



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO AUTOMÁTICO DE CAPTURA
Y CONTENCIÓN DE PATOS SILVESTRES EN ZONAS ALEDAÑAS
AL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE GUAYAQUIL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Luis Jeremy Baño Medina
Steeven Eduardo Sani León
TUTOR: Ing. Alberto Santiago Ramírez Farfán

Alberto

Guayaquil - Ecuador
2025

27/08/25
18:40


CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Luis Jeremy Baño Medina** con documento de identificación N° **0925680761** y **Steeven Eduardo Sani León** con documento de identificación N° **0953409703**; manifestamos que:

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

Guayaquil, 18 de agosto del año 2025

Atentamente,



Luis Jeremy Baño Medina
0925680761



Steeven Eduardo Sani León
0953409703

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

Nosotros, **Luis Jeremy Baño Medina** con documento de identificación N° **0925680761** y **Steeven Eduardo Sani León** con documento de identificación N° **0953409703**, 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 **DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO AUTOMÁTICO DE CAPTURA Y CONTENCIÓN DE PATOS SILVESTRES EN ZONAS ALEDAÑAS AL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE GUAYAQUIL**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 18 de agosto del año 2025

Atentamente,



Luis Jeremy Baño Medina
0925680761



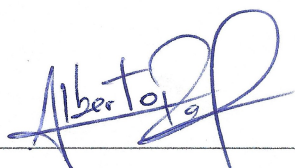
Steeven Eduardo Sani León
0953409703

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Alberto Santiago Ramírez Farfán**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO AUTOMÁTICO DE CAPTURA Y CONTENCIÓN DE PATOS SILVESTRES EN ZONAS ALEDAÑAS AL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE GUAYAQUIL**, realizado por **Luis Jeremy Baño Medina** con documento de identificación N° **0925680761** y por **Steeven Eduardo Sani León** con documento de identificación N° **0953409703**, 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.

Guayaquil, 18 de agosto del año 2025

Atentamente,



Ing. Alberto Santiago Ramírez Farfán
0923348890

DEDICATORIA

Dedico esta trabajo de titulación a mis padres, Luis Oswaldo Baño Moreno y Sonia Heriberta Medina Ponce, por su amor incondicional, sus sabios consejos y la confianza que siempre depositaron en mí. Gracias a su ejemplo y apoyo constante he podido mantenerme firme y avanzar en cada etapa de este proceso académico. A mi familia en general, cuyo respaldo y ánimo fueron un pilar fundamental en este camino.

A mis amigos, quienes con su compañía, comprensión y aliento hicieron de esta travesía una experiencia más llevadera y enriquecedora. Su presencia ha sido esencial para alcanzar esta meta.

Luis Jeremy Baño Medina

Este trabajo de titulación está dedicado a mis padres, Christian Rodolfo Sani Calderón y Wendy Elizabeth León Aspiazu, quienes constituyen el ejemplo más claro de perseverancia, entrega y dignidad. A través de su guía y acompañamiento incondicional me enseñaron que el verdadero éxito no se mide únicamente en metas alcanzadas, sino en la integridad con la que se recorren los caminos.

Ellos me demostraron que el estudio es una herramienta poderosa para transformar la vida, y que la ética laboral es el fundamento sobre el cual se construye toda trayectoria profesional responsable. Su apoyo incesante y sus palabras de aliento fueron la fuerza que me permitió culminar esta etapa, a pesar de las dificultades y los desafíos que surgieron.

A ustedes, que nunca dejaron de creer en mí, les debo este logro que representa tanto su esfuerzo como el mío.

Steeven Eduardo Sani León

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, fuente de fortaleza y guía constante en cada etapa de mi vida académica y personal. A la Universidad Politécnica Salesiana, a sus docentes y en especial a los profesores que con paciencia, conocimiento y dedicación contribuyeron a mi formación profesional.

Extiendo también mi gratitud a mis compañeros del Club de Robótica, con quienes compartí experiencias, aprendizajes y momentos que hicieron de este camino una experiencia enriquecedora y de constante crecimiento. Su colaboración y amistad fueron un apoyo fundamental para llevar adelante este proyecto.

Luis Jeremy Baño Medina

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme tener la oportunidad de concluir mi carrera universitaria y poder atravesar cualquier obstáculo, por más difícil que este sea. Su guía y fortaleza me acompañaron en cada etapa, dándome la confianza necesaria para continuar sin rendirme.

Agradezco a mis profesores, quienes con verdadera vocación dedicaron su tiempo y esfuerzo, incluso fuera de sus horarios laborales, demostrando que su amor por la enseñanza trasciende el aula. Su compromiso y apoyo han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

Agradezco también a mis amigos y compañeros universitarios, con quienes compartí experiencias, aprendizajes, retos y alegrías que enriquecieron este camino y lo hicieron más llevadero.

Steeven Eduardo Sani León

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad el diseño y construcción de un mecanismo automatizado para la captura y liberación controlada de aves silvestres, orientado a su aplicación en entornos donde la presencia de fauna representa un riesgo operativo, como en aeropuertos. El sistema se ha concebido con un enfoque no letal, priorizando la seguridad tanto de las aves como de las personas, y cumpliendo con las normativas de protección ambiental.

La estructura principal está fabricada en acero negro hueco para optimizar la resistencia y reducir el peso total, protegida con pintura antioxidante para aumentar su durabilidad. Se incorpora un recubrimiento de caña tratada con aceite de motor usado, que actúa como impermeabilizante frente a humedad y altas temperaturas. El diseño contempla dos compartimentos: la sección inferior, destinada a la captura y liberación, y la sección superior, donde se alojan los componentes electrónicos y mecánicos.

El mecanismo utiliza un sensor ultrasónico para la detección de la presencia de aves en un punto determinado. Una vez activado, el sistema opera una de las dos puertas deslizantes mediante motores reductores de 300 rpm y tornillos sin fin, controlados por finales de carrera para garantizar el posicionamiento preciso. Una puerta permite la captura del ave para su traslado a un área segura, mientras que la otra permite su liberación controlada. Como elemento adicional de control, se incluye un buzzer que actúa como elemento disuasivo.

Este prototipo constituye una alternativa tecnológica viable para la gestión ética de fauna en entornos de riesgo, ofreciendo una solución práctica, reutilizable y de bajo impacto ambiental.

Palabras clave: captura de aves, sensor ultrasónico, motores reductores, control automatizado, conservación de fauna, sistemas no letales.

ABSTRACT

The purpose of this project is the design and construction of an automated mechanism for the capture and controlled release of wild birds, intended for application in environments where the presence of wildlife represents an operational risk, such as airports. The system has been conceived with a non-lethal approach, prioritizing the safety of both birds and people, while complying with environmental protection regulations.

The main structure is built with hollow black steel to optimize strength and reduce the total weight, protected with anti-corrosive paint to increase durability. A bamboo cane coating treated with used motor oil is incorporated, acting as a waterproof layer against humidity and high temperatures. The design includes two compartments: the lower section, intended for capture and release, and the upper section, where the electronic and mechanical components are housed.

The mechanism uses an ultrasonic sensor to detect the presence of birds at a specific point. Once activated, the system operates one of the two sliding doors through 300 rpm gear motors and lead screws, controlled by limit switches to ensure precise positioning. One door allows the capture of the bird for transfer to a safe area, while the other provides controlled release. As an additional control element, a buzzer is included, acting as a deterrent.

This prototype represents a viable technological alternative for the ethical management of wildlife in risk-prone environments, offering a practical, reusable, and environmentally friendly solution.

Keywords: bird capture, ultrasonic sensor, gear motors, automated control, wildlife conservation, non-lethal systems.

ÍNDICE

I.	Introducción	1
II.	Problema	2
III.	Justificación	3
IV.	Objetivos	4
	IV-A. Objetivo general	4
	IV-B. Objetivos específicos	4
V.	Marco Teórico	5
	V.1. Situación en el Aeropuerto José Joaquín de Olmedo	5
	V.2. Necesidad de innovación tecnológica	6
	V.3. Impacto económico y operacional de las colisiones con aves	6
	V.4. Motivos para evitar erradicar toda la fauna de aves silvestres en aeropuertos	6
	V.4.1. Roles de las aves en los ecosistemas acuáticos cercanos a los aeropuertos	6
	V.4.2. Casos de estudio en la gestión sostenible de aves en aeropuertos cercanos a humedales	7
	V.5. Casos registrados	7
	V.6. Métodos más utilizados para evitar colisiones con aves	8
	V.7. Teoría de los componentes electrónicos	9
	V.7.1. Raspberry Pi Pico	9
	V.7.2. Convertidor de voltaje LM2596	10
	V.7.3. Puente H L298	10
	V.7.4. Módulo esp320108E	11
	V.7.5. Motor DC paso a paso Bringsmart 12V 50 RPM	11
	V.7.6. ESP32 CH340 30 pines Tipo C	12
	V.8. Uso de sonido para ahuyentar aves	12
	V.8.1. Estimación del nivel de presión sonora (SPL)	13
	V.8.2. Ejemplo ilustrativo	13
	V.8.3. Comportamiento de las aves ante ruidos molestos	14
VI.	Marco Metodológico	16
	VI.1. Diseño de la estructura	16
	VI.2. Construcción de la estructura	18
	VI.3. Impermeabilización y protección del suelo y techo de la estructura	19
	VI.4. Instalación de la capa protectora de caña	20
	VI.5. Construcción de la estructura interna	21
	VI.6. Zona de contención del espécimen capturado	21
	VI.7. Mecanismo de entrada	22
	VI.8. Protección para componentes electrónicos	24
	VI.9. Sistema electrónico del prototipo	25
	VI.9.1. Circuito de alimentación para actuadores y control central	26
	VI.10. Diagrama de flujo	26
	VI.11. Simulación del sistema de control electrónico	27
	VI.11.1. Código de control del sistema	29
	VI.12. Conexiones de los componentes y selección de la tarjeta de control	36
	VI.13. Fabricación de la placa de control	36
	VI.14. Correcciones durante el desarrollo	37
	VI.15. Diagrama de flujo - Lógica de la programación	37

VII. Resultados	39
VII.1 Simulación del uso de Inteligencia Artificial en el sistema	39
VII.2. Tiempo de respuesta del mecanismo	39
VII.3. Sistema de alimentación	40
VII.4 Protecciones ambientales	41
VIII. Cronograma	42
IX. Presupuesto	43
X. Conclusiones	44
XI. Recomendaciones	44
Referencias	45
Anexo A: Planos	49
Anexo B: Diagrama de conexión	50

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Aeropuerto José Joaquín de Olmedo	5
2.	Daño en el avión después de la colisión	8
3.	Raspberry Pi Pico RP2040	10
4.	Convertidor LM2596	10
5.	Puente H L298	11
6.	Módulo TXS0108E	11
7.	Motor DC paso a paso Bringsmart 12V 50 RPM	12
8.	ESP32 CH340 30PIN Tipo C	12
9.	Estructura de la Jaula	16
10.	Varillas para la compuerta de entrada	17
11.	Mecanismo de entrada ensamblado	18
12.	Avance de la estructura - foto 1	18
13.	Avance de la estructura - foto 3	19
14.	Proceso de impermeabilización	20
15.	Estructura con cobertura de caña	21
16.	Zona de Contención	22
17.	Sistema de bisagras - Foto 1	23
18.	Sistema de bisagras - Foto 2	24
19.	Tablero Eléctrico	25
20.	Sistema de distribución de voltaje	26
21.	Diagrama de flujo	27
22.	Simulación de conexiones en protoboard	29
23.	Conexiones en la protoboard	36
24.	Placa de control	37
25.	Diagrama de flujo - Código	38
26.	Sistema de evaluación binaria	39
27.	Mecanismo funcionando en el estado 1 (capturar)	40
28.	Batería de 12V utilizada como fuente de alimentación principal	41
29.	Parte superior de la estructura	41
30.	Ensamblaje completo de la estructura	49
31.	Diagrama de conexión	50

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Tabla de Métodos	9
II.	Cronograma para la implementación del trabajo de titulación	42
III.	Presupuesto para la implementación del trabajo de titulación	43

I. INTRODUCCIÓN

La interacción entre actividades humanas y fauna silvestre ha sido objeto de creciente atención en ámbitos como la conservación ambiental y la seguridad operacional en infraestructuras críticas, especialmente en aeropuertos. La presencia de aves en zonas de tránsito aéreo representa un riesgo considerable, pues puede derivar en incidentes con consecuencias económicas y ambientales significativas, lo que ha motivado la búsqueda de soluciones tecnológicas que permitan una gestión responsable y no letal de estas especies [1].

En el caso específico del Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo, en Guayaquil, la proliferación de aves silvestres, específicamente patos en el islote El Palmar, ubicado a 1,5 km del aeropuerto, constituye un riesgo operativo relevante. Se han reportado hasta 50 impactos de aeronaves con aves en un solo mes, lo que refleja la urgencia de aplicar medidas efectivas para reducir este peligro [2].

Los métodos tradicionales de control de fauna, como el uso de trampas manuales o dispositivos ahuyentadores, han demostrado ser poco eficaces por su limitada capacidad de respuesta, alta demanda de recursos y escaso impacto a largo plazo. Además, suelen ser invasivos y pueden afectar negativamente al bienestar animal o al ecosistema. De allí surge la necesidad de alternativas innovadoras, selectivas y no letales, que garanticen la seguridad aérea sin comprometer la conservación de especies [3].

En este contexto, el presente trabajo propone el diseño y desarrollo de un dispositivo automatizado para la captura y liberación controlada de patos silvestres en zonas aledañas al aeropuerto de Guayaquil. La finalidad es reducir el riesgo aviario mediante un sistema ético, seguro y sostenible, que permita contener a los especímenes seleccionados previamente y liberar a los que no, sin causarles daño, contribuyendo a la seguridad operacional y a la preservación de la biodiversidad local.

El prototipo integra criterios de ingeniería mecánica, electrónica y ambiental: desde la resistencia estructural y la protección contra humedad, hasta la incorporación de sensores ultrasónicos, motores reductores y sistemas de control automatizado. Asimismo, se contempla el uso de materiales duraderos como acero inoxidable y caña tratada, junto con recubrimientos impermeables de bajo costo, para asegurar su funcionamiento en condiciones ambientales adversas.

En este documento se presentan los fundamentos teóricos, el diseño estructural, la metodología aplicada y los resultados obtenidos, con el objetivo de ofrecer una solución integral al manejo de aves silvestres en zonas aeroportuarias, equilibrando las exigencias de seguridad aérea con los principios de conservación ambiental.

II. PROBLEMA

La presencia de aves en aeropuertos representa un riesgo importante para la seguridad aérea, conocido como peligro aviario. Este ocurre cuando las aves colisionan con aeronaves durante el despegue, aterrizaje o vuelo a baja altura, causando daños considerables, poniendo en peligro vidas humanas y generando altos costos por reparaciones y retrasos [4]. Pese a su gravedad, existe una carencia de estudios detallados sobre la cantidad de aves en zonas cercanas a los aeropuertos [5], lo que complica la aplicación de medidas de control efectivas [6].

En América del Sur, el monitoreo aún es limitado, aunque países como Brasil han avanzado en la recopilación de datos. Frente a este riesgo, se aplican distintas estrategias de control, desde modificaciones del hábitat hasta el uso de tecnologías y animales entrenados. Sin embargo, la efectividad de estas medidas depende de la situación ecológica local [7]. Las colisiones entre aves y aeronaves generan costos directos e indirectos muy significativos. En Estados Unidos, los gastos anuales en reparaciones por impactos con aves superan los 200 millones de dólares, y a nivel global se estima que superan los 1200 millones de dólares al año, debido a daños estructurales en turbinas, alas y fuselaje, así como a retrasos y desvíos de vuelos. Además, las interrupciones operacionales derivadas de inspecciones y reparaciones pueden incrementar el tiempo de inactividad de aeronaves, afectando la puntualidad y la satisfacción de usuarios [8].

Las trampas tradicionales que existen actualmente para aves no discriminan entre especies, edades ni características específicas. Su funcionamiento se basa únicamente en capturar la mayor cantidad posible de ejemplares [8], sin considerar si se trata del tipo de ave que realmente se desea capturar. En el mercado actual no existen trampas clasificatorias, ya que cada una debería estar diseñada para un tipo específico de ave [9]. Por esta razón, los métodos de captura convencionales solo cuentan con compuertas de entrada, sin mecanismos que permitan la liberación de ejemplares no deseados [10]. Esta limitación constituye el principal motivo por el cual las trampas actuales resultan ineficientes para la captura selectiva de especímenes.

Así también las trampas que utilizan componentes eléctricos deben instalarse en entornos secos, ya que son vulnerables a la humedad y a la exposición solar. La falta de modelos con protección adecuada obliga a adaptar los circuitos a condiciones específicas [11]. En sistemas con sensores y actuadores controlados por microcontroladores, incluso pequeñas filtraciones de agua pueden dañar irreversiblemente los componentes, por lo que se requiere protección adicional [12]. Además, el uso de materiales baratos y poco resistentes a la corrosión, común en la fabricación para reducir costos, acelera el desgaste de las partes mecánicas. Esta degradación compromete la eficiencia y durabilidad del sistema. Por tanto, es fundamental considerar tanto la protección ambiental como la calidad de los materiales en el diseño de trampas eléctricas para asegurar su funcionamiento a largo plazo.

La evaluación del sistema requiere comprobar su capacidad para capturar patos de forma segura y medir con precisión sus tiempos de reacción. Estos datos son esenciales para validar el diseño, especialmente en entornos aeroportuarios donde la rapidez y seguridad son cruciales. Sin estas métricas, no es posible garantizar un funcionamiento confiable. Por ello, se deben realizar pruebas controladas que detecten fallos, demoras o comportamientos imprevistos [13].

III. JUSTIFICACIÓN

Las aves acuáticas, aunque consideradas un riesgo para la aviación en aeropuertos, cumplen funciones ecológicas importantes en los ecosistemas acuáticos cercanos. Participan en el ciclo de nutrientes, regulan poblaciones de insectos y peces, dispersan semillas y mantienen la diversidad vegetal [14]. Además, actúan como indicadores de la salud ambiental de los humedales. Ignorar estos roles en la gestión aeroportuaria puede generar desequilibrios ecológicos. Es crucial equilibrar la seguridad aérea con la conservación de estos ecosistemas [15].

Diversos aeropuertos cercanos a humedales han aplicado con éxito estrategias integradas para manejar la presencia de aves sin afectar gravemente el ecosistema, incluyendo modificar hábitats, controlar la altura del césped y usar disuasivos no letales como perros o halcones entrenados. El monitoreo constante y la adaptación según la especie y temporada son clave, permitiendo reducir riesgos para la aviación sin comprometer la biodiversidad y demostrando que es posible equilibrar seguridad aérea y conservación ambiental [16].

Ante la limitada eficacia de los métodos de captura tradicionales, que no contemplan criterios para la selección específica de aves, resulta imperativo desarrollar soluciones innovadoras [17]. La implementación de un dispositivo automatizado que permita la captura selectiva es esencial no solo para reducir el estrés y el riesgo para las especies no objetivo [18], sino también para optimizar el manejo de la fauna silvestre en entornos sensibles, como los aeropuertos. Un sistema capaz de identificar y liberar de forma controlada a los ejemplares no deseados representa un avance significativo en la precisión de las intervenciones. Además, se constituye como una herramienta valiosa para la recolección de datos que respalden estudios técnicos, etológicos y ecológicos, facilitando el diseño e implementación de estrategias de mitigación del riesgo aviario que sean sostenibles y eficaces a largo plazo.

Las trampas eléctricas actuales presentan vulnerabilidad a la humedad, la exposición solar y el uso de materiales de baja calidad propensos a la corrosión [19], lo que limita su durabilidad y funcionamiento. En zonas como el islote El Palmar, área de influencia del Aeropuerto de Guayaquil con condiciones ambientales adversas, se requiere un diseño robusto y resistente. Es esencial utilizar materiales duraderos y sistemas eléctricos protegidos contra filtraciones. Esto permite evitar daños irreversibles y el desgaste acelerado del sistema. Además, garantiza un funcionamiento confiable y continuo a largo plazo. Un diseño adecuado mejora la eficiencia y la respuesta del dispositivo frente al clima de los humedales [20].

Para asegurar la efectividad del dispositivo propuesto, es necesario realizar una evaluación rigurosa que supere las limitaciones de los sistemas artesanales sin validación técnica. Verificar la captura segura de patos y medir con precisión los tiempos de reacción es clave en contextos aeroportuarios [21]. Las pruebas controladas permitirán validar el diseño, detectar fallos y optimizar el rendimiento del sistema. Este proceso garantiza una operación precisa y confiable [22]. Además, promueve el bienestar animal y la sostenibilidad operativa a largo plazo [23].

IV. OBJETIVOS

IV-A. Objetivo general

Desarrollar un dispositivo automático para la captura y contención de patos silvestres en las zonas aledañas al Aeropuerto Internacional de Guayaquil.

IV-B. Objetivos específicos

- Diseñar un dispositivo automático que contemple dos áreas: una de contención y otra de liberación para patos silvestres.
- Implementar el dispositivo diseñado de manera que los sistemas electromecánicos estén correctamente protegidos de filtraciones de agua.
- Evaluar el funcionamiento del sistema mediante pruebas de captura segura de patos y medición de los tiempos de reacción del mecanismo.

V. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de un sistema autónomo y remoto para la captura selectiva y el manejo de aves silvestres, particularmente patos, responde a una problemática crítica que afecta tanto al sector aeronáutico como al ecosistema en áreas cercanas a infraestructuras clave, como los aeropuertos. En el caso específico del Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo, en Guayaquil, Ecuador, la proliferación de aves silvestres, especialmente patos, en el islote El Palmar, ubicado a 1,5 km del aeropuerto, ha generado un riesgo significativo para las operaciones aéreas. Según declaraciones oficiales, se han registrado hasta 50 impactos de aviones con aves en un solo mes, lo que evidencia la urgencia de implementar soluciones efectivas para mitigar este problema [24].



Figura 1: Aeropuerto José Joaquín de Olmedo [25].

A pesar de que Isabel Tamariz, directora zonal 5 del Ministerio del Ambiente de Ecuador, afirmó que “Las aves no generan un problema ambiental, sino un problema aeronáutico”, resulta fundamental abordar esta problemática desde una perspectiva integral que contemple tanto la seguridad operacional de la aviación como la conservación de las especies implicadas. Los métodos tradicionales utilizados para el control de aves silvestres —como las trampas manuales o los dispositivos ahuyentadores— han demostrado ser poco eficaces, debido a su limitada capacidad de respuesta, alta demanda de recursos y escaso impacto a largo plazo. Además, estas estrategias pueden representar un riesgo para el bienestar animal o resultar ineficaces en entornos adversos o con baja capacidad de monitoreo continuo [26].

El Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo, ubicado en la ciudad de Guayaquil, enfrenta un riesgo persistente debido a la presencia de aves en las inmediaciones de sus pistas. Las colisiones entre aves y aeronaves pueden ocasionar daños severos en componentes críticos como los motores, trenes de aterrizaje y superficies de control, con costos de reparación que oscilan entre los 50.000 y 200.000 dólares por incidente. La mayoría de estos eventos ocurren a baja altitud, durante las fases de despegue o aterrizaje, consideradas las más críticas del vuelo. Para mitigar estos riesgos, se han implementado medidas como dispositivos sonoros disuasivos y modificaciones en el entorno paisajístico circundante; sin embargo, su efectividad ha resultado limitada. Las autoridades aeroportuarias

han solicitado asistencia técnica internacional con el fin de diseñar estrategias más eficaces. Se ha identificado que los humedales próximos al aeropuerto funcionan como hábitats atractivos para las aves, lo que ha llevado a especialistas a recomendar una gestión ambiental activa de estos ecosistemas. Esta problemática no es exclusiva de Ecuador: de acuerdo con la Federal Aviation Administration (FAA), en los Estados Unidos se registran anualmente más de 20.000 colisiones entre aves y aeronaves, muchas de ellas ocurridas en zonas cercanas a aeropuertos. Si bien en Guayaquil no se han reportado accidentes graves derivados de estas interacciones, el aumento progresivo del tráfico aéreo eleva la urgencia de establecer soluciones integrales. Tanto organismos locales como internacionales coinciden en la necesidad de un plan coordinado que combine monitoreo constante, prevención activa y modificación del entorno natural. Hasta la fecha, las acciones adoptadas han sido mayormente reactivas; no obstante, se requiere con urgencia un enfoque proactivo, sustentado en datos estadísticos y análisis técnico. La seguridad operacional de la aviación civil depende, cada vez más, de la gestión eficiente de los ecosistemas circundantes a la infraestructura aeroportuaria [6].

En este contexto, el proyecto propuesto tiene como objetivo desarrollar un mecanismo autónomo y automatizado capaz de realizar la captura selectiva de patos silvestres sin alterar su integridad física ni su fisonomía. El sistema integrará tecnologías avanzadas, tales como sensores especializados para la identificación de especies específicas, comunicación inalámbrica para el monitoreo remoto, y materiales de alta resistencia diseñados para operar en condiciones ambientales adversas, como entornos cálidos y húmedos [27]. Además, el diseño contemplará funcionalidades adicionales, entre las que se incluyen alarmas para disuadir la entrada de especies no deseadas y mecanismos de elevación ajustables que permitan adaptar el dispositivo a variaciones en el nivel del agua marítima. Estas características garantizarán la operatividad del sistema en una amplia diversidad de escenarios, consolidándolo como una solución eficiente, ética y ambientalmente responsable para el manejo de fauna silvestre en entornos aeroportuarios.

La justificación técnica de este proyecto radica en varias dimensiones:

- Existen pocas soluciones comerciales disponibles que integren autonomía, selección específica de especies y monitoreo remoto. La complejidad técnica necesaria para adaptar los mecanismos a las necesidades particulares de cada especie limita el acceso a estas herramientas en contextos como el ecuatoriano [28].
- Según investigaciones realizadas por expertos en aviación civil, los sistemas actuales de gestión de fauna en aeropuertos requieren mejoras significativas para reducir el riesgo de colisión entre aves y aviones [24].
- Las colisiones entre aves y aeronaves generan costos directos e indirectos muy significativos. En Estados Unidos, los gastos anuales en reparaciones por impactos con aves superan los 200 millones de dólares, y a nivel global se estima que sobrepasan los 1.200 millones de dólares al año, debido a daños estructurales en turbinas, alas y fuselaje, así como a retrasos y desvíos de vuelos. Además, las interrupciones operacionales derivadas de inspecciones y reparaciones pueden incrementar el tiempo de inactividad de las aeronaves, afectando la puntualidad y la satisfacción de los usuarios [29].
- Las aves acuáticas, aunque representan un riesgo para la aviación en aeropuertos, cumplen funciones ecológicas clave en los ecosistemas acuáticos cercanos. Participan en el ciclo de nutrientes, regulan las poblaciones de

insectos y peces, dispersan semillas y mantienen la diversidad vegetal. Además, actúan como indicadores de la salud ambiental de los humedales. Ignorar estos roles en la gestión aeroportuaria puede generar desequilibrios ecológicos. Por ello, es crucial equilibrar la seguridad aérea con la conservación de estos ecosistemas [30].

- Diversos aeropuertos cercanos a humedales han aplicado con éxito estrategias integradas para manejar la presencia de aves sin afectar gravemente el ecosistema. Estas incluyen la modificación de hábitats, el control de la altura del césped y el uso de disuasivos no letales, como perros o halcones entrenados. El monitoreo constante y la adaptación según la especie y la temporada son clave. Estas acciones permiten reducir los riesgos para la aviación sin comprometer la biodiversidad. Así, se demuestra que es posible equilibrar la seguridad aérea con la conservación ambiental [16].

A continuación se presenta una lista detallando colisiones de aviones con aves silvestres cerca de cuerpos de agua.

- El 15 de enero de 2009, el vuelo 1549 de US Airways, un Airbus A320 con 155 personas a bordo, perdió ambos motores tras colisionar con una bandada de gansos canadienses minutos después de despegar desde Newark. El capitán Chesley Sullenberger decidió realizar un amerizaje en el río Hudson, salvando todas las vidas. La investigación del NTSB identificó que los motores no estaban certificados para resistir aves de ese tamaño y destacó la falta de medidas efectivas contra la vida silvestre cerca de aeropuertos urbanos. El informe recomendó pruebas más estrictas para motores, control de poblaciones de aves y mejoras en los protocolos de emergencia. Este caso, conocido como el “Milagro en el Hudson”, redefinió los estándares globales de seguridad aérea ante colisiones con aves [31].
- El 21 de octubre de 2000, un avión Piper PA-44-180 (N928ER), durante un vuelo de instrucción, colisionó con un ave grande a 2.000 pies cerca de Daytona Beach, Florida. El impacto dañó el borde delantero del ala derecha, lo que obligó al instructor a realizar un aterrizaje precautorio en Spruce Creek. No hubo heridos, pero el avión sufrió daños sustanciales. La investigación del NTSB concluyó que la causa fue una colisión accidental con un ave en vuelo, sin fallos mecánicos previos. Las condiciones meteorológicas eran visuales (VMC) y el vuelo no contaba con plan de vuelo. Este incidente resalta los riesgos que representan las aves en rutas de entrenamiento [32].
- El 19 de noviembre de 2022, el vuelo 2295 de Delta Airlines, con 153 personas a bordo, sufrió múltiples colisiones con aves (gansos canadienses o de Ross) durante su descenso cerca de Red Oak, Iowa, EE.UU., a 13.000 pies de altitud. El impacto dañó el fuselaje en tres puntos, afectando la presurización y generando un ruido extremo en la cabina. El capitán describió el sonido como una explosión, pero el vuelo continuó hasta Omaha (OMA) sin mayores consecuencias. La investigación del NTSB concluyó que las colisiones fueron fortuitas, sin alertas previas de actividad aviar en la zona. No hubo heridos, pero se requirió una reparación mayor por daños estructurales. Este caso destaca los riesgos que representan las aves en altitudes medias y la necesidad de monitoreo en rutas migratorias [33].
- El 31 de marzo de 2025, un vuelo de la aerolínea Avianca que cubría la ruta Guayaquil-Quito experimentó un incidente poco después del despegue. La aeronave colisionó con un ave mientras sobrevolaba la provincia

del Guayas, lo que provocó daños visibles en la parte frontal del avión, incluyendo manchas de sangre y una leve abolladura. Este evento resalta la importancia de los protocolos de seguridad aérea y la necesidad de implementar medidas efectivas para prevenir impactos con aves, especialmente en zonas cercanas a los aeropuertos [34].



Figura 2: Daño en el avión después de la colisión [34].

En el mercado existen varios métodos para capturar o disuadir aves silvestres, tales como: la reducción de su hábitat [35], el uso de altavoces [36], el empleo de láseres [37], la instalación de mallas de captura [38] o el uso de animales entrenados [39].

A continuación, se presenta una tabla que resume y compara todos estos métodos:

Tabla I: Tabla de Métodos [40].

Método	Descripción	Ventajas	Desventajas
Gestión del hábitat	Modificación del entorno del aeropuerto para reducir la disponibilidad de alimentos, agua y refugio.	Solución a largo plazo, aborda la causa raíz de la atracción de aves.	Requiere un conocimiento profundo de la ecología local; puede tener efectos no deseados en otras especies.
Disuasión acústica	Uso de sonidos (llamadas de socorro, sonidos de depredadores, cañones de gas, dispositivos sónicos) para asustar o incomodar a las aves.	Efectivo a corto plazo, produce grandes cambios inmediatos.	Problema de habituación; puede molestar a las comunidades cercanas.
Disuasión con láser	Uso de haces de luz láser para asustar y repeler a las aves.	Muy eficaz para diversas especies, especialmente en horarios de poca luz; no se observa habituación significativa.	Efectividad limitada en condiciones de mucha luz, requiere precauciones de seguridad.
Barreras físicas	Instalación de obstáculos físicos (redes, púas, etc.) para impedir el acceso de las aves.	Muy efectivas para exclusión en áreas específicas, solución a largo plazo en ciertas aplicaciones.	Pueden ser costosas de instalar y requieren mantenimiento regular.
Patrullaje de vida silvestre	Uso activo de personal, animales entrenados (perros, aves rapaces) o drones para dispersar aves.	Respuesta dinámica y adaptable; muy efectiva para especies persistentes.	Requiere personal y entrenamiento especializado; los animales necesitan cuidados.

En la siguiente sección se abordan los principios teóricos y el funcionamiento de los componentes electrónicos empleados en el desarrollo del sistema automatizado para la captura y clasificación de patos silvestres. El conocimiento de la operación de cada uno de estos dispositivos resulta fundamental para comprender la lógica de integración y control implementada en el prototipo.

La Raspberry Pi Pico es una placa de desarrollo compacta que incorpora un microcontrolador ARM Cortex-M0+, especialmente diseñada para aplicaciones de control y automatización con bajo consumo energético. A diferencia de las placas Arduino convencionales, cuyo funcionamiento suele estar basado en 5V, la Pico utiliza un voltaje máximo de 3,3V tanto en sus pines de control como en la alimentación del microcontrolador RP2040. Esta característica requiere una selección cuidadosa de los sensores y módulos a emplear, a fin de garantizar la compatibilidad eléctrica y evitar posibles daños al dispositivo [41].

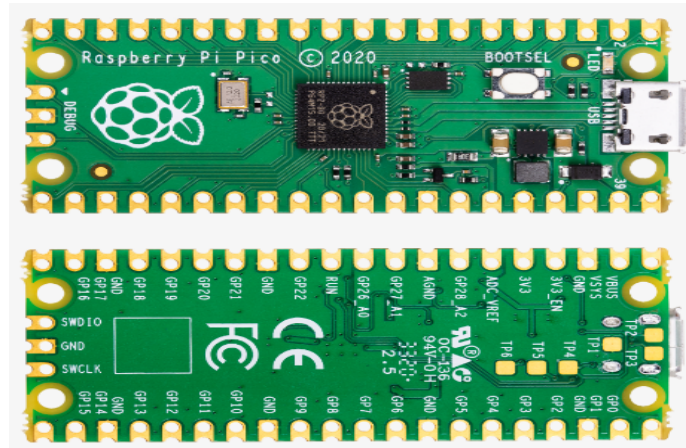


Figura 3: Raspberry Pi Pico RP2040 [41].

El convertidor de voltaje LM2596 es un módulo reductor DC-DC ampliamente utilizado para obtener voltajes estables y regulados a partir de una fuente de mayor potencial. En este proyecto, el LM2596 permite reducir la tensión de entrada de 12V proveniente de la batería principal hasta los 5V requeridos por varios módulos electrónicos, asegurando así una alimentación segura y adecuada para los componentes sensibles del sistema [42].



Figura 4: Convertidor de voltaje LM2596 [42].

El puente H L298 es un circuito integrado diseñado para controlar motores eléctricos de forma bidireccional. En este proyecto, el L298 se emplea específicamente para manejar motores paso a paso en el mecanismo de apertura y cierre de las compuertas. Es importante destacar que, aunque los motores reciben una alimentación principal de 12V, el módulo utiliza señales de control de 5V provenientes del microcontrolador para gestionar su funcionamiento.

Esto permite que la lógica de control opere a bajo voltaje, protegiendo el circuito de control principal, mientras que la potencia requerida por los motores se suministra de forma independiente [43].

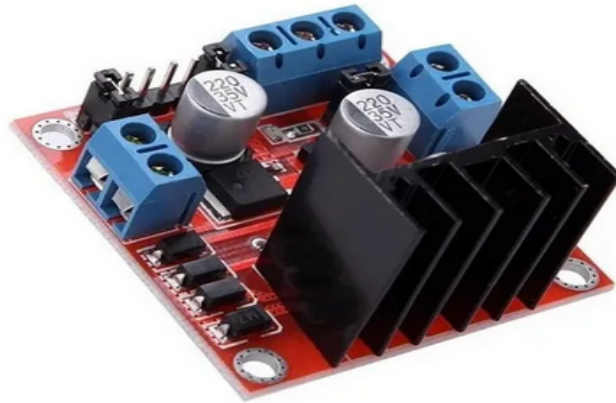


Figura 5: Puente H L298 [43].

El módulo TXS0108E es un convertidor bidireccional de niveles lógicos, diseñado para adaptar señales digitales entre dispositivos que operan con diferentes voltajes. En este proyecto, su función principal es convertir las señales de 5V generadas por ciertos componentes de control a 3.3V, nivel compatible con la Raspberry Pi Pico. Esta adaptación resulta esencial para proteger la integridad del microcontrolador y evitar daños por sobrevoltaje en sus pines de entrada [44].

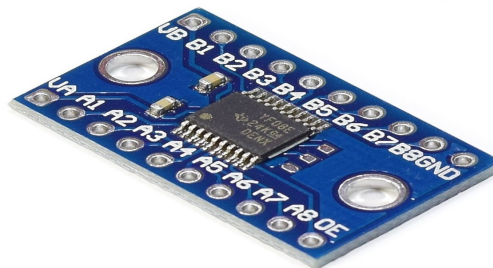


Figura 6: Módulo TXS0108E [44].

El motor paso a paso Bringsmart es un actuador electromecánico diseñado para proporcionar movimientos angulares precisos y controlados mediante la activación secuencial de sus fases internas. En este sistema, se utiliza para abrir y cerrar las puertas del mecanismo de captura a través de un tornillo sin fin, permitiendo un desplazamiento seguro y eficiente. La capacidad de este motor para responder rápidamente a las señales de los sensores integrados resulta

fundamental para prevenir accidentes y asegurar que las compuertas solo se activen cuando no exista riesgo para el ave [45].



Figura 7: Motor paso a paso Bringsmart [45].

V.7.6. *ESP32 CH340 30 pines Tipo C*: El microcontrolador ESP32 es una plataforma ampliamente utilizada en proyectos de automatización, IoT y sistemas embebidos debido a su capacidad de procesamiento, conectividad inalámbrica integrada y flexibilidad en el uso de periféricos. En el presente trabajo se utilizó el modelo ESP32 con 30 pines y chip conversor CH340, cuya principal característica es la incorporación de un puerto USB Tipo C que facilita la conexión con equipos modernos y garantiza una transferencia de datos más estable.

En comparación con microcontroladores tradicionales como la Raspberry Pi Pico o el Arduino UNO, el ESP32 ofrece un mayor número de entradas y salidas digitales (GPIO), así como interfaces avanzadas como ADC, DAC, PWM, SPI, I2C y UART, lo cual proporciona un rango más amplio de posibilidades de integración con sensores y actuadores. La presencia del chip CH340 como convertidor USB–Serial facilita la programación del dispositivo desde entornos como Arduino IDE o MicroPython, sin requerir controladores complejos.[46].



Figura 8: ESP32 CH340 30PIN Tipo C [46].

El buzzer empleado (3 a 24 V alimentado a 12 V) es un dispositivo activo, lo que significa que la frecuencia fundamental del tono emitido depende de su oscilador interno (típicamente en el rango de 2-4 kHz). El código implementado no controla directamente la frecuencia acústica, sino el *patrón de encendido y apagado* (bursting) mediante intervalos programados en milisegundos.

Para cada par de intervalos (ON, OFF) definidos en el patrón, se pueden calcular las siguientes magnitudes:

$$T = t_{\text{on}} + t_{\text{off}} \quad [\text{ms}] \quad (1)$$

$$f = \frac{1000}{T} \quad [\text{Hz}] \quad (2)$$

$$D = \frac{t_{\text{on}}}{T} \quad (3)$$

donde T es el período del par de pulsos, f la frecuencia de parpadeo (no acústica, sino de repetición de pitidos) y D el ciclo de trabajo.

En el patrón completo definido en el código, el ciclo total tiene una duración aproximada de 6,25 s, con 33 pulsos, una frecuencia media de repetición de $f \approx 5,28 \text{ Hz}$ y un ciclo de trabajo promedio $\bar{D} \approx 0,506$.

El nivel de presión sonora emitido por un buzzer depende de los datos proporcionados por el fabricante en la ficha técnica, generalmente expresados como un valor de referencia L_{ref} a determinada tensión y distancia (por ejemplo, 95 dB SPL a 10 cm y 12 V). A partir de dicho valor, se puede estimar el SPL en otras condiciones aplicando las siguientes relaciones:

1. Ley de inversa del cuadrado (cambio con la distancia):

$$L(r) = L(r_0) - 20 \log_{10} \left(\frac{r}{r_0} \right) \quad (4)$$

donde $L(r)$ es el nivel en dB a una distancia r , y $L(r_0)$ es el nivel de referencia a la distancia r_0 .

2. Variación con la tensión de alimentación (aproximación lineal para piezoeléctricos activos):

$$L(V) \approx L(V_0) + 20 \log_{10} \left(\frac{V}{V_0} \right) \quad (5)$$

donde $L(V)$ es el nivel estimado a una tensión V , tomando como referencia $L(V_0)$.

3. Ajuste por ciclo de trabajo (patrón intermitente ON/OFF):

$$L_{\text{eq}} \approx L_{\text{ON}} + 10 \log_{10}(D) \quad (6)$$

donde L_{eq} es el nivel equivalente promedio del patrón, L_{ON} el nivel continuo durante el encendido y D el ciclo de trabajo.

Si un buzzer tiene un valor de referencia de $L_{ref} = 95$ dB SPL medido a $r_0 = 0,1$ m con $V_0 = 12$ V, entonces:

- A $r = 1$ m, el nivel continuo se estima como:

$$L(1) = 95 - 20 \log_{10} \left(\frac{1}{0,1} \right) = 75 \text{ dB SPL.}$$

Ajustado por el ciclo de trabajo del patrón ($D \approx 0,506$):

$$L_{eq} \approx 75 + 10 \log_{10}(0,506) \approx 72 \text{ dB SPL.}$$

- A $r = 0,5$ m:

$$L(0,5) = 95 - 20 \log_{10} \left(\frac{0,5}{0,1} \right) = 81 \text{ dB SPL,}$$

y con patrón intermitente:

$$L_{eq} \approx 81 - 2,97 \approx 78 \text{ dB SPL.}$$

Estos cálculos permiten estimar la intensidad real percibida, siempre que se disponga de un valor de referencia del buzzer en su ficha técnica.

El sonido emitido por el buzzer resulta claramente audible y físicamente incómodo para las aves, lo que conlleva una reacción inmediata de estrés o escape. Al igual que otros animales, las aves tienden a responder a estímulos acústicos súbitos, intensos o desconocidos mediante conductas defensivas o de huida. Diversos estudios sobre fauna han evidenciado que los ruidos nuevos e impredecibles desencadenan respuestas antidepredador: el animal reacciona como si se encontrara bajo amenaza, lo que puede llevarlo a volar repentinamente, esconderse, incrementar su ritmo cardíaco o incluso manifestar conductas agresivas debido al sobresalto [47].

En aves silvestres, un sonido agudo no habitual puede desorientarlas y provocar temor. La literatura sobre contaminación acústica documenta que la exposición a ruidos intensos en entornos naturales ocasiona estrés, dificultades de comunicación e incluso abandono de nidos [48], [49]. Estos ruidos interfieren en cantos y llamadas que son esenciales para la defensa del territorio, la comunicación y la advertencia de peligros, dejando a los animales confundidos o incapaces de cumplir estas funciones de manera adecuada. Como consecuencia, las aves tienden a evitar permanecer cerca de la fuente sonora, y si la emisión es recurrente, pueden llegar a abandonar la zona en busca de un entorno más tranquilo.

La eficacia de este tipo de estímulos depende, sin embargo, de la forma en que el ruido es presentado. Un sonido constante y monótono puede perder efectividad con el tiempo, dado que las aves son capaces de habituarse si perciben que no existe un daño real. De hecho, se ha observado que ciertas especies consideradas plagas regresan a áreas donde previamente habían sido expuestas a ruidos repetitivos [50]. Para contrarrestar este fenómeno, el sistema implementado en el presente trabajo utiliza tres patrones intermitentes y variables, con cambios en ritmo y duración a lo largo de los ciclos. Esta imprevisibilidad dificulta la habituación, ya que las aves no pueden ignorar un estímulo que aparece con intervalos inesperados o con diferentes secuencias.

En este sentido, los sonidos pulsantes y alternantes mantienen a los animales en constante estado de alerta. Cada activación del buzzer tras unos segundos de silencio genera nuevamente un sobresalto, lo que impide que el ruido se convierta en un simple “fondo acústico” tolerable. Al combinar frecuencias audibles, alta intensidad y patrones irregulares, el sistema asegura que las aves perciban el sonido como una molestia persistente y potencialmente amenazante. En consecuencia, el estímulo acústico interfiere directamente con su sensibilidad auditiva, genera

malestar físico y altera su comportamiento natural, induciendo miedo y estrés que motivan la evasión de la fuente sonora.

VI. MARCO METODOLÓGICO

El proyecto propuesto tiene como finalidad el desarrollo de un sistema automatizado para la captura y clasificación de patos silvestres en las inmediaciones del Aeropuerto Internacional de Guayaquil. Esta iniciativa responde a la necesidad de reducir riesgos relacionados con la presencia de fauna en zonas aeroportuarias, al tiempo que contribuye a la gestión sostenible de la biodiversidad local.

La metodología empleada abarca la selección y el ensamblaje de componentes electrónicos, el diseño de sistemas de control, así como la programación de algoritmos que permitan la toma de decisiones en tiempo real. La arquitectura del sistema se basa en la integración de sensores y actuadores, los cuales interactúan de forma coordinada bajo la supervisión de un microcontrolador central (Raspberry Pi Pico). La elección de cada componente se fundamentó en criterios de eficiencia, precisión y compatibilidad con los requerimientos del dispositivo. En las secciones siguientes se describen los materiales y métodos utilizados en la construcción del prototipo, así como la lógica de integración y funcionamiento de cada uno de los elementos que conforman el sistema automatizado de captura y contención.

En la Fig. 9 se presenta la estructura base del mecanismo de entrada en su totalidad. Para su diseño, se consideraron diversas variables, entre ellas el tamaño de los componentes electrónicos, como sensores, microcontrolador, cámara, entre otros. Se definieron dimensiones adecuadas que permiten la instalación eficiente de estos dispositivos, sin comprometer el tamaño del acceso, de manera que un pato silbón canelo estándar pueda ingresar con facilidad. El material seleccionado para la construcción del mecanismo es el metal, debido a su alta resistencia mecánica y durabilidad a largo plazo. Considerando que el sistema estará ubicado en un entorno acuático, resulta esencial emplear una aleación que ofrezca una buena resistencia a la corrosión, con el fin de asegurar su funcionamiento continuo y seguro. Por esta razón, se optó por utilizar acero inoxidable, ya que posee propiedades ideales para ambientes húmedos, previniendo la oxidación y prolongando la vida útil del mecanismo sin requerir mantenimiento frecuente. Asimismo, este material aporta la rigidez estructural necesaria para soportar tanto el peso de los componentes instalados como las posibles interacciones físicas con los animales.

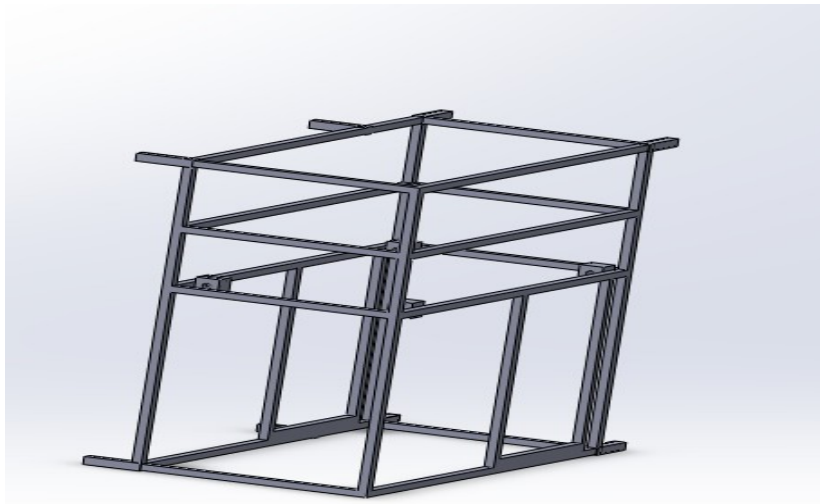


Figura 9: Estructura de la Jaula [40].

Para el diseño de la puerta de entrada, se optó por un mecanismo lo más simple posible. Se evaluaron alternativas como una compuerta completamente automatizada o un sistema de captura basado en la acción de la gravedad. Sin embargo, estas opciones fueron descartadas por diversas razones técnicas y éticas. En el caso de la compuerta automática, se requería un motor de cierre extremadamente rápido, ya que cualquier sonido podría alertar al pato y provocar su huida. Además, un cierre brusco implicaba el riesgo de herir a otros ejemplares que pudieran estar cerca del acceso. Por otro lado, la trampa por gravedad, aunque inofensiva, no permitía la captura selectiva de un solo espécimen a la vez, y su implementación exigía ampliar considerablemente la estructura base del mecanismo de entrada, lo cual la hacía inviable. Finalmente, se adoptó el uso de varillas que se bloquean automáticamente una vez que un pato ha cruzado completamente el umbral. Esta solución resultó ser la más adecuada, ya que cumple con los criterios fundamentales del proyecto: evitar lesiones al animal, garantizar un funcionamiento seguro y reducir la posibilidad de fallos mecánicos incluso durante un uso prolongado.



Figura 10: Varillas para la compuerta de entrada [40].

En la Fig. 11 se observa la implementación del sistema de compuertas de varillas, compuesto por dos compuertas laterales y un recubrimiento de color rojo, el cual estaría elaborado con bambú y otros materiales que permitan mimetizar la estructura con el entorno, con el objetivo de reducir la desconfianza de los patos. Las compuertas laterales cumplen una función diferenciada: al ingresar un espécimen, el sistema evaluará si cumple con las características requeridas. Si es así, se abrirá una de las compuertas y se activará una alarma sonora que dirigirá al pato hacia una sala de contención. En caso contrario, se abrirá la compuerta opuesta junto con la activación de la misma alarma, permitiendo que el ejemplar sea liberado y el proceso pueda reiniciarse hasta alcanzar el número total de patos que se desea capturar. Para el accionamiento de las compuertas se empleará un motor de tornillo. Aunque este tipo de motor no es particularmente rápido, su lentitud no representa un inconveniente, ya que en el momento de la apertura o cierre el pato ya se encontrará dentro del sistema y no podrá escapar debido al confinamiento. Finalmente, el recubrimiento de bambú no solo cumple una función estética y de camuflaje, sino que también protege a los patos de la exposición directa al sol, evitando así posibles afectaciones a su salud.

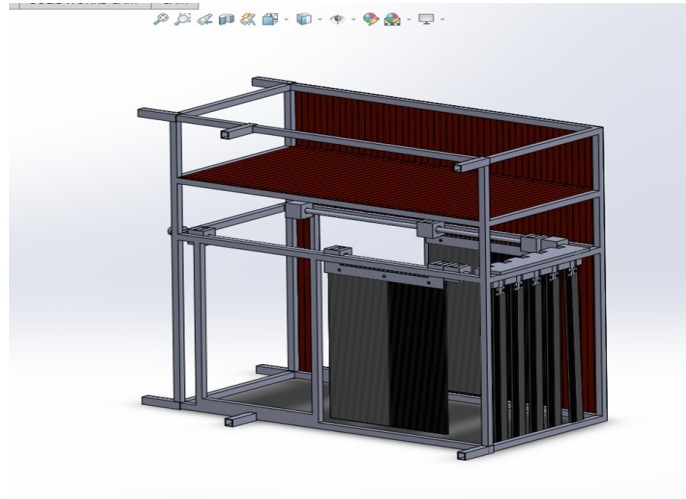


Figura 11: Mecanismo de entrada ensamblado [40].

El proceso de construcción de la estructura principal inició con la selección de tubos cuadrados huecos de acero inoxidable, elegidos tanto por su alta resistencia mecánica como por su capacidad de soportar condiciones ambientales húmedas. La decisión de emplear tubos huecos va acorde al objetivo de reducir la densidad total del sistema, facilitando así su transporte e instalación sin sacrificar estabilidad ni durabilidad. Las dimensiones de la jaula fueron definidas a partir del diseño elaborado en SolidWorks, el cual permitió visualizar y optimizar la disposición de los componentes. La estructura resultante presenta forma rectangular, semejante a la de un gabinete de computadora, con medidas de 50 cm de ancho por 100 cm de largo y 100 cm de profundidad. Este espacio amplio permite no solo albergar el mecanismo de captura, sino también integrar en la parte superior un área adicional destinada al resguardo de la electrónica principal del prototipo, así como de equipos auxiliares pertenecientes a otros grupos de investigación que participen en el proyecto.



Figura 12: Estructura de la jaula [40].

Para la conformación de la base, el techo y la plataforma intermedia, que funciona como un segundo nivel para

la disposición de la electrónica, se emplearon barras angulares de 90 grados. Dichas barras proporcionan soporte estructural y sirven de anclaje para la fijación de los distintos elementos constructivos. El suelo de la jaula se elaboró en madera tratada, a la cual se le aplicó aceite de motor usado como método de impermeabilización, asegurando así su resistencia frente a la humedad y extendiendo su vida útil en un entorno potencialmente hostil. Para el techo se optó por planchas de policarbonato, material que ofrece protección ante la intemperie y favorece el ingreso controlado de luz natural. La zona de entrada fue equipada con un sistema de barras especialmente diseñado para permitir el ingreso de un ave a la vez, impidiendo el retroceso o el ingreso simultáneo de otros ejemplares hasta que se complete el proceso de captura o liberación correspondiente. Este mecanismo se integró al marco estructural con el propósito de garantizar la funcionalidad y seguridad operativa del sistema.

El ensamblaje de la estructura se realizó mediante soldadura por electrodos, empleando electrodos tipo N16 para obtener uniones firmes y duraderas. El corte de los perfiles metálicos se efectuó con una sierra eléctrica para metales, permitiendo la obtención de dimensiones precisas según las especificaciones del diseño original. En conjunto, la metodología constructiva adoptada asegura la integridad, adaptabilidad y funcionalidad de la estructura, satisfaciendo los requerimientos técnicos y operativos del proyecto.



Figura 13: Estructura de la jaula [40].

El prototipo desarrollado estará expuesto de manera continua a condiciones de alta humedad y contacto directo con agua, lo que exige la protección de los elementos estructurales más vulnerables, como el suelo y el techo. Para este fin, se seleccionó la caña guadua como material base, dada su amplia disponibilidad, resistencia estructural y bajo impacto ambiental, cualidades que han favorecido su uso en la construcción sostenible en zonas rurales y húmedas del Ecuador [51].

Sin embargo, como la caña presenta vulnerabilidad frente a la humedad, la cual es responsable de acelerar procesos de degradación, provocar la aparición de hongos y debilitar la estructura interna de los materiales volviendo la estructura inestable internamente [52]. Por esta razón, se optó por aplicar un tratamiento adicional para mejorar la impermeabilización y durabilidad de la estructura.

Entre las alternativas artesanales de bajo costo, destaca el uso de aceite de motor usado como impermeabilizante. Diversos reportes señalan que la aplicación de este aceite sobre la madera o la caña sella los poros y genera una película hidrofóbica que dificulta la absorción de agua, prolongando la vida útil de la estructura[53]. Esta técnica,

aunque tradicional y sencilla, ha demostrado ser efectiva para proteger superficies sometidas a exposición constante al agua, tanto en construcciones como en embarcaciones menores [54].

En síntesis, la combinación de caña guadua tratada con aceite de motor usado constituye una solución práctica, económica y eficiente para la protección de suelos y techos en prototipos o infraestructuras expuestas a ambientes adversos, contribuyendo así a la sostenibilidad y funcionalidad del proyecto.



Figura 14: Proceso de impermeabilización [40].

Una vez concluido el proceso de secado e impermeabilización de la caña guadua, se procedió a su colocación sobre la estructura en forma de recubrimiento, con el objetivo de crear una barrera física adicional entre el agua y los elementos metálicos. La disposición de la caña en capas permitió reforzar la protección frente a la humedad, reduciendo la posibilidad de filtraciones y aumentando la durabilidad general del prototipo.

Para la fijación del recubrimiento se emplearon diversas herramientas y materiales, entre ellos taladro eléctrico, tornillos de expansión, tornillos de madera, bridas plásticas de uso múltiple y tornillos autoperforantes. Los tornillos de madera se utilizaron principalmente para las uniones en la base del piso, tanto en la parte superior como en la inferior, asegurando la estabilidad de la estructura. Por su parte, los tornillos de expansión y los autoperforantes permitieron un anclaje firme en aquellas zonas donde se requería mayor resistencia mecánica, evitando desplazamientos o desprendimientos por la acción del agua o el peso.

Este procedimiento de montaje, combinado con el tratamiento previo de impermeabilización y la aplicación de pintura galvanizada en la estructura metálica, generó una protección integral frente a la humedad. En conjunto, estas acciones contribuyen a prolongar la vida útil del prototipo y asegurar su desempeño en ambientes de alta exposición al agua.



Figura 15: Estructura con cobertura de caña [40].

La estructura interna del prototipo ha sido diseñada para maximizar la funcionalidad y durabilidad, empleando una combinación de materiales ligeros y resistentes, tales como policarbonato y caña tratada. Para las secciones laterales de la trampa se utilizaron planchas de policarbonato blanco, seleccionadas no solo por su capacidad para resistir el impacto y la humedad, sino también por su eficacia en el control térmico. El color blanco de este material contribuye a reflejar la radiación solar incidente, minimizando el calentamiento interno y garantizando condiciones más estables para los componentes electrónicos y para las aves capturadas en el interior de la jaula. Tal elección se fundamenta en que los materiales de color claro presentan una alta reflectancia solar, disminuyendo la acumulación de calor en las superficies expuestas [55].

Estas planchas de policarbonato han sido adaptadas para funcionar como puertas deslizantes laterales en la trampa, permitiendo un acceso eficiente y seguro tanto para la manipulación de los ejemplares como para otras intervenciones internas. Para garantizar la protección de los sistemas de accionamiento, los tornillos sin fin y los motores asociados se ubicaron en la parte superior de la estructura, lo que previene la exposición directa a salpicaduras de agua y reduce el riesgo de corrosión o fallos eléctricos.

En las secciones donde se requiere mantener un peso reducido y proporcionar aislamiento adicional, se empleó caña tratada, tanto en los laterales de la puerta como en el suelo del compartimiento superior de la trampa, que alberga los dispositivos electrónicos. La caña, por su baja densidad y elevada resistencia estructural, resulta ideal para este tipo de aplicaciones, ya que permite reducir la carga total sin comprometer la estabilidad de la estructura.

Adicionalmente, la elección del policarbonato en determinadas áreas responde a su versatilidad para ser modificado o perforado según las necesidades del sistema. Esto permite la integración futura de sensores adicionales o módulos electrónicos que requieran un montaje específico en las paredes de la trampa, facilitando así el proceso de actualización o ampliación del prototipo.

La combinación estratégica de estos materiales no solo optimiza el comportamiento estructural y térmico del sistema, sino que también promueve la seguridad y la facilidad de adaptación del prototipo frente a futuros requerimientos operativos.

Una vez realizado el proceso de captura del espécimen objetivo, es necesario disponer de un área de confinamiento temporal que permita mantener al ave de manera segura hasta que el personal encargado regrese al sitio para su evaluación, identificación o estudio.

Inicialmente, se consideró construir un compartimiento metálico fijo, soldado directamente a la estructura principal del prototipo. No obstante, esta alternativa fue descartada debido a las dificultades logísticas asociadas al transporte, así como a la rigidez estructural que impedía un almacenamiento compacto del sistema.

Posteriormente, se evaluó la posibilidad de incorporar un módulo removible mediante bisagras, que facilitara su ensamblaje y desmontaje. Aunque una jaula metálica representaba una opción robusta, fue descartada debido al peso adicional que supondría para el transporte, así como por los costos asociados a la soldadura, galvanizado y recubrimiento anticorrosivo necesarios para garantizar su durabilidad en condiciones de humedad.

En función de estas limitaciones, se optó por el diseño de un módulo de confinamiento construido a base de madera, lo cual permite una estructura significativamente más ligera y de fácil manipulación. Esta característica es especialmente ventajosa si se contempla la posibilidad de instalar el sistema en plataformas flotantes, balsas u otras estructuras móviles, ya que la reducción de peso contribuye directamente a su estabilidad y eficiencia de transporte.

Para barrera del área, se utilizó malla de policarbonato, seleccionada por su alta resistencia mecánica y durabilidad frente a la humedad. Este material asegura un entorno seguro para el ave capturada, a la vez que proporciona ventilación y visibilidad, cumpliendo con los requerimientos funcionales y ecológicos del sistema.



Figura 16: Zona de Contención [40].

Para el diseño del mecanismo de entrada, se optó por evitar el uso de sistemas basados exclusivamente en sensores o actuadores electrónicos. Esta decisión se fundamentó en la necesidad de reducir el riesgo de provocar lesiones al ave debido a un accionamiento rápido e inesperado, así como en la limitación que implicaría capturar únicamente

un ejemplar dentro del área de identificación si el sistema no operara con la precisión requerida.

En consecuencia, se implementó un mecanismo de tipo mecánico que no depende completamente de la electrónica para su funcionamiento. Tras evaluar diversas alternativas, la opción más eficaz resultó ser un sistema basado en una compuerta tipo bisagra, equipada con un mecanismo de bloqueo ubicado en la parte inferior. Este diseño permite que el ave ingrese libremente al área de identificación, pero impide su retroceso, garantizando así una contención segura.

Para facilitar el movimiento por parte del ave y asegurar un funcionamiento suave del mecanismo, se emplearon láminas de policarbonato transparente en la fabricación de las bisagras. Este material fue seleccionado debido a su bajo peso, alta resistencia al impacto y durabilidad en ambientes húmedos, lo cual permite que las aves puedan empujar la compuerta sin dificultad, minimizando el estrés durante el proceso de entrada.

Las piezas restantes del mecanismo fueron diseñadas mediante modelado tridimensional e impresas con filamento PLA, elegido por su resistencia mecánica, facilidad de procesamiento y compatibilidad con impresoras de bajo costo. Aunque el sistema opera principalmente de forma pasiva, se incorporó un servomotor encargado de accionar una palanca que regula la apertura temporal del acceso. Esta palanca permite o bloquea el paso de más de un ejemplar, en función de las condiciones detectadas por el sistema. La combinación de elementos mecánicos ligeros y componentes de control electrotécnico garantiza un funcionamiento eficiente, seguro y adaptable a las exigencias del entorno aeroportuario.



Figura 17: Sistema de bisagras - Foto 1 [40].



Figura 18: Sistema de bisagras - Foto 2 [40].

Para resguardar los elementos electrónicos más sensibles, se integró un tablero eléctrico plástico con clasificación IP65. Este tipo de caja ofrece protección total contra el ingreso de polvo y resiste chorros de agua de baja presión desde cualquier dirección, lo cual lo hace ideal para ambientes con exposición a humedad o salpicaduras [56].

Adicionalmente, se utilizó cable UTP con cubierta protectora, sumado al empleo de mangueras dedicadas para cables eléctricos, proporcionando una doble barrera contra el agua y el polvo. Esta configuración asegura que las conexiones permanecieran aisladas y operativas, incluso bajo condiciones ambientales adversas.

En conjunto, el uso del tablero IP65, junto con el cableado protegido y las mangueras, refuerza el aislamiento y extiende la vida útil del sistema, previniendo fallas por infiltración y garantizando una operación segura y confiable del prototipo automatizado.

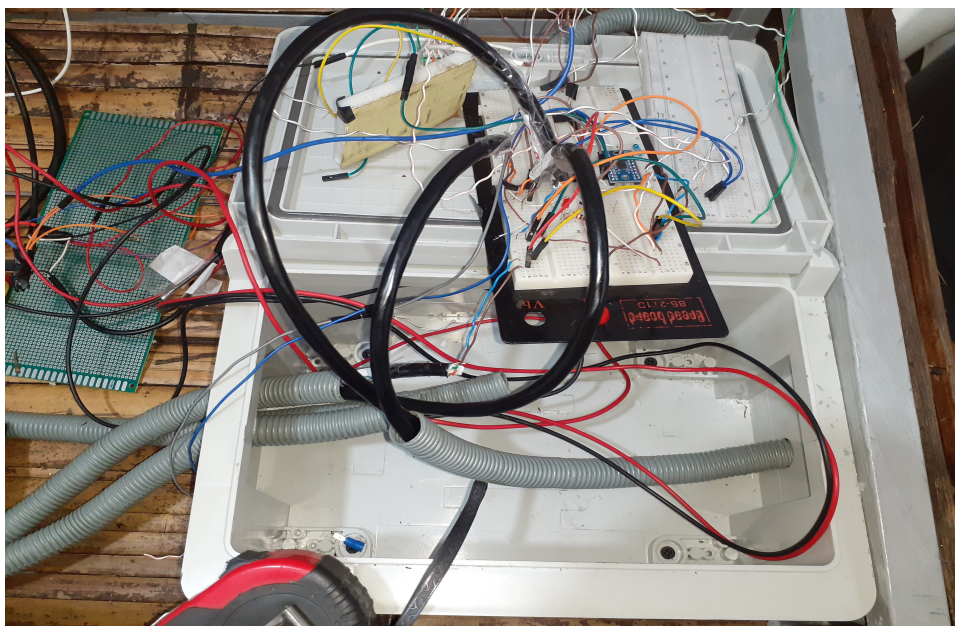


Figura 19: Tablero Eléctrico [40].

El sistema electrónico del prototipo fue diseñado para garantizar un control automatizado, fiable y seguro de todo el proceso de captura. La alimentación general de los componentes se realiza a partir de una batería de 12V, cuya tensión es regulada mediante convertidores de voltaje LM2596, permitiendo así suministrar los diferentes niveles requeridos por cada módulo, tales como 5V para el microcontrolador, sensores y demás dispositivos de bajo consumo.

El control del sistema está constituido por un microcontrolador ESP32 de 30 pines, el cual coordina la lectura de los sensores, el procesamiento de datos y el accionamiento de los actuadores conforme a la lógica de funcionamiento establecida. El proceso se inicia con la detección de un ave mediante un sensor de proximidad infrarrojo E18, que informa al sistema sobre la presencia de un pato en el área de acceso.

Cuando el sensor confirma la presencia del ave, el microcontrolador envía señales a un motor paso a paso, el cual acciona una compuerta por medio de un mecanismo de tornillo sin fin. La dirección y el sentido de giro del motor son gestionados mediante un puente H L298, lo que permite tanto la apertura como el cierre controlado de la puerta. Una vez que la compuerta ha sido abierta, se activa un buzzer sonoro con el fin de inducir al pato a ingresar al área de contención, minimizando así el estrés y facilitando el proceso de captura. Posteriormente, el sistema verifica nuevamente, mediante el sensor de proximidad, que no queden aves en el área de captura, tras lo cual procede al cierre de la compuerta y la reanudación del ciclo operativo.

Adicionalmente, se incorpora un interruptor de emergencia, que permite la desconexión inmediata de la alimentación en caso de presentarse situaciones imprevistas o riesgos potenciales. Todas las conexiones eléctricas se realizan sobre una placa PCB de baquelita, utilizando cables eléctricos apropiados para garantizar la seguridad, la organización y el correcto funcionamiento de cada módulo.

En conjunto, la integración de estos elementos electrónicos y de control asegura la operación autónoma, eficiente y segura del prototipo, cumpliendo con los requerimientos funcionales y de seguridad establecidos en el proyecto.

Todo el sistema electrónico del prototipo es alimentado a partir de una batería de 12V, la cual constituye la fuente principal de energía. No obstante, debido a que los distintos módulos y componentes que operan a diferentes niveles de tensión, se requiere la implementación de circuitos de distribución y regulación de voltaje que aseguren una operación segura y eficiente.

En el caso de los motores de corriente continua, los cuales están diseñados para funcionar a 12V, se utilizó un módulo L298N. Este módulo permite no solo alimentar los motores con la tensión adecuada, sino también controlar el sentido de giro y activar o desactivar su funcionamiento mediante señales de control, lo cual es esencial para la lógica de operación del sistema.

Para el sistema de control central, basado en una Raspberry Pi Pico, fue necesario reducir la tensión de entrada. Para ello, se empleó un convertidor DC-DC tipo Buck modelo LM2596, el cual incluye un display integrado que permite monitorear y ajustar con precisión el voltaje de salida, garantizando un suministro estable de 5V hacia la placa.

Dado que algunos módulos, como sensores o dispositivos de entrada/salida, operan a 5V mientras que la Raspberry Pi Pico maneja señales de lógica a 3.3V, se integró un módulo convertidor lógico bidireccional 5V/3.3V. Este dispositivo evita la sobrecarga de los pines de la microcontroladora y permite una comunicación segura y eficiente entre todos los componentes del sistema.

La correcta gestión de los niveles de voltaje es fundamental para preservar la integridad de los componentes electrónicos, así como para asegurar la compatibilidad y funcionalidad del sistema automatizado de captura.



Figura 20: Sistema de distribución de voltaje [40].

El diagrama de flujo presentado en la siguiente figura, se ilustra el funcionamiento del sistema automático de captura, abarcando desde la detección del pato hasta la activación de las compuertas de ingreso y salida. Este

esquema permite visualizar de manera clara la lógica de decisión implementada en el dispositivo, en la cual se evalúan las características del espécimen para determinar su redirección hacia el área de contención o hacia la liberación. De esta manera, se garantiza un proceso de captura eficiente y selectivo.

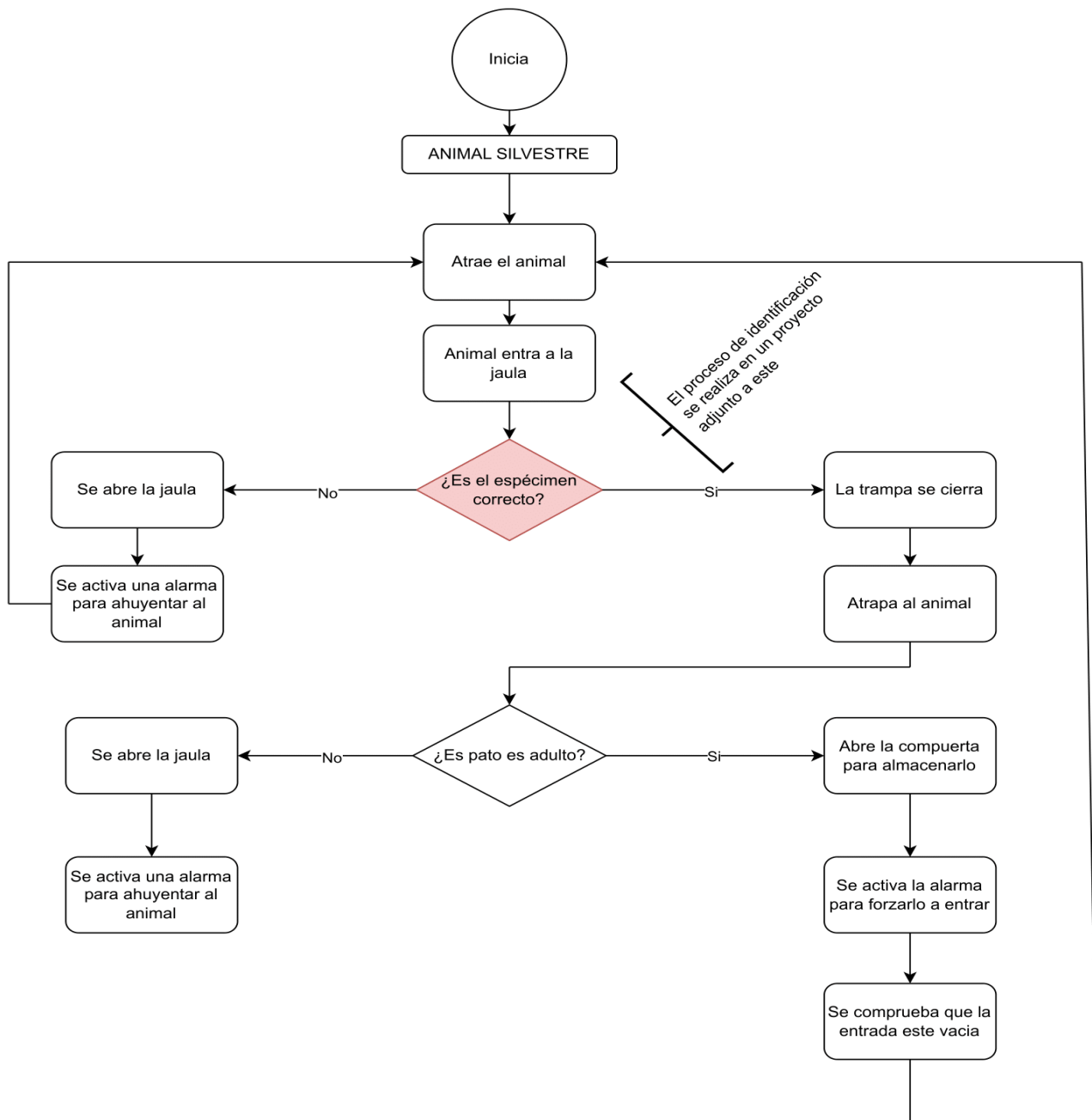


Figura 21: Diagrama de flujo [40].

Para validar el funcionamiento integral del sistema automatizado, se desarrolló una simulación utilizando una

plataforma virtual de prototipado electrónico. En la Figura 22 se muestra el esquema de conexiones empleado en la simulación, donde se representan todos los módulos y componentes esenciales del prototipo.

En este diseño, la Raspberry Pi Pico actúa como controlador central, coordinando la operación de motores, sensores y actuadores. El sistema cuenta con un botón de encendido y apagado general, que habilita o deshabilita la alimentación de todos los módulos electrónicos. Por motivos de disponibilidad en la plataforma de simulación, se empleó un controlador alternativo en lugar del L298; sin embargo, la funcionalidad respecto al control de los motores se mantiene equivalente.

Los motores paso a paso, encargados del accionamiento de las puertas, permanecen inactivos hasta que el sensor PIR detecta la presencia de un ave en la zona de identificación. La lógica de control establece que, mientras exista detección, es necesario pulsar uno de los botones para iniciar el ciclo correspondiente: el botón verde para capturar y el azul para liberar. Estos ciclos son mutuamente excluyentes, por lo que solo uno puede estar activo a la vez.

Al activarse el ciclo de captura, el motor “A” comienza a girar en sentido horario, abriendo la puerta hasta que un final de carrera —simulado mediante un interruptor— indica que se ha alcanzado el límite de apertura. En ese momento, el sistema activa el buzzer, emitiendo una señal sonora que induce al ave a abandonar la zona de identificación. Una vez el sensor PIR deja de detectar presencia, se interpreta que el ave ha ingresado al área de almacenamiento. El motor cambia entonces a sentido antihorario, cerrando la puerta para asegurar la captura. Durante el cierre, si el sensor PIR detecta que el ave reingresa a la zona, el motor se detiene y el buzzer permanece activo hasta que la zona quede despejada. Al finalizar el cierre y accionar el segundo final de carrera, el sistema reinicia los estados para permitir la captura de una nueva ave.

El ciclo de liberación, activado mediante el botón azul, funciona de con los mismos comandos, pero orientado a permitir la salida controlada del ave en lugar de su captura.

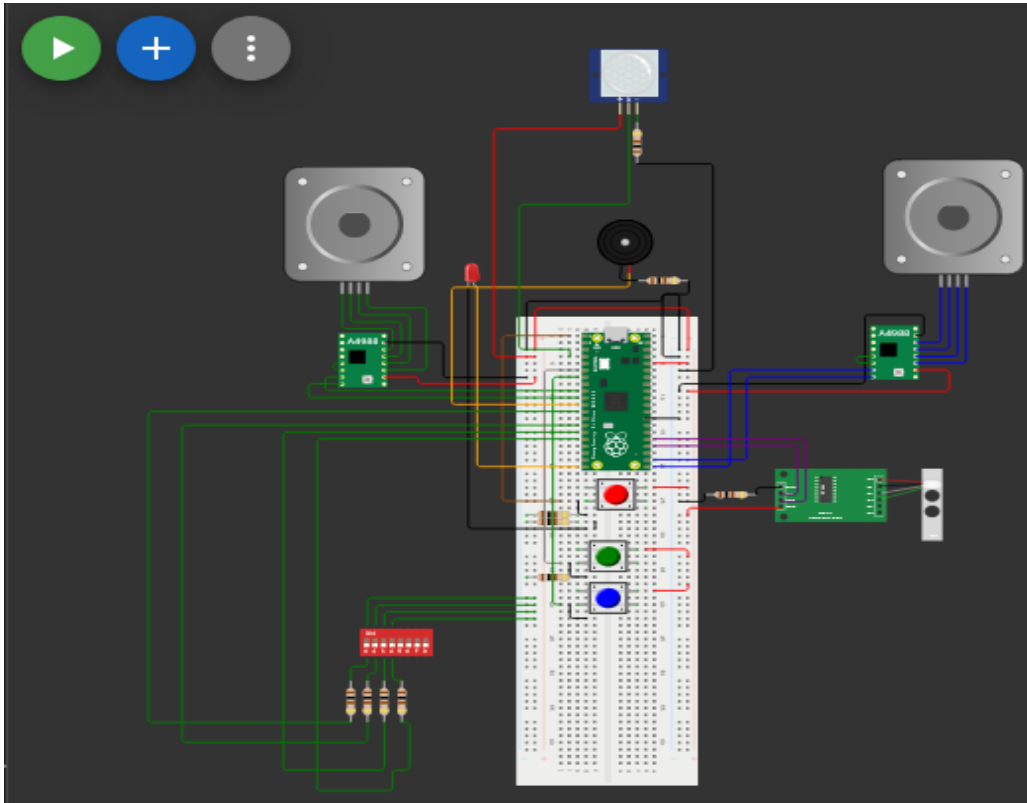


Figura 22: Simulación del sistema de control electrónico del prototipo.

A continuación se presenta el código principal programado en la Raspberry Pi Pico, encargado de la gestión de sensores, actuadores y la lógica de control de apertura y cierre de puertas del sistema automatizado.

Código de control en MicroPython

```

1  # MicroPython (ESP32)    L298N + E18 + Buzzer (10 s)
2
3  import time
4  from machine import Pin
5
6  # ----- CONFIG -----
7  DEBOUNCE_MS      = 10
8  PRINT_EVERY_MS   = 250
9  SW_ACTIVE_ON     = 1
10 PAUSE_MS         = 3000
11 E18_ACTIVE_ON    = 0
12
13 # ----- BUZZER -----
14 BUZZER_PIN       = 4
15 BUZZER_ACTIVE_LOW = False
16 BUZZER_DELAY_MS  = 10000

```

```

17
18 def _rep(pair, n): return [pair] * n
19 BUZZER_MOTIFS = [
20     _rep((35, 35), 12) + _rep((450, 650), 1),
21     _rep((80, 60), 6) + _rep((250, 300), 1),
22     _rep((120, 80), 4) + _rep((60, 30), 8) + _rep((600, 800), 1),
23 ]
24
25 # ----- PINOUT -----
26 # Pulsadores
27 p_onoff = Pin(22, Pin.IN, Pin.PULL_DOWN)
28 p_e1    = Pin(32, Pin.IN, Pin.PULL_DOWN)
29 p_e2    = Pin(33, Pin.IN, Pin.PULL_DOWN)
30
31 # LEDs
32 led_sys = Pin(19, Pin.OUT, value=0)
33 led_e1  = Pin(21, Pin.OUT, value=0)
34 led_e2  = Pin(23, Pin.OUT, value=0)
35
36 # Motor 1 (L298N)
37 M1_IN1  = Pin(17, Pin.OUT, value=0)
38 M1_IN2  = Pin(15, Pin.OUT, value=0)
39 M1_HOME = Pin(25, Pin.IN, Pin.PULL_DOWN)
40 M1_TOPE = Pin(26, Pin.IN, Pin.PULL_DOWN)
41
42 # Motor 2 (L298N)
43 M2_IN3  = Pin(16, Pin.OUT, value=0)
44 M2_IN4  = Pin(13, Pin.OUT, value=0)
45 M2_HOME = Pin(27, Pin.IN, Pin.PULL_DOWN)
46 M2_TOPE = Pin(14, Pin.IN, Pin.PULL_DOWN)
47
48 # Sensor E18
49 E18_OUT = Pin(18, Pin.IN)
50
51 # Buzzer
52 _buzzer = Pin(BUZZER_PIN, Pin.OUT, value=0)
53
54 # ----- ESTADO -----
55 sistema_activo      = False
56 prev_onoff          = 0
57 ciclo_en_progreso   = False
58 who_running         = 0
59 fase                = "idle"
60
61 e18_seen_in_phase   = False
62 e18_prev_present    = False
63 pause_active        = False
64 pause_until_ms      = 0
65 _last_print_ms      = 0
66
67 # Buzzer (no bloqueante)
68 bz_enabled          = False

```

```

69  bz_running          = False
70  bz_on              = False
71  bz_arm_until_ms   = 0
72  bz_next_toggle_ms = 0
73  bz_motif_i        = 0
74  bz_pair_i         = 0
75  bz_armed_in_cycle = False
76
77  # ----- HELPERS -----
78  def slow_print(msg):
79      global _last_print_ms
80      now = time.ticks_ms()
81      if time.ticks_diff(now, _last_print_ms) >= PRINT_EVERY_MS:
82          print(msg); _last_print_ms = now
83
84  def wait_release(pin, ms=DEBOUNCE_MS):
85      while pin.value() == 1:
86          time.sleep_ms(ms)
87
88  def sw_active(pin):
89      return pin.value() == SW_ACTIVE_ON
90
91  def e18_present():
92      return E18_OUT.value() == E18_ACTIVE_ON
93
94  # Motores
95  def m1_stop():      M1_IN1.value(0); M1_IN2.value(0)
96  def m1_forward():  M1_IN1.value(1); M1_IN2.value(0)
97  def m1_reverse():  M1_IN1.value(0); M1_IN2.value(1)
98  def m2_stop():      M2_IN3.value(0); M2_IN4.value(0)
99  def m2_forward():  M2_IN3.value(1); M2_IN4.value(0)
100 def m2_reverse():  M2_IN3.value(0); M2_IN4.value(1)
101 def all_stop():    m1_stop(); m2_stop()
102
103 def reset_e18_phase_vars():
104     global e18_seen_in_phase, e18_prev_present, pause_active, pause_until_ms
105     pres = e18_present()
106     e18_seen_in_phase = pres
107     e18_prev_present = pres
108     pause_active = False
109     pause_until_ms = 0
110
111 # Buzzer
112 def _bz_write(on: bool):
113     global bz_on
114     bz_on = on
115     if BUZZER_ACTIVE_LOW:
116         _buzzer.value(0 if on else 1)
117     else:
118         _buzzer.value(1 if on else 0)
119
120 def buzzer_off():

```

```

121     global bz_running
122     _bz_write(False)
123     bz_running = False
124
125 def buzzer_disable():
126     global bz_enabled
127     bz_enabled = False
128     buzzer_off()
129
130 def buzzer_arm_after(ms):
131     global bz_enabled, bz_running, bz_arm_until_ms, bz_motif_i, bz_pair_i
132     bz_enabled = True
133     bz_running = False
134     bz_motif_i = 0
135     bz_pair_i = 0
136     bz_arm_until_ms = time.ticks_add(time.ticks_ms(), ms)
137
138 def buzzer_update(now_ms):
139     global bz_running, bz_enabled, bz_next_toggle_ms, bz_motif_i, bz_pair_i, bz_on
140     if not bz_enabled:
141         if bz_running:
142             buzzer_off()
143         return
144     if not bz_running:
145         if time.ticks_diff(now_ms, bz_arm_until_ms) < 0:
146             return
147         bz_running = True
148         on_ms, _ = BUZZER_MOTIFS[bz_motif_i][bz_pair_i]
149         _bz_write(True)
150         bz_next_toggle_ms = time.ticks_add(now_ms, on_ms)
151         return
152     if time.ticks_diff(now_ms, bz_next_toggle_ms) >= 0:
153         on_ms, off_ms = BUZZER_MOTIFS[bz_motif_i][bz_pair_i]
154         if bz_on:
155             _bz_write(False)
156             bz_next_toggle_ms = time.ticks_add(now_ms, off_ms)
157             bz_pair_i += 1
158             if bz_pair_i >= len(BUZZER_MOTIFS[bz_motif_i]):
159                 bz_pair_i = 0
160                 bz_motif_i = (bz_motif_i + 1) % len(BUZZER_MOTIFS)
161         else:
162             _bz_write(True)
163             bz_next_toggle_ms = time.ticks_add(now_ms, on_ms)
164
165 def reset_total():
166     global ciclo_en_progreso, who_running, fase, bz_armed_in_cycle
167     all_stop()
168     led_e1.value(0); led_e2.value(0)
169     who_running = 0
170     fase = "idle"
171     ciclo_en_progreso = False
172     reset_e18_phase_vars()

```

```

173     buzzer_disable()
174     bz_armed_in_cycle = False
175
176 # ----- LOOP -----
177 print("ESP32 + L298N + E18 + BUZZER. GND com n y E18 a 3.3V.")
178 reset_e18_phase_vars()
179 buzzer_disable()
180
181 while True:
182     now = time.ticks_ms()
183
184     # ON/OFF (pulsador)
185     val = p_onoff.value()
186     if val == 1 and prev_onoff == 0:
187         sistema_activo = not sistema_activo
188         print("Sistema ON" if sistema_activo else "Sistema OFF")
189         if not sistema_activo:
190             reset_total()
191         else:
192             buzzer_disable()
193             wait_release(p_onoff)
194     prev_onoff = val
195     led_sys.value(1 if sistema_activo else 0)
196
197     if not sistema_activo:
198         reset_total()
199         buzzer_update(now)
200         time.sleep_ms(DEBOUNCE_MS)
201         continue
202
203     # Selecci n de estado (pulsadores e1/e2)
204     if not ciclo_en_progreso:
205         if p_e1.value() == 1:
206             ciclo_en_progreso = True; who_running = 1
207             led_e1.value(1); led_e2.value(0)
208             fase = "m1_fwd_to_tope"
209             reset_e18_phase_vars()
210             bz_armed_in_cycle = False
211             print("[M1] HORARIO->TOPE1; luego ANTIHORARIO->HOME1")
212             wait_release(p_e1)
213         elif p_e2.value() == 1:
214             ciclo_en_progreso = True; who_running = 2
215             led_e2.value(1); led_e1.value(0)
216             fase = "m2_fwd_to_tope"
217             reset_e18_phase_vars()
218             bz_armed_in_cycle = False
219             print("[M2] HORARIO->TOPE2; luego ANTIHORARIO->HOME2")
220             wait_release(p_e2)
221     else:
222         if p_e1.value() == 1 or p_e2.value() == 1:
223             slow_print("Ciclo en curso: ignorando nuevo disparo")
224

```

```

225 # Ejecuci n de fases
226 if ciclo_en_progreso:
227     # ----- Motor 1 -----
228     if who_running == 1:
229         if fase == "m1_fwd_to_tope":
230             if not e18_seen_in_phase:
231                 m1_stop()
232                 if e18_present():
233                     e18_seen_in_phase = True
234                     print("[M1] E18 OK      avanzar a TOPE1")
235                 else:
236                     slow_print("[M1] Esperando E18...")
237             else:
238                 if not sw_active(M1_TOPE):
239                     if not bz_armed_in_cycle:
240                         buzzer_disable()
241                         buzzer_arm_after(BUZZER_DELAY_MS)
242                         bz_armed_in_cycle = True
243                         m1_forward()
244                         slow_print("[M1]      TOPE1")
245                     else:
246                         print("[M1] TOPE1      HOME1")
247                         fase = "m1_rev_to_home"
248                         e18_prev_present = e18_present()
249                         pause_active = False
250                         pause_until_ms = 0
251
252         elif fase == "m1_rev_to_home":
253             if pause_active:
254                 if e18_present():
255                     m1_stop()
256                     pause_until_ms = time.ticks_add(now, PAUSE_MS)
257                 else:
258                     if time.ticks_diff(now, pause_until_ms) >= 0:
259                         pause_active = False
260                         print("[M1] Fin pausa      HOME1")
261             else:
262                 curr = e18_present()
263                 if (not e18_prev_present) and curr:
264                     print("[M1] E18 en regreso      PAUSA")
265                     m1_stop()
266                     pause_active = True
267                     pause_until_ms = time.ticks_add(now, PAUSE_MS)
268                 elif not sw_active(M1_HOME):
269                     m1_reverse()
270                     slow_print("[M1]      HOME1")
271                 else:
272                     print("[M1] HOME1      ciclo completo")
273                     m1_stop()
274                     reset_total()
275                     e18_prev_present = curr
276         else:

```

```

277         m1_stop()
278
279     # ----- Motor 2 -----
280     elif who_running == 2:
281         if fase == "m2_fwd_to_tope":
282             if not e18_seen_in_phase:
283                 m2_stop()
284                 if e18_present():
285                     e18_seen_in_phase = True
286                     print("[M2] E18 OK      avanzar a TOPE2")
287                 else:
288                     slow_print("[M2] Esperando E18...")
289             else:
290                 if not sw_active(M2_TOPE):
291                     if not bz_armed_in_cycle:
292                         buzzer_disable()
293                         buzzer_arm_after(BUZZER_DELAY_MS)
294                         bz_armed_in_cycle = True
295                         m2_forward()
296                         slow_print("[M2]      TOPE2")
297                     else:
298                         print("[M2] TOPE2      HOME2")
299                         fase = "m2_rev_to_home"
300                         e18_prev_present = e18_present()
301                         pause_active = False
302                         pause_until_ms = 0
303
304         elif fase == "m2_rev_to_home":
305             if pause_active:
306                 if e18_present():
307                     m2_stop()
308                     pause_until_ms = time.ticks_add(now, PAUSE_MS)
309                 else:
310                     if time.ticks_diff(now, pause_until_ms) >= 0:
311                         pause_active = False
312                         print("[M2] Fin pausa      HOME2")
313             else:
314                 curr = e18_present()
315                 if (not e18_prev_present) and curr:
316                     print("[M2] E18 en regreso      PAUSA")
317                     m2_stop()
318                     pause_active = True
319                     pause_until_ms = time.ticks_add(now, PAUSE_MS)
320                 elif not sw_active(M2_HOME):
321                     m2_reverse()
322                     slow_print("[M2]      HOME2")
323                 else:
324                     print("[M2] HOME2      ciclo completo")
325                     m2_stop()
326                     reset_total()
327                     e18_prev_present = curr
328     else:

```

```
329         m2_stop()
330     else:
331         all_stop()
332
333     # Buzzer
334     buzzer_update(now)
335
336     time.sleep_ms(DEBOUNCE_MS)
```

En la fase inicial del proyecto se realizó el cableado del prototipo empleando una tarjeta Raspberry Pi Pico. Durante estas pruebas se logró el funcionamiento básico del sistema, sin embargo, en determinados casos la tarjeta se apagaba inesperadamente tras algunos segundos de operación. Este comportamiento generó dudas sobre el funcionamiento de la placa, dado que al realizar mediciones de voltaje y amperaje con un multímetro no se evidenció ninguna irregularidad en la alimentación eléctrica.

Considerando que la causa podía deberse a un fallo interno del microcontrolador, se decidió replantear el diseño del cableado y realizar una sustitución por una tarjeta ESP32 de 30 pines. Esta nueva placa permitió confirmar si los apagados eran consecuencia de un defecto de la Raspberry Pi Pico o de otro componente del sistema. La implementación de la ESP32 garantizó mayor estabilidad operativa y una mejor capacidad de gestión de los periféricos conectados, lo que respaldó su elección como la tarjeta de control definitiva para el desarrollo de la trampa.

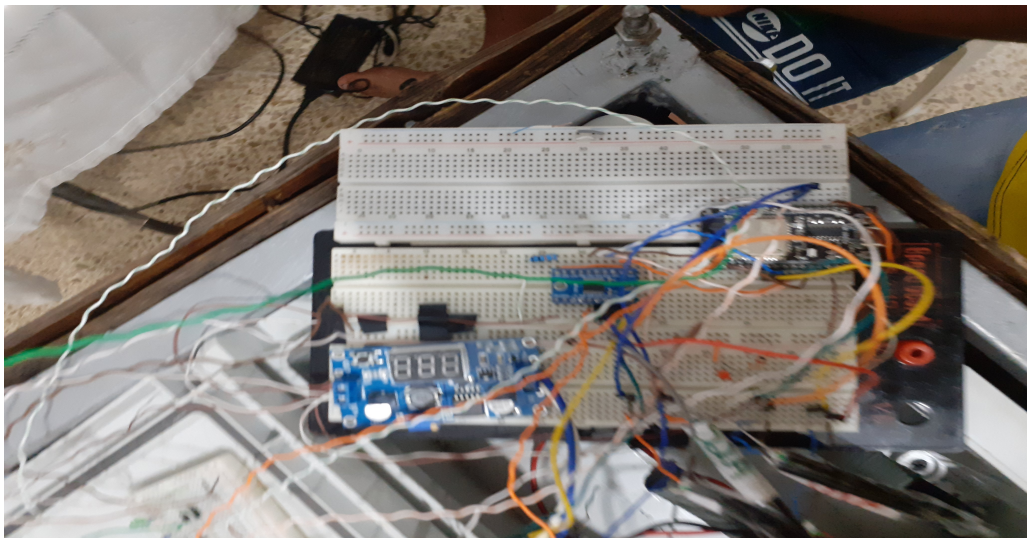


Figura 23: Conexiones en la protoboard [40].

Una vez verificadas las pruebas iniciales y confirmado que tanto el código como el cableado respondían adecuadamente, se procedió a la construcción de una placa en base a una baquelita perforada. La decisión de implementar este diseño respondió a la necesidad de reducir el uso excesivo de cableado y optimizar la organización del sistema eléctrico.

La utilización de la baquelita permitió integrar los diferentes componentes de manera más compacta, disminuyendo el volumen dentro del tablero y garantizando un mejor orden en las conexiones. Esta disposición, además

de aportar mayor seguridad y estabilidad al prototipo, dejó espacio disponible para la incorporación de futuros componentes sin comprometer la funcionalidad ni la estética del sistema. De esta forma, la placa base en baquelita se consolidó como un paso intermedio entre el prototipo inicial y una versión más funcional de la trampa.

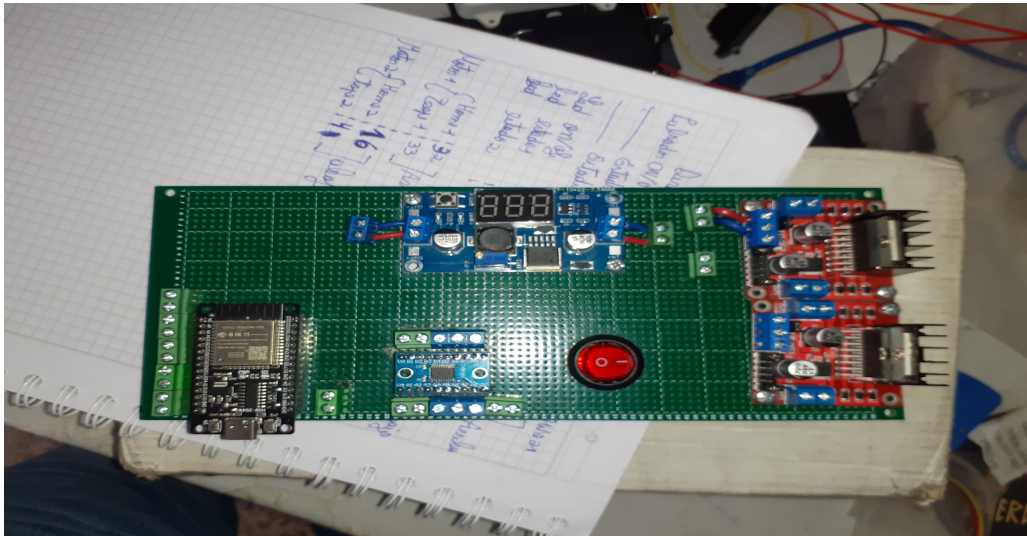


Figura 24: Placa de control [40].

A lo largo del proceso de implementación se identificaron ciertas limitaciones en los componentes inicialmente seleccionados, lo que motivó la realización de correcciones técnicas. En primer lugar, se intentó emplear un sensor PIR para la detección de movimiento dentro de la jaula. Sin embargo, sus características de sensibilidad y tiempo de reacción resultaron inadecuadas, ya que no ofrecían la precisión ni la velocidad necesarias para garantizar el funcionamiento correcto del sistema.

Ante esta situación, se procedió a reemplazarlo por un sensor ultrasónico. Durante las pruebas iniciales, se observó que la placa Raspberry Pi Pico no lograba reconocer las señales generadas por dicho dispositivo. Esto llevó a un análisis de posibles causas, incluyendo revisiones en el cableado, mediciones de voltaje y amperaje, así como la verificación de los pines de conexión.

Gracias a la orientación de nuestro tutor asignado, se identificó que el sensor ultrasónico funcionaba bajo un protocolo analógico, mientras que el módulo reductor de 5V a 3.3V únicamente permitía la conversión de señales digitales. Esta incompatibilidad planteó dos alternativas: optar por un sensor ultrasónico diseñado para operar a 3.3V o reemplazarlo por un dispositivo que trabajara de manera digital.

Finalmente, se seleccionó un sensor de proximidad E18, el cual presentó una adecuada resistencia y funcionamiento digital, asegurando una detección confiable. El sensor se instaló estratégicamente en la parte media baja de la estructura, con el objetivo de identificar el ingreso de las aves al sistema. De esta manera, las correcciones realizadas garantizaron la fiabilidad del diseño y contribuyeron a la consolidación del prototipo.

En la Fig. 25 se puede observar la lógica que utiliza el código con respecto al funcionamiento del sistema electrónico.

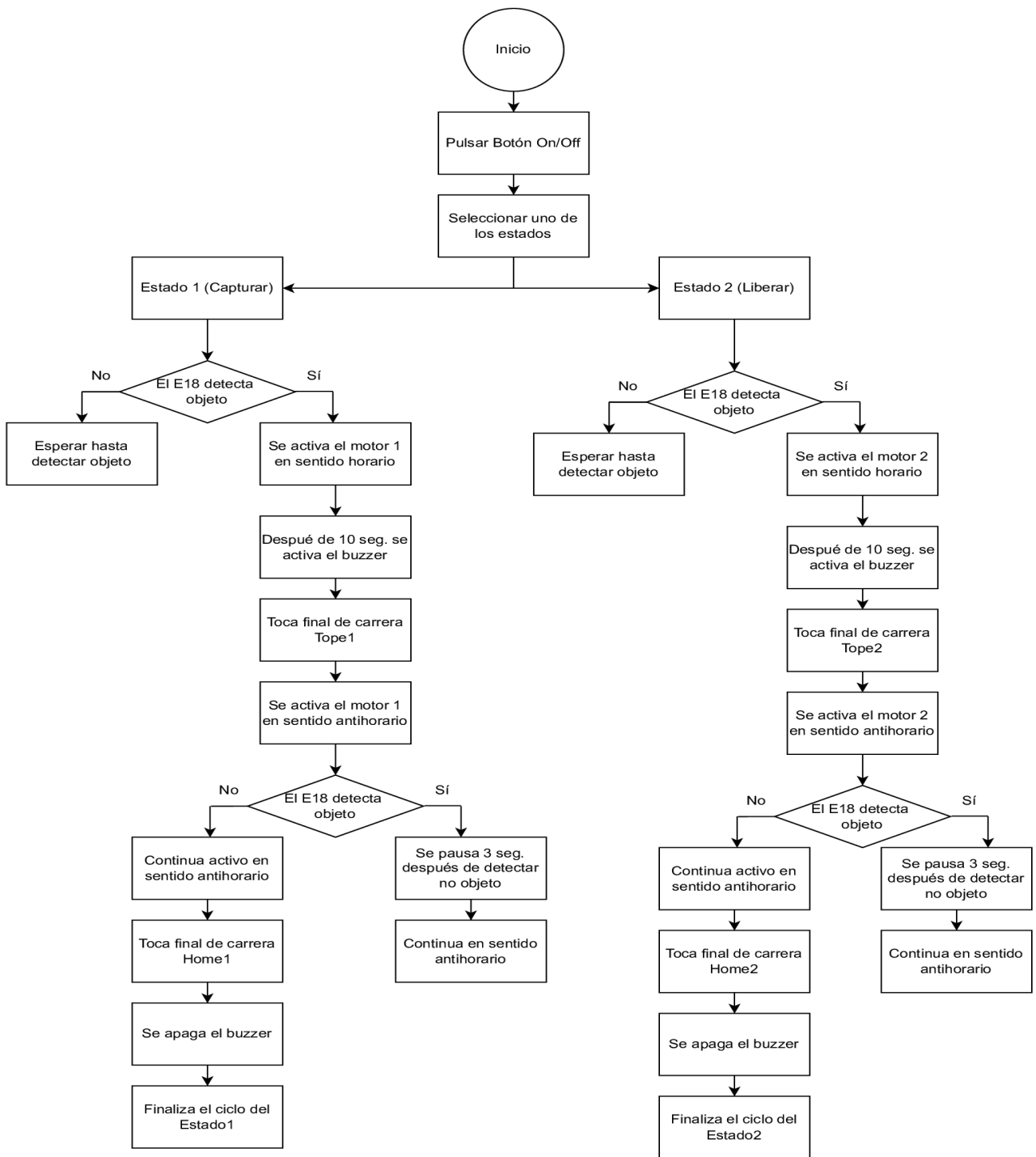


Figura 25: Diagrama de flujo - Código

VII. RESULTADOS

VII.1. Sistema de evaluación binaria para captura o liberación

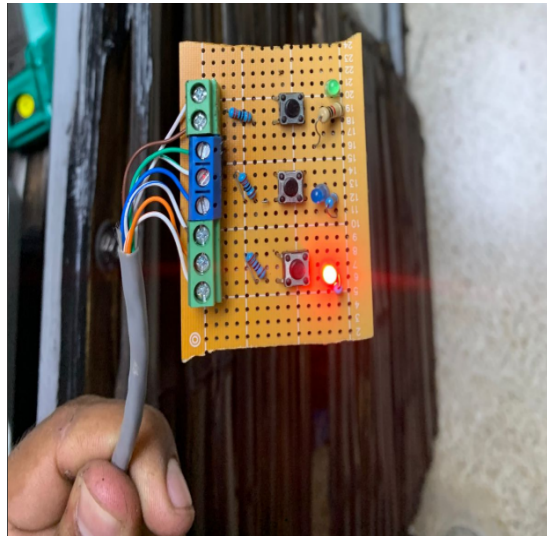


Figura 26: Sistema de evaluación binaria

El presente proyecto fue desarrollado de manera conjunta con otros equipos de trabajo, donde cada grupo asumió responsabilidades específicas en el diseño del mecanismo. En este contexto, a nuestro grupo le correspondió la construcción de la base y la sección de captura del prototipo. Con el fin de integrar la lógica de un sistema inteligente sin recurrir aún a un modelo de Inteligencia Artificial real, se implementó una simulación mediante el uso de pulsadores y LEDs, que reproducen de forma práctica las decisiones que dicho sistema tomaría.

Para esta simulación se incorporaron tres pulsadores principales y tres indicadores luminosos (LEDs), distribuidos de la siguiente manera:

- **Pulsador de encendido/apagado (ON/OFF):** Permite activar o desactivar el sistema en su totalidad. Su LED asociado indica el estado general del prototipo.
- **Pulsador de selección de estado:** Define el modo de operación del sistema. Se establecieron dos modos principales:
 1. **Estado 1 – Atrapar:** El sistema ejecuta la lógica de captura del espécimen, cerrando la compuerta de forma controlada.
 2. **Estado 2 – Liberar:** El sistema ejecuta la lógica inversa, permitiendo la apertura de la compuerta y la liberación del espécimen.

Cada uno de estos estados está representado por un LED que confirma visualmente el modo seleccionado.

De esta forma, los pulsadores simulan las órdenes que un sistema de Inteligencia Artificial emitiría tras procesar información sensorial, mientras que los LEDs representan las salidas de control. Esta estrategia permitió validar la lógica de programación y la interacción de los componentes de captura, garantizando el funcionamiento esperado del mecanismo asignado a nuestro grupo dentro del proyecto global.

VII.2. Tiempo de respuesta del mecanismo

El tiempo medido de apertura y cierre de la compuerta es de 1.45 minutos. Este valor resulta adecuado para el contexto operativo del prototipo porque, al momento de accionar la compuerta, el espécimen ya se encuentra

dentro del sistema (capturado por las bisagras y el pasillo de acceso), por lo que no se requiere una velocidad mayor. Mantener un movimiento moderado y controlado disminuye el riesgo de pellizcar o golpear al ave y reduce la probabilidad de fallos mecánicos en el actuador de tornillo sin fin.

A modo de comparación, trampas de caída o compuertas gravitacionales requieren cierres casi instantáneos para ser efectivas, lo que:

- Aumenta la probabilidad de impacto o estrés agudo sobre el animal.
- Exige actuadores más rápidos y ruidosos, elevando el riesgo de alarma en otros individuos.
- Suele demandar estructuras más voluminosas y complejas, menos compatibles con el entorno y el mantenimiento.

En contraste, el mecanismo adoptado (tornillo sin fin más guía) privilegia control, seguridad y repetibilidad: la compuerta realiza un cierre firme y silencioso, con tiempo suficiente para que la lógica de control verifique condiciones de seguridad (como la ausencia de retroceso del espécimen) y, de ser necesario, active pausas o reintentos sin comprometer la integridad del ave. En síntesis, los 1,45 segundos alcanzados representan un equilibrio entre eficiencia operativa y bienestar animal.



Figura 27: Mecanismo funcionando en el estado 1 (capturar)

VII.3. Sistema de alimentación

El prototipo cuenta con una batería de 12V y 2.6 Ah como fuente principal de energía, encargada de alimentar de manera integral todos los módulos electrónicos del sistema. Esta configuración asegura la autonomía operativa en entornos donde no existe conexión directa a la red eléctrica, condición indispensable para su instalación en zonas remotas o de difícil acceso, como áreas cercanas a humedales o espacios abiertos del entorno aeroportuario.

La tensión suministrada por la batería es distribuida a través de un circuito regulador que permite obtener los niveles requeridos por cada componente:

- 12V directos para los motores de corriente continua y el actuador de tornillo sin fin y buzzer.
- 5V regulados para el sensor de proximidad, y microcontrolador ESP32 .
- 3.3V para la lógica interna del microcontrolador ESP32, leds, pulsadores y finales de carrera.

El uso de una sola batería centralizada facilita la gestión del cableado, evita pérdidas de energía y contribuye a la portabilidad del dispositivo. Además, la elección de una batería recargable de 12V responde a criterios de sostenibilidad y bajo costo operativo, ya que permite múltiples ciclos de carga sin afectar de manera significativa su vida útil.



Figura 28: Batería de 12V utilizada como fuente de alimentación principal

VII.4 Protecciones ambientales

Entre el techo y la parte superior de la estructura se colocaron mangueras de caucho presionadas para evitar filtraciones de agua, funcionando como un sello hermético. Además, los componentes electrónicos se instalaron en un tablero IP65 y el cableado externo fue protegido con mangueras plásticas, garantizando aislamiento frente a humedad y polvo. Estas medidas refuerzan la seguridad y el desempeño del sistema en condiciones ambientales adversas.

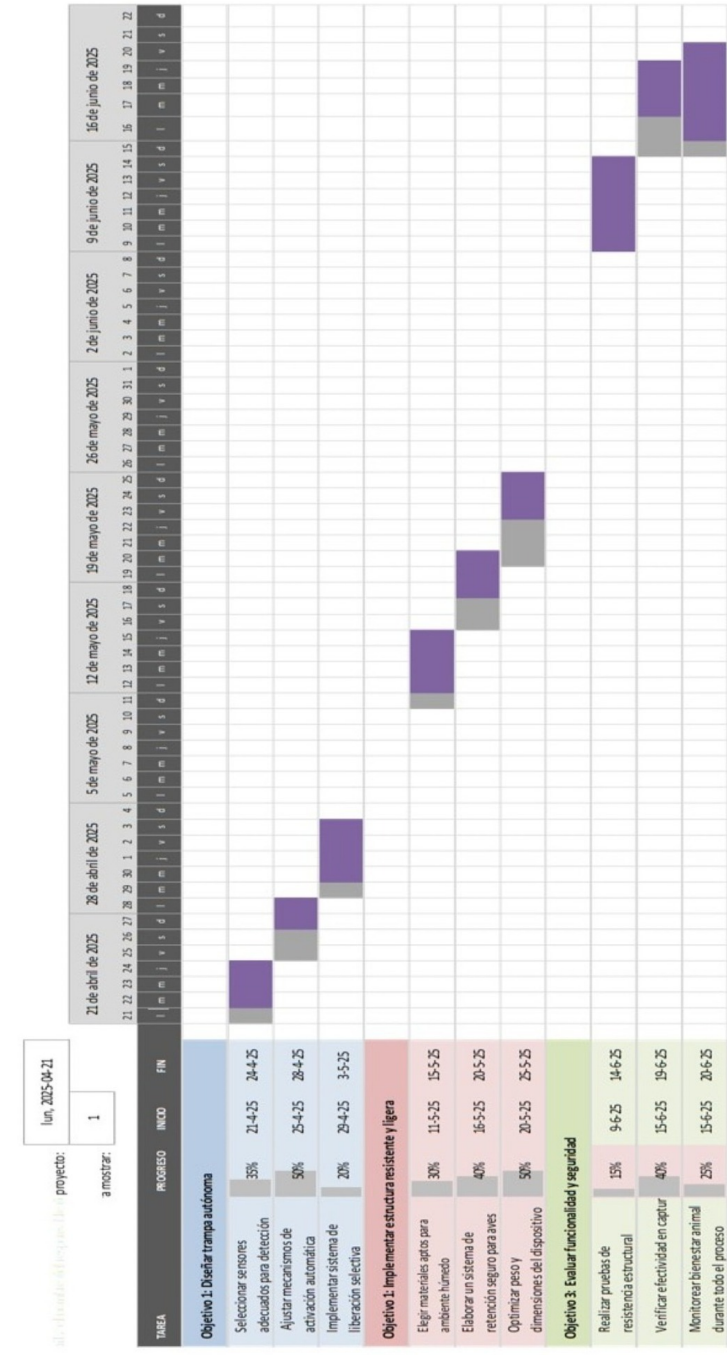


Figura 29: Parte superior de la estructura

VIII. CRONOGRAMA

El cronograma es un elemento importante para asegurar que el proyecto se desarrolle de manera organizada y eficiente. A continuación, se detallan las principales etapas y actividades que se llevarán a cabo a lo largo del proceso, con plazos y responsabilidades claramente definidos.

Tabla II: Cronograma para la implementación del trabajo de titulación



IX. PRESUPUESTO

Tabla III: Presupuesto para la implementación del trabajo de titulación

Ítem	Artículo	P. Unitario USD	Cantidad	P. Total USD
1	Bambú/Caña Inmunizado 9m	\$15.00	1	\$15.00
2	Tubo cuadrado galvanizado (20x2)mm/ 6 m	\$13.35	3	\$40.05
3	Tubo cuadrado galvanizado (25x2)mm/ 6 m	\$15.00	2	\$30.00
4	Tornillo/Acero inoxidable (8X1/2) pulg pack x 4	\$1.15	25	\$28.75
5	Tuerca Hexagonal 1/2 Rosca Gruesa	\$0.14	100	\$14.00
6	Rollo de estaño para soldadura	\$3.00	2	\$6.00
7	Raspberry Pi Pico	\$12.00	2	\$24.00
8	Cable eléctrico (1 m)	\$2.00	5	\$10.00
9	Batería de 12V a 7A	\$20.00	1	\$20.00
10	Sensor Ultrasónico HC-SR04	\$3.50	2	\$7.00
11	Rollo de filamento ABS	\$22.00	2	\$44.00
12	Paquete de electrodos 6011	\$4.00	2	\$8.00
13	Motor Greartisan DC 12V 60RPM	\$27.00	2	\$54.00
14	Relay de 12V / 10A	\$1.50	6	\$9.00
15	Transistor Triac BTA24	\$1.00	3	\$3.00
16	Malla Plástica Amarilla 1/1 pulg. Alto=1M C/M	\$3.07	3	\$9.21
21	Puente H L298	\$3.70	2	\$7.40
22	Driver para motor paso a paso A4988	\$2.85	2	\$5.70
23	Estaño en rollo	\$5.00	1	\$5.00
24	Módulo convertidor de energía LM2596 DC ajustable	\$5.25	1	\$5.25
25	Baquelita 20x30 cm	\$2.75	1	\$2.75
26	Percloruro	\$0.90	2.7	\$2.43
27	Jack DC 2.1 a bornera	\$0.50	2	\$1.00
28	Plug DC 2.1 a bornera	\$0.50	2	\$1.00
29	Cables eléctricos Audio Pipe #18 (1 m)	\$0.20	17	\$3.40
30	Cable termoencogible (1 m)	\$0.30	2	\$0.60
31	Raspberry Pi Pico	\$10.00	1	\$10.00
32	Espadines tira 1x40 2.54 mm macho	\$0.40	2	\$0.80
33	Buzzer 3-24V 95db	\$0.80	1	\$0.80
34	Switch redondo on-off 3 pin	\$0.40	2	\$0.80
35	Módulo para el sensor de presión HX711	\$2.37	1	\$2.37
36	Celda de carga WSS-10Kg	\$5.30	1	\$5.30
37	Tablero eléctrico IP65	\$28.00	1	\$28.00
38	Baquelita perforada grande	\$2.50	2	\$5.00
39	Baquelita perforada mediana	\$1.50	1	\$1.50
40	Baquelita perforada pequeña	\$1.00	1	\$1.00
41	Broca multiuso	\$3.50	2	\$7.00
42	Tornillos autoperforantes (caja x 100)	\$4.00	2	\$8.00
43	Tornillo sin fin	\$4.00	3	\$12.00
44	Motor Bringsmart 12V - 300RPM	\$32.50	2	\$65.00
45	Sensor E18-D80NK	\$9.00	1	\$9.00
46	Manguera corrugada (1 m)	\$0.09	10	\$0.90
47	Cables UTP	\$0.40	10	\$4.00
48	ESP32 (30 pines)	\$16.50	1	\$16.50
49	Borneras	\$0.25	10	\$2.50
50	Pins macho para borneras	\$0.10	20	\$2.00
51	Manguera flexible (1 m)	\$0.30	10	\$3.00
TOTAL				\$576.01

X. CONCLUSIONES

Se logró cumplir con todos los requisitos planteados para la activación, la pausa y el fin de ciclo en cada uno de los estados definidos en el sistema automatizado, garantizando un funcionamiento estable y confiable. Los tiempos de reacción de los sensores resultaron adecuados para responder de manera efectiva frente a los reflejos y movimientos propios de las aves silvestres, asegurando así la precisión del mecanismo de captura y liberación.

Asimismo, la integración de los diferentes componentes electrónicos, microcontrolador, sensores, actuadores y sistemas de protección, junto con el diseño estructural en materiales resistentes e impermeables, permitió consolidar un prototipo funcional capaz de operar en condiciones ambientales adversas. El empleo de patrones acústicos variables en el buzzer demostró ser un recurso eficiente para mantener la efectividad del estímulo disuasorio, reduciendo la probabilidad de habituación en las aves y reforzando el carácter selectivo del sistema.

En términos generales, el proyecto alcanzó su objetivo principal: desarrollar una solución tecnológica innovadora, ética y sostenible para la gestión de aves en zonas aeroportuarias. El dispositivo no solo contribuye a mitigar el riesgo de colisiones entre fauna y aeronaves, sino que también respeta el bienestar animal y favorece la conservación de los ecosistemas circundantes. De esta manera, se sientan bases sólidas para la implementación futura de sistemas más avanzados de control de fauna, aplicables no solo en aeropuertos, sino en otros espacios donde la interacción entre infraestructura y vida silvestre requiera soluciones de seguridad ambientalmente responsables.

-

XI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una calibración periódica de los sensores de proximidad con el fin de garantizar lecturas confiables y evitar falsos positivos o pérdidas de detección. Asimismo, es fundamental implementar rutinas de mantenimiento preventivo, como la verificación de conexiones eléctricas, limpieza de componentes y pruebas de funcionamiento, con el objetivo de prolongar la vida útil del prototipo y asegurar su desempeño continuo en condiciones ambientales adversas.

De igual manera, se aconseja continuar perfeccionando los mecanismos de captura con un enfoque orientado a minimizar el estrés en las aves y preservar su bienestar. Para ello, resulta conveniente emplear materiales más ecológicos y resistentes a la corrosión en futuras versiones del sistema, lo cual permitirá reducir el impacto ambiental y garantizar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

Finalmente, se sugiere evaluar la incorporación de sensores redundantes o de diferentes tecnologías (como ultrasónicos, cámaras con visión artificial, entre otros) para incrementar la precisión en la identificación de las aves. Además, la integración de sistemas de monitoreo remoto en tiempo real permitiría a los operadores controlar y supervisar el dispositivo a distancia, aumentando la seguridad operativa en zonas críticas como los aeropuertos.

REFERENCIAS

- [1] B. F. Blackwell y S. E. Wright, «Collisions of Red-tailed Hawks (*Buteo jamaicensis*), Turkey Vultures (*Cathartes aura*), and Black Vultures (*Coragyps atratus*) with Aircraft: Implications for Bird Strike Reduction,» *Journal of Raptor Research*, vol. 40, n.º 1, págs. 76-80, 2006. DOI: 10.3356/0892-1016(2006)40[76:CORHBJ]2.0.CO;2.
- [2] Ecuavisa. «Alertan peligro por frecuentes impactos de aves con aviones en el aeropuerto de Guayaquil.» Accedido en agosto de 2025. (2022), dirección: <https://www.ecuavisa.com/noticias/ecuador/alertan-peligro-por-frecuentes-impactos-de-aves-con-aviones-en-el-aeropuerto-de-guayaquil-GA3637594>.
- [3] R. Mills, B. Beck, T. Becker et al., «An Integrated System to Prevent Wildlife Strikes at Large Airports,» Kent State University, Aeronautics Division, College of Technology, FAA Design Competition (Second Place), 2010, Proposal submitted to Virginia Space Grant Consortium under the 2009–2010 Airport Operations and Maintenance Challenge – Innovative Approaches to Address Wildlife Issues at Airports, including bird strikes. dirección: https://vsgc.odu.edu/wp-content/uploads/sites/3/2018/03/2010Operations_secondplace.pdf.
- [4] F. Ekici, Öner Gümüþ, A. Uslu y U. Kale, «An investigation of bird strike cases in the aviation sector with a novel approach within the context of the principal-agent phenomenon: Bird strikes and insurance in the USA,» 2023.
- [5] P. Matyjasi, «Methods of bird control at airports,» 2008.
- [6] D. G. de Aviación Civil del Ecuador, *Acciones implementadas por DGAC auyentaron a las aves en el área de aproximación en el Aeropuerto de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador, 2023. dirección: <https://gk.city/2022/11/16/aves-aeropuerto-guayaquil-por-que-son-peligro/>.
- [7] G. Marateo, «Aves en los aeropuertos,» 2015.
- [8] D. G. S. W. Damian Dziak¹ *, D. Kaniecki, A. Jaworski, M. Skakuj y W. J. Kulesza, «Airport Wildlife Hazard Management System - A Sensor Fusion Approach,» 2016.
- [9] I. C. Metz, J. Ellerbroek, T. Mühlhausen, D. Kügler, S. Kern y J. M. Hoekstra, «The Efficacy of Operational Bird Strike Prevention,» *Aerospace*, vol. 8, n.º 1, pág. 17, ene. de 2021. DOI: 10.3390/aerospace8010017.
- [10] B. L. International. «Bird Trapping.» Accedido: 21-mayo-2025. (2024), dirección: https://flightforsurvival-org.translate.goog/threat/trapping/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc.
- [11] S. P. Suprava Ranjan Laha y B. K. Pattanayak, «Advancement of Environmental Monitoring System Using IoT and Sensor: A Comprehensive Analysis,» 2022.
- [12] W. J. Z. C. S. X. Y. J. W. D. Zhang L., «An improved automatic trap for capturing birds in nest boxes,» 2019.
- [13] K. Gong, W. Ma, Z. Ren y J. Wang, «Prospect theory-based large-scale group decision-making method with heterogeneous preference relations,» *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 45, n.º 6, págs. 11 549-11 566, oct. de 2023. DOI: 10.3233/jifs-231456.
- [14] L.-P. J. J. F. J. J.-M. M. R. M.-D. R. C. F. M. M. R. aguna C., *Aves acuáticas como vectores de transferencia de nutrientes y elementos traza en humedales*, España, 2021. dirección: <https://www.irec.es/publicaciones-destacadas/aves-acuaticas-vectores-transferencia-nutrientes-metales-humedales/>.
- [15] A. J. Greenl y J. Elmberg, «Ecosystem services provided by waterbirds,» 2014.
- [16] S. Directory, «Bird Strike Mitigation,» 2025.

- [17] Y. C. Chen, J. F. Chu, K. W. Hsieh, T. H. Lin, P. Z. Chang e Y. C. Tsai, «Automatic wild bird repellent system that is based on deep-learning-based wild bird detection and integrated with a laser rotation mechanism,» *Scientific Reports*, vol. 14, n.º 1, pág. 15 924, jul. de 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-66920-2.
- [18] B. Borremans et al., «Inferring time of infection from field data using dynamic models of antibody decay,» *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 14, n.º 10, págs. 2654-2667, ago. de 2023. DOI: 10.1111/2041-210x.14165.
- [19] W. Xu, X. Wang, Y. Li y W.-R. Cui, «Halogen bonding and hydrophobic interactions: A new strategy for synergistically enhancing $\text{ReO}_4/^{99}\text{TcO}_4$ binding,» *Applied Surface Science*, vol. 649, pág. 159 123, dic. de 2023. DOI: 10.1016/j.apsusc.2023.159123.
- [20] M. Y. Polat, «Tarım İçin Düşük Maliyetli ve Mikrodenetleyici Tabanlı Bir Hava Sıcaklığı, Nemi ve Basıncı Veri Kayıt Sistemi Tasarımı,» *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, vol. 30, n.º 1, págs. 211-219, mar. de 2020. DOI: 10.29133/yyutbd.669458.
- [21] C. B. Henderson, S. Demarais, B. K. Strickland, W. T. McKinley y G. M. Street, «Temporal effects of relative hunter activity on adult male white-tailed deer habitat use,» *Wildlife Research*, vol. 51, n.º 1, jul. de 2023. DOI: 10.1071/WR22145. dirección: <https://doi.org/10.1071/WR22145>.
- [22] A. P. Montoya, M. Kacira y F. A. Obando, «Design and implementation of a low cost microcontroller in controlled environment agriculture,» *Acta Horticulturae*, n.º 1279, págs. 287-294, jun. de 2020. DOI: 10.17660/actahortic.2020.1279.41.
- [23] R. B. Fouad Sakr Francesco Bellotti y A. D. Gloria, «Machine Learning on Mainstream Microcontrollers,» 2019.
- [24] D. G. de Aviación Civil del Ecuador. «Acciones implementadas por DGAC auyentaron a las aves en el área de aproximación en el Aeropuerto de Guayaquil.» Accedido: 5-febrero-2025. (2023), dirección: <https://www.aviacioncivil.gob.ec/acciones-implementadas-por-dgac-ayentaron-a-las-aves-en-el-area-de-aproximacion-en-el-aeropuerto-de-guayaquil/>.
- [25] T. F. Journal. «Aeropuerto José Joaquín de Oldmedo de Guayaquil(GYE).» Accedido: 6-febrero-2025. (2020), dirección: <https://trailforthjournal.com/es/informacion/aeropuerto-guayaquil/>.
- [26] T. Menéndez. «Expertos extranjeros evaluarán peligro aviario en aeropuerto de Guayaquil.» (2022), dirección: <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/guayaquil-aeropuerto-peligro-aviario-expertos-internacionales/?spm=5aebb161.f04a038.0.0.63c97aacpdIRhr>.
- [27] R. L. D. A. Peñafiel Icaza Ivonne Sheyla. «Desarrollo de un prototipo de circuito electrónico de rastreo de aves silvestres para la evaluación de posición georreferencial en zonas colindantes con el aeropuerto de Guayaquil.» Accedido: 21-mayo-2025. (2024), dirección: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29340/1/UPS-GT005958.pdf>.
- [28] M. Singh, R. Kumar, D. Tandon, P. Sood y M. Sharma, «Artificial intelligence and iot based monitoring of poultry health: A review,» en *2020 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Commnetsat)*, IEEE, 2020, págs. 50-54.
- [29] S. W. D. K. A. J. M. S. W. J. K. Damian Dziak1 Dawid Gradolewski. «Airport Wildlife Hazard Management System.» Accedido: 29-Abril-2025. (2022), dirección: <https://eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/31418/15399>.
- [30] A. J. Green y J. Elmerg. «Ecosystem services provided by waterbirds.» Accedido: 30-Abril-2025. (2014), dirección: <https://hkr.diva-portal.org/smash/get/diva2:639778/FULLTEXT01>.

- [31] N. T. S. Board. «Accidente del Vuelo 1549 de US Airways.» Accedido: 29-Abril-2025. (2010), dirección: https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR1003.pdf?spm=a2ty_o01.29997173.0.0.3679c921muCMLv&file=AAR1003.pdf.
- [32] N. T. S. Board. «Informe de Accidente Aéreo: Colisión en vuelo con un ave durante crucero en avión Piper PA-44-180, Daytona Beach, Florida, 21 de octubre de 2000.» Accedido: 29-Abril-2025. (2001), dirección: <https://data.ntsb.gov/carol-repgeen/api/Aviation/ReportMain/GenerateNewestReport/50551/pdf>.
- [33] N. T. S. Board. «Informe de Accidente Aéreo: Colisiones múltiples con aves durante el descenso de un Airbus A320, cerca de Red Oak, Iowa, 19 de noviembre de 2022.» Accedido: 29-Abril-2025. (2022), dirección: <https://data.ntsb.gov/carol-repgeen/api/Aviation/ReportMain/GenerateNewestReport/106329/pdf>.
- [34] T. of the Wild Pet Food. «Vuelo Guayaquil-Quito sufre percance y aterriza de emergencia.» Accedido: 30-Abril-2025. (2025), dirección: www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/vuelo-guayaquil-quito-sufre-percance-y-aterriza-de-emergencia-nota/.
- [35] T. of the Wild Pet Food. «5 Reasons Why Airports Use Lasers to Prevent Bird Strikes.» Accedido: 29-Abril-2025. (2019), dirección: <https://birdcontrolgroup.com/laser-bird-deterrents-prevent-bird-strikes/>.
- [36] E. s. f. Wolf. «Airport Bird Control: All Available Methods Explained. OvoControl.» Accedido: 29-Abril-2025. (N/A), dirección: <https://www.ovocontrol.com/industrial-bird-control/airport-bird-control>.
- [37] C. R. B. B. S. C. T. I. J. D. C. I. C. P. C. E. M. F. J. F. DeVault T. L. «Reducing Impacts of Double-crested Cormorants to Natural Resources in Central New York: A Review of a Collaborative Research, Management, and Monitoring Program. Waterbirds.» Accedido: 29-Abril-2025. (2012), dirección: https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1458&context=icwdm_usdanwrc.
- [38] H. B. A. C. (s. f.) «Falconry for Bird Control at Airports.» Accedido: 29-Abril-2025. (N/A), dirección: <https://www.hawkeye.ca/falconry-bird-control-at-airports>.
- [39] T. of the Wild Pet Food. «Dogs at Work: Keeping Airport Runways Safe.» Accedido: 29-Abril-2025. (2019), dirección: <https://www.tasteofthewildpetfood.com/articles/working-dogs/dogs-keeping-airport-runways-safe/>.
- [40] G. de Wildlife. «Archivos creados para el proyecto WildLife.» Accedido: 6-febrero-2025. (2024), dirección: N/A.
- [41] Raspberry Pi Foundation, *Raspberry Pi Pico: Datasheet*, Consultado en julio de 2025, 2021. dirección: <https://datasheets.raspberrypi.com/pico/pico-datasheet.pdf>.
- [42] T. Instruments, *LM2596 : Datasheet*, Consultado en julio de 2025, 2016. dirección: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>.
- [43] STMicroelectronics, *L298 : Datasheet*, Consultado en julio de 2025, 2000. dirección: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/cd00000240.pdf>.
- [44] T. Instruments, *TXS0108E : Datasheet*, Consultado en julio de 2025, 2018. dirección: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/txs0108e.pdf>.
- [45] Bringsmart, *Bringsmart Motor 12 DC 50 RPM*, Consultado en julio de 2025, 2024. dirección: <https://www.amazon.com/Bringsmart-Bracket-Couplings-Diameter-Reduction/dp/B0CD7NXPW9>.
- [46] Espressif Systems, *ESP32-WROOM-32 Datasheet*, Accedido: 23 de agosto de 2025, 2022. dirección: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf.
- [47] Codexverde. «Ingeniera de proyectos de Decibel explica cómo el ruido impacta en la fauna y qué se está haciendo para controlarlo.» Consultado en 2025. (2023), dirección: <https://codexverde.cl/ingeniera-de-proyectos-de-decibel-explica-como-el-ruido-impacta-en-la-fauna-y-que-se-esta-haciendo-para-controlarlo>.

- [48] Revista Ciencias. «Estructura y evolución de las vocalizaciones de las aves.» Universidad Nacional Autónoma de México. Consultado en 2025. (n.d.), dirección: <https://www.revistacienciasunam.com/es/blog-2/149-revistas/revista-ciencias-109-110/1238-estructura-y-evoluci%C3%B3n-de-las-vocalizaciones-de-las-aves.html>.
- [49] Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. «Efectos del ruido sobre los seres vivos.» Grupo de Contaminación Acústica, Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA). Consultado en 2025. (n.d.), dirección: <https://www.fing.edu.uy/imfia/grupos/contaminacion-acustica/archivos/05%20Fasciculo%205%20Efectos%20del%20Ruido%20sobre%20los%20Seres%20Vivos.pdf>.
- [50] Seguridad Ecológica. «Repelentes acústicos.» Consultado en 2025. (n.d.), dirección: <https://seguridadecologica.com.ar/repelentes.php>.
- [51] J. Aguilar, «La caña guadua y su utilización en la construcción sostenible en el Ecuador,» *Religación. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, vol. 7, n.º 33, págs. 192-198, 2022, Consultado en julio de 2025. dirección: <https://revista.religacion.com/index.php/religacion/article/download/1109/1322/>.
- [52] Maderea, *Efectos de la humedad en la madera: causas y soluciones*, Consultado en julio de 2025, 2023. dirección: <https://maderea.com/efectos-de-la-humedad-en-la-madera-causas-y-soluciones/>.
- [53] L. Nación, *Un truco fácil, económico y casero para hacer un impermeabilizante para reparar techos agrietados*, Consultado en julio de 2025, 2023. dirección: <https://www.lanacion.com.ar/lifestyle/un-truco-facil-economico-y-casero-para-hacer-un-impermeabilizante-para-reparar-techos-agrietados-nid07072023>.
- [54] Gandiporta, *Cómo barnizar madera con aceite usado o quemado de coche*, Consultado en julio de 2025, 2023. dirección: <https://gandiporta.com/como-barnizar-madera-con-aceite-usado-o-quemado-de-coche/>.
- [55] Z. de Pinturas, *Colorantes con reflectancia solar: una opción para reducir el calor*, Consultado en julio de 2025, 2023. dirección: https://www.zonadepinturas.com/mas-a-fondo/pinturas-y-recubrimientos/2938-colorantes-con-reflectancia-solar.html?utm_source=chatgpt.com.
- [56] Berrade. «¿Qué es la seguridad IP65?» Recuperado de Berrade. (s.f.), dirección: <https://berrade.com/armarios-de-telecomunicaciones/que-es-la-seguridad-ip65/>.

ANEXO A
PLANOS

Planos del ensamblaje en solidworks 2023:

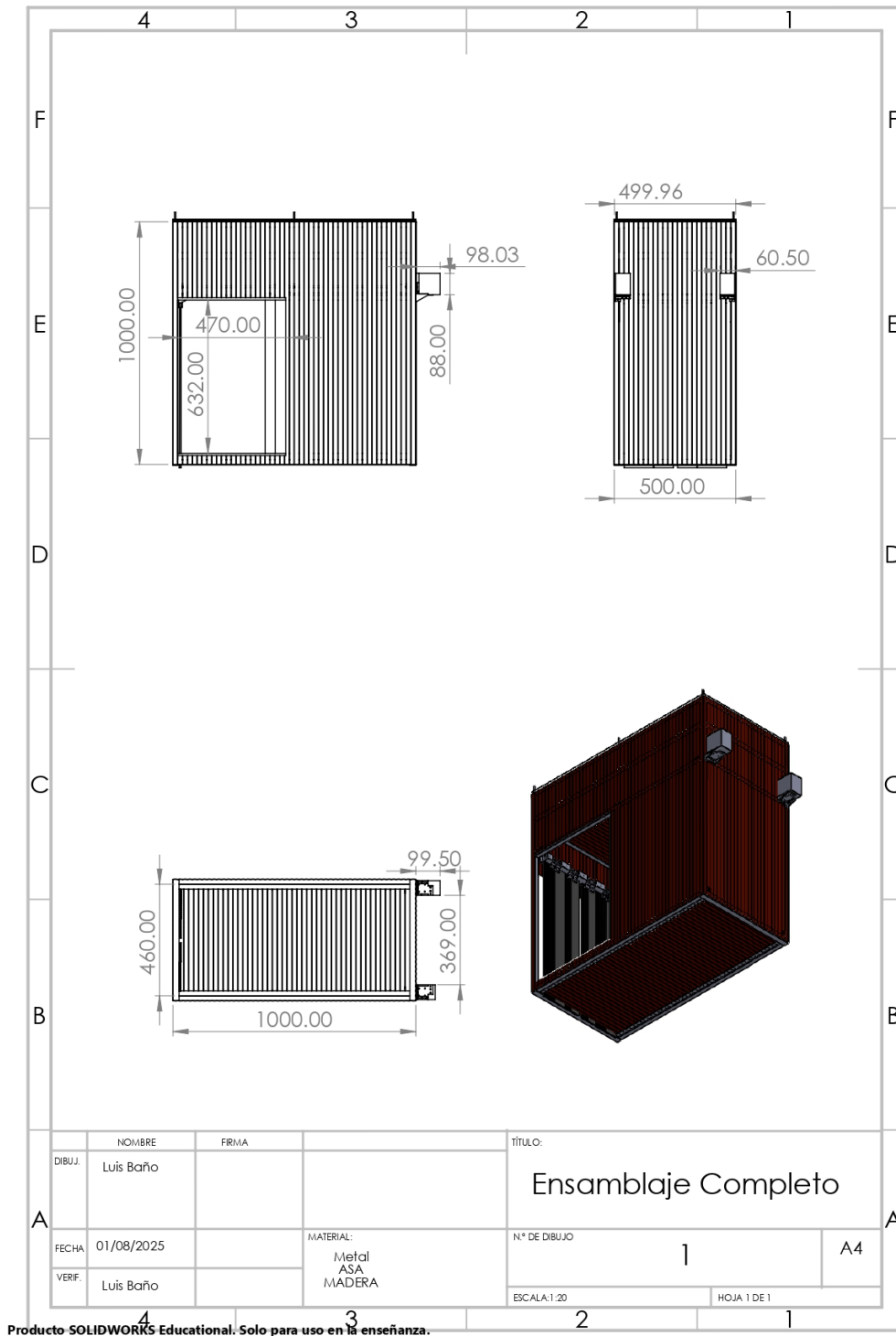


Figura 30: Ensamblaje completo de la estructura

ANEXO B
DIAGRAMA DE CONEXIÓN

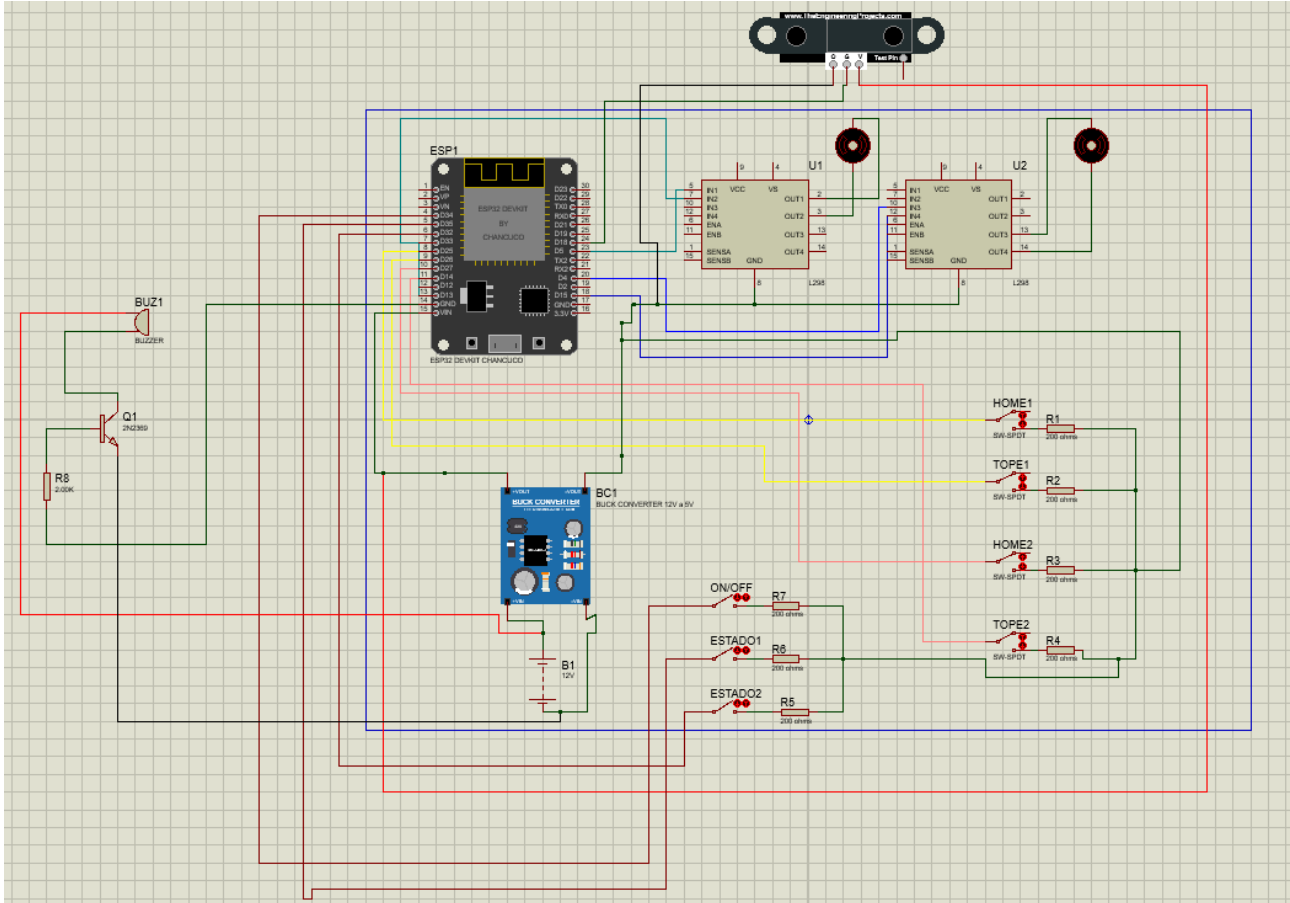


Figura 31: Diagrama de conexión