



**Desarrollo e implementación de sistemas eléctricos y electrónicos para maquetas de  
entrenamiento de tripulantes de cabina de pasajeros: Optimización de sistemas de  
entrenamiento para tripulantes de cabina de pasajeros**

Julio Cesar Salazar Taborda

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero aeroespacial

Asesor, Diego Francisco Hidalgo López, Ph.D.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Aeroespacial

El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia

2024

Cita	Salazar Taborda [1]
<b>Referencia</b>	[1] Salazar Taborda, “Desarrollo e implementación de sistemas eléctricos y electrónicos para maquetas de entrenamiento de tripulantes de cabina de pasajeros”, trabajo de grado de pregrado, Ingeniería aeroespacial, Universidad de Antioquia, El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia, 2024.
Estilo IEEE (2020)	



**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mi madre Marleny y mi padre César, por su amor incondicional, su constante apoyo y sus sabias enseñanzas. Han sido mi pilar fundamental, inculcándome los valores de la perseverancia y el esfuerzo, acompañándome y amándome en los momentos difíciles y en los logros, convirtiéndose en mi más grande tesoro y orgullo. A mi hermana y el resto de mi familia, por su amor incondicional y su apoyo inquebrantable, a mis amigos y mi pareja, por su apoyo sincero, su aliento constante y por siempre confiar en mí. Finalmente, dedico este trabajo a cada una de las personas que siempre confiaron en lo que lograría y en lo que lograré, mil gracias por su amor y comprensión, son mi fuente de inspiración y fortaleza en todo momento.

## **Agradecimientos**

En primer lugar, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor, el Profesor Diego Francisco Hidalgo López, por su guía y sabiduría en esta recta final de mi vida estudiantil.

Su experiencia y consejos han sido fundamentales para finiquitar esta etapa estudiantil, su compromiso con mi formación académica ha sido una fuente constante de inspiración.

Agradezco a mis compañeros de Nedar SAS, quienes han sido una parte esencial de esta experiencia de pasantía. Su colaboración, paciencia y asistencia durante el desarrollo de mis practicas académicas han sido invaluable. Su disposición para compartir sus conocimientos y ofrecerme una perspectiva práctica de la ingeniería aeroespacial ha enriquecido enormemente mi formación profesional. Mi gratitud también va dirigida a mis compañeros de estudio, por su compañerismo y apoyo a lo largo de nuestra trayectoria académica. Sus aportes y su espíritu de equipo han sido una parte importante de este viaje.

Finalmente, deseo extender mi reconocimiento a mi familia y amigos por su apoyo constante y su motivación. Su comprensión durante los periodos de arduo estudio y desconexión de mi parte han sido un pilar fundamental en este proceso.

## TABLA DE CONTENIDO

### CONTENIDO

RESUMEN.....	9
ABSTRACT .....	10
I. INTRODUCCIÓN .....	11
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
A. Antecedentes .....	12
III. JUSTIFICACIÓN.....	14
IV. OBJETIVOS .....	15
A. Objetivo general .....	15
B. Objetivos específicos .....	15
V. MARCO TEÓRICO .....	16
A. Evolución de las capacidades:.....	16
B. Desarrollo de sistemas innovadores:.....	16
C. Simuladores para tripulantes de cabina de pasajero:.....	17
D. PLC (Controlador Lógico Programable):.....	21
Lenguaje ladder:.....	21
E. Microcontroladores: .....	22
F. PCB (Printed Circuit Board): .....	23
VI. METODOLOGÍA .....	24
A. Conceptualización: .....	24
B. Diseño: .....	24
C. Implementación:.....	24
D. Pruebas y evaluación:.....	25
E. Cronograma de actividades .....	25

F. Presupuesto.....	26
Gastos en talento humano: .....	26
Gastos técnicos y tecnológicos: .....	26
Gastos económicos: .....	26
VII. RESULTADOS .....	27
A. Door trainer del A320 .....	29
B. Door trainer del Boeing 737 .....	31
VIII. DISCUSIÓN.....	33
A. Evaluación del Sistema del A320.....	33
B. Innovaciones en el Sistema del B737.....	33
C. Comparación de Enfoques y Costos.....	33
IX. CONCLUSIONES .....	35
REFERENCIAS .....	37
ANEXOS.....	38

## LISTA DE TABLAS

TABLA I CRONOGRAMA .....	26
--------------------------	----

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Maqueta tipo Mock up .....	17
Fig. 2 Maqueta tipo Door Trainer .....	18
Fig. 3 Diagrama de sistemas de control del Door trainer .....	20
Fig. 4 Programación en Ladder .....	22
Fig. 5 Diagrama de procesos .....	27
Fig. 6 Planos de control y potencia .....	28
Fig. 7 Gabinetes eléctricos Door trainers, B737 y A320. ....	29
Fig. 8 Diagrama PCB A320 pulsadores con retención.....	29
Fig. 9 PCBs manufacturadas para el Door trainer A320.....	30
Fig. 10 Ensamble PCB con PSU original A320.....	31
Fig. 11 Diagrama PCB B737.....	31
Fig. 12 PCB manufacturada para el Door trainer B737 .....	32
Fig. 13 Ensamble PCB con PSU original B737 .....	32

## SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

<b>CFR</b>	Code of Federal Regulations
<b>GPIO</b>	General-Purpose Input/Output
<b>METCP</b>	Maquetas Instructoras para Tripulantes de Cabina de Pasajero
<b>PCB</b>	Printed Circuit Board
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller
<b>PSU</b>	Passenger Service Unit
<b>RAC</b>	Reglamento Aeronáutico de Colombia
<b>TCP</b>	Tripulantes de Cabina de Pasajero
<b>UART</b>	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

## RESUMEN

Este proyecto de práctica en la empresa Nedar SAS tenía como objetivo el desarrollo de la experiencia del estudiante de ingeniería aeroespacial, específicamente en el diseño e implementación de sistemas eléctricos y electrónicos de operación básica para entrenadores de tripulantes de cabina de pasajeros. Por consiguiente, se diseñaron e implementaron circuitos eléctricos y electrónicos que se integraron en las maquetas de entrenamiento para los tripulantes de cabina de pasajeros (TCP) que se encuentran en fabricación por la compañía, con el fin de fortalecer las capacidades técnicas propias y de la empresa. Se aplicaron conceptos de electrónica como instalación y programación de microcontroladores, diseño de Printed Circuit Board (PCB), entre otros. Por consiguiente, este proyecto siguió una metodología ágil que incluyó conceptualización, diseño, implementación y evaluación. El proyecto buscó no solo mejorar las habilidades técnicas del estudiante, sino también aportar soluciones innovadoras a los sistemas de entrenamiento actuales, garantizando un alto nivel de realismo y funcionalidad en las maquetas utilizadas para la formación de TCP. Además, se espera que los resultados obtenidos permitan a Nedar SAS optimizar sus procesos de producción y ofrecer productos de mayor calidad a sus clientes.

***Palabras clave* — Maquetas instructoras para tripulantes de cabina de pasajero, Ingeniería aeroespacial, Sistemas eléctricos, Sistemas electrónicos, Diseño de circuitos, Microcontroladores**

## ABSTRACT

This practice project at Nedar SAS aimed to develop the experience of the aerospace engineering student, specifically in the design and implementation of basic operation electrical and electronic systems for cabin crew trainers. Consequently, electrical and electronic circuits were designed and implemented, integrated into the training mockups for cabin crew members (CCM) that are being manufactured by the company, to strengthen the technical capabilities of both the student and the company. Concepts of electronics such as the installation and programming of microcontrollers, and the design of Printed Circuit Boards (PCBs), among others, were applied. Therefore, this project followed an agile methodology that included conceptualization, design, implementation, and evaluation. The project sought not only to improve the student's technical skills but also to provide innovative solutions to current training systems, ensuring a high level of realism and functionality in the mockups used for CCM training. Additionally, it is expected that the results obtained will allow Nedar SAS to optimize its production processes and offer higher quality products to its customers.

**Keywords** — Training models for passenger cabin crew, Aerospace engineering, Electrical systems, electronic systems, Circuit design, Microcontrollers

## I. INTRODUCCIÓN

Los simuladores aeronáuticos han adquirido un rol protagónico en la formación y entrenamiento de tripulantes de vuelo, astronautas y personal de mantenimiento. Estos simuladores recrean de la manera más realista condiciones de vuelo, emergencias y procedimientos, permitiendo a los usuarios practicar maniobras, enfrentar situaciones de emergencia y familiarizarse con diferentes tipos de aeronaves, todo con la finalidad de estar lo suficientemente preparado para afrontar una situación real.

Nediar se destaca como una empresa líder en el diseño y la fabricación de un tipo de estos simuladores en particular como lo son las maquetas de entrenamiento para tripulantes de cabina de pasajeros, teniendo en cuenta que dichos simuladores tienen una alta fidelidad a la realidad ya que son fabricados con partes de aviones reales permitiendo así soluciones accesibles e innovadoras de entrenamiento para la industria aeronáutica. Gracias a lo anterior, Nediar se ha posicionado como un referente en el mercado global, ofreciendo soluciones de alta calidad y tecnología de punta. Por ende, las prácticas académicas en Nediar representan una oportunidad excepcional para que los estudiantes de ingeniería aeroespacial pongan en práctica los conocimientos teóricos adquiridos en el aula y los apliquen a un contexto real de trabajo, industria y producción.

En Nediar, la pasantía se enfocará en el desarrollo de sistemas electrónicos y eléctricos para la operación básica de los entrenadores ya mencionados. Se pondrá en práctica los conocimientos adquiridos, diseñando, implementando y manteniendo sistemas eléctricos y electrónicos. Esta experiencia permitirá al estudiante adquirir habilidades valiosas en su crecimiento y desarrollo profesional. De igual forma, se profundizará en la comprensión de los principios de la electrónica, la eléctrica y el control específicos para este campo, fortaleciendo las capacidades de análisis, resolución de problemas y toma de decisiones. Se trabajará en proyectos reales de la industria aeronáutica junto a profesionales altamente calificados, lo que permitirá desarrollar una amplia gama de habilidades que impulsarán el futuro del estudiante como ingeniero aeroespacial.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La capacitación efectiva de los tripulantes de cabina de pasajeros (TCP) es fundamental para garantizar la seguridad y eficiencia en la operación de aeronaves comerciales. Los TCP desempeñan un papel crucial en la gestión de emergencias, la atención al pasajero y la ejecución de procedimientos de seguridad, lo que requiere una formación exhaustiva y práctica. Sin embargo, la formación tradicional basada en clases teóricas y prácticas limitadas presenta desafíos significativos, como la falta de realismo y la imposibilidad de simular situaciones de emergencia de manera segura y controlada.

Los simuladores aeronáuticos para TCP, también conocidos como maquetas de entrenamiento, han emergido como una solución efectiva para abordar estos desafíos. Estos simuladores recrean con alta fidelidad el entorno de la cabina de un avión, permitiendo a los TCP practicar procedimientos de emergencia, familiarizarse con el equipamiento de seguridad y desarrollar habilidades críticas en un entorno controlado y seguro. Sin embargo, el desarrollo y la implementación de estos simuladores presentan desafíos técnicos y logísticos que requieren soluciones innovadoras y efectivas.

Nediar SAS, una empresa líder en el diseño y fabricación de simuladores para TCP, enfrenta el reto de mejorar continuamente sus productos para satisfacer las necesidades crecientes de la industria aeronáutica. En este contexto, la implementación de sistemas electrónicos y eléctricos avanzados en las maquetas de instrucción se ha identificado como un área clave para la innovación en estos procesos. En pocas palabras, los sistemas actuales deben ser evaluados y optimizados para asegurar que ofrecen el nivel de realismo y funcionalidad requerido para una formación efectiva.

### *A. Antecedentes*

El uso de simuladores en la formación de TCP ha demostrado ser altamente eficaz. La *International Air Transport Association* (IATA) ha señalado que los simuladores de alta fidelidad mejoran significativamente la capacidad de los TCP para manejar emergencias y seguir procedimientos de seguridad [1]. A través de estudios y experiencias prácticas, se ha establecido que la implementación de estas maquetas de instrucción en la formación de TCP contribuye a una mayor retención del conocimiento y a un mejor desempeño en situaciones reales.

Además, Nediari ha adquirido en el pasado capacidades significativas en esta área, lo que le ha permitido desarrollar y optimizar simuladores altamente efectivos. La empresa ha trabajado en la implementación de tecnologías avanzadas para mejorar la funcionalidad y la fiabilidad de sus simuladores, lo que la ha posicionado como un referente en el mercado global.

Asimismo, las regulaciones establecidas por el Reglamento Aeronáutico de Colombia (RAC) exigen la disponibilidad de estos tipos de espacios de entrenamiento para la certificación y formación continua de los TCP. Estas regulaciones destacan la importancia de contar con simuladores que cumplan con los estándares de calidad y seguridad necesarios para una capacitación efectiva.

### III. JUSTIFICACIÓN

La formación de (TCP) es una prioridad crítica en la industria aeronáutica debido a su rol esencial en la seguridad y confort de los pasajeros. Los TCP deben estar preparados para enfrentar una variedad de situaciones de emergencia, desde evacuaciones hasta la gestión de eventos médicos en vuelo. La capacitación tradicional, que combina instrucción en el aula con ejercicios prácticos limitados, no es suficiente para preparar completamente a los TCP para las complejidades y desafíos de su labor. Aquí es donde los simuladores de alta fidelidad desempeñan un papel fundamental, proporcionando un entorno seguro y controlado en el que los TCP pueden adquirir y perfeccionar las habilidades necesarias para su desempeño profesional.

Este proyecto de pasantía en Nediari SAS se centra en el diseño e implementación de sistemas eléctricos y electrónicos para simuladores de entrenamiento de TCP, con el objetivo de mejorar la calidad y efectividad de la formación. La selección de este tema responde a la necesidad urgente de desarrollar soluciones innovadoras que aborden las limitaciones de los métodos de entrenamiento tradicionales y satisfagan las crecientes demandas de la industria aeronáutica.

Los simuladores diseñados e implementados en este proyecto permitirán a los TCP practicar maniobras críticas y procedimientos de emergencia en un entorno realista y seguro. Esto no solo incrementa su competencia y confianza, sino que también contribuye a la seguridad general de la operación aérea. Además, este proyecto contribuirá a la ingeniería aeroespacial al introducir mejoras tecnológicas que optimizan la funcionalidad y la fiabilidad de los simuladores. La adopción de estas tecnologías avanzadas no solo beneficiará a Nediari, sino que también establecerá un nuevo estándar en la industria, fomentando la innovación y elevando la calidad de la formación de los TCP.

Se puede asegurar que, este proyecto es esencial para mejorar la formación de los TCP, garantizar la seguridad aérea y contribuir al avance tecnológico en la ingeniería aeroespacial. La experiencia adquirida por los estudiantes a través de esta pasantía no solo fortalecerá sus competencias profesionales, sino que también aportará valor significativo a Nediari y a la industria en general.

## IV. OBJETIVOS

### *A. Objetivo general*

Conceptualizar, diseñar, prototipar y evaluar los sistemas eléctricos y electrónicos de operación básica de una maqueta de entrenamiento para tripulantes de cabina de pasajeros (METCP).

### *B. Objetivos específicos*

- Identificar los requerimientos funcionales y arquitectura general eléctrica de operación básica de una METCP
- Diseñar los sistemas eléctricos de operación básica de una METCP
- Implementar los diseños y arquitecturas eléctricas y electrónicas en un modelo o segmento de modelo de METCP
- Evaluar de acuerdo con la funcionalidad los circuitos implementados para operación básica de una METCP.

## V. MARCO TEÓRICO

Los simuladores aeronáuticos en general, son una herramienta fundamental para la formación y el entrenamiento tanto de pilotos, técnicos, como de TCP. Dichos sistemas permiten a estos profesionales:

- Entrenar en un entorno seguro y controlado: Los simuladores recrean las condiciones reales de vuelo, lo que permite a los pilotos y TCP practicar procedimientos y respuestas ante situaciones de emergencia sin poner en riesgo vidas o aeronaves.
- Desarrollar habilidades y destrezas: Los simuladores ofrecen la posibilidad de practicar maniobras y procedimientos críticos como aterrizajes en condiciones meteorológicas adversas o el manejo de emergencias a bordo.
- Mantener la competencia: Los pilotos y TCP deben mantener su formación actualizada para poder conservar su licencia. Los simuladores aeronáuticos son una herramienta eficaz para mantener la competencia en las diferentes áreas de su trabajo.

### *A. Evolución de las capacidades:*

Los primeros simuladores eran bastante simples y se basaban en tecnología mecánica y muy poco realista. Con el tiempo, la tecnología ha evolucionado y los simuladores se han ajustado más a las condiciones del entorno de trabajo y realistas. Hoy en día, los simuladores más avanzados utilizan tecnología de realidad virtual y aumentada para crear una experiencia de entrenamiento inmersiva y realista [2]

### *B. Desarrollo de sistemas innovadores:*

La industria de la simulación de vuelo está en constante evolución y se están desarrollando nuevas tecnologías que permitirán crear simuladores aún más realistas e inmersivos. Algunas de las áreas de investigación más activas incluyen:

- Realidad virtual y aumentada: La realidad virtual y aumentada se están utilizando para crear simuladores más inmersivos y realistas.
- Inteligencia artificial: La inteligencia artificial se está utilizando para crear simuladores más inteligentes y adaptables.

- Robótica: La robótica se está utilizando para crear simuladores que pueden reproducir con mayor precisión las fuerzas G y las turbulencias [2].

Beneficios para la seguridad Los simuladores han contribuido significativamente a la mejora de la seguridad operacional. Los pilotos y TCP que se entrenan en simuladores están mejor preparados para enfrentar las situaciones que pueden encontrar durante el vuelo, lo que reduce el riesgo de accidentes.

### C. Simuladores para tripulantes de cabina de pasajero:

Estos simuladores pueden ser denominados como, maqueta de entrenamiento para tripulantes de cabina de pasajeros, encontrando principalmente 2 tipos de estas maquetas, la maqueta de fuselaje completo conocida como *Mock-up* y la sección entrenadora de puerta conocida como *Door Trainer* y ambas deben de cumplir con ciertas características de operación básica reglamentadas por las autoridades de cada país. En las siguientes imágenes se puede observar los 2 tipos de maquetas antes mencionados.



Fig. 1 Maqueta tipo Mock up

Nota: Fuente <https://www.skyart.com/skyart/news/state-of-the-art-a320-321-neo-cabin-emergency-evacuation-trainer-for-air-astana>



Fig. 2 Maqueta tipo Door Trainer

Nota: fuente <https://panamacademy.com/wp-content/uploads/2023/03/door-trainer.jpeg>

Dando continuidad a la idea propuesta, las instalaciones y METCP son herramientas fundamentales para su formación y preparación para el mundo real de la aviación. Estas instalaciones deben ser diseñadas y equipadas para simular de manera realista las condiciones que los TCP encontrarán en un avión, tanto en situaciones normales como de emergencia. Según [3]:

El CIAC (Centro de Instrucción Aeronáutica Civil) que conduzca instrucción para tripulantes de cabina deberá contar con un ambiente (aeronave activa, en desuso o maqueta energizadas) propia, que tenga equipamiento adecuado para instrucción práctica normal, de emergencia y supervivencia conforme se establece en el Apéndice 20 de este RAC [3].

Algunos de estos requisitos que involucran la operación básica son:

- Puertas principales y de emergencia cuya altura con respecto al suelo, peso, y sistema de cierre/apertura, sean similares al de un avión real de categoría transporte (de pasajeros) cualquiera, con sus letreros o calcomanías de identificación de “salida” y de “salida de emergencia” respectivamente e instrucciones para su

apertura. Al menos una de dichas puertas, estará equipada con dispositivos para instalar, armar e inflar un deslizador de emergencia, dicho deslizador deberá activarse desde la puerta principal del dispositivo, de igual manera el ángulo de inclinación deberá simular el ángulo real (En caso de no contar con este recurso, el entrenamiento respectivo deberá completarse en un avión real en tierra.

- Anuncios o letreros y símbolos luminosos funcionales, con información sobre “salida”, “salida de emergencia”, “no fumar” y “abrochar cinturones”.
- Sistema de luces de cabina y luces anunciadoras funcionales para auxiliares, con su panel de control.
- Sistemas funcionales de intercom para comunicación entre tripulantes y de altavoz para anuncios a pasajeros.
- Luces funcionales de piso para evacuación y/o líneas fosforescentes con señalización hacia las salidas principal y de emergencia.
- Deslizador inflable para evacuación de emergencia, funcional [3].

Para esto, Nedar se ha planteado el desarrollo de un sistema electrónico y eléctrico con la capacidad de reducir los costos finales de los METCP y para este caso de aplicación, se implementará a 2 *Door trainer* de aeronaves Airbus A320 y Boeing 737 los cuales se encuentran en producción en este momento, permitiendo así al estudiante y a Nedar como empresa la generación y fortalecimiento de capacidades para el crecimiento técnico. A todo este sistema se le llamará sistema de control e instrumentación y de una manera general está compuesto por el siguiente diagrama.

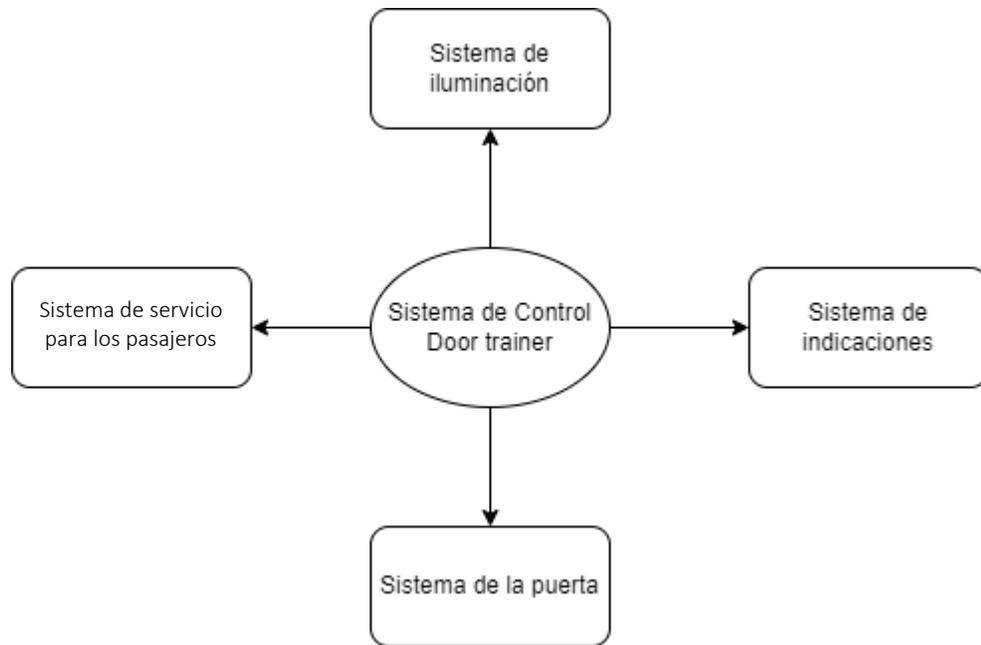


Fig. 3 Diagrama de sistemas de control del Door trainer

- Sistema de iluminación: Lo componen todas las luces de ambiente como lo son las luces instaladas en el techo y las luces del *cover light*, en su totalidad operadas a 110 v en corriente alterna
- Sistema de indicaciones: Este es compuesto por todas las luces que advierten a la tripulación de acciones, procedimientos o lugares, por ejemplo, las luces de salida, la de abrochar cinturones, etc. Operada a 12 v en corriente continua en su mayoría.
- Sistema de la puerta: En este sistema se contempla los sensores en el caso del *door trainer* del A320, que los contiene, o ya el sistema de *door Jam*. Operada a 12 v y 24 v en corriente continua.
- Sistema de servicio e interacción del pasajero: Este sistema está compuesto por todas las PSU (*Passenger Service Unit*), estas son operadas a 12v y 24v en corriente continua.

Los principales instrumentos que componen estos sistemas son:

- PLC (Controlador Lógico Programable): Es el cerebro de todo el sistema de control de la maqueta se encarga de conectar y vincular todos los sistemas que se ven en la imagen.

- Microcontrolador: Este es el encargado de operar subsistemas como lo son los sistemas de servicio para pasajeros e indicaciones (este solo fue aplicado a una de las 2 maquetas, en la sección de resultados se expondrá con más claridad este caso).
- PCB (*Printed Circuit Board*): Fue utilizada principalmente para unir todos los subcomponentes que se necesitaban para que el sistema de servicio para pasajeros funcionara a la perfección.

#### *D. PLC (Controlador Lógico Programable):*

Es un dispositivo electrónico especializado en la automatización de procesos industriales. Funciona mediante la ejecución de programas lógicos predefinidos, permitiendo el control y supervisión de máquinas y sistemas de manera precisa y eficiente. Los PLCs están diseñados para operar en entornos industriales adversos y son capaces de gestionar múltiples entradas y salidas digitales y analógicas. Esto los convierte en una herramienta esencial para optimizar la producción, mejorar la seguridad y reducir errores humanos en una amplia variedad de aplicaciones, desde la manufactura y el ensamblaje hasta el control de infraestructura y la gestión de sistemas complejos. Además, su capacidad de ser reprogramados y adaptados a diferentes tareas los hace extremadamente versátiles y fundamentales en la evolución de la industria moderna hacia la automatización avanzada [4].

#### *Lenguaje ladder:*

El lenguaje Ladder, también conocido como "diagrama de escalera" o "Ladder Logic", es un lenguaje de programación gráfico ampliamente utilizado para programar PLCs (Controladores Lógicos Programables). Este lenguaje se asemeja a los diagramas de circuitos eléctricos, utilizando símbolos y líneas que representan conexiones lógicas entre dispositivos.

El lenguaje Ladder se compone de "rungs" o peldaños, que representan instrucciones lógicas. Cada peldaño incluye contactos y bobinas, que son los elementos básicos de la lógica de control. Los contactos pueden ser de tipo normalmente abierto (NO) o normalmente cerrado (NC), y las bobinas representan las salidas, como relés o actuadores. Al unir estos elementos, se puede crear una secuencia lógica que define cómo el PLC debe responder a las diversas condiciones de entrada para controlar las salidas de manera adecuada.

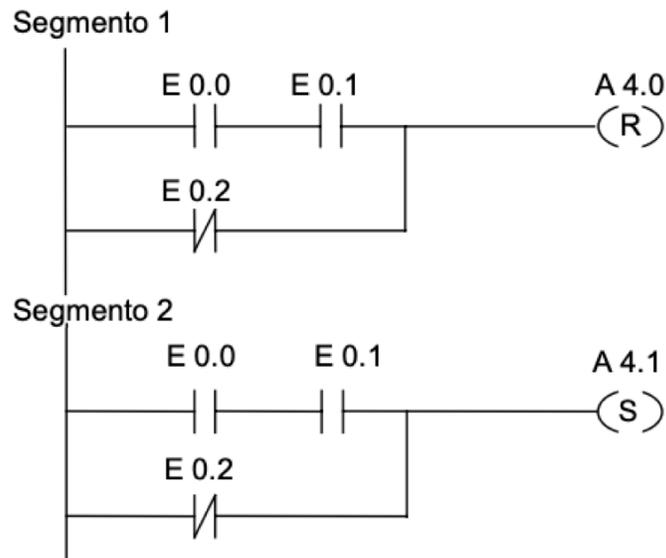


Fig. 4 Programación en Ladder

Nota: Fuente [https://www.researchgate.net/figure/The-PLC-ladder-diagram\\_fig3\\_272666766](https://www.researchgate.net/figure/The-PLC-ladder-diagram_fig3_272666766)

#### E. Microcontroladores:

Los microcontroladores son componentes fundamentales en una amplia gama de aplicaciones electrónicas debido a su capacidad para integrar funcionalidades de procesamiento, memoria y control en un solo chip. Estos dispositivos ofrecen una solución compacta y eficiente para el diseño de sistemas electrónicos, lo que los hace especialmente adecuados para aplicaciones donde el espacio y la eficiencia energética son críticos.

Uno de los aspectos más destacados de los microcontroladores es su capacidad de programación. Estos dispositivos están diseñados para ejecutar un conjunto de instrucciones específicas que les permiten realizar diversas tareas de procesamiento y control. La programación de un microcontrolador implica escribir un código de software que define cómo el dispositivo debe comportarse en diferentes situaciones. Esto puede incluir tareas como la lectura de sensores, el control de actuadores, el procesamiento de datos y la comunicación con otros dispositivos.

Los microcontroladores ofrecen una amplia gama de periféricos integrados, que pueden incluir puertos de entrada/salida digital (GPIO), convertidores analógico-digitales (ADC), interfaces de comunicación serie como UART, SPI o I2C, temporizadores, PWM (Modulación por Ancho de Pulso), entre otros. Estos periféricos permiten a los diseñadores de sistemas integrar fácilmente diferentes tipos de sensores y actuadores en sus aplicaciones, lo que brinda una gran flexibilidad en el diseño y la implementación de sistemas de instrumentación [5].

Se hace uso de un microcontrolador con amplia información cómo lo son los de la marca Arduino, lo que permite versatilidad y encontrar buena data para que el sistema sea mucho más confiable y duradero en el tiempo.

*F. PCB (Printed Circuit Board):*

Es un dispositivo compuesto por trazas de material conductor laminado sobre una base no conductiva o material dieléctrico. La tarjeta se usa para realizar interconexiones entre los componentes, pero presenta muchas ventajas sobre tarjetas de prototipo, como una superficie para montar los componentes, conexiones fijas, mayor inmunidad a ruido, menor probabilidad de fallas, entre otras [6].

## VI. METODOLOGÍA

Se presenta la metodología a seguir para el desarrollo del proyecto de prácticas en Nedar. Esta metodología se basa en un enfoque ágil y adaptable de acuerdo con las circunstancias emergentes del desarrollo. Nota, esta metodología tiene un enfoque iterativo en el cual se propone que según los productos que vayan llegando a la empresa se pueda realizar una retroalimentación para mejorar el proceso productivo de la empresa.

La metodología se basa en lo siguiente:

### *A. Conceptualización:*

La primera fase del proyecto, denominada conceptualización, se enfoca en el estudio de los requerimientos funcionales y la definición de la arquitectura del METCP. Durante esta etapa, se llevó a cabo un análisis de los requisitos del METCP, con el objetivo de garantizar una integración de los sistemas a desarrollar. Esto implica identificar y comprender las necesidades y funcionalidades específicas que debe cumplir el METCP para cumplir con los objetivos del proyecto. Además, se definirá la arquitectura general del sistema, estableciendo cómo se organizarán y relacionarán los diferentes componentes y subsistemas del METCP para lograr un funcionamiento coherente y eficiente.

### *B. Diseño:*

Posteriormente, se seleccionó cuidadosamente los componentes electrónicos más adecuados para cada aplicación específica. Utilizando herramientas de software de diseño electrónico, se creará los esquemas y diagramas de los circuitos eléctricos y electrónicos que formarán la base del sistema. De manera periódica el diseño será revisado y aprobado en colaboración con el equipo de Nedar, garantizando que todos los involucrados estén en la misma página antes de avanzar a la siguiente etapa.

### *C. Implementación:*

La fase de implementación se centró en la materialización de los elementos diseñados en la fase anterior. En primer lugar, se obtendrán los componentes electrónicos necesarios, continuando los

resultados obtenidos en las fases anteriores. Luego, se procedió al prototipado de los circuitos electrónicos, siguiendo las normas de seguridad y calidad pertinentes. Una vez prototipados, los circuitos se integraron en el modelo del METCP, verificando su compatibilidad y funcionalidad.

*D. Pruebas y evaluación:*

Tras la implementación del sistema, se llevó a cabo una fase de pruebas y evaluación para verificar su correcto funcionamiento y cumplimiento de los requisitos de acuerdo con la regulación pertinente, por ejemplo, RAC 141, CFR 14 *part* 142, entre otras. Esta fase comprende la realización de pruebas de integración del sistema completo, con el objetivo de identificar y corregir cualquier problema o error potencial. Los resultados de las pruebas se documentaron con la finalidad de tener referencia futura y para la mejora continua del sistema.

Finalmente, se presentará el proyecto final al equipo de Nedar, exponiendo los resultados del trabajo realizado y las lecciones aprendidas durante el proceso.

La anterior metodología la podremos ver reflejada en el siguiente cronograma para llevar un orden en las actividades a realizar.

*E. Cronograma de actividades*

Nota:

Como se mencionó en la nota de la metodología este cronograma tiene un enfoque de iterativo es por esto por lo que esta tarea está presente durante las 3 primeras etapas de diseño, implementación y pruebas que será donde nuestra metodología tendrá la libertad de realizar estas iteraciones.

TABLA I  
CRONOGRAMA

TAREA IDENTIFICACION	TAREA TITULO	Febrero		Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto	
		Seman a 3	Seman a 4	Seman a 1	Seman a 2	Seman a 3	Seman a 4	Seman a 1	Seman a 2	Seman a 3	Seman a 4	Seman a 1	Seman a 2	Seman a 3	Seman a 4	Seman a 1	Seman a 2	Seman a 3	Seman a 4	Seman a 1	Seman a 2	Seman a 3	Seman a 4	Seman a 1	Seman a 2
1	<b>Conceptualización</b>																								
1.1	Capacitación inicial																								
1.2	Reunirse con el equipo de ingenieros para comprender las necesidades del proyecto.																								
1.3	Revisar la documentación técnica del simulador.																								
1.4	Identificar los requisitos específicos de los sistemas eléctricos y electrónicos.																								
1.5	Definir alcances esperados del proyecto																								
2	<b>Diseño de sistemas eléctricos y electrónicos</b>																								
2.1	Selección de componentes electrónicos																								
2.2	Diseño de circuitos eléctricos y electrónicos																								
2.3	Revisión y aprobación del diseño																								
2.4	Adquisición de componentes electrónicos																								
3	<b>Integración de sistemas en la METCP</b>																								
3.1	Ensamblaje de circuitos electrónicos																								
3.2	Realizar pruebas de funcionamiento de los circuitos.																								
3.3	Implementar soluciones para mejorar el rendimiento del simulador.																								
3.4	Integración de sistemas en el simulador																								
4	<b>Pruebas y verificación del sistema</b>																								
5	<b>Retoolimentación iterativa</b>																								
6	<b>Presentación final del proyecto</b>																								
6.1	Preparación de la presentación																								
6.2	Presentación ante el equipo de Nediard																								

### F. Presupuesto

La empresa Nediard asignó los recursos técnicos, tecnológicos, talento humano, y económicos de acuerdo con las posibilidades internas de la compañía, estos incluyeron:

#### *Gastos en talento humano:*

- Salario del estudiante durante el periodo de prácticas.
- Seguridad social y otros beneficios laborales.
- Gastos de viaje o desplazamientos cuando fueron necesarios.

#### *Gastos técnicos y tecnológicos:*

- Acceso a software y herramientas de diseño e implementación de sistemas.
- Equipos de protección personal y herramientas de trabajo.
- Gastos de análisis y pruebas de laboratorio.

#### *Gastos económicos:*

- Componentes electrónicos y materiales para el ensamblaje de los sistemas.
- Materiales de oficina y papelería.
- Cualquier otro gasto necesario para el desarrollo del proyecto.



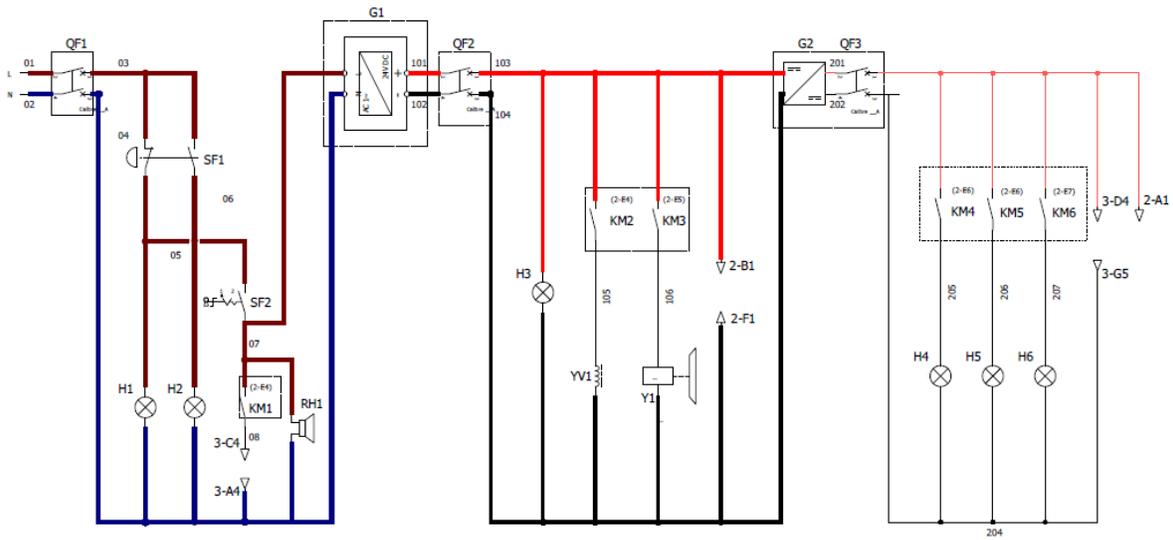


Fig. 6 Planos de control y potencia

Como se puede notar en la figura 6 del plano de control y potencia, tenemos fuentes de alimentación de diversos voltajes y corrientes, que nacen de una alimentación principal de 110 v de corriente alterna, y se derivan a fuentes de corriente continua de 24v y 12v, que alimenta todos los sistemas necesarios. Todas estas fuentes de alimentación salen del gabinete central (Fig. 7), el cual está ubicado en la parte posterior del PLC y se encuentra cableado estratégicamente para que sea el núcleo de todas las conexiones para las maquetas, en la siguiente imagen se pueden observar los gabinetes eléctricos de ambos sistemas.

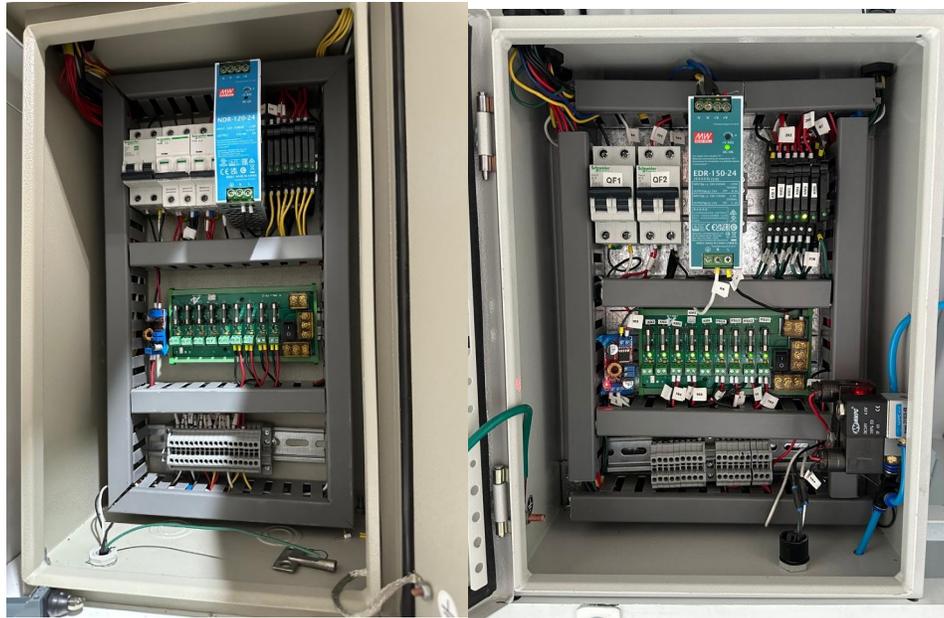


Fig. 7 Gabinetes eléctricos Door trainers, B737 y A320.

#### A. Door trainer del A320

Para el sistema de interacción con el pasajero del *door trainer* del A320, se adoptó un enfoque centrado en la simplicidad operativa mediante el uso de pulsadores de retención para almacenar los estados de los botones. Estos botones se utilizan en el sistema de PSU (*Passenger Service Unit*), que hace parte del sistema de servicio o interactivo con el pasajero. Este sistema facilita una operación directa y menos dependiente de programación compleja, lo cual resulta en un diseño más simple pero efectivo para las necesidades básicas de entrenamiento. Este enfoque permite una interacción intuitiva y rápida por parte de los usuarios, aunque con algunas limitaciones en términos de personalización y adaptabilidad de las simulaciones.

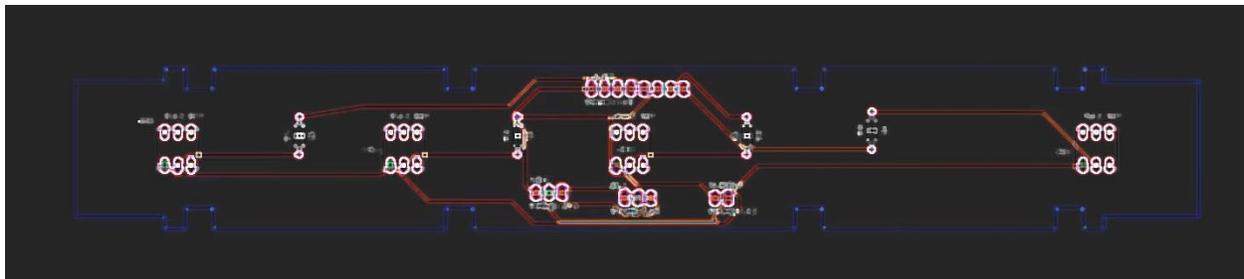


Fig. 8 Diagrama PCB A320 pulsadores con retención.

Además, dicho sistema fue restringido por la pieza original del PSU del avión, lo que implica que los componentes y su disposición debían alinearse estrechamente con las especificaciones y limitaciones del diseño original del A320. Esta restricción fue esencial para

asegurar que los componentes del PSU pudieran ser ensamblados sin problemas tanto en la maqueta de entrenamiento como en las piezas originales del avión. Esta compatibilidad garantiza que el door trainer proporcione a los usuarios una experiencia de entrenamiento completamente realista, ya que los tripulantes de cabina de pasajeros interactúan con un sistema que replica fielmente el equipo real del avión.

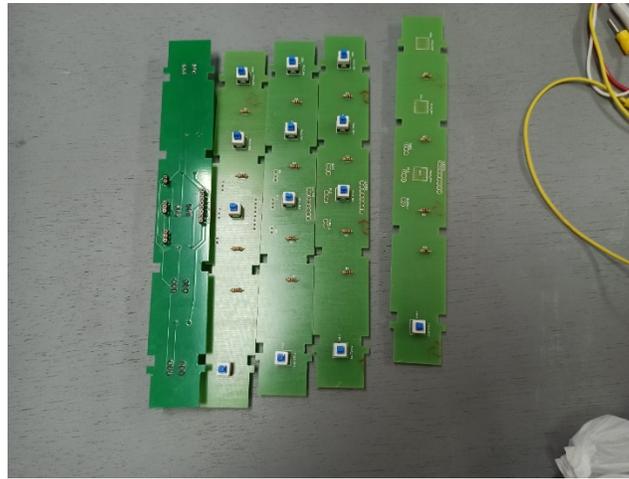


Fig. 9 PCBs manufacturadas para el Door trainer A320

De igual manera, este enfoque también se tuvo en cuenta la necesidad de mantenimiento y reemplazo de piezas, asegurando que las partes del sistema de servicio para pasajeros sean fácilmente intercambiables con las originales del avión. Al adherirse a las especificaciones originales, se minimiza la necesidad de modificaciones adicionales, lo que simplifica el proceso de ensamblaje y garantiza una mayor durabilidad y confiabilidad del *door trainer*. La integración de estas piezas auténticas no solo mejora la funcionalidad del simulador, sino que también proporciona a los usuarios una experiencia de aprendizaje más inmersiva y precisa.

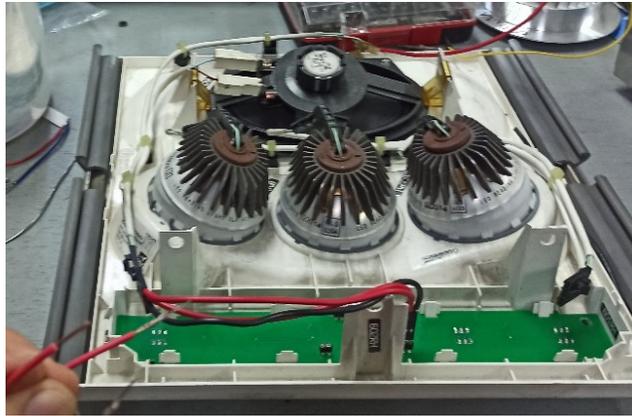


Fig. 10 Ensamble PCB con PSU original A320

### B. *Door trainer del Boeing 737*

Para el *door trainer* del B737, se apostó por un enfoque centrado en la eficiencia y la fiabilidad mediante el uso de microcontroladores en el sistema de interacción. Estos microcontroladores almacenan los estados de los botones y permiten una programación flexible y personalizada de las funciones. Este diseño es más avanzado y adaptable, proporcionando una operación más precisa y detallada, lo que resulta en un sistema más sofisticado y efectivo.

El sistema de control del B737, basado en microcontroladores, permite una mayor flexibilidad y capacidad de personalización. Asimismo, este enfoque también mejora la eficiencia del sistema, permitiendo una operación más fluida, precisa y lo más importante es que permite conservar mucho de la originalidad de las piezas obtenidas del avión.

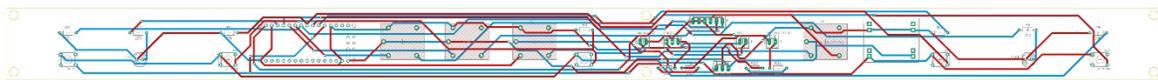


Fig. 11 Diagrama PCB B737

Aunque el uso de microcontroladores incrementa el costo del sistema, este enfoque ofrece beneficios significativos en términos de eficiencia y fiabilidad. Los microcontroladores permiten una mayor precisión en la simulación de operaciones y procedimientos, lo que mejora la calidad del entrenamiento y asegura que los tripulantes de cabina de pasajeros puedan practicar maniobras y procedimientos de manera realista y detallada.

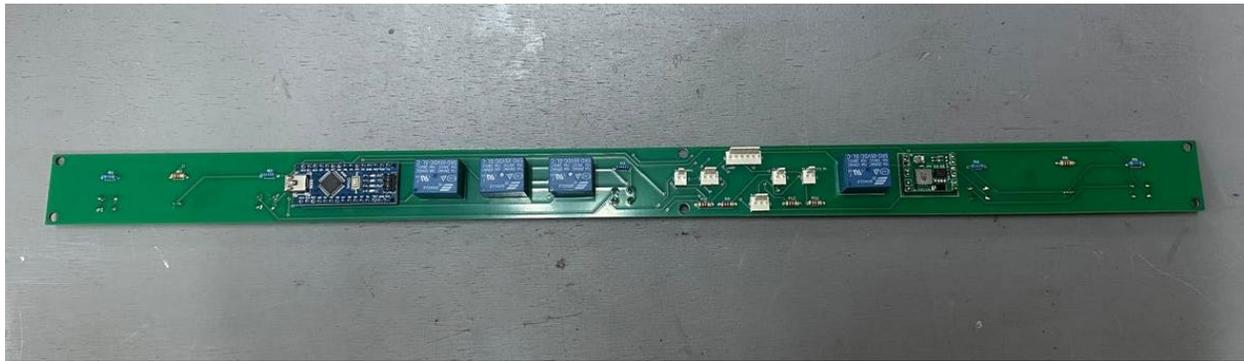


Fig. 12 PCB manufacturada para el Door trainer B737

Al igual que en el caso de las PCB del A320, el diseño del sistema del B737 fue restringido por la necesidad de asegurar la compatibilidad con las piezas originales del avión. Esto implica que los componentes y su disposición debían cumplir con las especificaciones exactas del diseño original del B737, permitiendo que el sistema pudiera ser ensamblado en la maqueta de entrenamiento y utilizado de manera intercambiable con las piezas originales del avión. Esta compatibilidad es crucial para garantizar que el *door trainer* proporcione una experiencia de entrenamiento que refleje fielmente las condiciones y operaciones reales del avión.

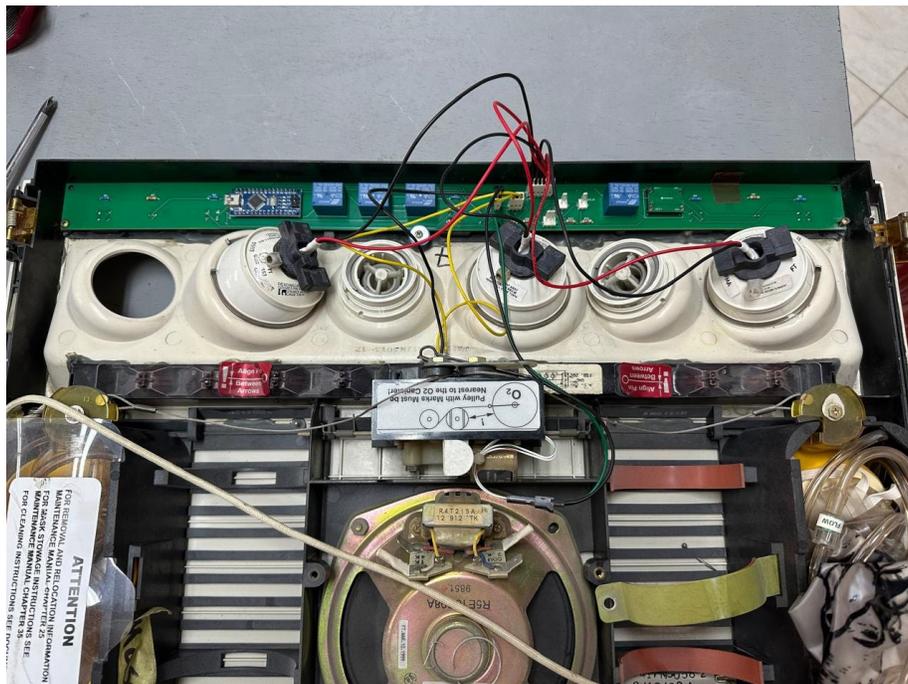


Fig. 13 Ensamble PCB con PSU original B737

## VIII. DISCUSIÓN

Esta discusión aborda los hallazgos clave del proyecto, sus implicaciones en el contexto de la formación de tripulantes y las lecciones aprendidas a partir de las experiencias durante el proceso de desarrollo.

### *A. Evaluación del Sistema del A320*

El METCP del A320 se diseñó con un sistema basado en pulsadores de retención para el sistema de servicio o interactivo de los pasajeros (PSU). Este enfoque simplificó la implementación y facilitó el desarrollo del simulador, permitiendo una operación directa y accesible para los usuarios. Sin embargo, a lo largo de las pruebas, se observó que la estructura de los pulsadores de retención, aunque económica, no proporcionaba la robustez deseada para soportar un uso intensivo y prolongado. Las pruebas revelaron que estos componentes eran susceptibles al desgaste y a fallos mecánicos, lo que limitó su durabilidad y fiabilidad a largo plazo.

### *B. Innovaciones en el Sistema del B737*

En contraste, el METCP del B737 incorporó microcontroladores en el sistema PSU, lo que representó una evolución significativa en comparación con el enfoque utilizado en el A320. Esta tecnología permitió una mayor capacidad de programación y gestión de estados, ofreciendo una experiencia de entrenamiento más realista y detallada. La implementación de microcontroladores no solo mejoró la fiabilidad del sistema, sino que también permitió una mayor flexibilidad en el diseño de simulaciones, adaptándose a diferentes escenarios y procedimientos de emergencia.

### *C. Comparación de Enfoques y Costos*

El análisis comparativo entre los dos enfoques revela un equilibrio crítico entre costo y funcionalidad. El sistema de pulsadores de retención, aunque más económico, mostró limitaciones en durabilidad y flexibilidad. En contraste, el sistema basado en microcontroladores, aunque más caro, demostró ser más robusto y adaptable. Este contraste subraya la importancia de considerar el costo a largo plazo y la durabilidad en el diseño de simuladores de entrenamiento. La experiencia adquirida indica que por el momento el sistema que implementa microcontroladores tiene una ventaja en fiabilidad y durabilidad en el tiempo, aunque sea un poco más costoso, por esta razón,

en proyectos futuros, será esencial evaluar no solo los costos iniciales, sino también las implicaciones a largo plazo de las decisiones tecnológicas.

## IX. CONCLUSIONES

El proyecto de desarrollo de simuladores para tripulantes de cabina de pasajeros en Nedar SAS ha resultado en importantes mejoras y valiosas lecciones aprendidas. A continuación, se detallan las principales conclusiones del trabajo realizado.

El enfoque centrado en la simplicidad operativa mediante el uso de pulsadores de retención en el METCP del A320 permitió una operación más directa y menos dependiente del uso de programación compleja. Esta decisión de diseño resultó en un sistema más accesible y fácil de usar para el personal de entrenamiento, lo cual es fundamental en un entorno educativo. Sin embargo, aunque los pulsadores de retención fueron una buena elección por su simplicidad, su estructura no los hace componentes muy robustos, lo que limitó su durabilidad y fiabilidad a largo plazo. Además, al utilizar componentes compatibles con las piezas originales del avión, se aseguró la integridad y autenticidad del simulador, facilitando su ensamblaje y mantenimiento.

Para superar las limitaciones de los pulsadores de retención, en el METCP del B737 se optó por usar microcontroladores. Esta implementación representó una mejora significativa en términos de eficiencia y fiabilidad. Aunque este sistema es más costoso que el enfoque utilizado en el A320 proporciona una mayor personalización y adaptabilidad de las simulaciones. La capacidad de los microcontroladores para almacenar y gestionar los estados de los sistemas de servicio de los pasajeros (PSU) demostró ser crucial para ofrecer una experiencia de entrenamiento más realista y detallada. Esta innovación no solo mejora la calidad del entrenamiento, sino que también establece un estándar más alto para futuros desarrollos en la compañía.

Una de las lecciones clave fue la necesidad de equilibrar el costo – beneficio respecto a la funcionalidad y la fiabilidad. Mientras que los pulsadores de retención ofrecen una solución económica y sencilla, los microcontroladores, aunque más costosos, proporcionan ventajas significativas en términos de rendimiento y capacidad de adaptación. Por consecuencia de lo anterior, se puede afirmar que el sistema de microcontroladores da una mejor gama de ventajas sobre su análogo.

Además, se destacó la importancia de la colaboración continua con el equipo de Nedar. Las revisiones periódicas y el alineamiento de los objetivos garantizaron que el diseño y la implementación fueran coherentes con los requisitos y expectativas de diseño. Esta colaboración

fue fundamental para identificar y resolver problemas rápidamente, asegurando que el proyecto se mantuviera en el buen camino y cumpliera con los estándares de calidad establecidos.

Para concluir, el proyecto de desarrollo de simuladores para TCP en Nedar no solo cumplió con los objetivos planteados, sino que también introdujo mejoras y evoluciones significativas, además de, lecciones valiosas que servirán de base para futuros desarrollos. La combinación de simplicidad operativa y tecnologías avanzadas permitió crear simuladores que mejoran la formación de los TCP, contribuyendo a la seguridad y eficiencia en la industria aeronáutica.

## REFERENCIAS

- [1] International Air Transport Association (IATA), «Training and Development for Cabin Crew Members,» *IATA Training*, 2018.
- [2] AERTEC, «Simuladores de vuelo,» 25 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://aertecolutions.com/2018/02/26/simuladores-de-vuelo/i>.
- [3] Aeronautica civil UAE, «Reglamentos Aeronauticos Colombianos RAC 141,» 2020. [En línea]. Available: <https://acortar.link/cRsOoS>.
- [4] Universidad de los Andes, «Controladores lógicos programables,» Bogotá, NR.
- [5] Biblus.Us.ES, «Biblus.Us.ES,» NR. [En línea]. Available: <https://acortar.link/mAKdh4>.
- [6] H. Torres, Guía de diseño de PCB con EAGLE, Guadalajara, 2014.

## ANEXOS

Se anexa material fotográfico del proceso y del resultado de toda mi estadía como pasante en la empresa Nediari, en este material se puede evidenciar algunos procesos que se vivieron y de los cuales salieron muchas lecciones, mejores y conclusiones como las que se presentaron en este informe.





