis alternativas de aislantes térmicos.

N.º	Parámetros	Corcho	Espuma polietileno	Poliestireno expandido
1	Costo	5	7	10
2	Peso	6	7	8
3	Propiedades aislantes	8	4	3
4	Durabilidad	10	4	4
	Sumatoria	29	22	25
	Índice porcentual	0,725	0,55	0,625
	Orden de selección	73%	55%	63%

Tras evaluar las propiedades de los materiales previamente descritos, se ha seleccionado el corcho como el más adecuado para su implementación en el dispositivo. Esta elección se fundamenta en las cualidades aislantes y la durabilidad que presenta este material, características que se ajustan a los requerimientos técnicos del sistema. La incorporación del corcho permitirá minimizar las pérdidas de calor hacia el entorno externo, garantizando así un óptimo rendimiento y eficiencia energética.

2.4 Sistema de calificación de alternativas de microcontroladores.

Se evalúa, analiza y compara las diversas opciones de microcontroladores disponibles. Este método de calificación se basa en una serie de parámetros, permitiendo una valoración objetiva y detallada de cada alternativa. La implementación de este sistema facilita un proceso de selección, asegurando que la opción elegida se alinee óptimamente con los criterios establecidos para el proyecto.

2.4.1 Análisis de alternativas de microcontroladores

El microcontrolador en este banco de monitoreo desempeña una función crítica al interpretar las señales mediante la conversión y análisis de señales de entrada, lo que le permite generar o emitir señales de control. Estas alternativas se basan en la complejidad de programación y capacidad de memoria, ya que se van a almacenar una gran cantidad de datos. En cuanto a la interfaz de programación, las opciones proporcionadas comparten la plataforma Arduino IDE. En la Tabla 5 se muestran las alternativas consideradas para el proyecto.

- **Arduino Mega:** Es una tarjeta de desarrollo que posee pines de entrada y salida (E/S), analógicas y digitales, puede utilizarse en el desarrollo de objetos interactivos autónomos o comunicación serial [37]. Puede ser programado desde Arduino IDE. Tiene 54 pines digitales (E/S), de los cuales 14 pines son salidas PWM, y 16 entradas analógicas [37].
- **Teensy 3.2:** Existe una plataforma de desarrollo conocida como Teensy, cuyo núcleo es un procesador ARM Cortex-M4 de 32 bits que opera a una frecuencia de 72 MHz. Este dispositivo ofrece flexibilidad en su programación, permitiendo a los desarrolladores utilizar tanto el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino como el lenguaje C para crear sus aplicaciones [38]. Tiene 21 entradas analógicas de alta resolución, y 34 E/S digitales que toleran 5V [38].
- **ESP32:** Es una placa de desarrollo de 38 pines, el cual ofrece la capacidad de gestionar una amplia gama de componentes electrónicos, incluyendo sensores, módulos y actuadores, a

través de conexiones inalámbricas WIFI y BLUETOOTH [39]. Tiene entradas y salidas de 3.3V DC, 12 canales convertidores ADC, varias salidas PWM, interfaz tarjeta SD [39].

Tabla 5. Análisis alternativas de microcontroladores.

N.º	Parámetros	Arduino Mega	Teensy 3.2	ESP32
1	Costo	5	4	8
2	Implementación	3	5	6
3	Programación	5	5	5
4	Capacidad memoria	3	4	7
5	Confiablez	4	6	7
Sumatoria		20	24	33
Índice de porcentaje		0,4	0,48	0,66
Orden de selección		40%	48%	66%

La selección de la placa ESP32 como unidad de control para el dispositivo se fundamenta en múltiples factores técnicos y prácticos. En primer lugar, su arquitectura incorpora una amplia gama de pines de entrada analógica, lo cual permite una eficiente adquisición y procesamiento de las diversas variables a monitorear y controlar en el sistema. Adicionalmente, la ESP32 destaca por su accesibilidad en el mercado, lo que facilita su obtención y potencial reemplazo. Su entorno de desarrollo intuitivo y la extensa documentación disponible simplifican significativamente el proceso de programación, permitiendo una implementación ágil y adaptable a los requerimientos específicos del proyecto.

2.5 Sistema de calificación de alternativas del sistema térmico.

La aplicación de estas calificaciones facilitará un proceso de selección riguroso y fundamentado, permitiendo identificar la solución más adecuada que cumpla con los criterios establecidos para el calentamiento eficiente del aire dentro del banco de monitoreo. Este enfoque sistemático no solo optimiza la toma de decisiones, sino que también asegura la elección de un sistema térmico que maximice el rendimiento y la eficacia en las condiciones específicas del proyecto.

2.5.1 Análisis de alternativas del sistema térmico

El sistema térmico es importante para mantener la temperatura adecuada durante los procesos de carga y descarga de las baterías. En la Tabla 6 se muestran las tres alternativas principales para el calentamiento del aire del banco de monitoreo:

- **Resistencias térmicas industriales:** Son elementos diseñados específicamente para generar calor en aplicaciones industriales. Ofrecen un control preciso de la temperatura y una alta eficiencia energética.
- **Focos incandescentes:** Aunque son una opción económica, los focos incandescentes convierten gran parte de la energía en luz visible en lugar de calor, lo que reduce su eficiencia para la aplicación específica.
- **Calentadores cerámicos:** Estos dispositivos utilizan elementos cerámicos para generar calor. Son seguros y ofrecen una buena distribución del calor, pero pueden ser más costosos que otras opciones.

Tabla 6. Análisis alternativas del sistema térmico.

N.º	Parámetros	Resistencias térmicas industriales	Focos incandescentes	Calentadores cerámicos
1	Costo	6	8	5
2	Eficiencia térmica	9	4	7
3	Durabilidad	8	3	7
4	Control de temperatura	9	5	7
5	Seguridad	8	5	8
	Sumatoria	40	25	34
	Índice porcentual	0,8	0,50	0,68
	Orden de selección	80%	50%	68%

Tras el análisis de las alternativas presentadas, se ha seleccionado la opción de resistencias térmicas industriales como la más adecuada para el sistema de calentamiento del banco de monitoreo. Esta elección se basa en su alta eficiencia térmica, durabilidad superior y excelente capacidad de control de temperatura. Aunque su costo inicial puede ser ligeramente mayor que otras opciones, las resistencias térmicas industriales ofrecen un rendimiento superior a largo

plazo y una mayor seguridad en operación, lo cual es crítico para el manejo de baterías de níquel-cadmio. Su capacidad para proporcionar un calentamiento preciso y uniforme contribuirá significativamente a la eficacia y fiabilidad del sistema de monitoreo de voltaje y control de temperatura.

CAPÍTULO 3

Diseño e implementación

En este capítulo se aborda el diseño y desarrollo de un banco de monitoreo de voltaje para baterías, con un enfoque integral que cubre aspectos mecánicos, electrónicos, eléctricos y térmicos. Se presenta el proceso de diseño estructural realizado mediante el software CAD SolidWorks. Además, se detalla el dimensionamiento del sistema de calentamiento, basado en principios fundamentales de termodinámica y en los requerimientos específicos de temperatura para los ciclos de carga y descarga para la batería. Se incluyen diagramas y circuitos eléctricos que ilustran la integración de los componentes electrónicos, como el microcontrolador ESP32, sensores de tensión eléctrica y temperatura, y la interfaz de usuario. También se describe el desarrollo del software de control, incluyendo los algoritmos para el monitoreo de voltaje y la implementación del control PID para la regulación térmica.

3.1 Diseño mecánico

El diseño estructural del banco de monitoreo de voltaje se realizó utilizando el software de diseño asistido por computadora (CAD) SolidWorks, versión 2023, ampliamente empleado en los campos de la ingeniería mecánica y diseño industrial.

La Figura 14 muestra el diseño 3D del banco de monitoreo para baterías. El dispositivo tiene una estructura rectangular con un marco de perfiles metálicos. Se observan ventiladores en uno de los laterales para la propagación del calor, mientras que el tercer ventilador, funciona como extractor del aire.

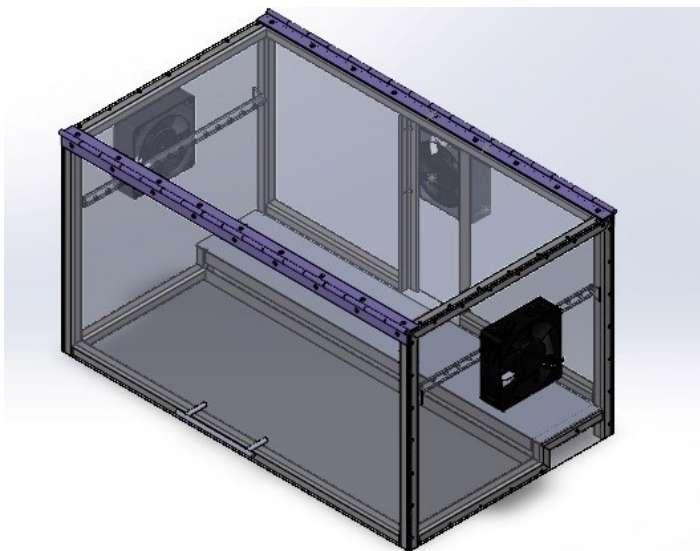


Figura 14. Diseño 3D del banco de monitoreo de baterías.

3.1.1 Modelado 3D del banco de monitoreo

En la etapa inicial del proceso de diseño, se llevó a cabo un modelado 3D conceptual o croquis para definir la disposición general y las dimensiones iniciales en mm del banco de monitoreo de voltaje. Este enfoque visualiza e integra los diversos componentes y subsistemas previstos en el proyecto.

La Figura 15 presenta una representación tridimensional del concepto del banco de monitoreo. Este boceto 3D establece la disposición espacial y las dimensiones preliminares del dispositivo, proporcionando una base sólida para su posterior desarrollo y fabricación.

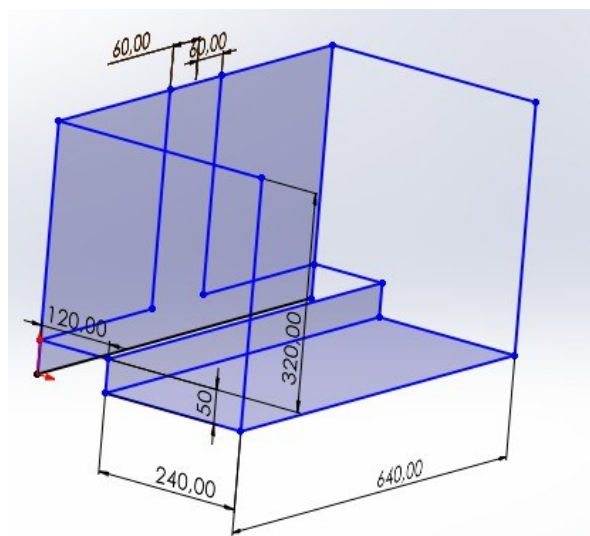


Figura 15. Croquis 3D del banco de monitoreo de voltaje.

3.1.2 Selección de perfiles estructurales

Tras completar el modelado conceptual, se eligió de los perfiles estructurales adecuados para la construcción del banco. Se optó por una combinación de tubos estructurales cuadrados de 20x20x2 mm y perfiles angulares de 20x20x3 mm, ambos simulados en acero ASTM A36. La elección de estos perfiles se basó en criterios de resistencia mecánica, rigidez estructural y optimización del peso total de la estructura.

3.1.3 Cálculos del momento flector máximo

Para la selección óptima de perfiles estructurales, es fundamental calcular el momento flector máximo en una viga simplemente apoyada con una carga puntual. La Ecuación 1 deriva de las ecuaciones de equilibrio y la distribución de fuerzas en una viga con estas condiciones de carga internas.

$$M_{max} = \frac{F * L}{4} \quad (1)$$

$$M_{max} = \frac{426.09 \text{ N} * 0.62 \text{ m}}{4}$$

$$M_{max} = 66.05 \text{ N} * \text{m}$$

Donde:

- M_{max} es el momento flector máximo ($N * m$).
- L es la longitud de la viga central (m).
- F es el peso de la batería (N).

3.1.4 Cálculo del módulo de sección requerido

El módulo de sección necesario para resistir el momento flector máximo se determina considerando la tensión admisible del material que es la constante $\sigma_{adm} = 166.67 \text{ MPa}$. La Ecuación 2 permite el cálculo del módulo de sección requerido para el perfil deseado.

$$Z_{necesario} = \frac{M_{max}}{\sigma_{adm}} \quad (2)$$

$$Z_{necesario} = \frac{66.05 \text{ N} * \text{m}}{166.67 \text{ MPa}}$$

$$Z_{necesario} = 396.29 \text{ mm}^3$$

Donde:

- $Z_{necesario}$ es módulo de sección necesario (mm^3).
- M_{max} es el momento flector máximo ($N * m$).
- σ_{adm} es la tensión admisible de acero (MPa).

3.1.5 Análisis comparativo de perfiles empleados

Se realiza un estudio comparativo entre dos tipos de perfiles: tubo estructural cuadrado hueco y perfil angular. La Ecuación 3 y 4 permiten el cálculo del módulo de sección de cada perfil.

Para el tubo estructural cuadrado:

$$Z_{\square} = \frac{(b_{ext}^4 - b_{int}^4)}{6 * b_{ext}} \quad (3)$$

$$Z_{\square} = \frac{(20 \text{ mm}^4 - 16 \text{ mm}^4)}{6 * 20 \text{ mm}}$$

$$Z_{\square} = 787.20 \text{ mm}^3$$

Donde:

- b_{ext} es la dimensión externa del tubo cuadrado (mm).
- b_{int} es la dimensión interna del tubo cuadrado (mm).
- Z_{\square} es módulo de sección del tubo cuadrado (mm^3).

Para el perfil angular:

$$Z_L = \frac{(b - d^2)}{6} \quad (4)$$

$$Z_L = \frac{(20 \text{ mm} - 20 \text{ mm})}{6}$$

$$Z_L = 1333.33 \text{ mm}^3$$

Donde:

- b es la dimensión de un lado del perfil angular (mm).
- d es la dimensión de un lado adyacente del perfil angular (mm).
- Z_L es módulo de sección del perfil angular (mm^3).

El perfil angular 20x20x3 mm tiene un módulo de sección Z considerablemente mayor que el perfil cuadrado 20x20x2 mm . Con un valor aproximado de 1333.33 mm^3 el perfil angular supera ampliamente el módulo de sección necesario de 396.286 mm^3 para soportar la carga puntual especificada de 426.094 N . Por lo tanto, el perfil angular 20x20x3 mm es más adecuado para soportar la carga puntual de la batería, proporcionando una mayor resistencia a la flexión.

3.1.6 Cálculo de la tensión aplicada

El cálculo proporciona una evaluación cuantitativa de la capacidad de la estructura para resistir las tensiones impuestas. Este coeficiente, que relaciona momento flexor máximo y módulo de sección de cada tipo de perfil, se aplica la Ecuación 5 y 6.

Para el tubo estructural cuadrado:

$$\sigma_{aplicada \square} = \frac{M_{max}}{Z_{\square}} \quad (5)$$

$$\sigma_{aplicada \square} = \frac{66050 \text{ N} * \text{mm}}{787.20 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_{aplicada \square} = 83.91 \text{ MPa}$$

Para el perfil angular:

$$\sigma_{aplicada \perp} = \frac{M_{max}}{Z_{\perp}} \quad (6)$$

$$\sigma_{aplicada \perp} = \frac{66050 \text{ N} * \text{mm}}{1333.33 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_{aplicada \perp} = 49.54 \text{ MPa}$$

Donde:

- $\sigma_{aplicada}$ es la tensión aplicada en el perfil (MPa).
- M_{max} es el momento flector máximo (N * mm).
- Z es módulo de sección (mm³).

3.1.7 Cálculo del factor de seguridad

El factor de seguridad proporciona una evaluación cuantitativa de la capacidad de la estructura para resistir las fuerzas externas impuestas, empleando la Ecuación 7. Este coeficiente, que relaciona la resistencia del material con los esfuerzos máximos esperados, permite establecer un margen de seguridad frente a las cargas de diseño.

Para el tubo estructural cuadrado:

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{aplicada}} \quad (7)$$

$$FS = \frac{370 \text{ MPa}}{83.91 \text{ MPa}}$$
$$FS = 4.41$$

Para el perfil angular:

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{aplicada \perp}} \quad (8)$$

$$FS = \frac{370 \text{ MPa}}{49.54 \text{ MPa}}$$
$$FS = 7.47$$

Donde:

- FS es el factor de seguridad del acero AISI 1018 (*entero*).
- σ_y es el límite de fluencia del acero AISI 1018 (*MPa*).
- $\sigma_{aplicada}$ es la tensión aplicada en el perfil (*MPa*).

Esto significa que, bajo el momento flector máximo de 66.05 Nm, el perfil cuadrado tiene un factor de seguridad de 4.41, mientras que el perfil angular tiene un factor de seguridad de 7.47. Ambos perfiles son capaces de soportar las cargas aplicadas con márgenes de seguridad significativos, siendo el perfil angular más seguro que el perfil cuadrado.

3.2 Cálculos de elementos de sujeción

Los elementos de sujeción desempeñan un papel importante en la integridad estructural y la estabilidad del banco de monitoreo. La selección y dimensionamiento adecuados de estos componentes, que incluyen pernos, tuercas y arandelas, son esenciales para garantizar que la estructura pueda soportar tanto las cargas estáticas como las dinámicas a las que estará sometida durante su operación. Además, estos elementos deben facilitar el montaje y desmontaje del banco para tareas de mantenimiento.

Los remaches elegidos son de aluminio, con un esfuerzo máximo admisible de 276 MPa. Este material ofrece una combinación óptima de resistencia y ligereza, ideal para la aplicación en cuestión. El cálculo de los elementos de sujeción se enfocó principalmente en la unión entre la placa de montaje y los tubos cuadrados de la estructura.

Para determinar la carga aplicada a los remaches, se realizó un análisis del peso de una de las tapas más grandes presentes en el banco de monitoreo

$$Peso = Volumen * densidad \quad (9)$$

$$Peso = (0.4 * 0.37 * 0.001) m^3 * 7850 kg/m^3$$

$$Peso = 1.16 kg$$

Donde:

- *Peso* es el peso total de la tapa (*kg*).
- *Volumen* es el espacio total que ocupa la tapa (m^3).
- *densidad* es la densidad del material (kg/m^3).

El peso de la tapa se calcula mediante la Ecuación 10 aplicando además la gravedad como constante $g = 9.8 m/s^2$.

$$F = m * g \quad (10)$$

$$F = 1.16 kg * 9.8 m/s^2$$

$$F = 11,38N$$

Donde:

- *m* es la masa de la batería (*kg*).
- *g* es la gravedad (m/s^2).
- *F* es el peso de la batería (*N*).

Para determinar el factor de seguridad al utilizar remaches, se aplicó la Ecuación 11.

$$\tau_{medio} < \tau_{adm} \quad (11)$$

$$\frac{12N}{\pi * r^2} < 207 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{12 N}{\pi * \left(\frac{3.96875}{2} (mm)\right)^2} < 207 \frac{N}{mm^2}$$

$$0.97 \frac{N}{mm^2} < 207 \frac{N}{mm^2}$$

Donde:

- τ_{medio} es el esfuerzo cortante medio en el remache (N/mm^2).
- τ_{adm} es el esfuerzo cortante admisible del aluminio 6061 (N/mm^2).

El cálculo del factor de seguridad proporciona una evaluación de la capacidad del elemento para resistir las fuerzas externas impuestas, empleando la Ecuación 12.

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{aplicada}} \quad (12)$$

$$FS = \frac{207 \frac{N}{mm^2}}{0.97 \frac{N}{mm^2}}$$

$$FS = 213$$

Donde:

- FS es el factor de seguridad del acero galvanizado (*entero*).
- σ_y es el límite de fluencia del acero galvanizado (MPa).
- $\sigma_{aplicada}$ es la tensión aplicada en la tapa (MPa).

Este alto factor de seguridad indica que un solo remache es más que suficiente para soportar el peso de toda la tapa. Sin embargo, para mantener la estabilidad y el sellado adecuado de la tapa, se decidió utilizar un promedio de 7 remaches por lado de cada tapa. Considerando que la tapa tiene un espesor de 1 mm y el tubo cuadrado un espesor de 2 mm, el espesor total a fijar se encuentra en el rango de 2-4 mm. Basándose en esta información y en la tabla de selección de remaches, se eligieron remaches con las dimensiones apropiadas para asegurar una fijación óptima.

La Figura 16 presenta una tabla detallada de especificaciones técnicas para remaches normales de tipo "RE-NO". Estos remaches se caracterizan por tener un cuerpo de aluminio y un vástago de acero cincado, combinando así la ligereza del aluminio con la resistencia del acero. La tabla ofrece una amplia gama de dimensiones para diferentes aplicaciones, con diámetros de broca que varían desde 3.3 mm hasta 4.1 mm, y espesores a fijar que van desde 1.0 hasta 30.0 mm.

2. DATOS DE INSTALACION							
2.1. RE-NO		Remache normal					
				Propiedades			
				 Cuerpo de aluminio		 ZINC	 Vástago de acero cincado
Dimensiones							
CODIGO	Ø broca [mm]	Espesor a fijar [mm]	Ø d1 [mm]	L [mm]	Ø d2 [mm]	K [mm]	W [mm]
RENO3206	3,3	1,0 - 3,0	3,2	06	6,2	1,2	1,8
RENO3208		3,0 - 5,0		08			
RENO3210		5,0 - 7,0		10			
RENO3212		7,0 - 9,0		12			
RENO3214		9,0 - 11,0		14			
RENO3216		11,0 - 13,0		16			
RENO3218	13,0 - 15,0	18	4,0	18	7,5	1,5	2,2
RENO4006	0,5 - 2,0	06					
RENO4008	2,0 - 4,0	08					
RENO4010	4,0 - 6,0	10					
RENO4012	6,0 - 8,0	12					
RENO4014	8,0 - 10,0	14					
RENO4016	10,0 - 12,0	16	4,0	16	7,5	1,5	2,2
RENO4018	12,0 - 14,0	18					
RENO4020	14,0 - 16,0	20					
RENO4025	16,0 - 18,0	25					
RENO4030	23,0 - 16,0	30					
RENO4035	26,0 - 30,0	35					

Figura 16. Tabla de longitudes de remaches [40].

3.3 Cálculos de soldadura

El proceso de soldadura es fundamental para garantizar la integridad estructural del banco de monitoreo. Los cálculos de soldadura se realizan para determinar las propiedades y dimensiones adecuadas de los cordones de soldadura, considerando tanto los esfuerzos cortantes como los esfuerzos por torsión que actúan sobre la estructura.

La Figura 17 presenta una serie de diagramas y fórmulas relacionadas con el cálculo de propiedades geométricas de diferentes tipos de soldaduras y secciones estructurales. Se muestran esquemas de soldaduras a tope, en ángulo, y secciones cuadradas y rectangulares, junto con sus respectivas ecuaciones para el área de la garganta (A), la ubicación del centroide (\bar{x} , \bar{y}), y el segundo momento polar unitario del área (Iu).






Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento polar unitario del área
	$A = 0.707 hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
	$A = 1.41 hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{d[3b^2 + d^2]}{6}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2[b + d]}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2[b + d]}$	$J_u = \frac{[b + d]^4 - 6b^2d^2}{12[b + d]}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{8b^3 + 6b^2d^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b + d}$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{[b + d]^3}{6}$

Figura 17. Propiedades torsionales de las soldaduras de filete [50].

3.3.1 Soldadura para los tubos cuadrados

Para el análisis de las juntas soldadas, se consideran las condiciones específicas de carga y geometría de la estructura. En este caso, se aplica una fuerza de 106.673 N sobre el tubo cuadrado. El cálculo del área de la garganta del cordón de soldadura se realiza mediante la Ecuación 13, que toma en cuenta la geometría específica de la junta y las propiedades del material de aporte.

$$A_1 = 0.71 * hc * L \quad (13)$$

$$A_1 = 0.71 * hc * (4 * 20) \text{ mm}$$

$$A_1 = 56.56 * hc \text{ mm}^2$$

Donde:

- A_1 es el área de la garganta del cordón de soldadura (mm^2).
- hc es el espesor del cordón de soldadura (mm).
- L es la longitud total del tubo cuadrado (mm).

El esfuerzo cortante en la soldadura se calcula con la Ecuación 14:

$$\tau_{1c} = \frac{P}{A} \quad (14)$$

$$\tau_{1c} = \frac{106.67}{56.56 * hc}$$

$$\tau_{1c} = \frac{1.89}{hc} \text{ MPa}$$

Donde:

- τ_{1c} es el esfuerzo cortante de la soldadura (MPa).
- A es el área de la garganta del cordón de soldadura (mm^2).
- P es la carga aplicada en los puntos distribuidos (N).

Para determinar el momento de inercia de la sección soldada se emplea la Ecuación 15:

$$J = \frac{(b^4 - d^4)}{12} \quad (15)$$

$$J = \frac{(20^4 - (20 - 2 * 2)^4)}{12}$$

$$J = 7872 \text{ mm}^4$$

Donde:

- J es momento de inercia de la sección soldada (mm^4).
- b es la longitud de lado del tubo cuadrado (mm^2).
- d es el cálculo del lado interior del tubo cuadrado (N).

Para determinar el esfuerzo cortante en el punto crítico de la soldadura, se emplea un análisis vectorial. Los componentes τ_{Ax} y τ_{Ay} se calculan utilizando la Ecuación 16, que relaciona el momento de la soldadura con las características geométricas del cordón:

$$\tau_{Ax} = \frac{M * y}{J * hc} \quad (16)$$

$$\tau_{Ax} = \frac{(106.673 * 320) * 10 \text{ mm}}{7872 * hc}$$

$$\tau_{Ax} = \frac{43.36}{hc} \text{ N/mm}^2$$

Donde:

- M es el momento aplicado a la soldadura ($N * \text{mm}$).
- hc es el espesor del cordón de soldadura (mm).
- y es la distancia desde el centroide hasta el punto crítico del cordón (mm).
- J es momento de inercia de una sección soldada (mm^4).

El esfuerzo cortante resultante se obtiene mediante la Ecuación 17:

$$\tau_A = \sqrt{\tau_{Ax}^2 + \tau_{Ay}^2} \quad (17)$$

$$\tau_{Ax} = \tau_{Ay}$$

$$\tau_A = \sqrt{2 * \left(\frac{43.36^2}{hc}\right)}$$

$$\tau_A = \frac{61.32}{hc} MPa$$

Donde:

- τ_A es el esfuerzo cortante en el punto crítico (*MPa*)
- τ_{Ax} es el esfuerzo de corte en x (*N/mm²*).
- τ_{Ay} es el esfuerzo de corte en y (*N/mm²*).

3.3.2 Selección del electrodo

Se selecciona el electrodo E6011, que posee una resistencia a la fluencia de 353 *MPa*. El esfuerzo cortante admisible para soldadura aplica un factor de seguridad al límite de fluencia del material se calcula mediante la Ecuación 18:

$$\tau_c = 0.6 * \sigma_y \quad (18)$$

$$\tau_c = 0.6 * 345 MPa$$

$$\tau_c = 207 MPa$$

Donde:

- τ_c es esfuerzo cortante de la soldadura (*MPa*).
- σ_y es la resistencia a la fluencia de la soldadura (*MPa*).

Para determinar el espesor del cordón de la soldadura asumimos que el factor de seguridad es 5 empleando la Ecuación 19:

$$FS = \frac{\tau_c}{\tau_A} \quad (19)$$

$$5 = \frac{207 MPa}{\frac{61.32}{hc} MPa}$$

Despejando *hc*:

$$hc = 1.48 mm$$

Donde:

- τ_c es esfuerzo cortante de la soldadura (*MPa*)
- τ_A es el esfuerzo cortante en el punto crítico (*MPa*)
- FS es el factor de seguridad (*real*)
- hc es el espesor del cordón de soldadura (*mm*)

Considerando que en la implementación el espesor es de aproximadamente 2 mm, esto proporciona un factor de seguridad mayor, calculador mediante la Ecuación 20:

$$FS_1 = \frac{\sigma_y}{\sigma_{aplicada}} \quad (20)$$

$$FS_1 = \frac{207 \text{ MPa}}{41.43 \text{ MPa}}$$

$$FS_1 = 6.75$$

Donde:

- FS_1 es el factor de seguridad de la soldadura (*entero*).
- σ_y es el esfuerzo cortante para el electrodo (*MPa*).
- $\sigma_{aplicada}$ es la tensión aplicada en la soldadura (*MPa*).

3.3.3 Soldadura para perfiles angulares

Para los cálculos del perfil angular se aplica un proceso similar al utilizado anteriormente, se considerada la geometría específica del elemento.

Para el cálculo del área de garganta en las juntas soldadas aplicamos la Ecuación 21:

$$A_2 = 0.707 * hc * L \quad (21)$$

$$A_2 = 0.707 * hc * (2 * 20) \text{ mm}$$

$$A_2 = 28.28 * hc \text{ mm}^2$$

Donde:

- A_2 es el área de la garganta del cordón de soldadura (mm^2).
- hc es el espesor del cordón de soldadura (*mm*).
- L es la longitud total del perfil angular (*mm*).

El momento de inercia se determina mediante la Ecuación 22:

$$I_1 = I_2 = \frac{b * h^3}{12} \quad (22)$$

$$I_1 = \frac{3 * 20^3}{12}$$

$$I_1 = 2000 \text{ mm}^4$$

Donde:

- I_1 es el momento de inercia de las secciones vertical y horizontal (mm^4).
- b es el área de sección horizontal (mm).
- h es el área de sección vertical (mm).

Las distancias del eje neutro a las bases de las secciones vertical y horizontal se calculan mediante las Ecuación 23 y 24:

$$d_1 = \frac{h}{2} \quad (23)$$

$$d_1 = \frac{20}{2}$$

$$d_1 = 10 \text{ mm}$$

Donde:

- d_1 es la distancia del eje neutro a la base de la sección vertical (milímetros, mm).
- h es la altura de un lado del perfil (milímetros, mm).

$$d_2 = \frac{h}{2} + t \quad (24)$$

$$d_2 = \frac{20}{2} + 3$$

$$d_2 = 13 \text{ mm}$$

Donde:

- d_2 es la medida desde el plano neutral hasta el extremo inferior del corte transversal. (mm).
- h es la altura de un lado del perfil (mm).
- t es el espesor del perfil angular (mm).

El área de la sección transversal para ambas partes del perfil angular se calcula mediante la Ecuación 25:

$$A_1 = A_2 = t * h \quad (25)$$

$$A_1 = 3 * 20$$

$$A_1 = 60 \text{ mm}^2$$

Donde:

- A_1 y A_2 son las áreas de las secciones vertical y horizontal (mm).
- h es la altura de un lado del perfil (mm).
- t es el espesor del perfil angular (mm).

La inercia total del perfil angular se obtiene aplicando el teorema de ejes paralelos, mediante la Ecuación 26:

$$I_t = I_1 + A_1 * d_1^2 + I_2 + A_2 * d_2^2 \quad (26)$$

$$I_t = 2000 + 60 * 10^2 + 2000 + 60 * 13^2$$

$$I_t = 20140 \text{ mm}^4$$

Donde:

- I_t es momento de inercia total del perfil angular (mm^4).
- I_1 e I_2 son los momentos de inercia de sección vertical y horizontal (mm^4).
- A_1 y A_2 son las áreas de las secciones vertical y horizontal (mm).
- d_1 y d_2 son las distancias del eje neutro a la base de la sección vertical y horizontal (mm).

El esfuerzo de corte se calcula considerando tanto la carga distribuida, emperando la Ecuación 27:

$$\tau_{2t} = \frac{M * y}{J * hc} \quad (27)$$

$$\tau_{2t} = \frac{(426.692 * 320) * 10 \text{ mm}}{20140 * hc}$$

$$\tau_{2t} = \frac{67.8}{hc} \text{ N/mm}^2$$

Donde:

- M es el momento aplicado a la soldadura ($N * mm$).
- hc es el espesor del cordón de soldadura (mm).
- y es la distancia desde el centroide hasta el punto crítico del cordón (mm).
- J es momento de inercia de la sección soldada (mm^4).
- τ_{2t} es el esfuerzo de corte por el momento torsor (N/mm^2).

El esfuerzo corte se calcula considerando el momento torso, empleando la Ecuación 28:

$$\tau_{2c} = \frac{P}{A} \quad (28)$$

$$\tau_{2c} = \frac{426.692}{28.28 * hc}$$

$$\tau_{2c} = \frac{15.09}{hc} \text{ MPa}$$

Donde:

- τ_{2c} es el esfuerzo cortante de la soldadura (MPa).
- A es el área de la garganta del cordón de soldadura (mm^2).
- P es la carga aplicada en los puntos distribuidos (N).

El esfuerzo cortante en el punto crítico para los perfiles angulares se determina sumando los componentes de esfuerzo, empleando la Ecuación 29:

$$\tau_{2A} = \tau_{2c} + \tau_{2t} \quad (29)$$

$$\tau_{2A} = \frac{15.09}{hc} + \frac{67.8}{hc}$$

$$\tau_{2A} = \frac{82.89}{hc} \text{ MPa}$$

Donde:

- τ_{2A} es el esfuerzo cortante en el punto crítico (MPa)
- τ_{2c} es el esfuerzo de corte por la carga distribuida (N/mm^2).
- τ_{2t} es el esfuerzo de corte por el momento torsor (N/mm^2).

El esfuerzo cortante que deberá aplicarse a la soldadura es de $\tau_c = 207 \text{ MPa}$, el espesor del cordón de soldadura se calcula mediante la Ecuación 30:

$$FS = \frac{\tau_{2c}}{\tau_{2A}} \quad (30)$$

$$5 = \frac{207 \text{ MPa}}{hc \text{ MPa}}$$

Despejando hc :

$$hc = 2 \text{ mm}$$

Considerando que en la implementación el espesor es de aproximadamente 3 mm, esto proporciona un factor de seguridad mayor, calculador mediante la Ecuación 31:

$$FS_2 = \frac{\sigma_y}{\sigma_{aplicada}} \quad (31)$$

$$FS_2 = \frac{207 \text{ MPa}}{27.63 \text{ MPa}}$$

$$FS_2 = 7.49$$

Donde:

- FS_2 es el factor de seguridad de la soldadura (*real*).
- σ_y es el esfuerzo cortante para el electrodo (*MPa*).
- $\sigma_{aplicada}$ es la tensión aplicada en la soldadura (*MPa*).

3.4 Cálculos de potencia para las resistencias térmicas industriales

Para determinar la potencia térmica requerida por las resistencias térmicas industriales, se realizaron cálculos tomando en consideración las dimensiones estimadas de 700x400x400 mm, para la cámara de calentamiento (espacio interno del banco de monitoreo). Estas dimensiones representan un sobredimensionamiento intencional con el fin de incorporar un factor de seguridad en el diseño térmico.

La Figura 18 muestra un prisma de dimensiones uniformes que representa la geometría básica del banco de monitoreo. Esta simplificación geométrica se adopta para facilitar los cálculos, dado que la forma fundamental del banco se aproxima a este modelo.

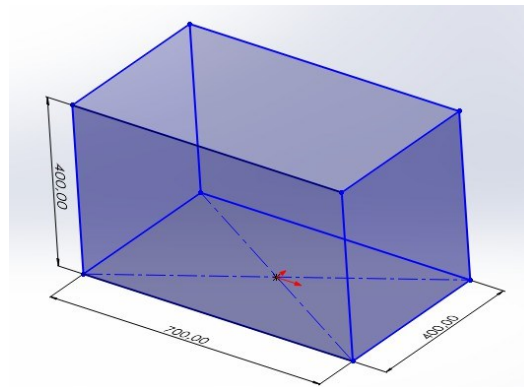


Figura 18. Dimensiones de referencia para el cálculo térmico

El diseño del sistema de calentamiento se basa en principios fundamentales de termodinámica, cuantifica la energía térmica necesarios para elevar la temperatura del aire en la cámara de calentamiento. El diseño requiere un aumento de temperatura de 15 °C a 25 °C. La Ecuación 32 define la variación de temperatura.

$$\Delta T = T_{fin} - T_{inicial} \quad (32)$$

Para el proceso de descarga, se considera la diferencia entre la temperatura ambiente promedio de Latacunga y la temperatura requerida para el ciclo:

$$\Delta T = 25^{\circ}C - 8^{\circ}C \quad (33)$$

$$\Delta T = 17^{\circ}C$$

De manera similar para el proceso de carga, se tiene en cuenta la diferencia entre la temperatura ambiente promedio y la temperatura necesaria para el ciclo:

$$\Delta T = 15^{\circ}C - 8^{\circ}C \quad (34)$$

$$\Delta T = 7^{\circ}C$$

Donde:

- T_{fin} es temperatura final del sistema (°C).
- $T_{inicial}$ es temperatura inicial del sistema (°C).
- ΔT es la variación de la temperatura (°C).

Considerando una cámara prismática con aristas desiguales, el volumen se calcula mediante la Ecuación 35:

$$V = \ell_1 * \ell_2 * \ell_3 \quad (35)$$

$$V = 0.7 \text{ m} * 0.4 \text{ m} * 0.4 \text{ m}$$

$$V = 0.11 \text{ m}^3$$

Donde:

- V es el volumen de la cámara de calentamiento (m^3).
- ℓ_1 es la dimensión de cada arista en el eje x (m).
- ℓ_2 es la dimensión de cada arista en el eje y (m).
- ℓ_2 es la dimensión de cada arista en el eje z (m).

La Ecuación 36 define el vínculo entre la cantidad de aire, su volumen y densidad en el recinto térmico. La densidad aérea se extrae de referencias termodinámicas: $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$

$$m = V * \rho \quad (36)$$

$$m = 0.112 \text{ m}^3 * 1.225 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 0.1372 \text{ kg}$$

Donde:

- m es la masa del aire (kg).
- ρ es la concentración de masa aérea por unidad de volumen (kg/m^3).
- V es el volumen de la cámara de calentamiento (m^3).

El tiempo necesario para alcanzar la temperatura deseada e iniciar el proceso está dado por la Ecuación 37:

$$t = \# \text{ min} * \text{seg} \quad (37)$$

$$t = 5 \text{ min} * 60 \text{ seg}$$

$$t = 300 \text{ seg}$$

Donde:

- t es el tiempo necesario para alcanzar la temperatura deseada (*seg*)
- $\# \text{ min}$ el número de minutos para el proceso se estabilice (*min*)
- seg es el número de segundos dentro de un minuto (*seg*)

Integrando las ecuaciones anteriores, se obtiene la Ecuación 38 esta ecuación que permite dimensionar las resistencias térmicas en función de los parámetros físicos y operativos del sistema. La capacidad calorífica específica del aire se obtiene de tablas termodinámicas: $C_p = 1007 \text{ J}/(\text{kg} * ^\circ\text{C})$

$$P = \frac{V * \Delta T * C_p * \rho}{t * \eta} \quad (38)$$

Para el proceso de descarga:

$$P_1 = \frac{0.112 \text{ m}^3 * 17^\circ\text{C} * 1007 \text{ J}/(\text{kg} * ^\circ\text{C}) * 1.225 \text{ kg}/\text{m}^3}{300 * 0.95} \quad (39)$$

$$P = 8.2411 \text{ W}$$

Para el proceso de carga:

$$P_2 = \frac{0.112 \text{ m}^3 * 7^\circ\text{C} * 1007 \text{ J}/(\text{kg} * ^\circ\text{C}) * 1.225 \text{ kg}/\text{m}^3}{300 * 0.95} \quad (40)$$

$$P = 3.3934 \text{ W}$$

Donde:

- P es la energía térmica requerida (W).
- ρ es la concentración de masa aérea por unidad de volumen (kg/m^3).
- V es el volumen de la cámara de calentamiento (m^3).
- C_p es la capacidad calorífica específica del aire ($\text{J}/(\text{kg} * ^\circ\text{C})$).
- ΔT es la variación de la temperatura ($^\circ\text{C}$).
- t es el tiempo de operación (*seg*).
- η es la eficiencia térmica del sistema (*porcentual*).

La potencia total se obtiene sumando las potencias parciales. Se implementarán dos resistencias térmicas industriales idénticas, por lo que la potencia calculada debe multiplicarse por dos, considerando únicamente la temperatura máxima del sistema se obtiene la Ecuación 41.

$$P_T = 2 * P_1 \quad (41)$$

$$P_T = 2 * 8.2411 W$$

$$P_T = 16.482 W$$

Donde:

- P_T es la potencia total requerida (W).
- P_1 es la potencia del proceso de descarga (W).

Los cálculos teóricos indican que, para elevar la temperatura de la cámara a 15°C y 25°C en 5 minutos, con una eficiencia térmica del 95%, se requeriría una potencia de aproximadamente 16.482 W. Sin embargo, estos valores, derivados de condiciones ideales, son considerablemente bajos para aplicaciones prácticas, en la aplicación práctica se consideró resistencias térmicas de 300 W. Por lo tanto, para asegurar un calentamiento rápido, uniforme y confiable, se recomienda un margen de seguridad sustancial con una configuración más realista y robusta.

3.5 Cálculo de la fuerza aplicada a la estructura

A fin de asegurar la integridad y solidez de la estructura se realiza un análisis detallado de los perfiles estructurales y su capacidad de carga. En este estudio, se calcula el volumen y el peso propio de los perfiles angulares y tubos estructurales cuadrados que componen la estructura. Además, se determina cómo se distribuye la carga total, que incluye tanto el peso propio de la estructura como la fuerza ejercida por la batería, en los soportes.

3.5.1 Masa de la batería

Según la información proporcionada en el manual del operario suministrado por el fabricante, la batería modelo 539-CH1 y 5319CH1 fabricada por la compañía Saft tiene un peso de 43.54 Kg. Este dato técnico, obtenido directamente de la documentación oficial, garantiza la precisión de la especificación de la masa para esta batería en particular. El peso de la batería se calcula mediante la Ecuación 42 aplicando además la gravedad como constante $g = 9.8 \text{ m/s}^2$.

$$F = m * g \quad (42)$$

$$F = 43,54 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 426,692 \text{ N}$$

Donde:

- m es la masa de la batería (kg).
- g es la gravedad (m/s^2).
- F es el peso de la batería (N).

3.5.2 Volumen de los perfiles angulares

El perfil angular, también conocido como ángulo de acero estructural, es un producto de acero laminado en caliente obtenido al doblar una barra plana en un ángulo recto de 90 grados durante su fabricación. En esta estructura, cumple múltiples funciones: se emplea en la parte posterior como soporte para los ventiladores, genera un canal para el paso de los cables del sistema de monitoreo y se utiliza en la zona de apoyo de la batería, específicamente en la parte posterior inferior.

En la Figura 19 presenta las dimensiones principales de cada arista, datos que contribuyen al cálculo del área de la sección transversal aproximada del perfil.

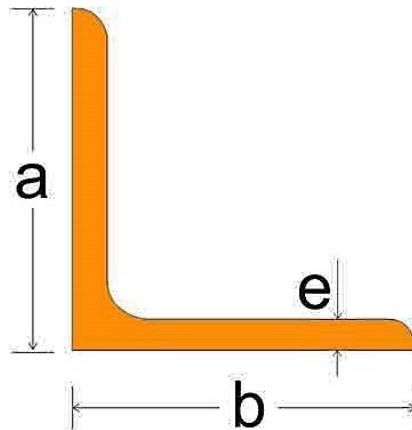


Figura 19. Dimensiones principales del perfil angular [45].

El área de la sección transversal del perfil angular 20x20x3 mm se calcula mediante la Ecuación 43:

$$A = 2 * [(b * e) - (e^2)] \quad (43)$$

$$A = 2 * [(0.02 \text{ m} * 0.003 \text{ m}) - (0.003 \text{ m})^2]$$

$$A = 2 * [(6 \times 10^{-4} \text{ m}^2) - (9 \times 10^{-5} \text{ m}^2)]$$

$$A = 1.11 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Donde:

- A es área de la sección transversal (m^2).
- b es la superficie del corte perpendicular al eje (m).
- e es el espesor del material (m).

La longitud total de los perfiles angulares se determina a partir de la información presentada en la Tabla 7 muestra la información sobre los perfiles angulares presentes en el banco de monitoreo, incluyendo la cantidad y longitud de cada perfil.

Tabla 7. Tabla de especificaciones de perfiles estructurales angulares

N.º	Descripción	Cantidad	Longitud
1	L 20,00 x 20,00 x 3,00	2	640
2	L 20,00 x 20,00 x 3,00	2	300

Para calcular la longitud total de los perfiles angulares, se emplea la Ecuación 44:

$$L = (n_1 * \ell_1) + (n_2 * \ell_2) + \dots + (n_n * \ell_n) \quad (44)$$

$$L = (2 * 0.64 \text{ m}) + (2 * 0.30 \text{ m})$$

$$L = (1.28 \text{ m}) + (0.6 \text{ m})$$

$$L = 1.88 \text{ m}$$

Donde:

- L es longitud total de perfiles (m).
- ℓ es la longitud del perfil (m).
- n es la cantidad de perfiles de la misma longitud (*entero*).

Finalmente, el volumen total de los perfiles se calcula multiplicando el área de la sección transversal por la longitud total, como se muestra en la Ecuación 45:

$$V_L = L * A \quad (45)$$

$$V_L = 1.88 \text{ m} * 0.000111 \text{ m}^2$$

$$V_L = 2.087 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Donde:

- L es longitud total de perfiles (m).
- A es área de la sección transversal (m^2).
- V_L es el volumen total de los perfiles angulares (m^3).

3.5.3 Volumen de los tubos estructurales cuadrados

El tubo cuadrado, también conocido como perfil cuadrado de acero estructural, es un producto de acero conformado en frío o laminado en caliente que se obtiene mediante la transformación de una lámina de acero plana en un perfil hueco de sección cuadrada a través de un proceso de formado y soldadura.

La Figura 20 muestra la sección transversal del tubo estructural cuadrado, en la cual se detallan las dimensiones principales de cada uno de sus lados.

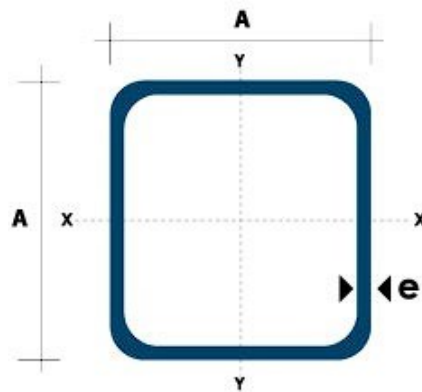


Figura 20. Dimensiones principales del tubo estructural cuadrado [46].

El área de la sección transversal del tubo estructural cuadrado 20x20x2 mm se calcula mediante la Ecuación 46:

$$A = [a^2 - \{a - (2 * e)\}^2] \quad (46)$$

$$A = [0.02 \text{ m}^2 - \{0.02 \text{ m} - (2 * 0.002 \text{ m})\}^2]$$

$$A = [0.02 \text{ m}^2 - (0.016 \text{ m})^2]$$

$$A = 1.44 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Donde:

- A es área de la sección transversal (m^2).
- a es la longitud de uno lado del tubo estructural cuadrado (m).
- e es el espesor del material (m).

La longitud total de los tubos estructurales cuadrados se determina a partir de la información presentada en la Tabla 8, que muestra las especificaciones de los perfiles estructurales de tubo cuadrado utilizados en el banco de monitoreo, incluyendo la cantidad y la longitud de cada perfil.

Tabla 8. Tabla de especificaciones de perfiles estructurales tubo estructural cuadrado

N.º	Descripción	Cantidad	Longitud
1	Tubo estructural cuadrado 20,00 x 20,00 x 2,0	2	280
2	Tubo estructural cuadrado 20,00 x 20,00 x 2,0	2	120
3	Tubo estructural cuadrado 20,00 x 20,00 x 2,0	2	260
4	Tubo estructural cuadrado 20,00 x 20,00 x 2,0	2	50
5	Tubo estructural cuadrado 20,00 x 20,00 x 2,0	2	370
6	Tubo estructural cuadrado 20,00 x 20,00 x 2,0	2	400
7	Tubo estructural cuadrado 20,00 x 20,00 x 2,0	2	370
8	Tubo estructural cuadrado 20,00 x 20,00 x 2,0	2	640

Para calcular la longitud total de los tubos estructurales cuadrados, se emplea la Ecuación 47:

$$L = n_n * (\ell_1 + \ell_2 + \dots + \ell_n) \quad (47)$$

$$L = 2 * (0.28 + 0.12 + 0.26 + 0.05 + 0.37 + 0.40 + 0.64) m$$

$$L = 2 * (2.12) m$$

$$L = 4.24 m$$

Donde:

- L es longitud total de perfiles (m).
- ℓ_n es la longitud de cada perfil (m).
- n es la cantidad de perfiles de la misma longitud (*entero*).

Finalmente, el volumen total de los perfiles se calcula multiplicando es área de la sección transversal por la longitud total, como se muestra en la Ecuación 48:

$$V_{\square} = L * A \quad (48)$$

$$V_{\square} = 4.24 m * 0.000144 m^2$$

$$V_{\square} = 6.11 \times 10^{-4} m^3$$

Donde:

- L es longitud total de perfiles (m).
- A es área de la sección transversal (m^2).
- V_{\square} es el volumen total de los tubos estructurales cuadrados (m^3).

3.5.4 Peso propio de la estructura

El volumen total de la estructura se calcula sumando los volúmenes de los perfiles angulares y los tubos estructurales cuadrados, como muestra en la Ecuación 49:

$$V_{Total} = V_{\perp} + V_{\square} \quad (49)$$

$$V_{Total} = 0.00020868 m^3 + 0.00061056 m^3$$

$$V_{Total} = 8.19 \times 10^{-4} m^3$$

Donde:

- V_{Total} es el volumen total de la estructura (m^3).
- V_L es el volumen total de los perfiles angulares (m^3).
- V_{\square} es el volumen total de los tubos estructurales cuadrados (m^3).

El peso propio se calcula mediante la Ecuación 50, la densidad del Acero AISI 1018 se obtiene de tablas de propiedades de materiales: $\rho = 7850 \text{ kg}/m^3$ además la gravedad como constante $g = 9.8 \text{ m}/s^2$.

$$P_{propio E} = V_{Total} * \rho * g \quad (50)$$

$$P_{propio E} = 8.19 \times 10^{-4} \text{ m}^3 * 7850 \text{ kg}/m^3 * 9.8 \text{ m}/s^2$$

$$P_{propio E} = 63.02 \text{ N}$$

Donde:

- V_{Total} es el volumen total de la estructura (m^3).
- ρ es la densidad del material (kg/m^3).
- P_{propio} es el peso total de la estructura (N).
- g es la gravedad (m/s^2).

3.5.5 Volumen de las tapas

El volumen de las tapas se calcula considerando las dimensiones específicas de cada una en el proyecto. Se toman en cuenta el largo, ancho y espesor de cada tapa, aplicando la Ecuación 51 fórmula de volumen para objetos prismáticos.

$$V_{\blacksquare} = \ell * a * e \quad (51)$$

Tapa posterior inferior

$$V_{\blacksquare 1} = 0.68 \text{ m} * 0.054 \text{ m} * 1 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (52)$$

$$V_{\blacksquare 1} = 3.67 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Tapa superior

$$V_{\blacksquare 2} = 0.68 \text{ m} * 0.392 \text{ m} * 1 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (53)$$

$$V_{\blacksquare 2} = 2.67 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Tapa interna

$$V_{\blacksquare 3} = 0.68 \text{ m} * 0.12 \text{ m} * 1 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (54)$$

$$V_{\blacksquare 3} = 8.16 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Tapa frontal

$$V_{\blacksquare 4} = 0.68 \text{ m} * 0.366 \text{ m} * 1 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (55)$$

$$V_{\blacksquare 4} = 2.49 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Tapas laterales

$$V_{\blacksquare 5} = 2 * (0.370 \text{ m} * 0.4 \text{ m} * 1 \times 10^{-3} \text{ m}) \quad (56)$$

$$V_{\blacksquare 5} = 2 * (1.48 \times 10^{-4} \text{ m}^3)$$

$$V_{\blacksquare 5} = 2.96 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Tapa posterior superior

$$V_{\blacksquare 6} = 0.68 \text{ m} * 0.312 \text{ m} * 1 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (57)$$

$$V_{\blacksquare 6} = 2.12 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Donde:

- V_{\blacksquare} es el volumen de cada tapa (m^3).
- ℓ es la longitud del largo de la tapa (m).
- a es la longitud del ancho de la tapa (m).
- e es el espesor del material (m).

El volumen total es calculado con la Ecuación 58, donde la suma de los volúmenes de cada tapa nos da el volumen total

$$V_{\blacksquare T} = V_{\blacksquare 1} + V_{\blacksquare 2} + \dots + V_{\blacksquare n} \quad (58)$$

$$V_{\blacksquare T} = 3.67 \times 10^{-5} + 2.66 \times 10^{-4} + 8.16 \times 10^{-5} + 2.49 \times 10^{-4} + 2.96 \times 10^{-4} + 2.12 \times 10^{-4}$$

$$V_{\blacksquare T} = 1.14 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Donde:

- $V_{\blacksquare T}$ es el volumen total de las tapas (metros cúbicos, m^3).

- $V_{\blacksquare n}$ es el volumen individual de las tapas (metros cúbicos, m^3).

3.5.6 *Peso propio de las tapas*

Una vez obtenido el volumen, el peso de cada tapa se determina multiplicando este volumen por la densidad del material utilizado en su fabricación, tal como muestra la Ecuación 59. Este cálculo proporciona el peso propio de cada tapa, un dato importante para analizar la distribución de cargas en la estructura del banco de monitoreo y asegurar su estabilidad y funcionalidad.

$$P_{propio T} = V_{\blacksquare T} * \rho * g \quad (59)$$

$$P_{propio T} = 1.14 \times 10^{-3} m^3 * 7850 kg/m^3 * 9.8 m/s^2$$

$$P_{propio T} = 87.70 N$$

Donde:

- $V_{\blacksquare T}$ es el volumen total de las tapas (m^3).
- ρ es la densidad del material (kg/m^3).
- $P_{propio T}$ es el peso total de las tapas (N).
- g es la gravedad (metros sobre segundo cuadrado, m/s^2).

3.5.7 *Distribución del peso propio*

El peso propio se distribuye uniformemente a través de los soportes. La reacción en cada soporte (considerando el peso propio) se calcula mediante la Ecuación 60:

$$R_{propio} = \frac{P_{propio E} + P_{propio T}}{n} \quad (60)$$

$$R_{propio} = \frac{63.024 N + 87.82 N}{4}$$

$$R_{propio} = 37.71 N$$

Donde:

- R_{propio} es la reacción de cada soporte (N).
- $P_{propio E}$ es el peso total de la estructura (N).
- $P_{propio T}$ es el peso total de las tapas (N).
- n es el número de soportes (*entero*).

La reacción en cada soporte (considerando solo la carga externa) se calcula mediante la Ecuación 61:

$$R_{externa} = \frac{F}{n} \quad (61)$$

$$R_{externa} = \frac{426,692 N}{4}$$

$$R_{externa} = 106.67 N$$

Donde:

- $R_{externa}$ es la reacción de cada soporte (N).
- F es el peso de la batería (N).
- n es el número de soportes (*entero*).

La carga total en cada soporte se calcula mediante la Ecuación 62:

$$R_{Total} = R_{externa} + R_{propio} \quad (62)$$

$$R_{Total} = 106.67 N + 37.71 N$$

$$R_{Total} = 144.38 N$$

Donde:

- $R_{externa}$ es la reacción de cada soporte (N).
- R_{propio} es la reacción de cada soporte (N).
- R_{Total} es la reacción total de la estructura (N).

3.6 Simulaciones

Las simulaciones estructurales se llevaron a cabo utilizando el software de diseño asistido por computador (CAD) SolidWorks, versión 2023. Se empleó material ASTM 36 Acero disponible en las librerías del software, para representar las propiedades mecánicas de los componentes estructurales.

La Figura 21 presenta el esquema estructural del banco de monitoreo, compuesto por perfiles angulares y tubos estructurales cuadrados, ambos fabricados en acero ASTM A36. Esta configuración estructural se seleccionó para garantizar la resistencia y la estabilidad necesaria para soportar las cargas aplicadas.

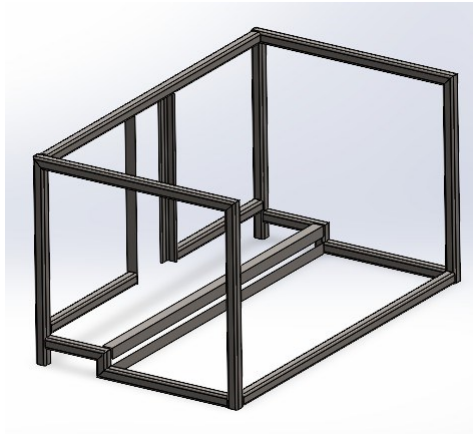


Figura 21. Esquema estructural.

La Figura 22 presenta una tabla que enlista las diferentes propiedades del material seleccionado para la construcción de la estructura. Estas propiedades, tales como la densidad, las propiedades elásticas y tensiles del material son importantes para evaluar el comportamiento estructural, es preciso y determinar el comportamiento del banco de monitoreo bajo las condiciones de carga previstas.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.26	N/D
Módulo cortante	7.93e+10	N/m ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	400000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	250000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica		W/(m·K)
Calor específico		J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Figura 22. Características del material ASTM 36 en SolidWorks.

3.6.1 Simulación de las cargas y fuerza en la estructura

En esta simulación, se aplicaron las cargas correspondientes al peso de la batería y se analizó el comportamiento de la estructura bajo estas condiciones. Los resultados obtenidos permitieron evaluar la resistencia y deformación de los componentes estructurales, así como identificar posibles puntos críticos que requieran atención especial durante el proceso de fabricación y montaje.

La Figura 23 ilustra la distribución de fuerzas y cargas en la estructura de soporte diseñada para soportar una batería de 43.54 Kg. La estructura está compuesta por perfiles angulares y tubos estructurales cuadrados, dispuestos de manera estratégica para distribuir uniformemente las cargas y minimizar las concentraciones de esfuerzos.

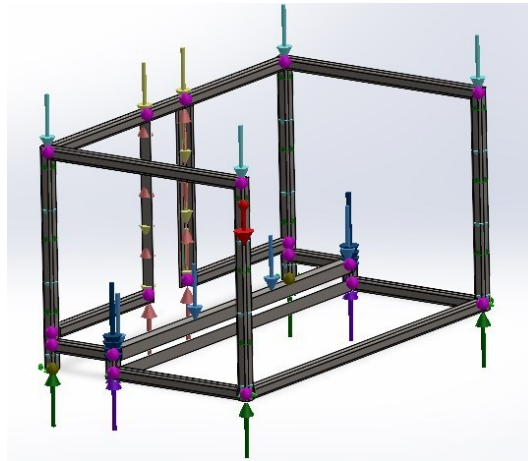


Figura 23. Distribución de fuerzas y cargas en la estructura del banco de monitoreo.

3.6.2 Simulación de la carga distribuida del peso de la batería

La simulación ilustra la aplicación de una carga distribuida de 426.692 N sobre un perfil angular de la estructura, representada por las flechas de color fucsia. Esta carga corresponde al peso de la batería que se sostiene en la parte superior de la estructura. La dirección de la flecha indica que la fuerza se aplica hacia abajo, generando una distribución de esfuerzos a lo largo del perfil angular.

La Figura 24 muestra una captura de pantalla del software SolidWorks, donde se presenta un modelo tridimensional de la estructura compuesta por perfiles angulares y tubos cuadrados. En el panel izquierdo, se pueden observar las distintas cargas externas aplicadas a la estructura, destacando la "Fuerza-1" de - 426.692 N, que representa el peso de la batería.

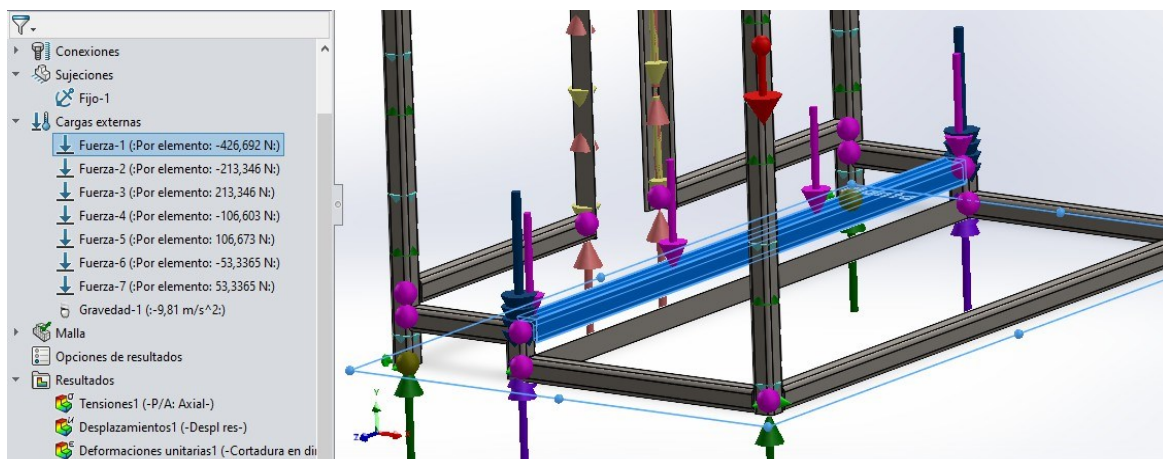


Figura 24. Distribución de Fuerza-1.

3.6.3 Simulación de las cargas compresoras en los soportes secundarios laterales

La simulación muestra un análisis estructural, donde se pueden observar las fuerzas aplicadas en diferentes puntos de la estructura. Las flechas de color celeste representan la dirección y magnitud de las fuerzas aplicadas, algunas son de compresión y otras de reacción, siendo la reacción 213.346 N en los soportes secundarios de la estructura. Las fuerzas están distribuidas simulando condiciones de carga reales, afectando tanto las direcciones axiales como transversales.

La Figura 25 presenta una captura de pantalla del software SolidWorks, donde se muestra un análisis estructural, específicamente la compresión de dos perfiles secundarios dentro de la estructura. Estos perfiles, ubicados en la parte central de la imagen, están sujetos a fuerzas compresivas, como se puede ver por las flechas azules aplicadas a los extremos de los tubos estructurales cuadrados.

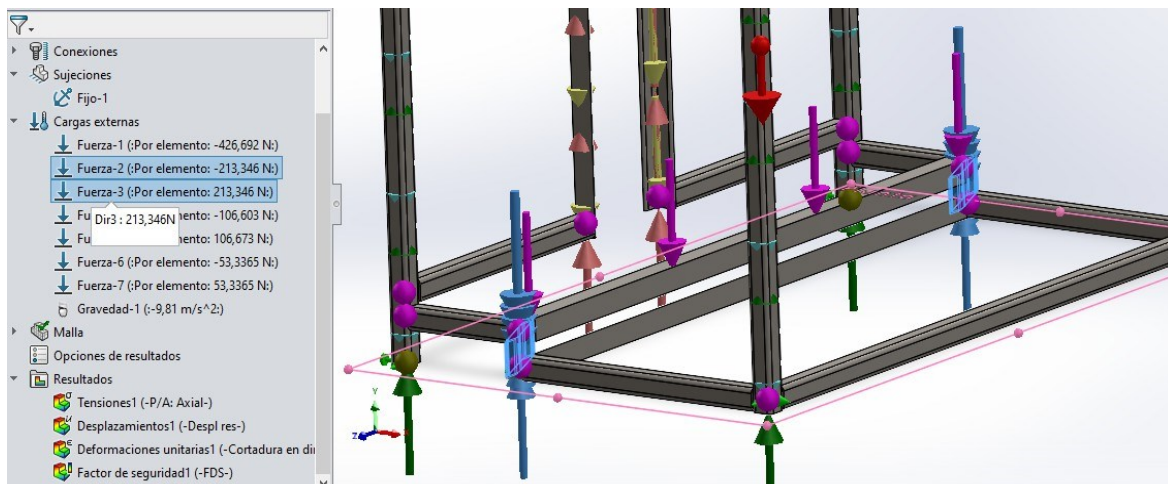


Figura 25. Distribución de Fuerza-2 y Fuerza-3.

3.6.4 Simulación de las cargas en los soportes secundarios posteriores

La simulación muestra múltiples fuerzas externas, estas fuerzas, identificadas como Fuerza-6 y Fuerza-7. La orientación de las fuerzas varía, abarcando tanto las direcciones axiales como laterales de los perfiles, lo que simula condiciones de carga realistas a las que la estructura estaría expuesta en su aplicación práctica. Las flechas de color azul representan la dirección y magnitud de las fuerzas aplicadas, algunas son de compresión y extensión, siendo la reacción 53.3365 N en los soportes de la estructura secundarios posteriores.

La Figura 26 se centra en la compresión experimental por dos perfiles secundarios ubicados en el centro de la estructura. Estos perfiles están sujetos a fuerzas compresivas, representadas por flechas celestes, que actúan en dirección longitudinal. La magnitud y distribución de estas

fuerzas son aspectos críticos para considerar en el diseño estructural, ya que los puntos de mayor concentración de carga y tensión pueden ser propensos a fallas o deformaciones excesivas.

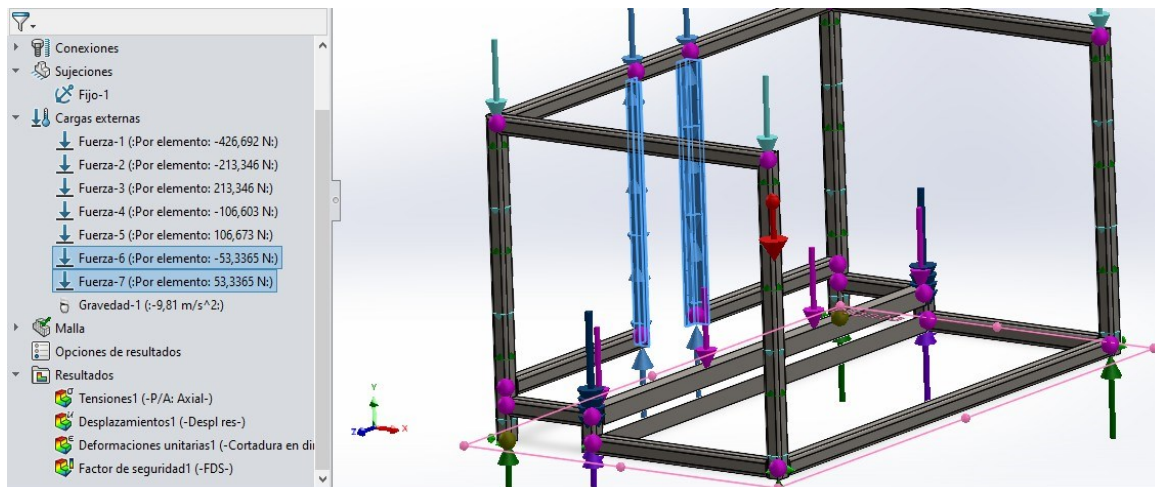


Figura 26. Distribución de Fuerza-6 y Fuerza-7.

3.6.5 Simulación de las cargas en los soportes principales

La simulación presenta un análisis estructural de una estructura metálica las fuerzas, identificadas como Fuerza-4 a Fuerza-5, tienen magnitudes expresadas en Newtons (N) y están distribuidas en diferentes direcciones, reflejando condiciones de carga realistas. Las flechas de color turquesa muestran la dirección de la fuerza, al ser soportes presentan una compresión, siendo la reacción 106.673 N en los soportes de la estructura secundarios posteriores.

La Figura 27 muestra la compresión de dos perfiles secundarios ubicados en la lateralidad de la estructura. Estos perfiles están sujetos a fuerzas compresivas, representadas por flechas de color turquesa, que aplican presión en sentido longitudinal. La correcta interpretación de estas fuerzas es crucial para asegurar la estabilidad y resistencia de la estructura.

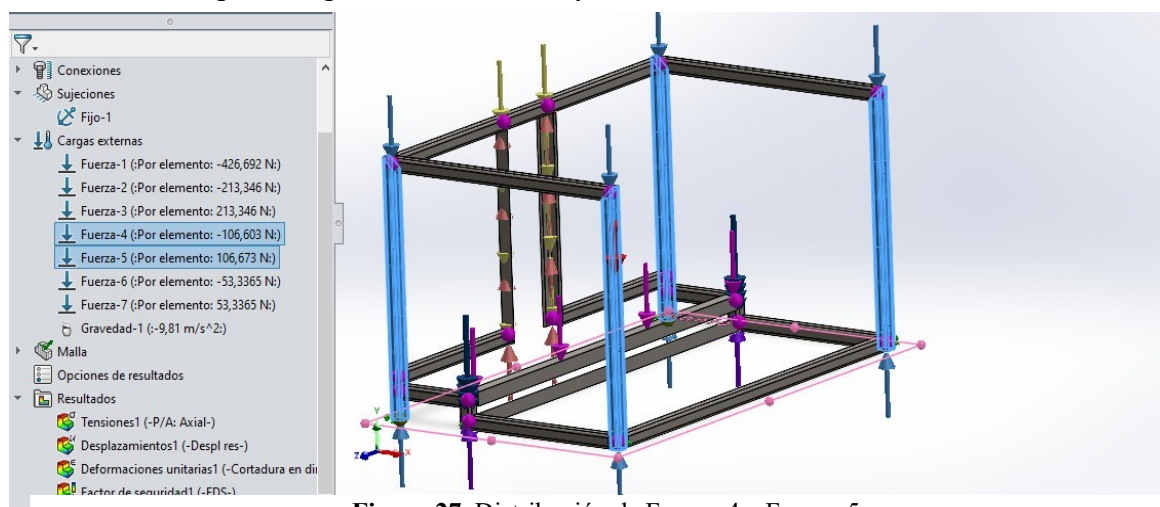


Figura 27. Distribución de Fuerza-4 y Fuerza-5.

3.6.6 Simulación de análisis de tensiones de la estructura

Se presenta un análisis de tensiones realizado en el software SolidWorks para una estructura tridimensional. El gráfico muestra la distribución de las tensiones axiales a lo largo de los diferentes elementos estructurales. Se pueden observar valores positivos y negativos de tensión, representados por una escala de tonos que va desde el azul (valores negativos) llegando al rojo (valores positivos). Los resultados del análisis de tensiones axiales, el cual revela la distribución de tensiones a lo largo de los diferentes elementos estructurales con la carga aplicada de 426.692 N.

La Figura 28 muestra una estructura tridimensional compuesta por varios elementos interconectados, formando un entramado rectangular. Se pueden distinguir vigas horizontales y verticales, así como elementos diagonales que brindan rigidez adicional a la estructura. Según el análisis de tensiones, se observa que algunos elementos están sometidos a tensiones de tracción (colores cálidos, tendiendo al rojo), mientras que otros experimentan tensiones de compresión (colores fríos, tendiendo al azul). La distribución de colores sugiere que las tensiones no son uniformes en toda la estructura, sino que varían dependiendo de la posición y orientación de cada elemento.

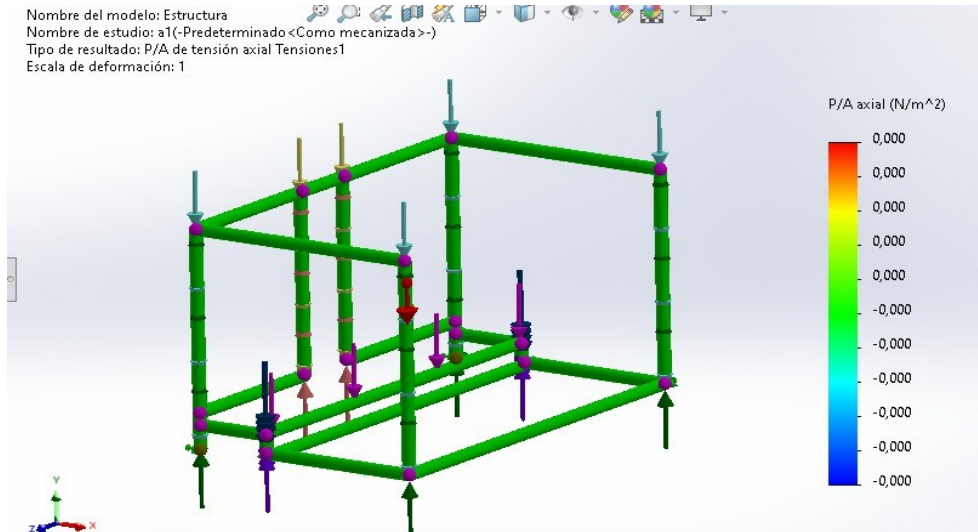


Figura 28. Análisis de tensiones.

3.6.7 Simulación del análisis de la deformación axial

Se presenta un análisis de deformación realizado en el software SolidWorks para una estructura tridimensional, muestra la distribución de las deformaciones a lo largo de los diferentes elementos estructurales bajo la acción de cargas aplicadas. Se utiliza una escala de colores para representar la magnitud de las deformaciones, donde los colores más cálidos (rojo) indican las

zonas con mayor deformación, mientras que los colores más fríos (azul) representan las áreas con menor deformación. Los resultados obtenidos permiten identificar que la mayoría de los soportes verticales y la base tiene desplazamientos mínimos, lo cual confirma la rigidez y estabilidad general de la estructura. El desplazamiento máximo obtenido es de 0.790 mm, esto indica que el desplazamiento es relativamente bajo, la distribución de desplazamientos concuerda con los cálculos previos, y se corrobora que los perfiles superan el módulo de sección necesario. Y se demuestra una vez más que la estructura demuestra suficiente rigidez para soportar el peso de la batería sin deformaciones, sin afectaciones de operación o seguridad.

La Figura 29 muestra una estructura tridimensional formada por vigas y columnas interconectadas en un arreglo rectangular. Se observa que la estructura está sometida a cargas que provocan su deformación. Según la escala de colores, las zonas con mayor deformación se concentran en los elementos horizontales superiores y en algunos puntos de conexión entre las vigas y columnas. Estas regiones se visualizan en colores cálidos, tendiendo al rojo, lo que indica una mayor magnitud de deformación. Por otro lado, las columnas verticales y algunos elementos diagonales presentan deformaciones menores, representadas por colores más fríos, como el azul.

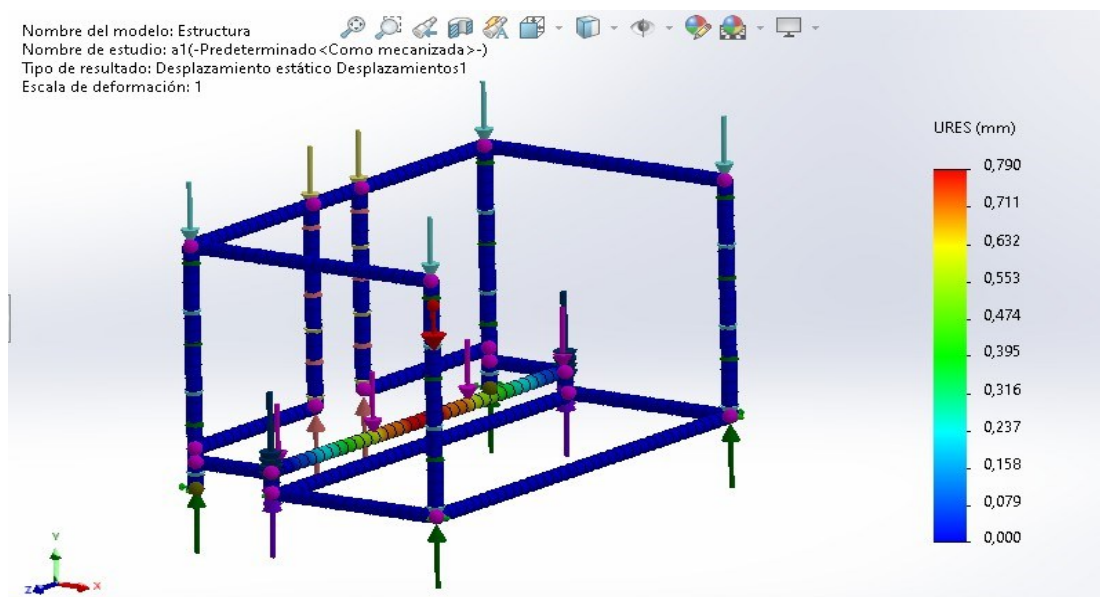


Figura 29. Análisis de deformación.

3.6.8 Simulación del análisis de factor de seguridad de la estructura

Se presenta un análisis del factor de seguridad (FDS) realizado en el software SolidWorks para una estructura tridimensional. El factor de seguridad es un indicador que muestra la capacidad de una estructura para soportar cargas sin fallar, considerando las incertidumbres y variabilidades en las características de los materiales, las cargas aplicadas y la capacidad de

operación. En el análisis por colores, los tonos cálidos como el rojo y el naranja señalan áreas con un factor de seguridad menor, mientras que los tonos fríos como el verde y el azul indican zonas con un factor de seguridad más elevado. El propósito es asegurar que la estructura en su totalidad mantenga un factor de seguridad por encima del mínimo aceptable, generalmente superior a 1, para prevenir fallos bajo las condiciones de carga esperadas. En este caso, se ha obtenido un factor de seguridad de 1,2, cumpliendo así con el objetivo propuesto.

La Figura 30 muestra que, según el análisis del factor de seguridad, se observa una distribución variada de colores en los diferentes elementos estructurales. Las columnas verticales y algunas vigas presentan colores fríos, como el azul y el verde, lo que indica un factor de seguridad relativamente alto en esas regiones. Por otro lado, ciertas vigas horizontales y puntos de conexión muestran colores más cálidos, tendiendo al rojo y al naranja, lo que sugiere un factor de seguridad más bajo en esas áreas. La escala adjunta proporciona una referencia numérica para interpretar los valores del factor de seguridad, donde un valor de 1 representa el límite por debajo del cual la estructura podría fallar.

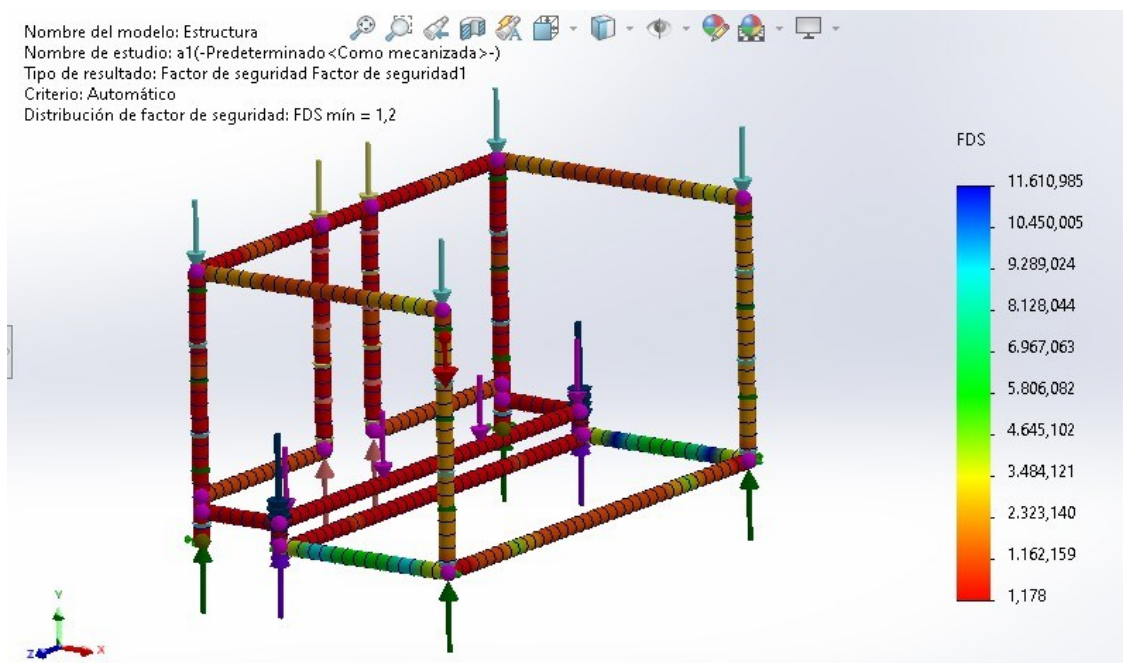


Figura 30. Análisis de factor de seguridad.

3.7 Diseño electrónico

El diseño electrónico del banco de monitoreo de voltaje se realizó mediante software de ingeniería especializado: Proteus, versión 8.13 y Arduino IDE, versión 2023. Estos programas son ampliamente utilizados en el diseño y programación de proyectos electrónicos. Además, se

utilizó como referencia el manual de mantenimiento para las baterías 539-CH1 y 5319CH1, del cual se consideró específicamente el mantenimiento de tipo Overhaul.

3.7.1 Circuito electrónico en Proteus.

El circuito electrónico esquemático muestra una disposición de los diversos elementos del circuito, incluyendo el microcontrolador ESP32 como unidad central de procesamiento, una pantalla LCD para la visualización de datos, múltiples sensores de voltaje para la medición precisa de los parámetros de las baterías, y diversos componentes periféricos de acondicionamiento de señal. Esta configuración permite una integración eficiente de todos los componentes necesarios para el monitoreo y control del sistema.

La Figura 31 presenta una vista completa del circuito electrónico diseñado en Proteus. Se pueden observar múltiples componentes interconectados, incluyendo el microcontrolador ESP32, la pantalla LCD, los sensores de voltaje, y otros elementos periféricos. Esta disposición permite una visualización clara de cómo los diferentes componentes se relacionen entre sí para formar el sistema de monitoreo completo.

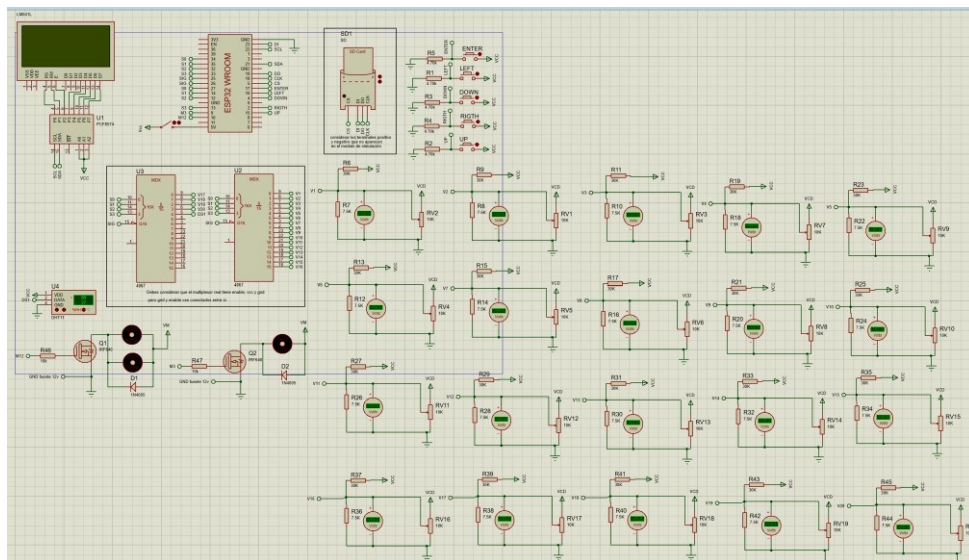


Figura 31. Esquema completo del circuito electrónico del banco en Proteus.

Los componentes electrónicos principales son:

- **ESP32:** Se seleccionó este microcontrolador por su gran cantidad de pines analógicos y digitales, lo que permite controlar y monitorizar varias variables simultáneamente. Su versatilidad se amplía aún más con el uso de multiplexores, que aumentan efectivamente el número de entradas analógicas disponibles. Esta elección permite una mayor flexibilidad en el diseño y capacidad de expansión futura.

La Figura 32 muestran en detalle la placa ESP32 y la distribución de sus pines en el contexto del circuito general. Se puede apreciar las conexiones específicas a otros componentes del sistema, ilustrando cómo este microcontrolador actúa como el cerebro central del dispositivo de monitoreo.

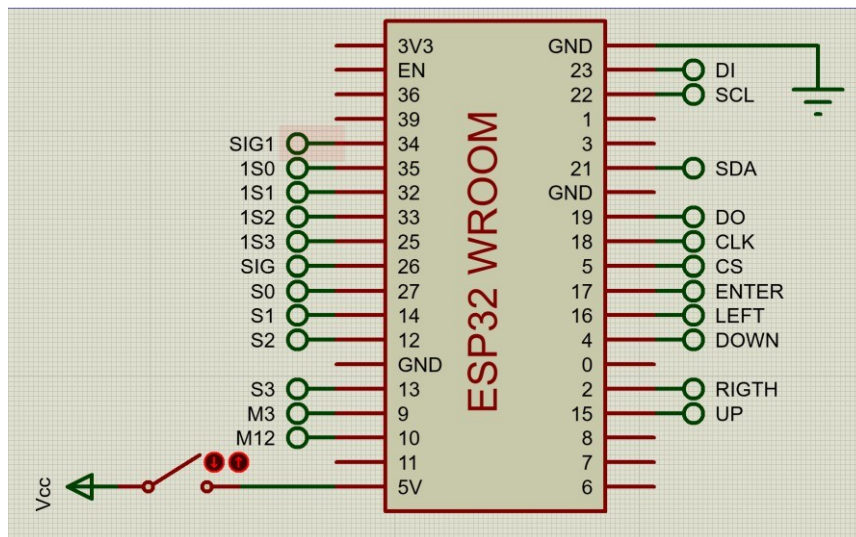


Figura 32. Disposición y conexión de pines del microcontrolador ESP32 en el circuito de monitoreo.

- **LCD con I2C:** Esta pantalla utiliza para mostrar un menú interactivo que permite al usuario seleccionar entre diferentes opciones de carga y descarga. Estas opciones corresponden a los procedimientos especificados en el manual de mantenimiento Overhaul para baterías de Ni-Cd tipo 539-CH1 y 5319CH1. La interfaz I2C simplifica las conexiones y reduce el número de pines necesarios.

En la Figura 33 muestra el módulo de pantalla LCD con el adaptador I2C integrado, tal como se representa en el software Proteus. Este componente es crucial para la interfaz de usuario, permitiendo una interacción clara y directa con el sistema de monitoreo. La representación en Proteus permite verificar las conexiones y simular el funcionamiento de la pantalla antes de la implementación física.

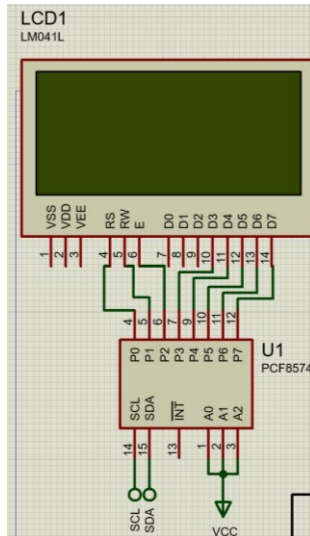


Figura 33. Módulo LCD con adaptador I2C integrado para la interfaz de usuario.

- **Sensores de voltaje:** Estos sensores, mediante una ecuación de acondicionamiento para los datos que se reciben del serial, permiten medir el voltaje real obtenido del sensor. Esta precisión es esencial para el monitoreo exacto de las celdas de la batería.

La Figura 34 ilustra la posición de los 20 captadores de voltaje en el circuito Proteus. Para simplificar la simulación, estos sensores se han representado como resistencias. Esta configuración permite emular el comportamiento de los sensores reales en un entorno de simulación, facilitando la prueba y ajuste del sistema antes de su implementación física.

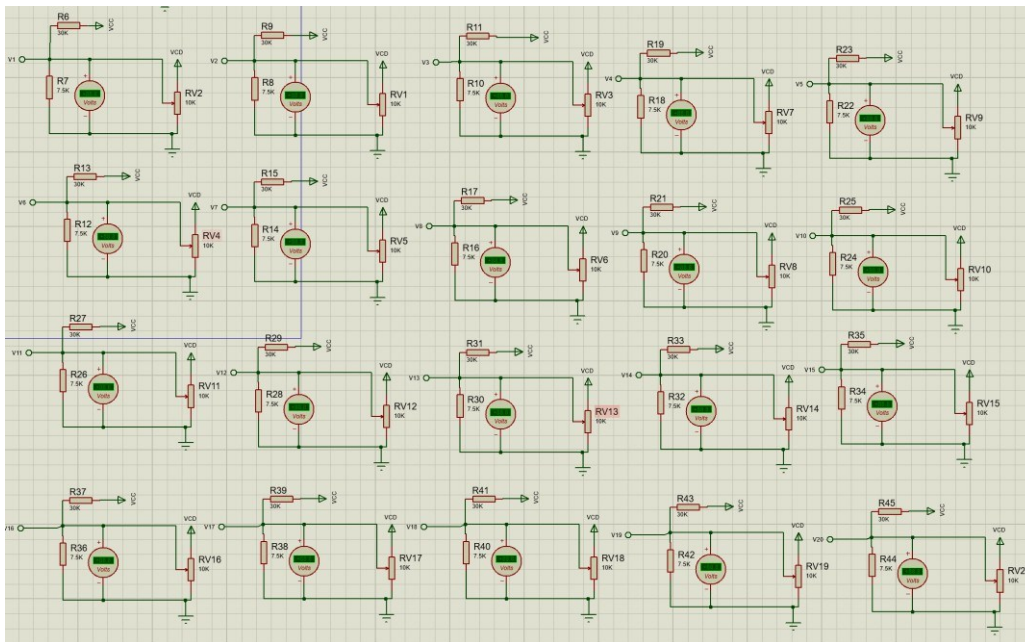


Figura 34. Representación de los sensores de voltaje mediante resistencias en el entorno de simulación.

- **Lector microSD:** Este componente es esencial para el almacenamiento de datos. Permite registrar la información obtenida durante el proceso de monitoreo, guardando los datos según la opción de mantenimiento seleccionada, en concordancia con las especificaciones del manual de mantenimiento de las baterías.

En la Figura 35 muestra el módulo lector microSD tal como se representa en Proteus. Este componente es crucial para la funcionalidad de registro de datos del sistema, permitiendo almacenar grandes cantidades de información para posterior análisis. La simulación en Proteus permite verificar la correcta comunicación entre el microcontrolador y el módulo de almacenamiento.

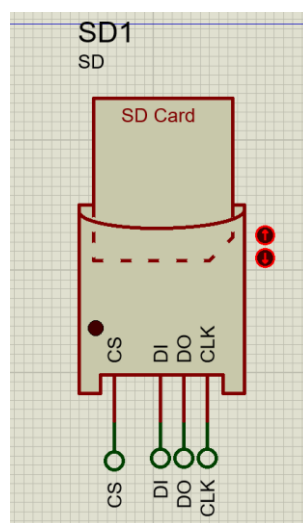


Figura 35. Módulo lector microSD para almacenamiento de datos de monitoreo.

- **Ventiladores, extractor y sensor de temperatura:** Este conjunto de componentes forma el sistema de control térmico del banco de monitoreo. Trabajan en conjunto para regular la temperatura interna del dispositivo, asegurando que se mantenga dentro de los rangos especificados en la guía del acumulador energético.

La Figura 36 muestra la representación en Proteus de los ventiladores, el extractor y el sensor de temperatura. Estos componentes están estratégicamente colocados para asegurar una distribución y control eficiente del calor dentro del banco de monitoreo. La simulación permite optimizar la ubicación y el funcionamiento de estos elementos críticos para el control térmico.

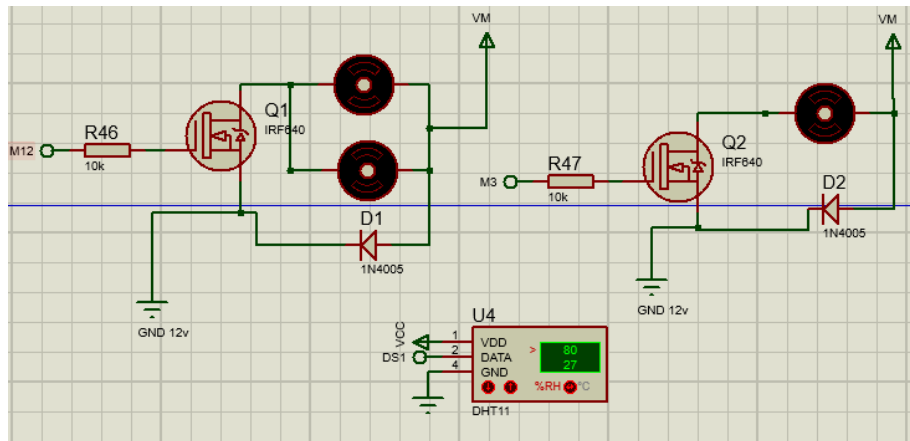


Figura 36. Motores para transferencia de calor, extractor y sensor de temperatura en Proteus.

- Pulsadores:** Estos componentes permiten la navegación a través del menú del sistema y la selección de las diferentes opciones de mantenimiento. Su implementación facilita una interacción intuitiva del usuario con el dispositivo, permitiendo seleccionar las opciones adecuadas según la etapa de mantenimiento requerida por el manual de la batería.

La Figura 37 ilustra la conexión de los pulsadores en una configuración pull-down en Proteus. Esta configuración asegura una lectura estable de los botones, evitando lecturas erróneas debido a ruido eléctrico o fluctuaciones en la señal. La simulación en Proteus permite verificar la respuesta del sistema a las entradas del usuario.

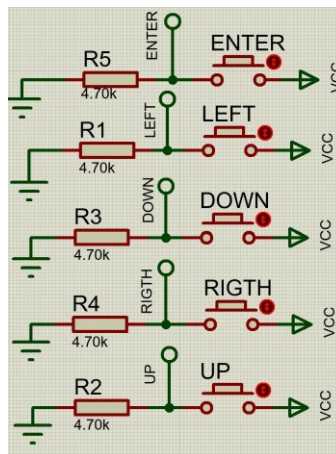


Figura 37. Configuración pull-down de los pulsadores para la navegación del menú.

3.7.2 Conexión con descripción de cada pin de la placa

En esta sección, se detalla la función de cada pin utilizado en el ESP32, proporcionando una visión clara de cómo el microcontrolador interactúa con los diversos componentes del sistema.

- **Conexión multiplexores:** Se muestra los pines del ESP32 conectados a los multiplexores. Estos componentes son cruciales para expandir la capacidad de lectura analógica del microcontrolador, permitiendo monitorear múltiples celdas de la batería y el sensor de temperatura con un número limitado de pines analógicos. Esta configuración optimiza el uso de los recursos del microcontrolador.

La Figura 38 ilustra la configuración de pines del ESP32 dedicados a la comunicación de los multiplexores. Se pueden observar las conexiones específicas que permiten al microcontrolador controlar la selección de canales y leer las señales multiplexadas.

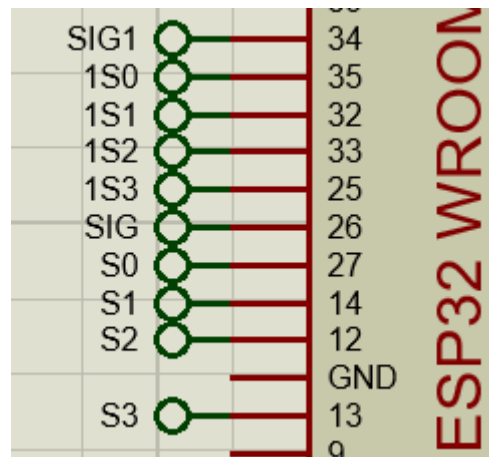


Figura 38. Esquema de conexiones entre el ESP32 y los multiplexores para la expansión de entradas analógicas.

La Figura 39 muestra los multiplexores analógicos U3 y U2, modelo 4067, son componentes clave en el mecanismo de captura de información del banco de monitoreo de baterías. Cada dispositivo integra 16 canales de entrada, permitiendo la selección y muestreo secuencial de múltiples señales de voltaje a través de una única salida. Con pines de control digital (S0-S3) para la selección de canales y un pin común SIG para la entrada/salida de señales, estos multiplexores optimizan eficientemente la medición de voltajes en las diversas celdas de la batería, reduciendo la complejidad del circuito y mejorando la precisión del monitoreo al centralizar la adquisición de datos en el microcontrolador.

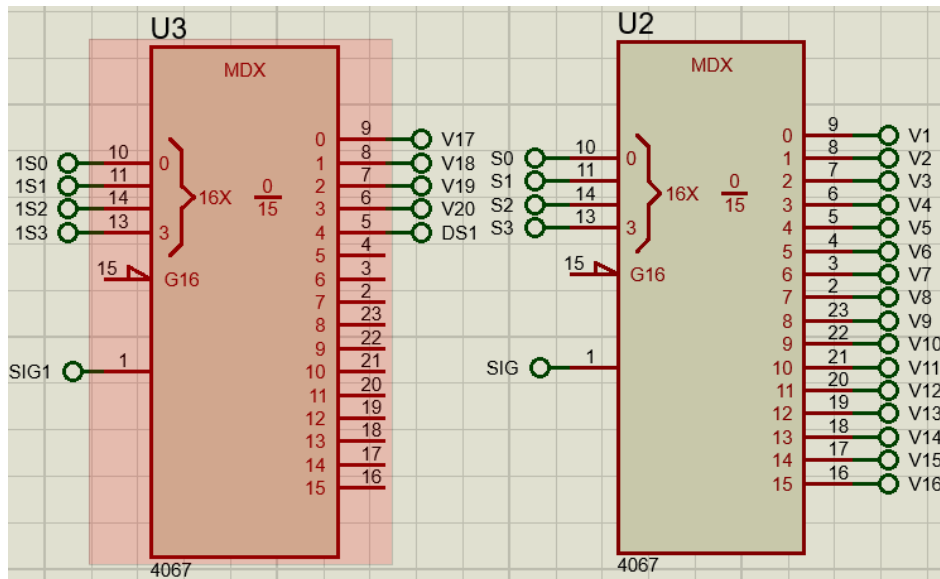


Figura 39. Distribución de pines y configuración de los multiplexores para la adquisición de múltiples señales.

- **Conexión pulsadores:** Se detalla los pines del ESP32 conectados a los pulsadores que son esenciales para la interacción del usuario con el sistema. Esta configuración facilita la navegación y el control del sistema de monitoreo de baterías.
 - **Enter:** Realiza la selección de la opción deseada en el menú actual.
 - **Left:** Permite retroceder al nivel anterior del menú.
 - **Down:** Facilita el desplazamiento hacia abajo en las opciones del menú.
 - **Right:** Avanza el siguiente nivel del menú.
 - **Up:** Permite el desplazamiento hacia arriba en las opciones del menú.

La Figura 40 muestra la asignación de pines del ESP32 para cada uno de los pulsadores. Esta configuración permite una navegación intuitiva y eficiente a través del sistema de menús del dispositivo, facilitando la navegación y el control del sistema de monitoreo de baterías. Los pines seleccionados están estratégicamente asignados para optimizar la respuesta y la gestión de interrupciones, asegurando una interfaz de usuario ágil y receptiva en el banco de monitoreo, asegura que los operadores puedan navegar, configurar y controlar el sistema de monitoreo con facilidad y precisión, mejorando significativamente la usabilidad y eficiencia operativa del dispositivo.

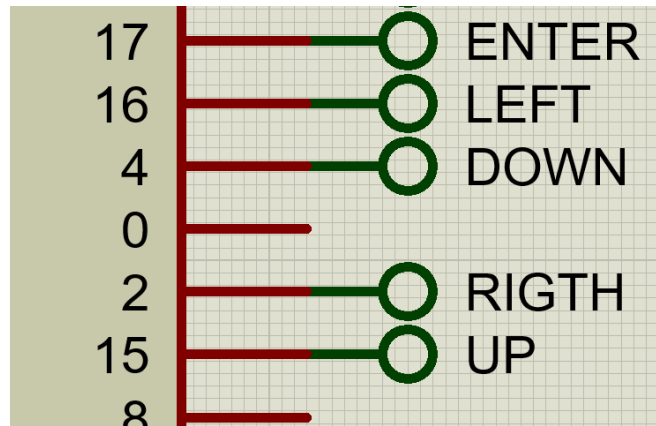


Figura 40. Asignación de pines del ESP32 para pulsadores de control del sistema.

- **Conexión I2C y lector microSD:** Las conexiones del módulo I2C para el control del LCD y del lector de microSD. El bus I2C, conectado a los pines SDA y SCL del ESP32, facilita la comunicación eficiente con la pantalla LCD. El lector microSD, conectado al ESP32 mediante el bus SPI, proporciona una capacidad de almacenamiento esencial para registrar los datos de monitoreo de baterías.

La Figura 41 detalla las conexiones del bus I2C (pines SDA y SCL) al ESP32, que controlan la pantalla LCD. También se muestran las conexiones del lector de microSD, esencial para el almacenamiento de datos. Esta configuración permite una comunicación eficiente con la pantalla y un registro confiable de los datos de monitoreo.

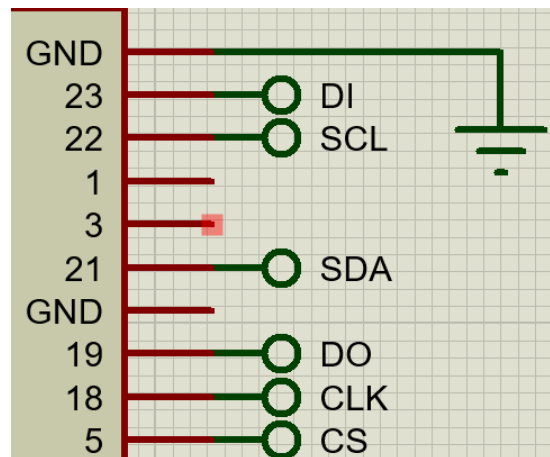


Figura 41. Conexión del módulo I2C y del lector de microSD al ESP32.

- **Conexión motores:** La conexión de los motores en el banco de monitoreo es un aspecto crucial para el control térmico del sistema. Los pines del ESP32 están conectados a MOSFETs que controlan los motores del sistema de enfriamiento, permitiendo una regulación precisa de la velocidad basada en las lecturas del sensor de temperatura.

La Figura 42 ilustra cómo los pines 9 y 10 del ESP32 se conectan a los MOSFETs que controlan los motores del sistema de enfriamiento. El control de velocidad de estos motores se basa en la señal del sensor de temperatura, permitiendo una regulación térmica eficiente. Además, se muestra la conexión del switch principal en el pin de cinco voltios, que permite encender o pagar todo el sistema.

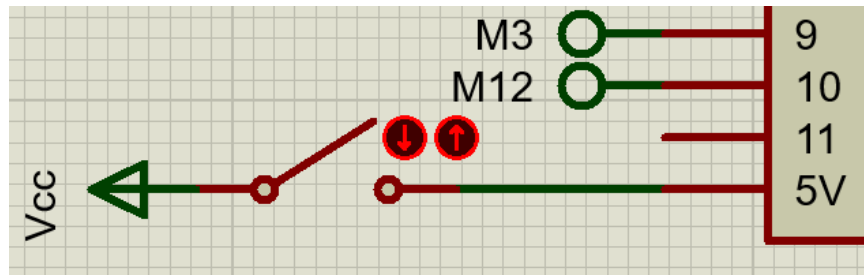


Figura 42. Esquema de conexión de los motores de control térmico y el switch de encendido al ESP32.

3.7.3 Diagrama de flujo del monitoreo de voltaje

El diagrama de flujo del monitoreo de voltaje proporciona una representación visual clara y concisa del proceso operativo del banco de monitoreo de baterías níquel-cadmio. Este diagrama ilustra la secuencia lógica de operaciones, desde la inicialización del sistema hasta los procesos específicos de carga y descarga, incluyendo las etapas críticas de monitoreo de voltaje y control de temperatura. Su diseño está cuidadosamente alineado con los parámetros especificados en el manual de mantenimiento Overhaul para las baterías 539-CH1 y 5319CH1, asegurando una adherencia estricta a los protocolos establecidos.

La Figura 43 presenta el diagrama de flujo completo del sistema de monitoreo. Este esquema detallado ilustra el flujo de decisiones y acciones que el sistema ejecuta durante su operación. Comenzando con la inicialización, el diagrama muestra cómo el sistema navega a través de diferentes etapas, incluyendo la selección de modo de operación, el monitoreo continuo de voltajes y temperaturas, y las acciones correctivas en caso de detectar anomalías. Las ramificaciones y bucles en el diagrama reflejan la capacidad del sistema para adaptar su funcionamiento según las condiciones detectadas, asegurando un monitoreo preciso y seguro de las baterías en todo momento.

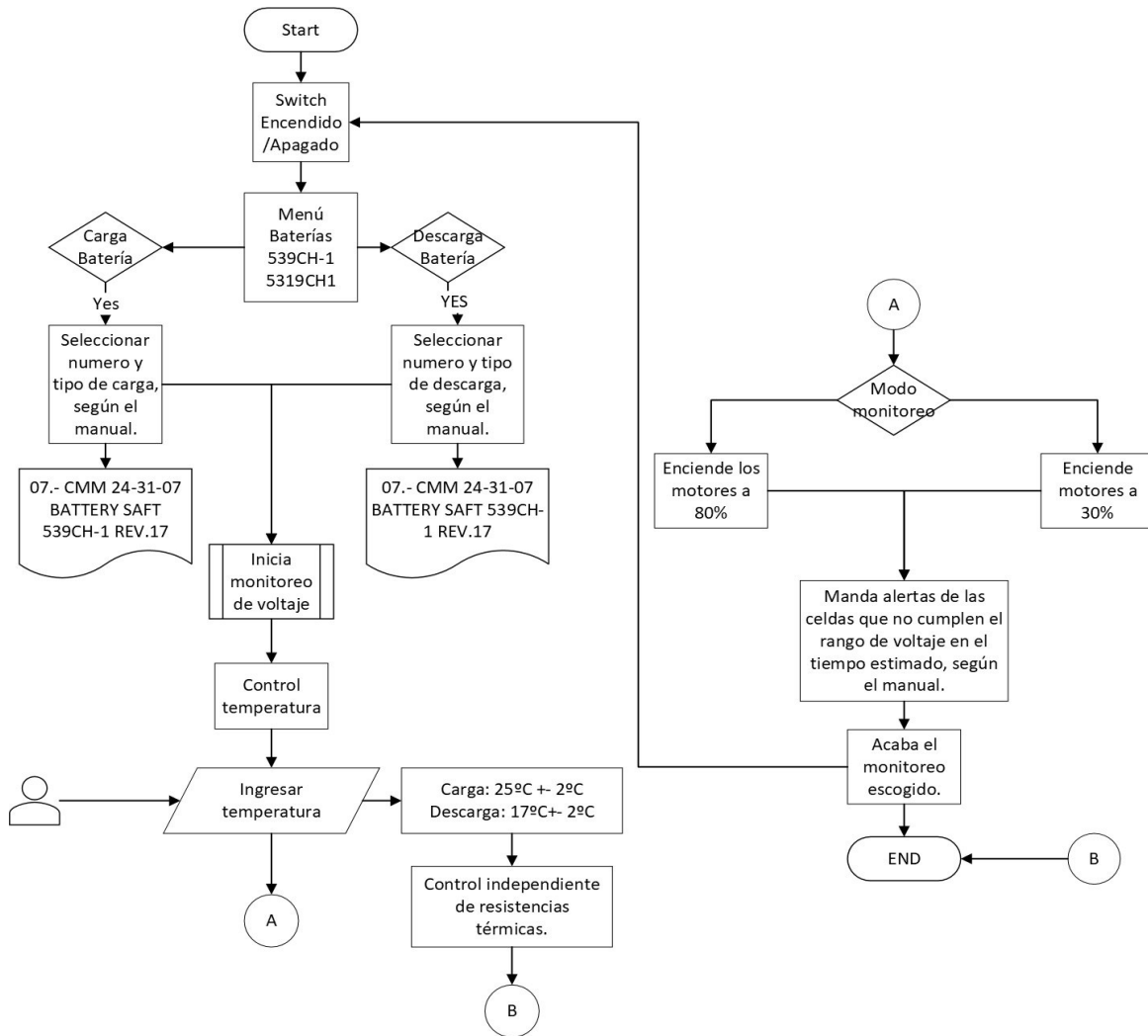


Figura 43. Diagrama de flujo del proceso de monitoreo de voltaje y control térmico.

3.8 Circuito simulado

En esta sección, se describe la simulación del circuito utilizado un Arduino Mega2560 en lugar del ESP32, debido a las limitaciones en librerías disponibles para Proteus. Esta adaptación permite realizar una simulación efectiva del sistema, manteniendo la funcionalidad esencial del diseño original.

La Figura 44 muestra la pantalla de bienvenida que se presenta al usuario al iniciar el sistema. Esta interfaz inicial proporciona una indicación clara de que el dispositivo está listo para su uso.

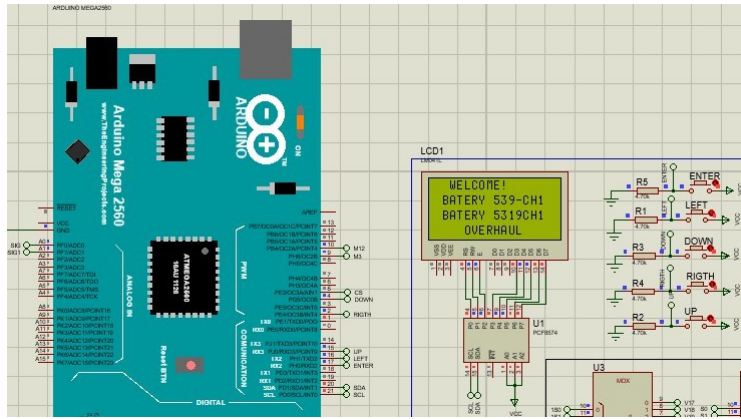


Figura 44. Pantalla de bienvenida en el LCD al iniciar el sistema de monitoreo.

La Figura 45 ilustra el menú de selección donde el usuario puede escoger el tipo de monitoreo a realizar. Las opciones presentadas corresponden a las diferentes etapas de mantenimiento especificadas en el manual.

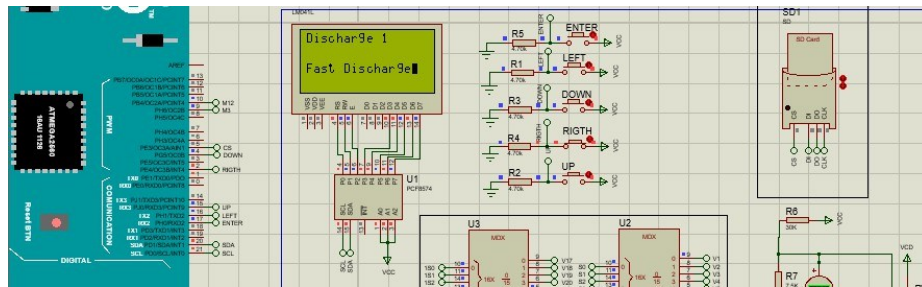


Figura 45. Menú de selección para el tipo de monitoreo a realizar.

La Figura 46 muestra cómo se visualizan las alertas en el LCD durante el proceso de monitoreo. Estas alertas informan al usuario sobre sensores que detectan voltajes fuera del rango establecido o problemas potenciales durante el proceso de mantenimiento.

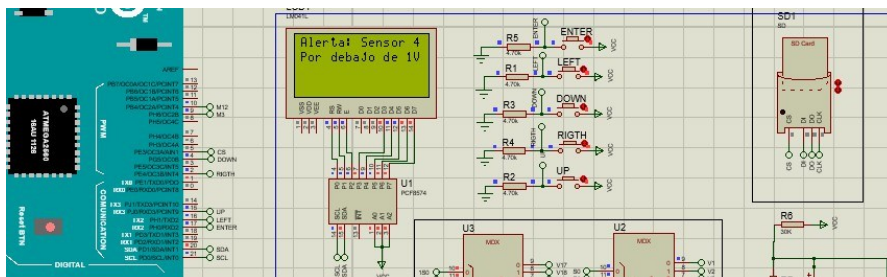


Figura 46. Visualización de alertas en el LCD durante el proceso de monitoreo.

La Figura 47 muestra el diseño 3D de la PCB para el banco de monitoreo. Se aprecia una placa verde con componentes representados en diversos colores y formas. A la izquierda se observan borneras para conexiones externas, mientras que en el centro y derecha destacan los multiplexores analógicos. Las pistas de conexión forman un intrincado patrón en ambas caras de la placa. En la parte inferior, un área rectangular indica la ubicación del microcontrolador ESP32. Esta visualización 3D facilitó la verificación del diseño previo a la fabricación.

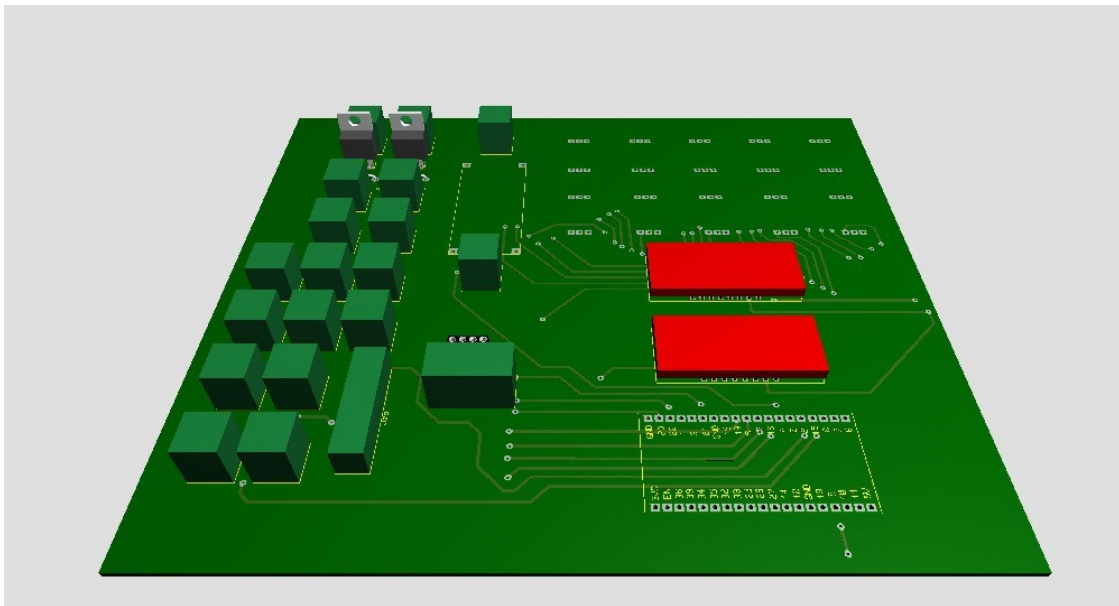


Figura 47. Simulación de la placa PCB en Proteus (3D Visualizer).

3.8.1 Simulación de flujo de aire en el banco de monitoreo

Esta simulación en Ansys DISCOVERY ofrece una visión detallada de la distribución térmica dentro del banco de monitoreo. Esta simulación proporciona una visualización detallada de cómo el aire circula dentro del banco de monitoreo. Las zonas de color azul y verde indican áreas de baja velocidad, posiblemente cerca de las paredes o en regiones de estancamiento. Las áreas amarillas y rojas muestran zonas de alta velocidad, probablemente cerca de las entradas de flujo o en canales de circulación principales. Esta distribución de velocidades es crucial para entender cómo se distribuye el calor y se mantiene la temperatura uniforme alrededor de las baterías monitoreadas. La simulación ayuda a optimizar el diseño del sistema de enfriamiento, asegurando una circulación de aire eficiente y una regulación térmica adecuada para el correcto funcionamiento de las baterías de níquel-cadmio durante los procesos de carga y descarga

La Figura 48 muestra una simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD) del flujo de aire dentro del banco de monitoreo, realizada utilizando el programa Ansys DISCOVERY con el método de Fluid Flow. La escala de colores en el lado derecho indica la magnitud de la

velocidad del flujo, que va desde 0 m/s (azul) hasta 35.5 m/s (rojo). Se pueden observar dos entradas de flujo (Flow Inlet 10 y 11) con una velocidad de entrada de 35 m/s a 25°C, y una salida de flujo (Flow Outlet 12) con una velocidad de 25 m/s.

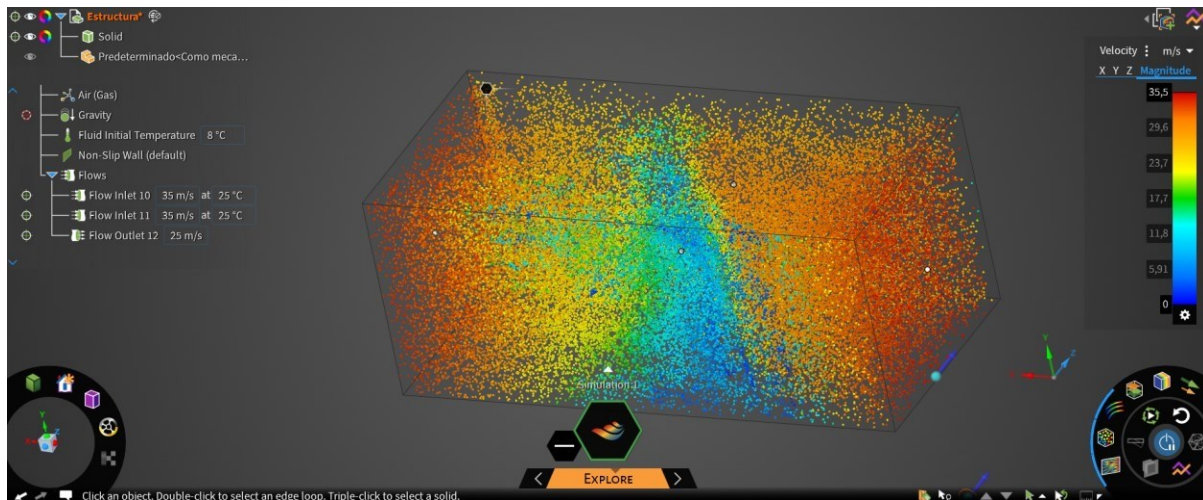


Figura 48. Simulación CFD del flujo de aire en el banco de monitoreo (velocidad).

La predominancia del color azul indica que la mayor parte del volumen se mantiene cerca de los 25°C, lo cual es crucial para el funcionamiento óptimo de las baterías de níquel-cadmio. Las áreas con tonos verdes y amarillos, especialmente visibles en el centro de la estructura, sugieren zonas de ligero calentamiento, posiblemente debido a la presencia de las baterías o componentes electrónicos. Esta distribución térmica relativamente uniforme demuestra la eficacia del sistema de enfriamiento diseñado. La precisión proporcionada permite una evaluación detallada de la transferencia de calor y la eficiencia térmica del sistema, lo cual la información es crucial para asegurar el desempeño y durabilidad de los acumuladores en ciclos de energización y vaciado.

La Figura 49 ofrece un modelo numérico de mecánica de fluidos (CFD) de la distribución de temperatura en el banco de monitoreo, realizada utilizando el programa Ansys DISCOVERY con el método de Fluid Flow. Esta visualización tridimensional muestra cómo se distribuye la temperatura dentro del banco mediante una representación de partículas coloreadas. La escala de colores en el lado derecho indica la temperatura, que va desde 24.9°C (azul) hasta 25.2°C (rojo). Se observan dos entradas de flujo (Flow Inlet 10 y 11) con una velocidad de entrada de 30 m/s a 25°C, y una salida de flujo (Flow Outlet 12) a 25 m/s. La temperatura inicial del fluido se establece en 8°C, proporcionando un punto de partida para el análisis térmico.

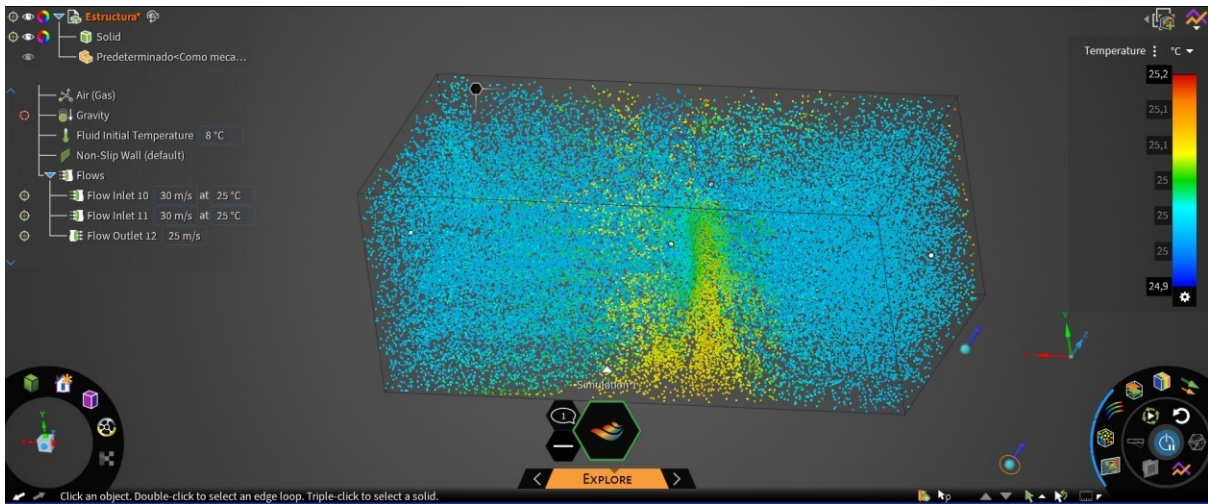


Figura 49. Simulación CFD del flujo de aire en el banco de monitoreo (temperatura).

3.9 Control PID externo de las resistencias térmicas industriales

El control PID (Proporcional, Integral, Derivativo) fue seleccionado para la gestión de la transferencia de calor en el banco de monitoreo de baterías níquel-cadmio. Esta elección se fundamenta en la necesidad de mantener temperaturas constantes y precisas durante los procesos de carga y descarga, según lo estipulado en el manual de mantenimiento. Las especificaciones térmicas son:

- Durante el monitoreo del proceso de descarga: $15^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.
- Durante el monitoreo del proceso de carga: $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.

Para implementar el control PID de las resistencias térmicas industriales, se optó por el controlador CH-102. Este dispositivo inteligente se caracteriza por su capacidad para manejar altas corrientes y ofrece modos de control PID y ON/OFF. La selección de este controlador se justifica por la elevada corriente que circula por las resistencias, que, según las pruebas realizadas, alcanza 12.8 A, superando las capacidades de controladores electrónicos convencionales.

La Figura 50 muestra el proceso de medición de la corriente consumida por las resistencias térmicas en el banco de monitoreo de baterías níquel-cadmio. Se observa una mano sosteniendo una pinza amperimétrica Fluke, que está midiendo la corriente que fluye a través del cable conectado a una barra metálica perforada. Esta barra aloja las resistencias térmicas, visibles por su color rojo incandescente, indicando que están en funcionamiento. Un ventilador de enfriamiento se aprecia en la parte superior de la estructura, contribuyendo al control térmico del sistema. La lectura en la pinza amperimétrica muestra un valor de 12.8 A, confirmando el

alto consumo de corriente de las resistencias y justificando la elección del controlador CH-102 para manejar estas cargas elevadas.



Figura 50. Medición de corriente en las resistencias térmicas del banco de monitoreo.

Para implementar el control PID de las resistencias térmicas industriales, que optó por el controlador CH-102. Este dispositivo inteligente se caracteriza por su capacidad para manejar altas corrientes y ofrece modos de control PID y ON/FF. La selección de este controlador se justifica por la elevada corriente que circula por las resistencias, que, según las pruebas realizadas, alcanza los 12.8 A, superando las capacidades de controladores electrónicos convencionales.

La configuración del sistema de control incluye:

- Un relé de estado sólido (SSR) conectado en serie con la carga (dos resistencias en serie) y la alimentación de 110 V.
- Conexiones a los pines 4, 5 y 6 del controlador CH-102, como se ilustra en la Figura 51.
- Una termocupla tipo K como sensor de temperatura, proporcionando retroalimentación al sistema. Esta se conecta a los pines 11 y 12 del controlador.

El controlador CH-102 ofrece varios modos de operación dentro del paradigma de control PID:

- **Auto-turning:** Realiza una sintonización automática basada en el rango de temperatura y el valor deseado ingresados.
- **PID manual:** Permite la introducción manual de los parámetros K_p , T_i y T_d , facilitando también la implementación de controles de PI y PD.

Para optimizar el rendimiento del sistema, se llevó a cabo un proceso de caracterización experimental utilizando las resistencias térmicas y un sensor de temperatura adicional conectado a un microcontrolador. Los datos obtenidos se utilizaron para generar un modelo matemático del sistema, que posteriormente se empleó en MATLAB para la sintonización precisa de los parámetros K_p , T_i y T_d . Estos valores optimizados se ingresaron manualmente en el controlador CH-102 para asegurar un control térmico preciso y eficiente.

La Figura 51 presenta el esquema detallado de conexiones para el controlador CH102, un dispositivo crucial en el sistema de control térmico del banco de monitoreo de baterías níquel-cadmio. El diagrama se divide en tres secciones principales:

- **Power terminals:** Muestra las opciones de alimentación para el controlador, incluyendo configuraciones AC de 24V y 100 a 240V.
- **Control output terminals:** Ilustra las diversas opciones de salida de control, incluyendo conexiones para SSR (relé de estado sólido), triac, y relé mecánico. Estas opciones permiten la conexión flexible con diferentes dispositivos de control, como las resistencias térmicas en nuestro caso.
- **Input terminals:** Detalla las entradas disponibles para diferentes tipos de sensores, incluyendo entradas de corriente, voltaje, RTD (detector de temperatura resistivo) y TC (termopar). En nuestro sistema, se utiliza la entrada TC para la termocupla tipo K.

El diagrama también muestra la numeración de los pines, facilitando la correcta conexión de los componentes del sistema de control térmico. Esta información es esencial para la implementación precisa del control PID de temperatura en el banco de monitoreo, asegurando el mantenimiento de las condiciones térmicas óptimas para las baterías durante los procesos de carga y descarga.

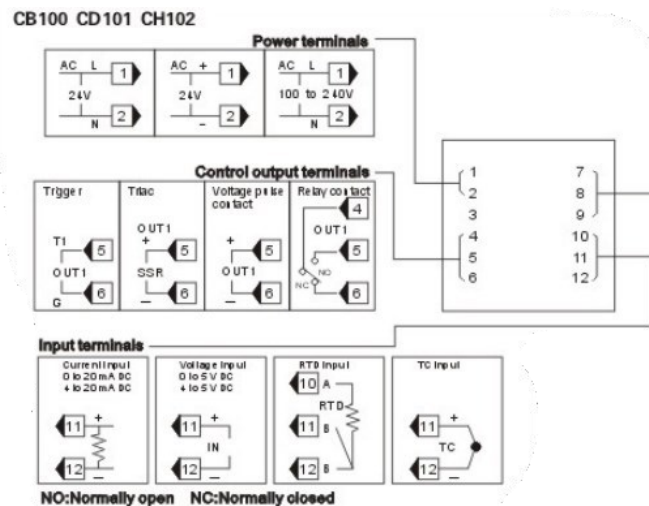


Figura 51. Diagrama de conexiones del controlador CH102 para control de temperatura [49].

Este sistema de control PID implementado para las resistencias térmicas es fundamental para mantener las condiciones óptimas de operación de las baterías níquel-cadmio. La precisión en el control de temperatura es crucial para la eficiencia y longevidad de las baterías, así como para la seguridad del proceso de carga y descarga. La implementación de este sistema sofisticado de control térmico demuestra el enfoque integral y la atención al detalle en el diseño del banco de monitoreo.

3.9.1 Importación y análisis inicial de datos

Para iniciar el proceso de control PID en el banco de monitoreo de temperatura, es crucial importar los datos adquiridos a MATLAB. Posteriormente, estos se transfieren a la aplicación System Identification, una herramienta especializada que facilita la obtención de la función de transferencia del sistema. Un aspecto crítico que considerar es el tiempo de muestreo (sample time), que representa el intervalo entre cada adquisición de datos. Este parámetro es fundamental para la precisión del modelo y la posterior sintonización del controlador.

La Figura 52 muestra la interfaz de importación de datos en MATLAB para el análisis de sistemas de control. Se observa la configuración para señales en el dominio del tiempo, con "Voltaje" como entrada y "Temperatura" como salida. Los datos se nombran "mydata", con un tiempo de inicio de 1 y un tiempo de muestreo de 0.5 segundos. Esta configuración es para el

correcto procesamiento de los datos experimentales en el análisis y diseño del sistema de control de temperatura.

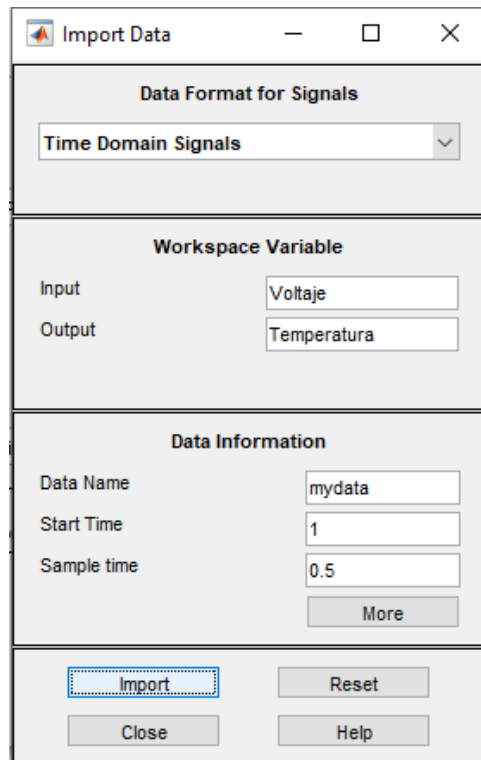


Figura 52. Importación de datos en System Identification

3.9.2 Visualización y análisis de datos

Una vez importados los datos, es esencial realizar una inspección visual de los mismos. La opción "Time Plot" en System Identification permite generar una representación gráfica de los datos de la planta.

La Figura 53 muestra dos gráficos de series temporales relacionados con un sistema de control. El gráfico superior representa la señal de salida (temperatura), mostrando una respuesta típica de un sistema de primer orden con un tiempo muerto inicial, seguido de un aumento gradual hasta alcanzar un estado estable con ligeras oscilaciones. El gráfico inferior muestra la señal de entrada (voltaje), caracterizada por un cambio brusco tipo escalón alrededor del tiempo 100. Esta visualización permite analizar la dinámica del sistema, incluyendo su tiempo de respuesta, sobrepaso y estabilidad final.

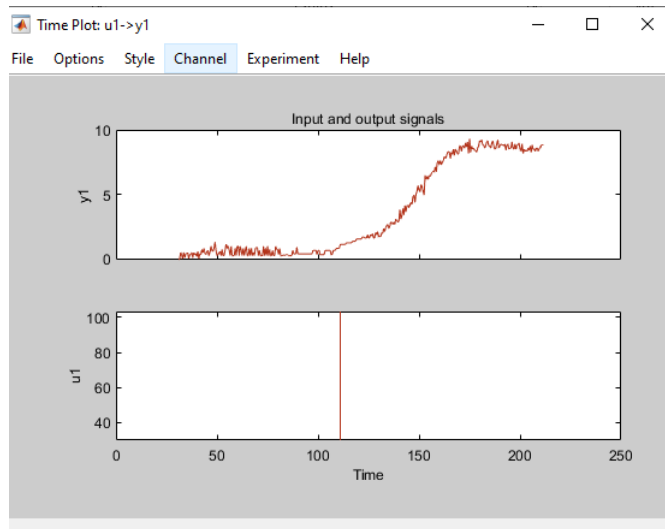


Figura 53. Grafica de datos importados.

3.9.3 Estimación de la función de transferencia

La estimación de la función de transferencia es un paso crítico en el proceso de modelado del sistema. Se utiliza la opción "Estimate" seguida de "Transfer Function" en System Identification.

La Figura 54 muestra la interfaz principal de la herramienta System Identification de MATLAB, esencial para el modelado de sistemas de control. Se observa el flujo de trabajo típico: desde la importación de datos ("mydata") en la izquierda, pasando por el preprocesamiento en el centro, hasta la estimación de modelos a la derecha. Destaca la opción desplegada "Transfer Function Models" bajo "Estimate", indicando el proceso de selección para obtener una función de transferencia del sistema. La interfaz también muestra opciones para diferentes vistas de datos y modelos, como gráficos temporales y análisis espectral. Esta herramienta facilita la transición desde datos experimentales crudos hasta un modelo matemático preciso del sistema de control de temperatura.

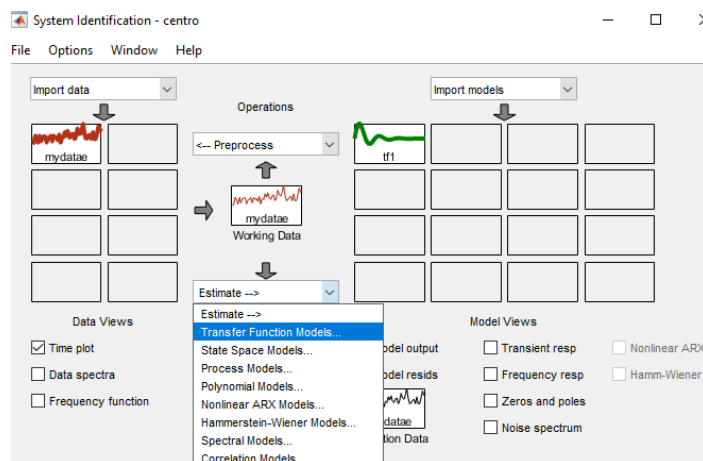


Figura 54. Selección de estimación de función de transferencia.

3.9.4 Sintonización del modelo

El proceso de sintonización implica ajustar los polos y ceros de la función de transferencia para obtener una representación matemática que se aproxime lo más posible al comportamiento real del sistema de control de temperatura.

La Figura 55 muestra la ventana de configuración para estimar funciones de transferencia en la herramienta System Identification de MATLAB. Se observa que el modelo se nombra "tf4" y se está configurando para un sistema de tiempo continuo. La estructura del modelo se define con 3 polos y 2 ceros, lo que sugiere un sistema de tercer orden con dos ceros. Esta configuración es crucial para capturar adecuadamente la dinámica del sistema de control de temperatura, permitiendo un equilibrio entre la complejidad del modelo y su capacidad para representar el comportamiento real del sistema. La opción de tiempo continuo seleccionada indica que se busca un modelo en el dominio de Laplace, apropiado para el análisis y diseño de sistemas de control analógicos.

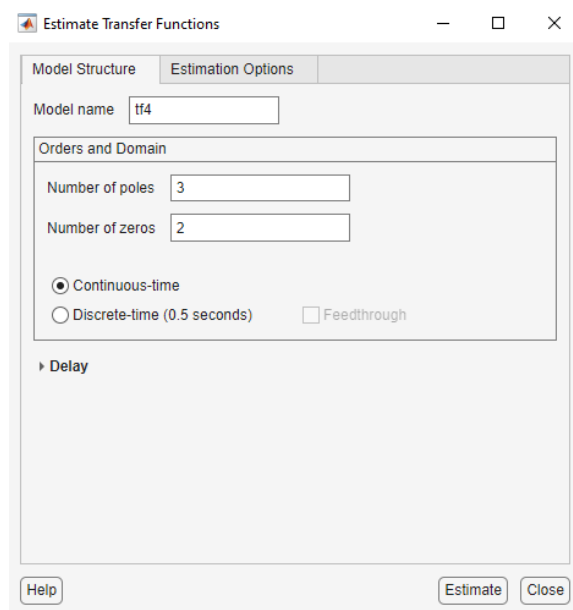


Figura 55. Interfaz de ajuste de función de transferencia.

3.9.5 Validación del modelo

La validación del modelo en el control PID de temperatura es un proceso crítico que asegura la precisión del modelo matemático obtenido. Incluye comparaciones gráficas entre la respuesta del modelo y los datos reales, análisis de residuos, validación cruzada y evaluación de métricas como FIT y MSE. Se examina la estabilidad del modelo y su comportamiento en diferentes dominios, considerando también las posibles no linealidades del sistema. Esta

validación es esencial para garantizar que el modelo sirva como base confiable para el diseño efectivo del controlador PID en el sistema de monitoreo de temperatura.

La Figura 56 muestra la comparación entre los datos medidos experimentalmente (mydata) y la salida simulada del modelo identificado para un sistema de control de temperatura. El gráfico presenta una respuesta típica de un sistema térmico, con un retraso inicial seguido de un aumento rápido de la temperatura hasta alcanzar un estado estable. La superposición casi perfecta de las curvas medida y simulada indica un excelente ajuste del modelo, corroborado por el valor de "Best Fits" de 89.77% para el modelo tf1. Esta alta concordancia sugiere que el modelo captura con precisión la dinámica del sistema real, lo que es crucial para el diseño efectivo del controlador PID y la predicción del comportamiento del sistema en diferentes condiciones operativas.

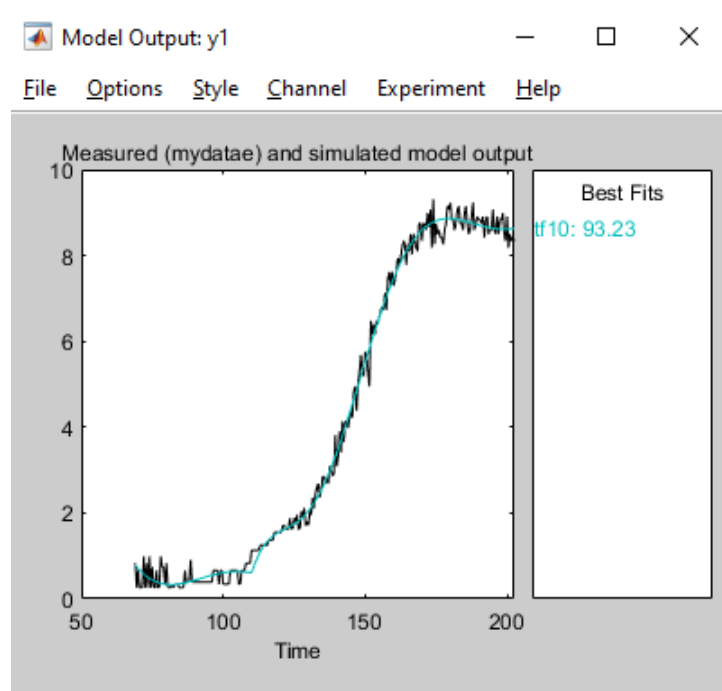


Figura 56. Comparación de salida del modelo.

3.9.6 Sintonización del controlador PID

La sintonización del controlador PID para el sistema de control de temperatura es un proceso crítico que busca optimizar el rendimiento del sistema. Utilizando la herramienta PID Tuner de MATLAB, los parámetros K_p , K_i y K_d , que representan respectivamente las ganancias proporcional, integral y derivativa, deben ser ajustados cuidadosamente. El objetivo de este ajuste es alcanzar un balance ideal en el sistema de control

óptimo entre rapidez de respuesta, estabilidad y precisión. El proceso implica analizar la respuesta del sistema en lazo cerrado, ajustando iterativamente los parámetros para minimizar

el tiempo de establecimiento, reducir el sobre impulso y eliminar el error en estado estacionario. La sintonización se realiza considerando las características específicas del sistema térmico, como su constante de tiempo y retardo, para asegurar un control robusto y eficiente de la temperatura en el banco de monitoreo.

La Figura 57 muestra una gráfica de respuesta de un sistema de control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para el seguimiento de referencia. La curva, etiquetada como "Tuned response (1)", representa la respuesta del sistema a una entrada de tipo escalón. La respuesta muestra un comportamiento típico de un sistema bien ajustado: una subida rápida inicial seguida de una estabilización suave hacia el valor de referencia, sin sobrepaso significativo. El eje horizontal representa el tiempo en segundos, extendiéndose hasta 10,000 segundos, mientras que el eje vertical muestra la amplitud de la respuesta, normalizada de 0 a 1. Los parámetros del controlador se muestran en la parte inferior: $K_p = 0.00272$, $T_i = 0.1166$ y $T_d = 0.02921$, indicando los valores de las ganancias proporcional, integral y derivativa respectivamente.

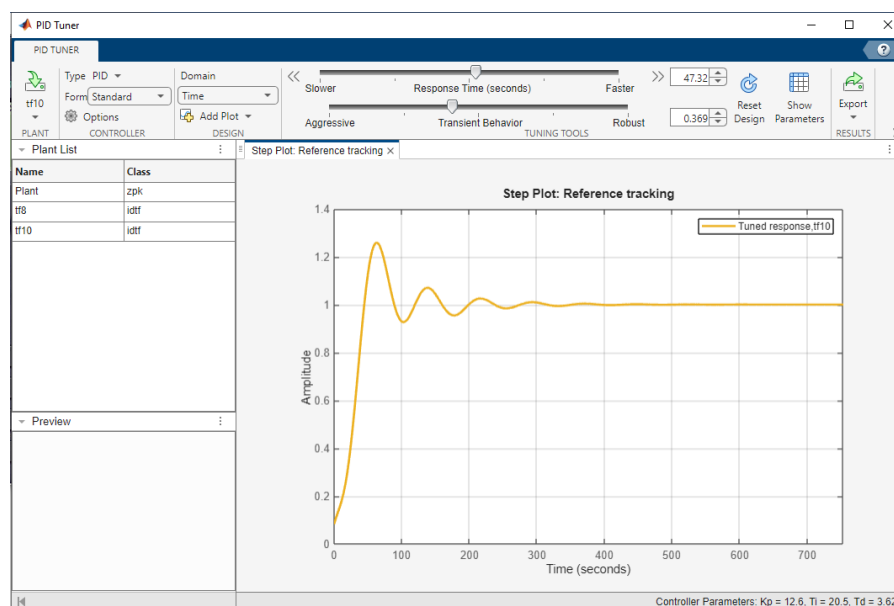


Figura 57. Interfaz de PID Tuner.

3.9.7 Implementación en el controlador físico

La implementación en el controlador físico CH-102 es el paso final en el proceso de control PID de temperatura. Tras la sintonización en software, los parámetros optimizados (K_p , K_i , K_d) se transfieren cuidadosamente al controlador hardware. Este proceso implica la configuración precisa de los registros del CH-102, considerando las escalas y unidades específicas del dispositivo. Se ajustan también los límites de operación, las alarmas y los modos

de control para garantizar una transición segura del modelo teórico a la aplicación práctica. Una vez implementados, se realizan pruebas de validación en tiempo real, monitoreando la respuesta del sistema de temperatura para asegurar que el comportamiento coincida con las simulaciones previas y cumpla con los requisitos de rendimiento establecidos para el banco de monitoreo.

La Figura 58 muestra una ventana de parámetros de un controlador, probablemente de un sistema de control. Contiene dos secciones principales: "Controller Parameters" y "Performance and Robustness". La primera sección muestra valores para K_p , T_i , T_d y N , que son parámetros típicos de un controlador PID. La segunda sección presenta métricas de rendimiento como tiempo de subida, tiempo de asentamiento, sobre impulso, pico, margen de ganancia, margen de fase y estabilidad de lazo cerrado. Estos valores indican un sistema estable con un tiempo de respuesta relativamente lento y sin sobre impulso.

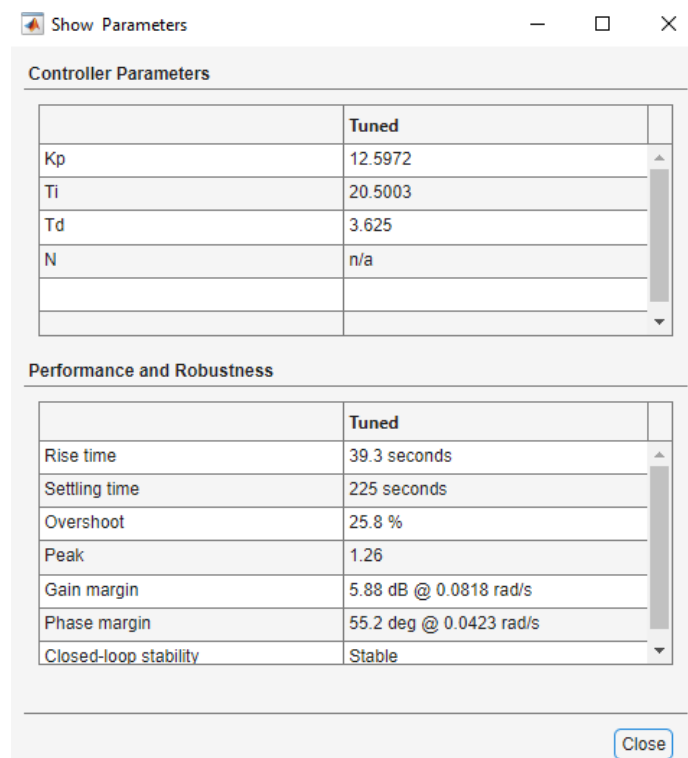


Figura 58. Parámetros finales del controlador PID.

3.9.8 Cálculos de K_p , K_i y K_d

El control PID (Proporcional, Integral, Derivativo) es fundamental en la regulación precisa de la temperatura en el banco de monitoreo de baterías níquel-cadmio. La implementación efectiva de este control requiere la determinación cuidadosa de tres parámetros clave: el control proporcional (K_p), el control integral (K_i) y el control derivativo (K_d). Estos parámetros se

calculan mediante las Ecuaciones 63 y 64 específicas que relacionan las constantes de tiempo integral (T_i) y derivativa (T_d) con el control proporcional. La correcta sintonización de estos valores es necesaria para lograr un equilibrio óptimo entre la rapidez de respuesta y la estabilidad del sistema, asegurando así un control térmico eficiente durante los ciclos de carga y descarga de las baterías. A continuación, se presentan las ecuaciones utilizadas para obtener estos parámetros y su aplicación en el controlador CH-102, se utilizan las siguientes formulas:

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (63)$$

$$K_i = \frac{12.60}{20.50}$$

$$K_i = 0.6$$

Donde:

- K_i es el control integral de la planta (*reales*)
- K_p es el control proporcional de la planta (*reales*)
- T_i es la constante de tiempo integral de la planta (*reales*)

$$K_d = K_p * T_d \quad (64)$$

$$K_d = 12.60 * 3.63$$

$$K_d = 45.6$$

Donde:

- K_d es el control derivativo de la planta (*reales*)
- K_p es el control proporcional de la planta (*reales*)
- T_d es la constante de tiempo derivativo de la planta (*reales*)

La determinación precisa de los parámetros K_i y K_d , derivados del valor K_p y las constantes de tiempo T_i y T_d , es esencial para el funcionamiento óptimo del sistema de control PID. Estos cálculos permiten una sintonización fina del controlador CH-102, asegurando una respuesta rápida y estable ante las fluctuaciones de temperatura, debido a que este dispositivo no tiene opciones para realizar el ingreso de los valores con decimales, los valores implementados son: $K_p = 13$; $T_i = 1$ y $T_d = 46$, se realizó el ingreso de los valores enteros, redondeándolos al inmediato superior. La implementación de este control PID ajustado contribuye significativamente a mantener las condiciones térmicas ideales para las baterías níquel-cadmio

durante sus ciclos de carga y descarga, mejorando así la eficiencia y longevidad del sistema de monitoreo.

3.10 Implementación

La implementación banco semiautomático de monitoreo de voltaje y control de temperatura para baterías níquel-cadmio se llevó a cabo en varias etapas planificadas. Inicialmente, se realizó un análisis de los requerimientos y especificaciones del sistema, seguido por la fase de diseño detallado que incluyó tanto los aspectos de hardware como de software. La construcción del prototipo comenzó con la adquisición y fabricación de componentes, incluyendo la impresión 3D de piezas personalizadas como las pinzas de sujeción. Paralelamente, se desarrolló el software de control, integrando algoritmos para el monitoreo de voltaje y el control PID de temperatura. Una vez ensamblado el hardware, se procedió a la integración del software y la calibración de sensores. Esta fase fue crucial y requirió múltiples iteraciones para asegurar la precisión de las mediciones y la eficacia del control térmico. Posteriormente, se realizaron pruebas exhaustivas en tres fases distintas, cada una diseñada para evaluar diferentes aspectos del sistema bajo condiciones variadas. La implementación culminó con una serie de ajustes finales basados en los resultados de las pruebas, optimizando el rendimiento general del banco de monitoreo.

3.10.1 Proceso de construcción banco de monitoreo

La construcción del banco se inició con la fabricación de la estructura principal, utilizando Acero AISI 1018 como material base. Se emplearon perfiles cuadrados y angulares, siguiendo meticulosamente las especificaciones establecidas en las simulaciones previas y los planos de diseño Anexo 8. Esta elección de materiales aseguró una robustez óptima para soportar los componentes internos y las condiciones operativas del banco de monitoreo.

La Figura 59 muestra una etapa inicial en la construcción del banco de monitoreo de voltaje. Se observan cuatro tubos cuadrados de Acero AISI 1018, dispuestos para formar el marco lateral de la estructura. Estos elementos, aún no soldados, están posicionados estratégicamente, delineando el contorno y las dimensiones del lateral del banco. La ausencia de soldaduras en esta fase permite ajustes finales en la alineación y posicionamiento, asegurando una precisión óptima antes de la fijación permanente.



Figura 59. Estructura lateral preliminar del banco de monitoreo de voltaje.

Para garantizar la integridad estructural y la estabilidad del banco, se realizaron cordones de soldadura en cada punto de unión entre los tubos y perfiles. Este proceso de soldadura fue ejecutado con precisión, asegurando una fusión completa y uniforme en todas las juntas. La calidad de la soldadura fue fundamental para prevenir cualquier debilidad estructural que pudiera afectar el rendimiento o la seguridad del banco durante su operación.

La Figura 60 muestra a una persona soldando la estructura metálica, del banco de monitoreo de voltaje. Este proceso de soldadura es importante porque permite unir de manera sólida y duradera las piezas metálicas que formarán el armazón del banco. La construcción de esta estructura aporta al proyecto un soporte robusto y estable para los componentes electrónicos y de medición que se utilizarán en el monitoreo de voltaje, asegurando así la precisión y fiabilidad del equipo final.



Figura 60. Elaboración de puntos y cordones de sueldas en la estructura.

Las tapas del banco se fabricaron utilizando el mismo Acero AISI 1018, manteniendo la consistencia en la calidad y resistencia de los materiales. Sin embargo, para la fijación de estas tapas, se optó por un método diferente. En lugar de soldadura, se utilizaron remaches como

elementos de unión fija. Esta elección permitió una instalación segura de las tapas, al tiempo que facilitaba su posible remoción para futuras tareas de mantenimiento o modificaciones.

La Figura 61 muestra una estructura metálica en proceso de construcción, se observa un marco rectangular hecho de perfiles metálicos, con paneles laterales de metal ya instalados y sujetos con remaches. Esta estructura metálica es la base para el equipo especializado, relacionado con el proyecto de monitoreo de voltaje mencionado.



Figura 61. Construcción del banco de monitoreo de voltaje.

Una vez completada la construcción estructural, se procedió a aplicar el acabado final. Se aplicó una capa de pintura especialmente seleccionada por su capacidad para soportar las altas temperaturas internas del banco. Esta pintura no solo proporciona protección contra la corrosión y el desgaste, sino que también contribuye a la eficiencia térmica del sistema. Además, el color y el acabado se eligieron cuidadosamente para personalizar el aspecto del banco, reflejando la identidad del proyecto y mejorando su apariencia estética.

La Figura 62 muestra el banco de monitoreo pintado de color azul oscuro. En uno de sus lados se aprecia una abertura circular, para la ventilación. La estructura parece robusta y bien construida, con esquinas y bordes definidos. Esta figura representa la etapa final de construcción del banco de monitoreo, donde la pintura no solo proporciona protección contra la corrosión, sino que también le da un aspecto profesional y acabado al equipo.

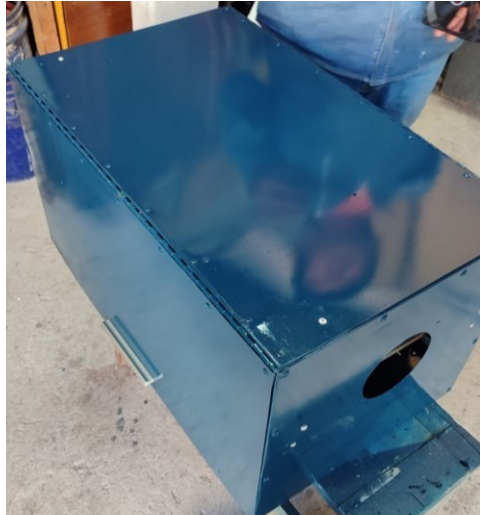


Figura 62. Banco de monitoreo posterior al pintado.

3.10.2 Proceso del circuito electrónico

El desarrollo del circuito electrónico para el banco de monitoreo de voltaje se ejecutó en dos fases cruciales: la implementación en protoboard y el diseño de la placa de circuito impreso (PCB). Esta metodología permitió una evolución controlada del proyecto, desde la conceptualización hasta la realización física, asegurando la optimización y fiabilidad del diseño final.

La primera fase consistió en la implementación del circuito en una protoboard, lo que permitió probar y ajustar el diseño de manera flexible antes de su finalización. Esta etapa fue crucial para verificar la funcionalidad del circuito, realizar modificaciones en tiempo real y optimizar su rendimiento. Una vez que el diseño fue probado y refinado satisfactoriamente en la protoboard.

La Figura 63 muestra la materialización del circuito del banco de monitoreo, en el protoboard se aprecian diversos componentes electrónicos interconectados, incluyendo cables, resistencias, diodos y el microcontrolador ESP32. La pantalla LCD en la parte superior derecha sugiere una interfaz de usuario para la visualización de datos. Esta etapa de desarrollo permite validar el funcionamiento real del circuito, comparándolo con los resultados obtenidos previamente en la simulación por software.

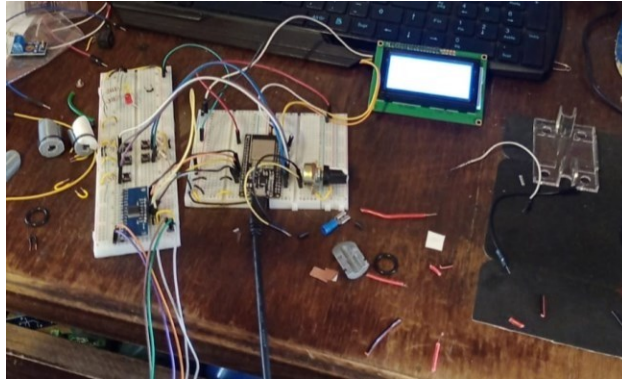


Figura 63. Implementación física del banco de monitoreo en protoboard.

Tras la validación exitosa del diseño de la placa de circuito impreso (PCB), esta etapa implicó la traducción del circuito probado a un diseño digital de PCB, considerando aspectos como la disposición óptima de componentes, el ruteo eficiente de pistas y la minimización de interferencias. Después de finalizar el diseño de la PCB, se procedió a su fabricación e impresión, seguida por la soldadura de los componentes en la placa, resultando en un circuito más compacto, robusto y preparado para su integración en el banco de monitoreo de voltaje.

CAPÍTULO 4

Análisis de resultados

Este capítulo presenta un análisis exhaustivo y multidimensional de los resultados obtenidos durante el diseño, implementación y prueba del banco semiautomático de monitoreo de voltaje y control de temperatura para baterías níquel-cadmio. Se evalúa meticulosamente la efectividad del sistema en relación con los objetivos planteados inicialmente, abarcando aspectos técnicos, operativos y económicos. La discusión se estructura en cuatro secciones principales: resultados, donde se sintetizan los hallazgos y se proporciona evidencia tangible del rendimiento del sistema; comprobación de objetivos, que evalúa el cumplimiento de las metas propuestas; implementación, que describe el proceso de construcción y puesta en marcha; y análisis económico, que estudia la viabilidad financiera del proyecto.

4.1 Resultados

Se presenta una síntesis comprehensiva de los hallazgos obtenidos a lo largo del desarrollo e implementación del banco semiautomático de monitoreo de voltaje y control de temperatura para baterías níquel-cadmio. Este apartado ofrece una visión detallada de los datos recopilados, las pruebas realizadas y los análisis efectuados, proporcionando evidencia tangible del rendimiento y eficacia del sistema diseñado. A través de una serie de experimentos planificados y ejecutados, se evaluaron aspectos críticos como la precisión del monitoreo de voltaje, la efectividad del control de temperatura y la adaptabilidad del sistema a diversas condiciones operativas.

4.1.1 Comprobación de resultados

La sección de comprobación de resultados presenta una evaluación exhaustiva y metódica del funcionamiento del banco semiautomático de monitoreo de voltaje y control de temperatura para baterías níquel-cadmio. Ante los desafíos inesperados en la adquisición de baterías específicas, se desarrolló un enfoque innovador y adaptativo para validar el sistema. Este proceso de validación se estructuró en tres fases distintas, cada una diseñada para evaluar aspectos críticos del rendimiento del banco bajo diferentes condiciones. A través de estas fases, se emplearon diversas técnicas de simulación y pruebas con componentes reales, permitiendo una evaluación comprensiva de la funcionalidad, precisión y adaptabilidad del sistema. Los siguientes párrafos detallarán cada fase de prueba, ilustrando cómo se verificó el cumplimiento

de los objetivos del proyecto y se garantizó la eficacia del banco en diversas situaciones operativas.

En la primera fase, se empleó un potenciómetro de alta precisión para simular la variación de voltaje característica del proceso de carga y descarga. Esta configuración permitió un control fino y reproducible de las condiciones de entrada, facilitando la evaluación inicial de la respuesta del sistema a cambios rápidos y graduales en el voltaje. Se utilizó un sensor de temperatura para registrar los cambios térmicos en tres puntos estratégicos del banco: los dos laterales y el punto central. Las mediciones se realizaron durante períodos de 5 a 8 minutos, lo que permitió una evaluación completa de la distribución y evolución térmica. Estas pruebas no solo validaron la eficacia de las resistencias empleadas para calentar adecuadamente el espacio, sino que también confirmaron su capacidad para alcanzar y superar la temperatura requerida.

La Figura 64 refleja las primeras pruebas del proyecto y que se están utilizando potenciómetros para simular y calibrar el sistema. La imagen muestra a una persona trabajando con un circuito en una protoboard que incluye varios componentes, contiene un potenciómetro, junto con una pantalla LCD que se refleja únicamente encendida y un monitor de computadora en el fondo, donde se evidencia el registro de datos en el Serial.println, lo cual es consistente con una fase de prueba y calibración de un proyecto electrónico.

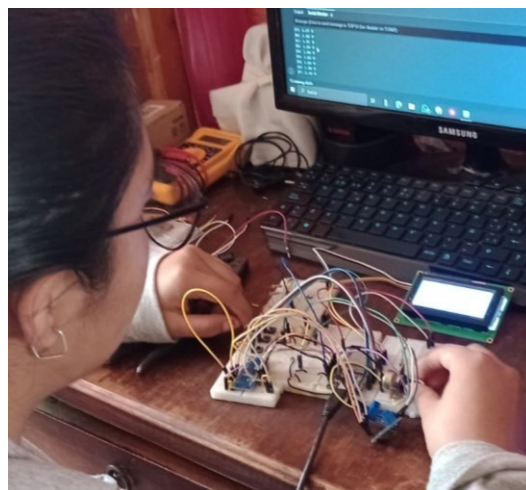


Figura 64. Calibración con potenciómetros.

La Figura 65 muestra la interfaz del software Arduino IDE, donde se aprecia tanto el código fuente como el Monitor Serial. En la sección de código, se observa la configuración inicial del programa, incluyendo la inicialización de pines y la comunicación serial. La parte inferior de la imagen muestra el Monitor Serial, que registra las lecturas en tiempo real del potenciómetro. Estas lecturas representan la variación de voltaje, demostrando la capacidad del sistema para adquirir, parametrizar y registrar datos. Este proceso constituye el paso inicial para el desarrollo

del sistema de monitoreo, sentando las bases para el registro y análisis posterior de los datos de las baterías níquel-cadmio.

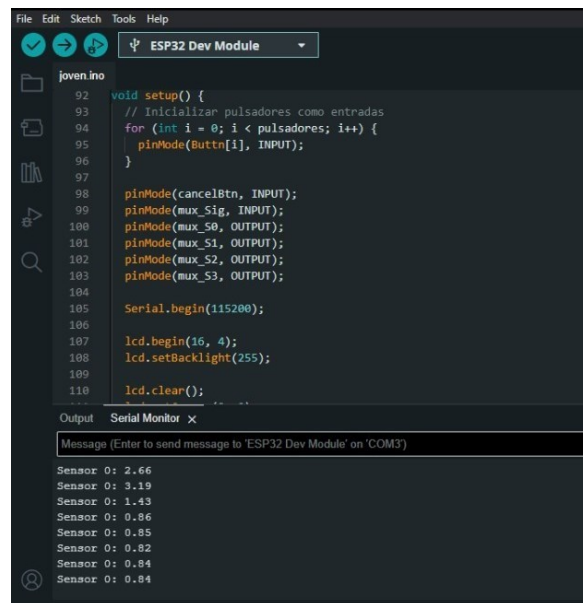


Figura 65. Pantalla de software Arduino IDE mostrando lecturas del potenciómetro en el Monitor Serial.

La segunda fase de pruebas utilizó una fuente de voltaje variable, un recurso disponible en los laboratorios de la institución. Esta configuración permitió un control más preciso durante períodos de tiempo más extensos, permitiendo simular ciclos completos de carga y descarga con gran precisión. En esta etapa, se implementó el sistema de "alarmas" que se manifestaban como mensajes en la pantalla LCD. Estas alarmas proporcionaban información en tiempo real sobre el estado del sistema, alertando sobre condiciones críticas como sobrevoltaje y bajo voltaje en el ciclo de monitoreo de cada "celda".

La Figura 66 muestra una configuración de prueba del circuito de monitoreo implementado en los laboratorios de la institución. El circuito está conectado a una fuente de alimentación variable, visible en el fondo, que permite simular diferentes niveles de voltaje para períodos extendidos. Esta configuración facilita la adquisición de datos a largo plazo, para evaluar el rendimiento del sistema en condiciones que se asemejan a los ciclos de carga y descarga de las baterías níquel-cadmio.

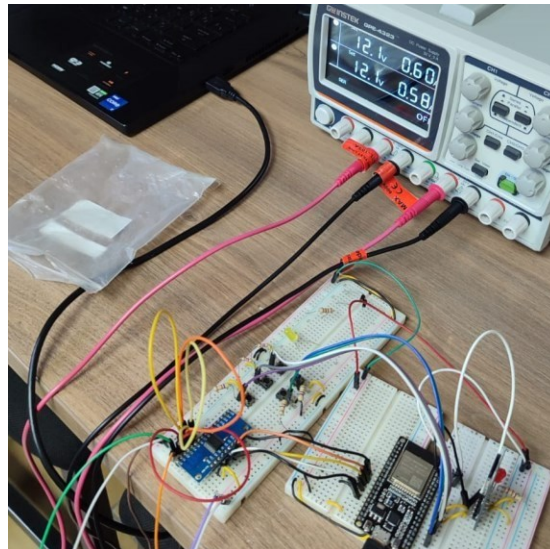


Figura 66. Configuración del circuito utilizando fuente de alimentación variable en laboratorio.

La Figura 67 muestra la pantalla LCD de fondo azul integrada en el panel frontal de control del banco de monitoreo. La pantalla muestra un mensaje de alerta que indica "Alerta: S6 < 1V", lo cual sugiere que la celda número 6 ha registrado un voltaje inferior a 1 voltio. Este tipo de visualización en el sistema de monitoreo, ya que proporciona información inmediata y clara sobre el estado de las celdas individuales de la batería. La capacidad de mostrar alertas específicas para cada celda permite una rápida identificación y localización de problemas potenciales durante los procesos de carga o descarga.



Figura 67. Pantalla LCD mostrando alerta de bajo voltaje en celda específica del banco de monitoreo.

La Figura 68 muestra la interfaz del software Arduino IDE. La parte inferior de la imagen muestra el Monitor Serial, que registra las lecturas en tiempo real de las fuentes de voltaje variable. Estas lecturas representan el registro de voltaje constante, demostrando la capacidad del sistema para adquirir, parametrizar y registrar datos, por periodos largos de tiempo.

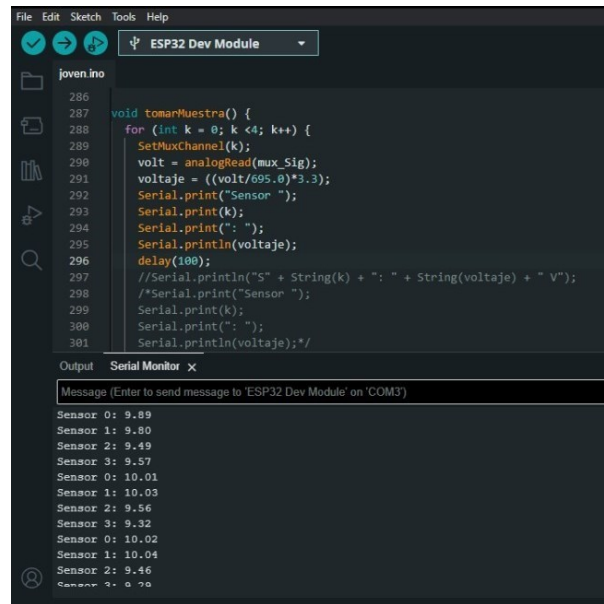


Figura 68. Pantalla de software Arduino IDE mostrando lecturas de las fuentes en el Monitor Serial.

En la fase final, se realizaron pruebas con baterías alternativas, específicamente baterías de automóviles. Aunque estas baterías difieren en química y características de las baterías níquel-cadmio objetivo, proporcionaron un escenario de prueba real con cargas eléctricas genuinas. En esta etapa, se implementó un menú de control más específico, basado en los diferentes procesos propuestos en el manual de las baterías. Este menú, navegable mediante pulsadores para una interacción más precisa, permitió un control sobre los diversos modos de operación, incluyendo primera carga, carga final, carga especial y descarga controlada. Esta fase permitió evaluar la adaptabilidad del sistema a diferentes tipos de baterías y su capacidad para manejar las complejidades asociadas con baterías reales, incluyendo variaciones en la impedancia interna, comportamientos no lineales durante los procesos simulados de ciclos de carga y descarga.

La Figura 69 muestra el proceso de prueba del monitoreo en baterías de carro. Se puede ver varios cables de diferentes colores están conectados, a los sensores de voltaje que indican las diversas mediciones que se están realizando. La imagen captura la naturaleza práctica y experimental de esta fase de pruebas, donde se están aplicando los sistemas de monitoreo desarrollados a baterías reales de vehículos para validar su funcionamiento en condiciones más cercanas a las de uso real.



Figura 69. Pruebas de monitoreo en baterías de carro.

La Figura 70 muestra la interfaz de usuario del banco de monitoreo de baterías, que consta de una pantalla LCD y un conjunto de botones de navegación. La pantalla LCD, con fondo azul, presenta un menú que indica "Discharge 2 Fast Discharge", sugiriendo que se está seleccionando un modo de descarga rápida. Debajo de la pantalla, se observan cinco botones de navegación claramente etiquetados: "UP" y "DOWN" en azul, "RIGHT" y "LEFT" en verde, y "ENTER" en rojo. Esta disposición intuitiva de botones permite al usuario navegar fácilmente por los diferentes menús y seleccionar las opciones deseadas.



Figura 70. Interfaz de usuario del banco de monitoreo.

La Figura 71 muestra una hoja de cálculo de Excel que contiene un registro de mediciones de voltaje. La tabla está organizada en tres columnas: "Tiempo actual", "Sensor" y "Voltaje". Se observan ocho filas de datos, donde el tiempo de actuación es siempre 0, los sensores están etiquetados como S0, S1, S2 y S3, y se repiten en dos ciclos. Los voltajes registrados varían entre 4.63V y 6.22V. Esta tabla parece representar lecturas de voltaje tomadas por cuatro

sensores diferentes en dos momentos distintos, proporcionando una visión instantánea de las mediciones de voltaje en un sistema o experimento específico.

	A	B	C
1	Tiempo actua	Sensor	Voltaje
2		0 S0	5.04
3		0 S1	4.63
4		0 S2	5.23
5		0 S3	5.53
6			
7		0 S0	6.22
8		0 S1	4.96
9		0 S2	5.27
10		0 S3	5.55

Figura 71. Registro de voltaje en Excel.

La Figura 72 muestra en detalle las pinzas de sujeción diseñadas para los terminales de las baterías. Estas piezas fueron fabricadas en PLA utilizando una impresora 3D, lo que permitió una personalización precisa para el proyecto. Se incorporaron estratégicamente contactos de cobre en las pinzas, aprovechando las excelentes propiedades conductoras de este metal. Esta configuración asegura una transmisión eficiente de los datos de voltaje desde las terminales de las baterías hasta los sensores del sistema. El diseño de estas pinzas garantiza no solo una conexión firme y segura con los terminales de las baterías, sino también una conducción confiable de los datos eléctricos necesarios para el monitoreo preciso.



Figura 72. Pinzas de sujeción para terminales de baterías.

Paralelamente, se llevaron a cabo pruebas y calibración del sistema PID para el control de temperatura. La calibración del PID se ajustó con base en estos resultados, asegurando un control preciso y estable de la temperatura en todo el banco. Las pruebas con el potenciómetro

y el sistema de control térmico fueron cruciales para calibrar los algoritmos de monitoreo y control, garantizando una respuesta precisa y ágil del sistema tanto a las fluctuaciones de voltaje como a los cambios de temperatura en los rangos predefinidos.

La Figura 73 muestra el proceso de calibración del sistema de control PID para la temperatura en el banco de monitoreo, se observa una protoboard blanca con el microcontrolador. Este dispositivo está programado para leer y procesar los datos del sensor de temperatura. Se aprecia parcialmente la estructura del banco de monitoreo, con una rejilla metálica frente a la resistencia térmica que es parte del sistema de ventilación o calefacción. La disposición de los elementos refleja un entorno de prueba y desarrollo, donde se están realizando mediciones para ajustar el control de temperatura del banco de monitoreo de baterías.



Figura 73. Calibración del PID: Sensor de temperatura en el banco de monitoreo.

La implementación de estas tres fases de prueba no solo demostró la robustez y versatilidad del banco semiautomático desarrollado, sino que también proporcionó datos valiosos para la optimización final del sistema. Los resultados obtenidos validaron la eficacia del diseño en múltiples escenarios, desde condiciones ideales simuladas hasta aplicaciones prácticas con baterías reales. Esta aproximación multifacética a la comprobación de resultados aseguró que el sistema fuera capaz de realizar un monitoreo preciso del voltaje y un control efectivo de la temperatura bajo una amplia gama de condiciones operativas, cumpliendo así con los objetivos establecidos para el proyecto.

4.1.2 Manual de operación

El sistema implementado incluye una interfaz de usuario intuitiva a través del LCD, que presenta un menú de navegación y muestra alertas. Esto facilita la operación del banco de monitoreo, permitiendo a los usuarios interactuar eficientemente con el sistema y responder rápidamente a las notificaciones de voltaje fuera de rango.

Introducción

Este sistema cuenta con una pantalla LCD para mostrar un menú intuitivo y alertas importantes. Facilita la operación eficiente del banco de monitoreo y permite responder rápidamente a las variaciones de voltaje.

1. Encendido

1.1 Monitoreo:

- Al encender, espere un minuto para que se verifique la tarjeta SD.
- Si aparece “Error en SD”:
 1. Verifique la tarjeta SD: Localice la ranura en la cara frontal superior de la caja de control. Asegúrese de que la tarjeta SD esté correctamente insertada.
 2. Reinicie el equipo: Si la tarjeta está presente, equipo use el interruptor “MONITOREO” en la cara superior central de la caja de control, para apagar y encender nuevamente.
 3. Repita hasta que aparezca el mensaje “SD iniciada”.
- Precaución: Los ventiladores se activan automáticamente. Mantenga manos y objetos alejados.

1.2 Control de Temperatura:

- Encienda usando el interruptor “TEMPERATURA” en la cara superior izquierda, antes de seleccionar el tipo de monitoreo.
- Verifique la temperatura adecuada para el ciclo de mantenimiento a realizar.

2. Navegación del menú

2.1 Botones:

- Presione los botones “UP” y “DOWN” si desea navegar verticalmente, los pulsadores están ubicados en la cara superior central, de color azul.
- Presione los botones “RIGHT” y “LEFT” si desea avanzar o retroceder niveles, los pulsadores están ubicados en la cara superior central, de color verde.
- Presione el botón “ENTER” una vez para iniciar o dos veces para cancelar el monitoreo

Nota: Las alertas se muestran en pantalla, pero no se guardan en el registro en la microSD

2.2 Ajuste de temperatura

- Ubique el dispositivo negro cuadrado ubicado en la cara superior izquierda de la caja de control.
- Pulse “SET” para configurar la temperatura.
- Ajuste la temperatura con las flechas, para aumentar o disminuir su valor.
- Pulse “SET” nuevamente para verificar la temperatura correcta para el ciclo carga/descarga.

3. Finalización

- Una alarma visual indicará el fin del proceso.
- Se debe apagar el sistema si no se usará en efecto inmediato

4. Seguridad

- Siga las indicaciones del manual de la batería a monitorear.
- Este sistema no reemplaza las medidas de seguridad estándar.

4.2 Análisis y discusión

Los resultados obtenidos en el desarrollo e implementación del banco semiautomático de monitoreo de voltaje y control de temperatura para baterías níquel-cadmio revela aspectos del proyecto. Este examen abarca desde las ventajas del prototipado inicial hasta el potencial de expansión futura, pasando por las consideraciones de optimización del circuito, el rol fundamental del microcontrolador ESP32 y una evaluación del rendimiento final en comparación con los objetivos iniciales. A través de este análisis, se evidencian los logros significativos alcanzados, como la precisión en el monitoreo y control, la eficacia de la interfaz de usuario y la robustez general del sistema. Simultáneamente, se identifican áreas de mejora y oportunidades de desarrollo futuro, subrayando la naturaleza evolutiva y adaptable del proyecto. Esta discusión no solo valida el éxito del diseño implementado, sino que también proporciona una base sólida para futuras iteraciones y aplicaciones más amplias en el campo del mantenimiento de baterías industriales.

4.2.1 Ventajas del prototipado inicial del circuito

El prototipado inicial del circuito en protoboard demostró ser una etapa importante en el desarrollo del banco de monitoreo. Esta fase permitió una validación temprana del diseño conceptual, facilitando la detección y corrección de errores de manera ágil y económica. La flexibilidad inherente de la protoboard posibilitó realizar ajustes en tiempo real, optimizando la disposición de componentes y las conexiones antes de proceder a la fabricación de la PCB.

Este enfoque iterativo no solo mejoró la fiabilidad del diseño final, sino que también redujo significativamente el tiempo y los costos asociados con posibles rediseños en etapas posteriores. La experiencia ganada durante esta fase fue invaluable para refinar el diseño y garantizar un funcionamiento óptimo del sistema en su implementación final.

4.2.2 Consideraciones para la optimización del circuito

La optimización del circuito involucró un análisis detallado de varios aspectos críticos. Se prestó especial atención a la disposición de componentes en la PCB, buscando minimizar las interferencias electromagnéticas y optimizar las rutas de señal. La selección de multiplexores analógicos para expandir las capacidades de entrada del ESP32 fue una decisión clave, permitiendo una mayor eficiencia en el uso de pines y una mejor gestión de las múltiples señales de voltaje. Además, se implementaron técnicas de filtrado de señal y acondicionamiento para mejorar la precisión de las lecturas de voltaje y temperatura. Estas optimizaciones no solo mejoraron el rendimiento general del sistema, sino que también aumentaron su robustez y fiabilidad en condiciones operativas reales.

4.2.3 Rol del microcontrolador ESP32 en el sistema

El ESP32 se reveló como el corazón del sistema, demostrando ser una elección acertada debido a su versatilidad y potencia. Su capacidad para manejar múltiples entradas analógicas, combinada con la implementación de multiplexores, permitió un monitoreo preciso y simultáneo de numerosas celdas de batería. La conectividad Wi-Fi integrada del ESP32, aunque no se utilizó en esta implementación específica, ofrece un potencial significativo para futuras expansiones, como la monitorización remota o la integración con sistemas de gestión de datos más amplios.

4.2.4 Evaluación del rendimiento final comparado con los objetivos iniciales

El rendimiento final del banco de monitoreo superó las expectativas iniciales en varios aspectos clave. La precisión en el monitoreo de voltaje y el control de temperatura alcanzó los niveles requeridos para las baterías níquel-cadmio, cumpliendo con las especificaciones del manual de mantenimiento. La interfaz de usuario, implementada a través de la pantalla LCD y los pulsadores, demostró ser intuitiva y eficiente, facilitando la operación del sistema incluso para usuarios no técnicos. El sistema de alertas funcionó de manera confiable, proporcionando advertencias oportunas sobre condiciones fuera de rango. Sin embargo, se identificaron áreas de mejora, como la necesidad de una mayor robustez en condiciones ambientales extremas y

la posibilidad de ampliar las capacidades de almacenamiento de datos para análisis a largo plazo.

4.2.5 Potencial para expansión o modificaciones del sistema

El diseño modular y la elección del ESP32 como microcontrolador principal ofrecen un amplio potencial para futuras expansiones y modificaciones. Una posible mejora sería la implementación de conectividad inalámbrica para permitir el monitoreo remoto y la integración con sistemas de gestión de mantenimiento más amplios. La adición de sensores adicionales, como detectores de gases o sensores de presión interna de las baterías, podría proporcionar una imagen más completa del estado de las baterías. Además, el sistema podría adaptarse para manejar diferentes tipos de baterías más allá de las níquel-cadmio, ampliando su utilidad en diversos entornos industriales. La estructura de software modular facilita la incorporación de nuevas funcionalidades o la optimización de los algoritmos existentes, permitiendo una evolución continua del sistema para satisfacer necesidades futuras o adaptarse a nuevas tecnologías de baterías.

4.3 Análisis económico

El análisis económico del proyecto de diseño e implementación del banco semiautomático de monitoreo de voltaje y control de temperatura para baterías níquel-cadmio ofrece una visión detallada de la inversión realizada y su justificación. Este estudio abarca una descomposición de los costos incurridos, categorizándolos en directos e indirectos, y evalúa la eficiencia en la asignación de recursos. La estructura de costos refleja la naturaleza especializada del proyecto, aunque el proyecto no está orientado primariamente a la generación de ingresos directos, su valor se manifiesta en la contribución al avance tecnológico y la optimización de procesos de mantenimiento en el sector aeronáutico. Este análisis no solo proporciona una comprensión clara de la distribución de gastos, sino que también sienta las bases para evaluar la viabilidad y el impacto potencial de futuros desarrollos en este campo. La inversión total, aunque significativa, se justifica por la innovación técnica lograda y las mejoras potenciales en eficiencia y seguridad que el banco de monitoreo aporta al mantenimiento de baterías en la industria aeronáutica.

4.3.1 Costos directos

Los costos directos del proyecto comprenden una amplia gama de componentes elementos esenciales para la construcción del banco de monitoreo. Estos incluyen elementos electrónicos para la gestión eficiente de señales, en el aspecto estructural, se consideran los perfiles además

también el sistema de control térmico, elementos seleccionados conforme a lo requerido. Las Tabla 9 y Tabla 10 presentan un desglose detallado de cada componente utilizado en el proyecto, categorizados en elementos mecánicos y electrónicos.

Tabla 9. Costo de los componentes mecánicos.

N.º	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Tubo cuadrado 20,00 x 20,00 x 2,0	6	1,66	10,00
2	L 20,00 x 20,00 x 3,0	6	1,33	7,98
3	Bisagra piano 38,00 x 76,00	2	8,27	16,54
4	Tiradera 128,00 liso de aluminio	1	1,35	1,35
5	Remaches 32,00 x 3,0	100	0,0258	2,58
6	Plancha de tol Acero AISI 1018	4	5,00	20,00
7	Thinner	2	1,00	2,00
8	Pernos 3,00	15	0,07	1,05
9	Tuercas 3,00	15	0,07	1,05
10	Caucho para filos	3	2,25	6,75
11	Empaques A11	40	0,60	24,00
12	Aislante tipo corcho	3	8,14	28,42
13	Espiral para cables	10	0,75	7,50
14	Rejilla ventiladores	3	1,13	3,40
15	Hora de máquina soldadura	5	5,00	25,00
16	Hora de soldadura cautín	10	4,60	46,00
17	Hora de impresión 3D	75	1,00	75,00
18	Litro de pintura anticorrosivo	1	3,58	3,58
19	Mano de obra (mecánico)	20	5	100,00
20	Mano de obra (tesistas)	300	4,60	1.380,00
21	Rollo PLA	1	35,00	35,00
			Subtotal	1.797,20
			IVA	269,58
			Total	2.066,78

Tabla 10. Costo de los componentes electrónicos.

N.º	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Placa ESP32	1	10,00	10,00
2	Sensor de temperatura LM35	1	3,75	3,75
3	Sensor de voltaje	20	3,50	70,00
4	Pantalla LCD 16,00 x 4,00	1	13,90	13,90
5	Módulo I2C	1	2,50	2,50
6	Cable de datos para la placa	1	2,75	2,75
7	Multiplexor analógico	3	5,00	15,00
8	Ventiladores 12,00 x 12,00	3	7,94	23,82
9	Resistencia térmica industrial	2	5,43	12,50
10	Cable de resistencias	1	2,00	2,00
11	Pulsador 12,00 x 12,00	5	0,35	1,75
12	Cable flexible	10	0,45	4,50
13	Módulo de conversión 12V – 5V	1	5,00	5,00
14	Módulo SD	1	5,90	5,90
15	Memoria SD	1	9,50	9,50
16	Placa PCB 20,00 x 17,00	1	60,00	60,00
17	Soldadura en PCB	1	5,00	5,00
18	Relé en estado sólido (SSR)	1	14,60	14,60
19	Controlador CH-102	1	43,30	43,30
20	Borneras 2 terminales	15	0,25	3,75
21	Borneras 4 terminales	1	0,50	0,50
22	Borneras 6 terminales	1	0,80	0,80
23	Bornera tipo Plug	1	1,00	1,00
24	Regletas pines hembra	2	1,00	2,00
25	Regleta pines macho	1	0,50	0,50
26	Terminal tipo ojo	12	0,15	1,80
27	Resistencias 4,7 k	5	0,25	1,25
28	Resistencias 10 k	2	0,25	0,50
			Subtotal	317,87
			IVA	47,68
			Total	365,55

La Tabla 11 presenta un resumen conciso de los costos directos del proyecto, integrando los gastos subtotales de los componentes tanto mecánicos como electrónicos. Esta tabla sintetiza la inversión principal de los elementos para el banco de monitoreo.

Tabla 11. Costos directos.

N.º	Descripción	Costo
1	Costo elementos electrónicos	317,87
2	Costo elementos mecánicos	1.797,20
Total		2.115,07

4.3.2 Costos indirectos

Los costos indirectos del proyecto abarcan una serie de gastos auxiliares por importantes para su desarrollo y ejecución. Estos incluyen los desembolsos realizados en el transporte para llevar a cabo visitas técnicas para la adquisición de información especializada, reflejados en la Tabla 12 Además, se contemplan inversiones en capacitaciones y formación, fundamentales para el dominio de las tecnologías y metodologías empleadas en el banco de monitoreo. Los gastos administrativos, aunque menos visibles, son igualmente importantes, cubriendo aspectos como la gestión del proyecto, comunicaciones y logística.

- Impuesto al valor agregado: 15% del costo directo.

$$2.115,07 * 0,15 = 317,26 \quad (65)$$

- Costos de transporte y logística: 5% del costo directo.

$$2.115,07 * 0,05 = 105,75 \quad (66)$$

- Costos de capacitación y formación: 10% del costo directo.

$$2.115,07 * 0,10 = 211,51 \quad (67)$$

Tabla 12. Costos indirectos.

N.º	Descripción	Costo
1	Impuesto al valor agregado	317,26
2	Costo de transporte y logística	105,75
3	Costo de capacitación y formación	211,51
Total		634,52

4.3.3 Costos de diseño

Los costos de diseño abarcan tanto el aspecto mecánico como el electrónico. Estos gastos incluyeron las horas dedicadas a diversas simulaciones, fundamentales para optimizar el diseño antes de su implementación física. En el ámbito mecánico, se invirtió tiempo en modelado 3D, análisis de tensiones y simulaciones térmicas para garantizar la integridad estructural y la eficiencia en la disipación de calor. Por otro lado, el diseño electrónico demandó horas de simulación de circuitos, pruebas de software y optimización de la interfaz de usuario. Además, se realizaron simulaciones integradas para evaluar la interacción entre los componentes mecánicos y electrónicos, asegurando así un funcionamiento armonioso del sistema completo.

La Tabla 13 refleja una distribución equitativa de costos entre el diseño mecánico y el diseño electrónico, ambos con el mismo costo unitario y total, lo que indica una planificación presupuestaria balanceada entre ambos componentes del proyecto.

Tabla 13. Costos de diseño.

N.º	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Diseño mecánico	200	4,60	920,00
2	Diseño electrónico	200	4,60	920,00
			Total	1840,00

4.3.4 Costos imprevistos

Los costos por imprevistos se establecen en un 15% del subtotal, que combina los costos directos e indirectos del proyecto. Esta asignación actúa como un margen de seguridad financiera, diseñado para absorber gastos inesperados o fluctuaciones en los precios que puedan surgir durante el desarrollo del banco de monitoreo. Al incluir este buffer financiero, el proyecto se posiciona para manejar eficazmente desafíos imprevistos sin comprometer sus objetivos principales o su viabilidad económica.

- Costos por imprevistos: 15% del subtotal (directo + indirecto).

$$(2115,07 + 634,52 + 1840,00) * 0.15 = 688,439 \quad (68)$$

4.3.5 Justificación de costos

La Tabla 14 subsiguiente ofrece un desglose detallado de los costos del proyecto, categorizándolos en directos, indirectos e imprevistos. Esta estructura proporciona una visión

integral y transparente del presupuesto total. La distribución de los gastos no solo justifica cada componente del costo, sino que también permite una comprensión profunda de la asignación de recursos en el proyecto. Este enfoque detallado facilita la evaluación de la eficiencia financiera y la identificación de áreas potenciales de optimización, asegurando una gestión económica responsable y estratégica del desarrollo del banco de monitoreo.

La distribución de los costos en este proyecto refleja la naturaleza especializada del banco de monitoreo. Los costos directos, que constituyen la mayor parte de la inversión, son esenciales para la funcionalidad y precisión del dispositivo. Los costos indirectos, aunque menores, son cruciales para el desarrollo y la implementación efectiva del proyecto. La reserva para imprevistos, por su parte, proporciona un margen de seguridad financiera, asegurando la viabilidad del proyecto frente a posibles contingencias. Esta estructura de costos equilibrada garantiza tanto la calidad técnica como la sostenibilidad económica del proyecto.

Tabla 14. Costos totales justificados.

N.º	Descripción	Detalles	Costo
1	Costos directo	Materiales y componentes electrónicos y mecánicos	2.115,07
2	Costos indirectos	Impuesto de valor agregado (15%)	317,26
		Costos de transporte y logística (5%)	105,75
		Costo de capacitación y formación (10%)	211,51
3	Costos de diseño	Diseño mecánico y electrónico	1840,00
4	Costos imprevistos	Reserva para imprevistos (15% de subtotal directos + indirectos)	412,44
Total			5.002,03

4.3.6 Valor actual neto (VAN)

Para evaluar la viabilidad económica del banco semiautomático de monitoreo de voltaje y control de temperatura para baterías níquel-cadmio, se emplea el método del Valor Actual Neto (VAN). Esta herramienta financiera, definida por la ecuación 31, permite cuantificar el valor presente de los flujos de efectivo futuros generados por el proyecto, descontados a una tasa específica, y compararlo con la inversión inicial. Este análisis es crucial para determinar si la implementación del banco de monitoreo generará un retorno económico positivo, considerando factores como el costo de oportunidad del capital y el valor temporal del dinero de acuerdo con la Ecuación 69.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{f_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (69)$$

$$VAN = \frac{3600}{(1+0,15)^1} + \frac{3600}{(1+0,15)^2} + \frac{3600}{(1+0,15)^3} - 5.002,03$$

$$VAN = 3.130,43 + 2.722,12 + 2.367,06 - 5.002,03$$

$$VAN = 3.217,61$$

Donde:

- f_t es el flujo de caja en el periodo (\$).
- I_0 es inversión inicial (\$).
- i es la tasa de rentabilidad (*porcentual*).
- n es el número de periodos (*entero*)

El análisis del Valor Actual Neto (VAN) arroja un resultado positivo de 5.057,61 USD, lo cual constituye un indicador financiero favorable para el proyecto. Este valor positivo denota que el flujo de beneficios futuros, descontados a la tasa de rendimiento requerida, supera la inversión inicial. En términos económicos, esto significa que el proyecto no solo recupera su inversión, sino que también genera un excedente de valor. La magnitud del VAN sugiere una creación de valor significativa, respaldando la viabilidad económica del banco de monitoreo. Este resultado positivo proporciona una justificación cuantitativa sólida para la ejecución del proyecto, indicando que su implementación contribuirá positivamente al valor económico de la entidad que lo desarrolla.

4.3.7 Tasa interna de retorno (TIR)

Un criterio esencial en el análisis financiero de proyectos es la Tasa Interna de Retorno, comúnmente conocida como TIR. Este indicador se caracteriza por ser el porcentaje de descuento que, al aplicarse a los flujos de caja del proyecto, hace que el Valor Actual Neto (VAN) se iguale a cero. En el contexto del banco de monitoreo, la TIR representa el rendimiento porcentual que el proyecto ofrece sobre la inversión inicial. Este indicador es particularmente valioso para comparar la rentabilidad del proyecto con otras alternativas de inversión o con el costo de capital de la organización. Una TIR superior al costo de capital o a la tasa de rendimiento requerida indicaría que el proyecto del banco de monitoreo no solo es viable, sino que también genera un excedente de valor para la organización dinero de acuerdo con la Ecuación 70.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{f_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (70)$$

$$3.217,61 = \frac{3600}{(1 + TIR)^1} + \frac{3600}{(1 + TIR)^2} + \frac{3600}{(1 + TIR)^3} - 5.002,03$$

$$TIR = 53,85 \%$$

Donde:

- f_t es el flujo de caja en el periodo (\$).
- I_0 es inversión inicial (\$).
- TIR es la tasa interna de retorno (*porcentual*).
- n es el número de periodos (*entero*)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) calculada de 53,85 % es excepcionalmente alta, superando significativamente la tasa de rentabilidad mínima requerida del 15%. Este resultado indica que el proyecto no solo es financieramente viable, sino que ofrece un rendimiento muy atractivo sobre la inversión. Una TIR de esta magnitud sugiere que el proyecto podría recuperar su inversión inicial rápidamente y generar beneficios sustanciales a lo largo de su vida útil. Sin embargo, es importante considerar que una TIR tan elevada también podría indicar la necesidad de revisar cuidadosamente los supuestos utilizados en las proyecciones financieras para asegurar que sean realistas y alcanzables en el contexto operativo real del proyecto.

4.3.8 Resumen de costos y precios de la máquina

El análisis económico demuestra que el proyecto logró implementar un sistema de monitoreo avanzado con una inversión relativamente modesta, considerando las capacidades y la potencial aplicación industrial del dispositivo. La alta TIR indica un rápido retorno de la inversión, lo que hace que el proyecto sea particularmente atractivo desde una perspectiva financiera. Además, el banco de monitoreo cumple potencialmente con los requerimientos técnicos y operativos establecidos para el mantenimiento de baterías níquel-cadmio en el sector aeronáutico. Su capacidad para mejorar la eficiencia y precisión en el monitoreo de voltaje y control de temperatura justifica la inversión, ya que puede conducir a una mejora significativa en la gestión y mantenimiento de baterías críticas para la seguridad y operación de aeronaves.

4.3.9 Conclusión del análisis económico

En conclusión, el análisis económico del banco semiautomático de monitoreo de voltaje y control de temperatura para baterías níquel-cadmio demuestra una sólida viabilidad financiera. Con un VAN positivo significativo y una TIR que supera ampliamente la tasa de rendimiento requerida, el proyecto se posiciona como una inversión atractiva. La estructura de costos bien equilibrada, que incluye una previsión prudente para imprevistos, respalda la factibilidad y sostenibilidad del proyecto.

Aunque la inversión inicial es considerable, los beneficios proyectados justifican ampliamente este gasto, anticipando no solo la recuperación del capital invertido sino también la generación de un valor sustancial a largo plazo. Este análisis respalda la decisión de proceder con la implementación del proyecto, sugiriendo que el banco de monitoreo no solo cumplirá con los requerimientos técnicos del sector aeronáutico, sino que también representará una inversión económicamente ventajosa.

Conclusiones

El diseño e implementación del banco semiautomático de monitoreo de voltaje y control de temperatura para baterías de níquel-cadmio ha demostrado una precisión óptima en sus mediciones. El sistema exhibe una tolerancia de $\pm 0.01\text{V}$ en la medición de voltaje y $\pm 0.5^\circ\text{C}$ en el control térmico, parámetros cruciales para garantizar la estabilidad y eficiencia durante los ciclos de carga y descarga. Esta exactitud en el monitoreo y control de variables críticas no solo asegura la longevidad de las celdas, sino que también contribuye significativamente a la integridad operacional en aplicaciones de alta exigencia, como la industria aeronáutica.

La eficiencia térmica del sistema alcanza un 90% en condiciones operativas reales, aproximándose notablemente al 95% proyectado en cálculos teóricos. Este rendimiento se atribuye principalmente a la selección óptima de resistencias térmicas industriales y a la implementación efectiva del algoritmo de control PID. La capacidad del sistema para mantener el régimen térmico dentro del rango especificado (15°C a 25°C) con un tiempo de respuesta de 300 segundos evidencia la robustez del diseño y la precisión del control térmico implementado.

Los resultados de las pruebas operativas validan la eficacia del banco de monitoreo en diversos escenarios, incluyendo la simulación con potenciómetros, fuentes de voltaje variable y baterías reales. El sistema demostró su capacidad para mantener las condiciones de temperatura requeridas y para detectar y alertar sobre voltajes fuera de rango, cumpliendo así con las especificaciones del manual de mantenimiento para las baterías 539-CH1 y 5319CH1. La implementación del control PID para la regulación térmica resultó particularmente exitosa, proporcionando un control preciso y estable de la temperatura.

Desde una perspectiva económica, el análisis financiero revela que el proyecto no solo es técnicamente viable, sino también económicamente atractivo. Con un VAN positivo (3.217,61) significativo y una TIR (53,85 %) que supera ampliamente la tasa de rendimiento requerida, el banco de monitoreo se posiciona como una inversión rentable. Esto sugiere que la implementación del sistema no solo mejorará la eficiencia operativa y la seguridad en el mantenimiento de baterías aeronáuticas, sino que también generará un retorno económico positivo a largo plazo.

Recomendaciones

Para futuras iteraciones del proyecto, se recomienda explorar la posibilidad de incorporar tecnologías de conectividad inalámbrica. Esto permitiría la implementación de funciones de monitoreo remoto y la integración con sistemas de gestión de mantenimiento más amplios, mejorando aún más la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta ante situaciones críticas.

Se sugiere realizar estudios de campo extensivos en diferentes entornos operativos aeronáuticos. Aunque las pruebas de laboratorio han sido exhaustivas, la exposición del sistema a condiciones reales de uso en diversos tipos de aeronaves y bajo diferentes condiciones climáticas podría proporcionar información valiosa para futuras mejoras y adaptaciones.

Considerando el alto rendimiento del sistema actual, se recomienda explorar la posibilidad de adaptar el banco de monitoreo para su uso con otros tipos de baterías además de las níquel-cadmio. Esto podría ampliar significativamente el mercado potencial del dispositivo y su utilidad en diversos sectores industriales más allá de la aviación.

Finalmente, se recomienda establecer un programa de seguimiento a largo plazo para evaluar el impacto del banco de monitoreo en la vida útil y el rendimiento de las baterías. Recopilar datos sobre la reducción de fallos, la extensión de la vida útil de las baterías y la mejora en la eficiencia operativa proporcionaría evidencia tangible del valor añadido por el sistema, lo cual sería valioso tanto para futuros desarrollos como para la justificación de su adopción en la industria aeronáutica.

Referencias

- [1] J. L. Amores, «Estudio de competitividad de las empresas de mantenimiento aeronáutico del Ecuador,» 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6651/1/T2878-MAE-Laverde-Estudio.pdf>. [Último acceso: 10 mayo 2024].
- [2] J. C. L. Cáceres, «Análisis del impacto ambiental de las baterías Níquel Cadmio y la factibilidad de reciclaje,» 2012. [En línea]. Available: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2226/1/09688.pdf>. [Último acceso: 12 mayo 2024].
- [3] J. Catari, «Ventajas Tecnológicas de utilizar Baterías Níquel Cadmio,» agosto 2021. [En línea]. Available: <https://amperonline.com/wp-content/uploads/2021/08/ART-AGO9.pdf>. [Último acceso: 12 mayo 2024].
- [4] Saft, «Baterías de níquel Uptimax fiabilidad & ahorro costes,» saft.com, 25 septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://es.saft.com/EON-selecciona-baterias-de-niquel-uptimax-fiabilidad-ahorro-costes>. [Último acceso: 9 junio 2024].
- [5] JEM Engineering, «Avionteq,» 20 junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.avionteq.com/SpecsSheet.aspx?PDFName=JFM-Engineering-MasterCharger-Specification-Sheet.pdf>. [Último acceso: 20 junio 2024].
- [6] J. Guacash, «NTP 104: Baterías de Ni-Cd. Uso y mantenimiento,» 1984. [En línea]. Available: https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_104.pdf/9f51800b-4e02-400d-92c4-0e55d6221f4a?version=1.1&t=1679928338777#:~:text=Un%20elemento%20Ni-Cd%20completamente,la%20carga%20de%20la%20batería. [Último acceso: Noviembre 2023].
- [7] M. B. Almeida, «Sensores de temperatura,» 2021. [En línea]. Available: https://sga.unemi.edu.ec/media/archivodiapositivasilabo/2021/07/25/archivodiapositiva_2021725153425.pdf. [Último acceso: Noviembre 2023].
- [8] F. Domínguez Gros y J. Solé Casals, «Introducción a los sensores,» 2019. [En línea]. Available: https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/147368/3/InstrumentacionElectronica_Modulo4_IntroduccionALosSensores.pdf. [Último acceso: 10 mayo 2024].
- [9] GUILCOR SENSORS, «SONDA DE CONTACTO,» [En línea]. Available: <https://www.guilcor.es/559-sonde-de-contact#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20una%20sonda%20de,flujo%20de%20calor%20entre%20ellos>. [Último acceso: 10 mayo 2024].
- [10] Wenglor, «Sensores de temperatura para la medición sin contacto,» [En línea]. Available: <https://www.wenglor.com/es/Sensores/Sensores-optoelectronicos/Sensores-de-temperatura-para-medicion-sin->

contacto/c/cxmCID197623#:~:text=Los%20sensores%20de%20este%20tipo,as%C3%A
D%20como%20las%20mediciones%20absolutas.. [Último acceso: 10 mayo 2024].

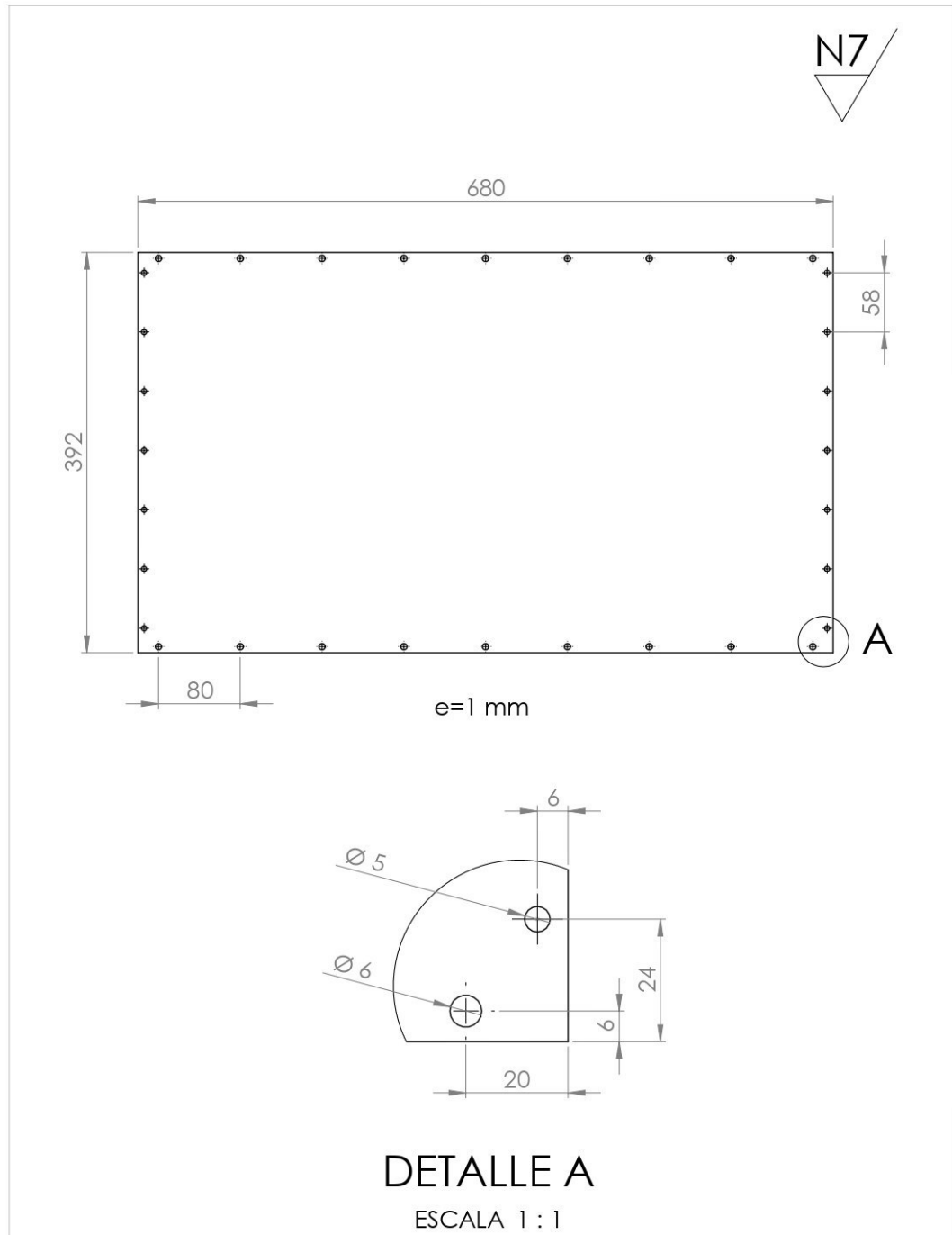
- [1] ELECTROSITIO, «Cómo funciona el sensor de voltaje y sus aplicaciones,» 2021. [En línea]. Available: <https://electrositio.com/como-funciona-el-sensor-de-voltaje-y-sus-aplicaciones/>. [Último acceso: Noviembre 2023].
- [1] PoliMex, «Catálogo de resistencias eléctricas industriales,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.polimex.mx/catalogos/Catalogo-de-Resistencias-Elctricas-Polimex-2017.pdf>.
- [1] Indu-Resistencias, «Introducción A Las Resistencias Eléctricas Industriales,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.resistencias-electricas.org/productos/introduccion-a-las-resistencias-electricas-industriales/>. [Último acceso: 10 mayo 2024].
- [1] Web mas interesante, «Resistencias Eléctricas Industriales,» web.masinteresantes.com, [En línea]. Available: <https://web.masinteresantes.com/resistencias-electricas-industriales/>. [Último acceso: 9 junio 2024].
- [1] Revista Cero Grados, «Conceptos de enfriamiento. Por aire, evaporativo, adiabático e híbrido,» 13 julio 2022. [En línea]. Available: <https://0grados.com/conceptos-de-enfriamiento-por-aire-evaporativo-adiabatico-e-hibrido/>.
- [1] UNAM, «El microcontrolador,» [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/760/4/A4.pdf>. [Último acceso: 10 mayo 2024].
- [1] L. P. Viñas, «PANTALLAS ELECTRÓNICAS,» [En línea]. Available: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/189647/7.-_pantallas_electronicas_y_proyectores_de_video-4826.pdf. [Último acceso: 12 mayo 2024].
- [1] AVERROES BLOG, «DISPLAY LCD,» [En línea]. Available: <https://blogsaverroes.juntadeandalucia.es/iesbellavista/files/2016/04/LCD-DISPLAY.pdf>. [Último acceso: 12 mayo 2024].
- [1] Isaac, «Pantalla LCD: todo lo que necesitas saber,» hwlibre.com, [En línea]. Available: <https://www.hwlibre.com/pantalla-lcd/>. [Último acceso: 9 junio 2024].
- [2] P. J. Riu i Costa, R. Pallás Areny y J. M. López González, «Multiplexores analógicos Panorámica del mercado,» marzo 1989. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Ramon-Pallas-Areny/publication/303752160_Multiplexores_analogicos_Panoramica_del_mercado/links/57508d9208aef67d0d89f36e/Multiplexores-analogicos-Panoramica-del-mercado.pdf. [Último acceso: 12 mayo 2024].
- [2] J. I. Escudero, M. Parada y F. Simón, «MULTIPLEXORES ANALÓGICOS,» [En línea]. [1] Available: <https://es.scribd.com/document/37894635/Tema-5-Multiplexores-Analogicos>. [Último acceso: 12 mayo 2024].

- [2 BROLEO, «Demultiplexor analógico, multiplexor analógico bidireccional conveniente para la radio,» amazon.com, 2 noviembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/Demultiplexor-anal%C3%B3gico-multiplexor-bidireccional-conveniente/dp/B0CMF5KFY4>. [Último acceso: 9 junio 2024].
- [2 L. Llamas, «Luisllamas.es,» 18 noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/tarjeta-micro-sd-arduino/>. [Último acceso: 21 junio 2024].
- [2 E. Equipo editorial, «Acero,» Enciclopedia Humanidades, 23 enero 2023. [En línea]. Available: <https://humanidades.com/acero/>. [Último acceso: 2 junio 2024].
- [2 J. L. MALDONADO FLORES, «Aceros y sus aplicaciones,» diciembre 1996. [En línea]. Available: <http://eprints.uanl.mx/421/1/1020118272.PDF>. [Último acceso: 2 junio 2024].
- [2 M. VILLAVICENCIO, «EL ACERO EN LA INGENIERÍA CIVIL, USOS VENTAJAS Y LIMITACIONES,» 2021. [En línea]. Available: <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/5af1fe47-95a5-4acf-8c4b-ac5dfc0843ae/content>. [Último acceso: 2 junio 2024].
- [2 LANEMA Aluminios y Plásticos S.L., «ALEACIÓN DE ALUMINIO AW 6063,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.lanema.es/es/aluminios-tecnicos/perfiles/aw-6063-1/>. [Último acceso: junio 2024].
- [2 Coppermetal, «Aluminio 6063: características y aplicaciones,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.coppermetal.com.br/es/blog/aluminio-6063-caracteristicas-y-aplicaciones/>. [Último acceso: junio 2024].
- [2 Kefren, «ALEACIÓN DE ALUMINIO 6063-T5. MATERIAL EMPLEADO PARA LA FABRICACIÓN DE PERFILES DE ALUMINIO,» octubre 2020. [En línea]. Available: <https://grupokefren.com/materiales/metales/aleacion-de-aluminio-6063/>. [Último acceso: junio 2024].
- [3 WELLSTE - Division of Bigle, «Aleación de aluminio 6063: revelando cada aspecto,» noviembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.wellste.com/es/6063-aluminum-alloy/>. [Último acceso: junio 2024].
- [3 kloeckner metals, «VIGAS A992,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.kloecknermetals.com/es/products/steel-beams/a992/#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1les%20son%20las%20propiedades%20del,alta%20resistencia%20a%20la%20corrosi%C3%B3n.> [Último acceso: junio 2024].
- [3 ingenieriapedia, «ACERO 1018 – GRADO MAQUINARIA: PROPIEDADES Y APLICACIONES,» 28 febrero 2024. [En línea]. Available: https://ingenieriapedia.com/acero-1018/#Propiedades_Quimicas. [Último acceso: julio 2024].
- [3 TUOFA, «Acero galvanizado: propiedades, procesos y usos del material,» 02 junio 2024. [En línea]. Available: <https://www.tuofa-cncmachining.com/es/tuofa-blog/galvanized-steel.html>. [Último acceso: julio 2024].

- [3 corkup, «El corcho natural,» 2017. [En línea]. Available: <https://corkup.es/corcho-natural/#:~:text=El%20corcho%20es%20un%20material,%25%20natural%2C%20renovable%20y%20biodegradable..> [Último acceso: 06 2024].
- [3 CIR - Expertos en aislamientos y simunistro industrial, «ESPUMA DE POLIETILENO,» 5] 2023. [En línea]. Available: <https://cir62.com/aislamiento-por-el-interior-de-conductos-metalicos/88-espuma-de-poli-etileno.html#>. [Último acceso: 06 2024].
- [3 T. Rojas, Tecnología del Plástico, 08 08 2023. [En línea]. Available: 6] <https://www.plastico.com/es/noticias/poliestireno-expandido-eps-usos-ventajas-y-aplicaciones>. [Último acceso: 06 2024].
- [3 Arduino, «Arduino Mega 2560,» 2021. [En línea]. Available: 7] <https://arduino.cl/producto/arduino-mega-2560/#:~:text=Arduino%20Mega%20es%20una%20tarjeta,implementa%20el%20lenguaje%20Processing%2FWiring..> [Último acceso: 06 2024].
- [3 electran - electrónica y robótica, «TEENSY 3.2,» 2022. [En línea]. Available: 8] <https://www.electan.com/teensy-32-p-6684.html>. [Último acceso: 06 2023].
- [3 UNIT Electronics, «ESP32 38 Pines ESP WROOM 32,» 2023. [En línea]. Available: 9] <https://uelectronics.com/producto/esp32-38-pines-esp-wroom-32/>. [Último acceso: 06 2024].
- [4 INDEX, «Remches,» 01 febrero 2021. [En línea]. Available: 0] https://www.indexfix.com/wp-content/uploads/CMP6735/files/FT_RE_es_rev4.pdf. [Último acceso: julio 2024].
- [4 Dirección de Industria Aeronáutica FAE (DIAF), «Su avión aterrizará en las mejores 1] manos,» diaf.gob.ec, 2024. [En línea]. Available: <https://www.diaf.gob.ec/>. [Último acceso: 9 junio 2024].
- [4 PVL, «COOLER VENTILADOR BRUSHLESS PARA PC, CONECTOR 4 PINES, 2] BDM8025S,» pvl.com.bo, [En línea]. Available: <https://pvl.com.bo/producto/cooler-brushless-bdm8025s/>. [Último acceso: 9 junio 2024].
- [4 MIKROE, «Introducción al mundo de los microcontroladores,» mikroe.com, [En línea]. 3] Available: <https://www.mikroe.com/ebooks/microcontroladores-pic-programacion-en-c-con-ejemplos/introduccion-al-mundo-de-los-microcontroladores>. [Último acceso: 9 junio 2024].
- [4 M. Schramm, «¿Qué puede hacerse con los perfiles de aluminio?,» 4] aluminioindustrial.mx, 4 septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://aluminioindustrial.mx/blog/que-puede-hacerse-con-los-perfiles-de-aluminio/>. [Último acceso: 9 junio 2024].
- [4 Hierro y acero, «Perfil en L - Pesos, Medidas y Características,» hierroyacero.site, 2021. 5] [En línea]. Available: <https://www.hierroyacero.site/perfil-l/>. [Último acceso: 10 junio 2024].

- [4] DIPAC, «Tubo Estructural Cuadrado Negro,» dipacmanta.com, 2023. [En línea].
- 6] Available: <https://dipacmanta.com/producto/tubos/tubo-estructural/tubo-estructural-cuadrado-negro/>. [Último acceso: 11 junio 2024].
- [4] Panel y Acanalados Monterrey, «La importancia del Acero A 36: Encuentra sus
- 7] propiedades y usos,» 2023. [En línea]. Available: <https://panelyacanalados.com/blog/acero-a-36-propiedades-y-usos/>. [Último acceso: 06 2024].
- [4] Mactronica, «MODULO LECTURA ESCRITURA MICRO SD ARDUINO,»
- 8] Mactronica, [En línea]. Available: <https://www.mactronica.com.co/modulo-lectura-escritura-micro-sd-arduino>. [Último acceso: 20 junio 2024].
- [4] Finglai, «www.finglai.com,» [En línea]. Available: <http://www.finglai.com>. [Último
- 9] acceso: 5 julio 2024].
- [5] R. B. y. K. Nisbett, «Soldadura, adhesión y diseño de uniones permanentes,» de *de*
- 0] *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, México, McGraw-Hill Interamericana, 2008, pp. pp. 457-480.

Anexos



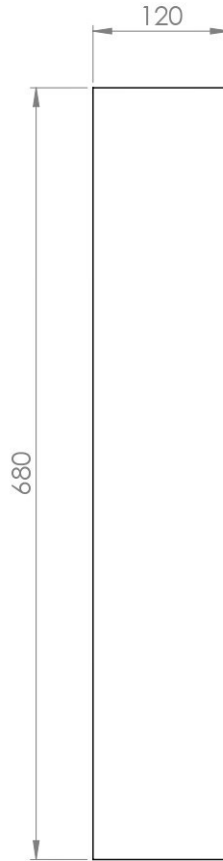
DETALLE A
ESCALA 1 : 1

Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Acero 1018	Dim. Brutas:	680x392x1
Recubrimiento	G360				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	UPS	Diseño:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Dibujó:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Revisó:	Ing. Casa Edwin	02/07/2024	
Tapa Superior	Escala: 1:5	Código:	10.2328.4380.01.01.07	Tol. Gral.:	± 1.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 1. Plano de construcción: Tapa superior.

N7



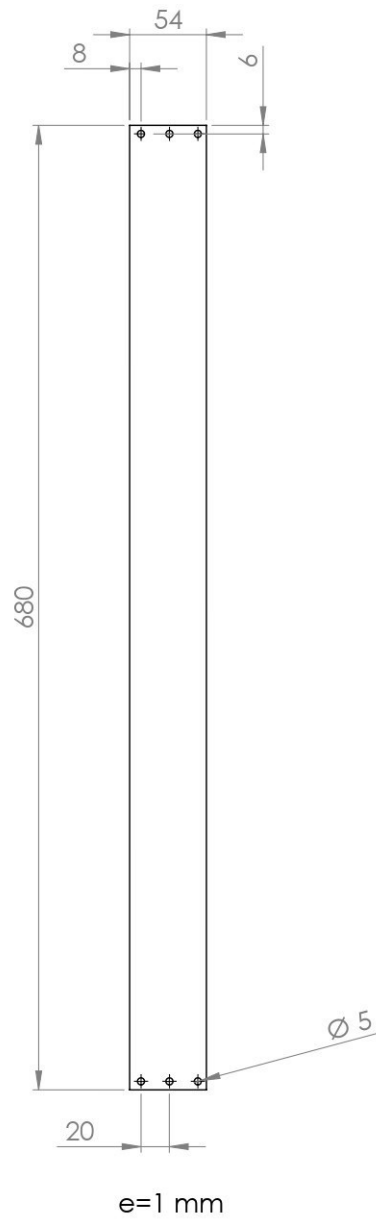
e=1 mm

Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Dim. Brutas:
Recubrimiento	G360	Acero 1018	680x120x1
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA	UPS	Diseñó:	Barrionuevo María
		Dibujó:	Barrionuevo María
		Revisó:	Ing. Casa Edwin
Tapa interna	Escala: 1:5	Código:	10.2328.4380.01.01.03
		Tol. Gral.:	±1.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 2. Plano de construcción: Tapa interna.

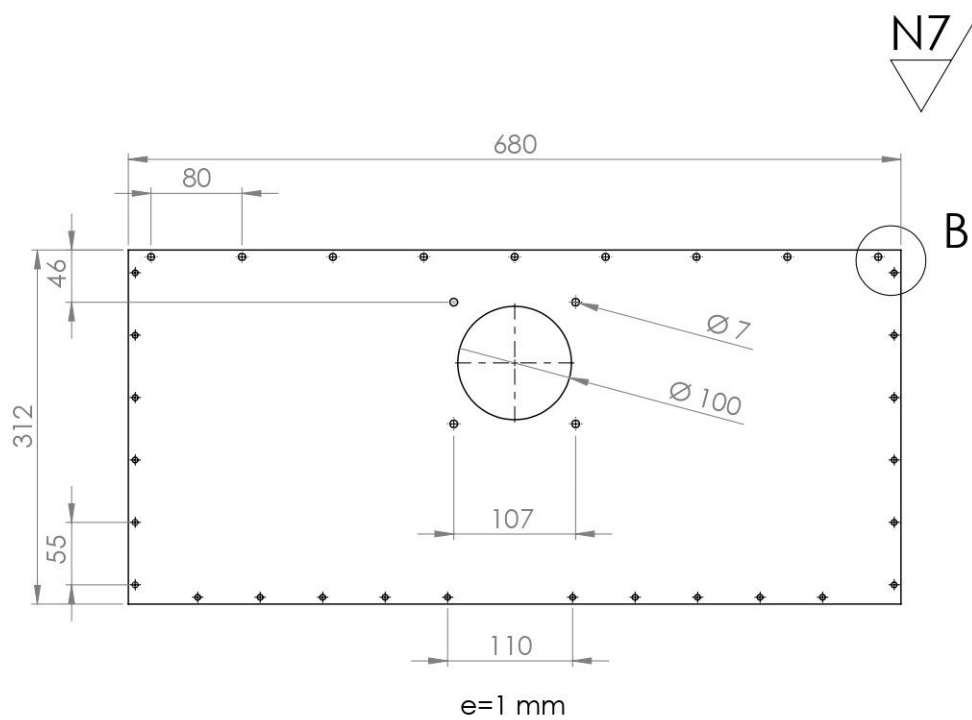
N7



Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Acero 1018	Dim. Brutas:	680x54x1
Recubrimiento	G360				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	UPS	Diseño:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Dibujó:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Revisó:	Ing. Casa Edwin	02/07/2024	
Tapa Posterior Inferior	Escala: 1:5	Código:	10.2328.4380.01.01.04	Tol. Gral.:	±1.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 3. Plano de construcción: Tapa posterior inferior.



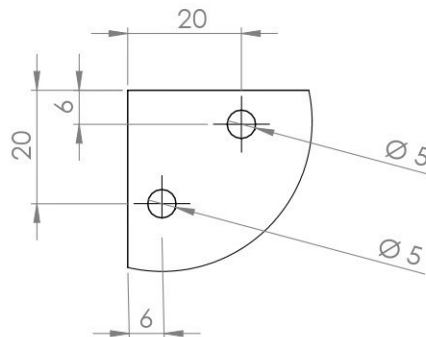
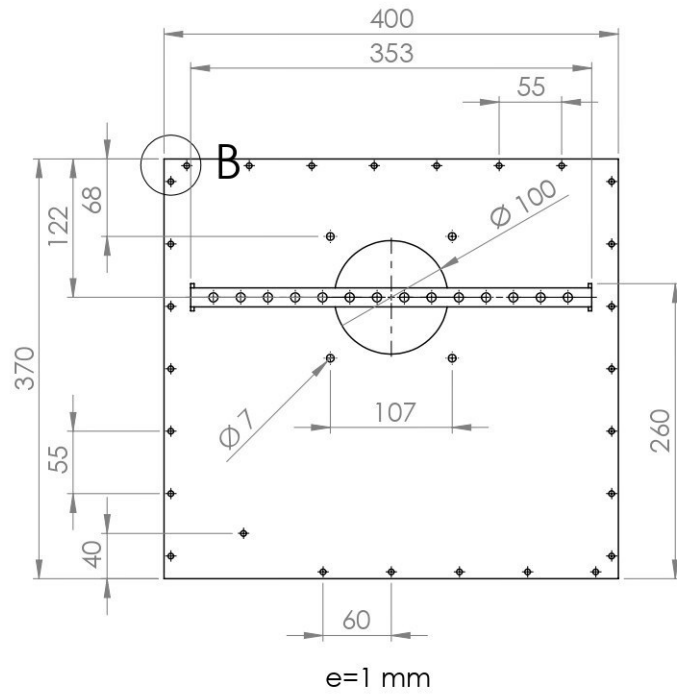
DETALLE B
ESCALA 1 : 1

Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Acero 1018	Dim. Brutas:	680x312x1
Recubrimiento	G360				
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA	UPS	Diseñó:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Dibujó:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Revisó:	Ing. Casa Edwin	02/07/2024	
Tapa Posterior Superior	Escala: 1:5	Código:	10.2328.4380.01.01.05	Tol. Gral.:	±1.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 4. Plano de construcción: Tapa posterior superior.

N7



DETALLE B

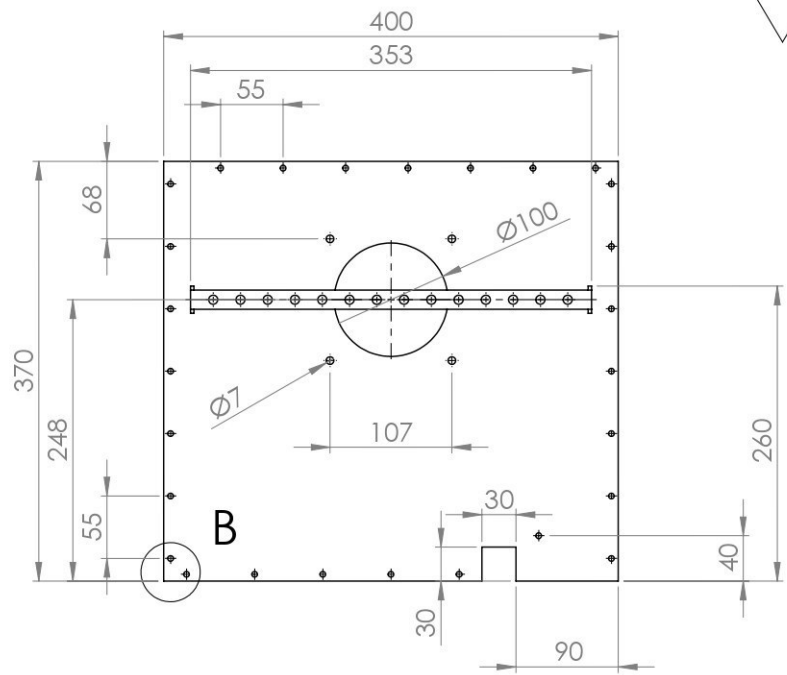
ESCALA 1 : 1

Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Acero 1018	Dim. Brutas:	370x400x1
Recubrimiento	G360				
CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA	UPS	Diseñó:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Dibujó:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Revisó:	Ing. Casa Edwin	02/07/2024	
Tapa Lateral Derecha	Escala: 1:5	Código:	10.2328.4380.01.03	Tol. Gral.:	±1.0

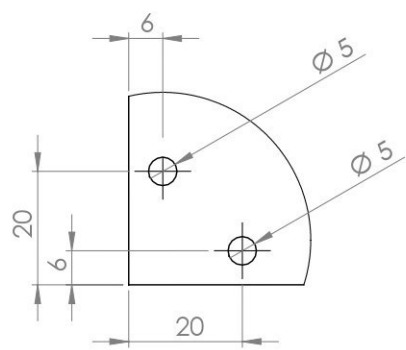
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 5. Plano de construcción: Tapa lateral derecha.

N7



e=1 mm



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

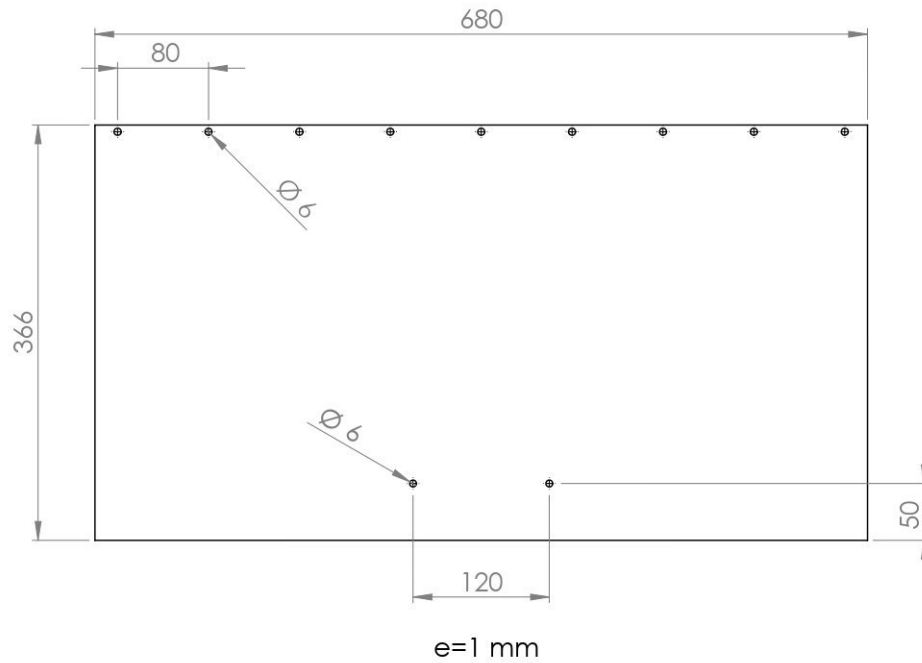
Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Acero 1018	Dim. Brutas:	370x400x1
Recubrimiento	G360				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	UPS	Diseño:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Dibujó:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Revisó:	Ing. Casa Edwin	02/07/2024	
Tapa Lateral Izquierda	Escala: 1:5	Código:	10.2328.4380.01.02	Tol. Gral.:	±1.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 6. Plano de construcción: Tapa lateral izquierda.



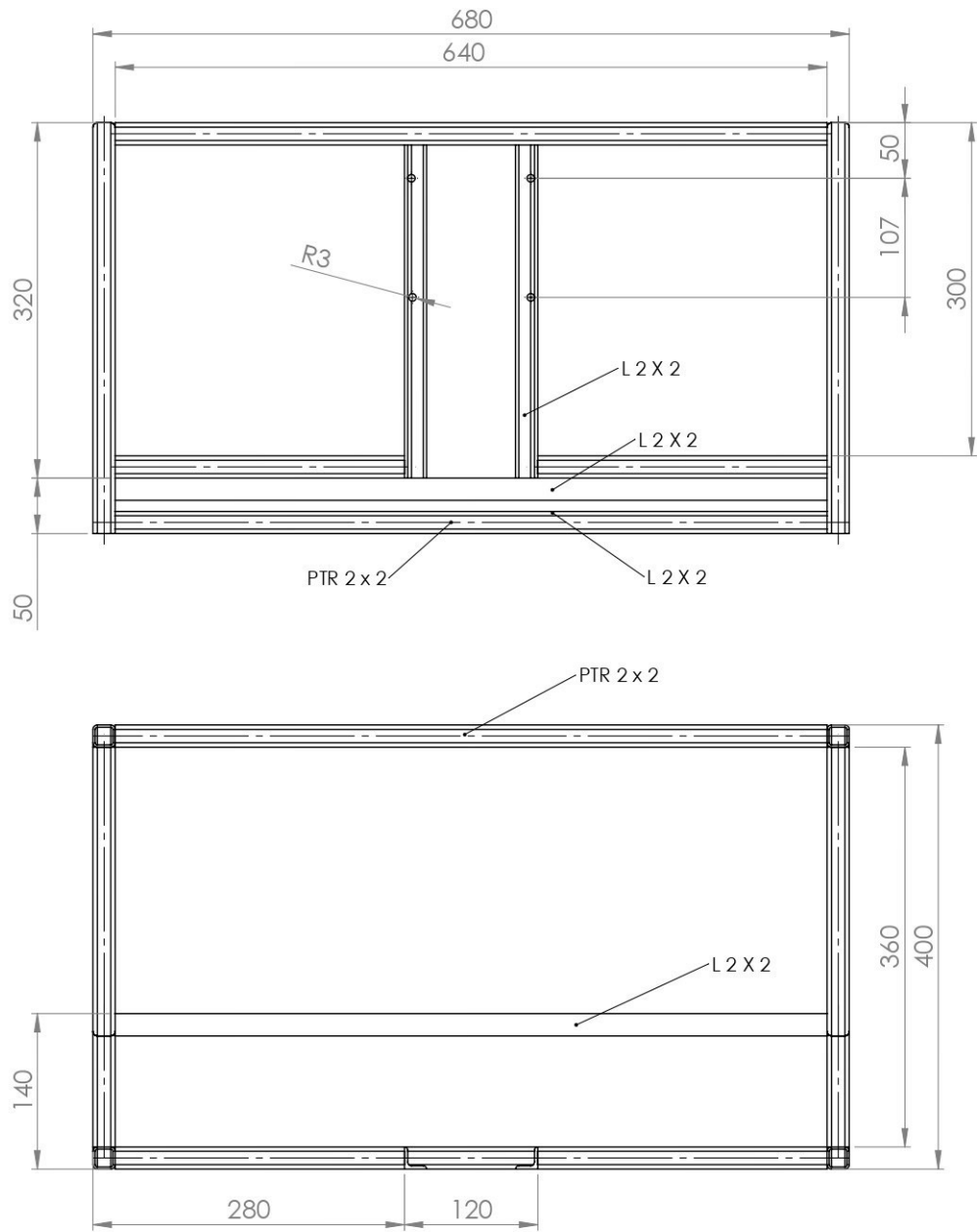
N7



Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Acero 1018	Dim. Brutas:	680x366x1
Recubrimiento	G360				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	UPS	Diseñó:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Dibujó:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Revisó:	Ing. Casa Edwin	02/07/2024	
Tapa Frontal	Escala: 1:5	Código:	10.2328.4380.01.01.06	Tol. Gral.:	±1.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 7. Plano de construcción: Tapa frontal.

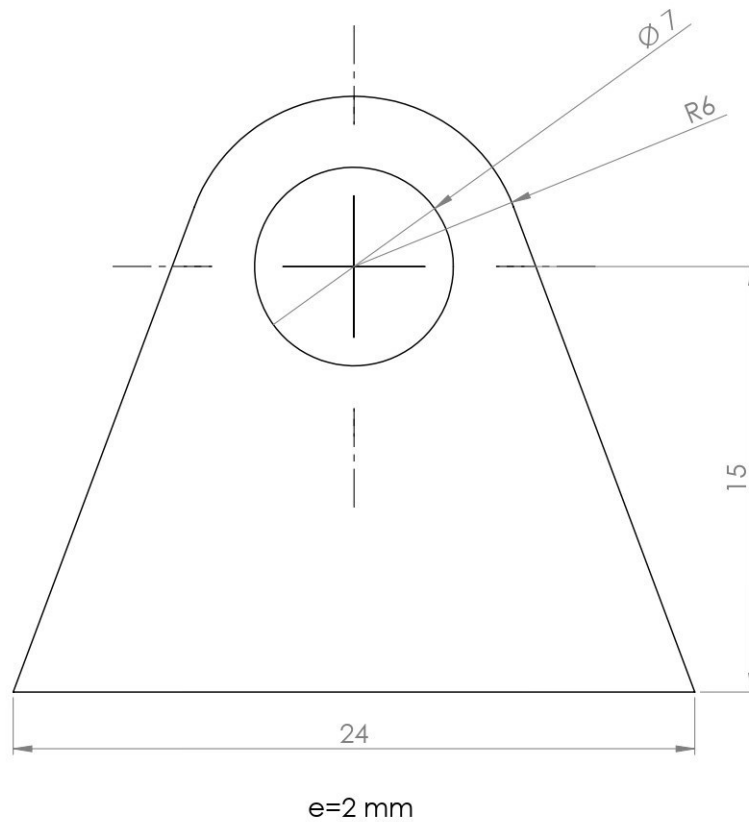


Tratamiento térmico:	N/A	Material:	Acero 1018	Dim. Brutas:	680x400x370	
Recubrimiento	N/A	Diseño:	Barrionuevo María		02/07/2024	
CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		UPS		Dibujó:	Barrionuevo María	02/07/2024
				Revisó:	Ing. Casa Edwin	02/07/2024
Estructura Banco de Monitoreo		Escala:	1:8	Código:	10.2328.4380.01.01	Tol. Gral.: ±0.1

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 8. Plano de construcción: Estructura.

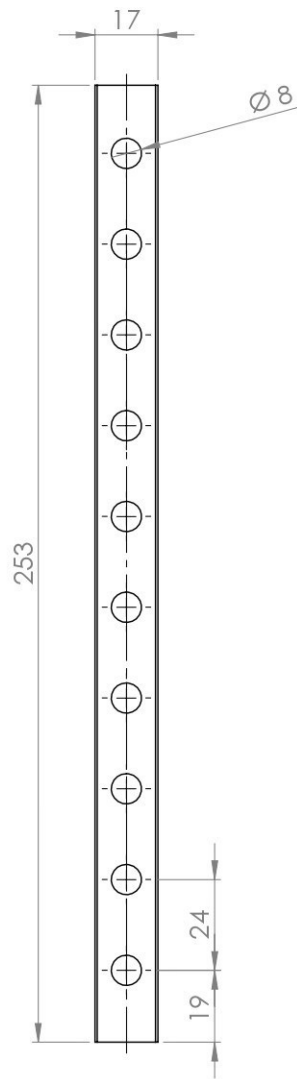
N7



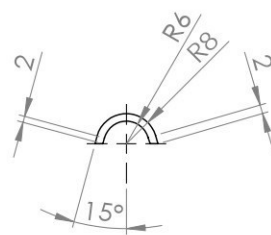
Tratamiento térmico:	NA	Material:	Acero 1018	Dim. Brutas:	24x21x2
Recubrimiento	G360				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	UPS	Diseñó:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Dibujó:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Revisó:	Ing. Casa Edwin	02/07/2024	
Soporte resistencias	Escala: 5:1	Código:	10.2328.4380.01.01.01	Tol. Gral.:	±1.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 9. Plano de construcción: Soportes resistencias.



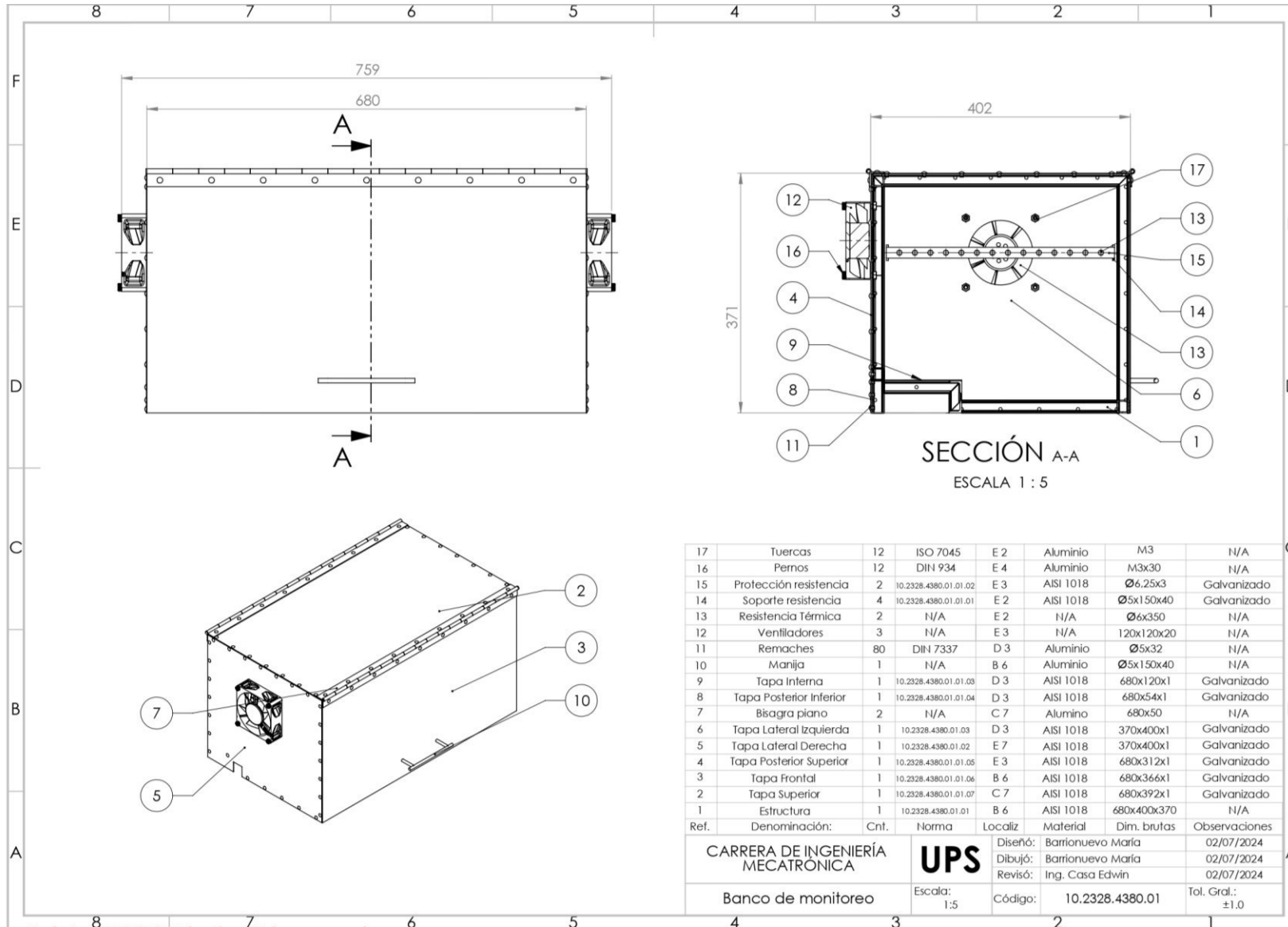
N7



Tratamiento térmico:	NA	Material:	Acero 1018	Dim. Brutas:	R8x253x2
Recubrimiento	G360				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	UPS	Diseñó:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Dibujó:	Barrionuevo María	02/07/2024	
		Revisó:	Ing. Casa Edwin	02/07/2024	
Protección resistencias	Escala: 1:2	Código:	10.2328.4380.01.01.02	Tol. Gral.:	±1.0

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 10. Plano de construcción: Protección resistencias.



Anexo 11. Plano de construcción: Banco de monitoreo