



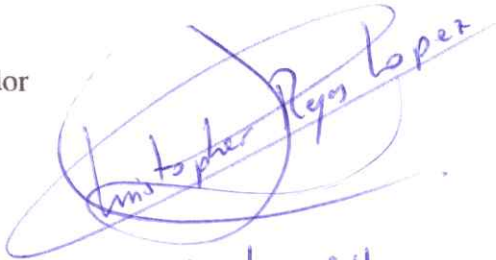
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**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**

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

AUTORES: Ivonne Sheyla Peñafiel Icaza
Darwin Alexander Rodriguez Ladines
TUTOR: Christopher Rubén Reyes López

Guayaquil - Ecuador
2024


5/9/2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Ivonne Sheyla Peñafiel Icaza** con documento de identificación N° **0955458005** y **Darwin Alexander Rodriguez Ladines** con documento de identificación N° **0957569171**; 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, 29 de agosto del año 2024

Atentamente,

Ivonne Peñafiel I.

Ivonne Sheyla Peñafiel Icaza
0955458005

Darwin Rodriguez

Darwin Alexander Rodriguez Ladines
0957569171

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

Nosotros, **Ivonne Sheyla Peñafiel Icaza** con documento de identificación N° **0955458005** y **Darwin Alexander Rodríguez Ladines** con documento de identificación N° **0957569171**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: 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**, 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, 29 de agosto del año 2024

Atentamente,



Ivonne Sheyla Peñafiel Icaza
0955458005



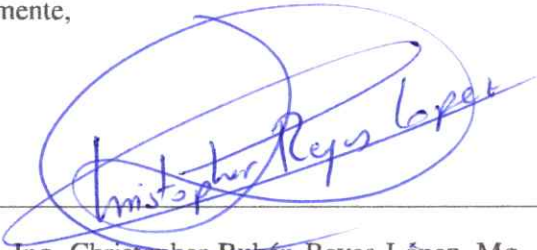
Darwin Alexander Rodríguez Ladines
0957569171

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Christopher Rubén Reyes López**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **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**, realizado por **Ivonne Sheyla Peñafiel Icaza** con documento de identificación N° **0955458005** y por **Darwin Alexander Rodríguez Ladines** con documento de identificación N° **0957569171**, 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, 29 de agosto del año 2024

Atentamente,



Ing. Christopher Rubén Reyes López, Mg.
0923848691

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia y amigos por su apoyo constante durante todos estos años y que hicieron más llevadera esta etapa. Agradezco también a los profesores que me guiaron y enseñaron tanto en este camino. Y, por supuesto, a mi compañero de tesis, Darwin Rodríguez, por el trabajo conjunto y la colaboración en este proyecto. Este trabajo es reflejo de nuestro esfuerzo compartido y de muchas horas de dedicación. Gracias a todos los que hicieron posible este camino.

Ivonne Sheyla Peñafiel Icaza

Dedico este trabajo a todas las personas que, de una manera u otra, han contribuido a mi formación académica. A mi familia, por entender las largas jornadas de estudio y las ausencias en momentos importantes. Gracias a mis profesores y compañeros por los conocimientos compartidos y las experiencias vividas. Agradezco también a mi compañera de tesis, Ivonne Peñafiel, por su colaboración y trabajo en equipo durante este proyecto. A todos, gracias por ser parte de esta experiencia.

Darwin Alexander Rodríguez Ladines

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte de este proceso académico. Agradezco a mi familia, quienes han sido mi mayor fuente de apoyo y motivación. A mis padres, por su amor incondicional y por enseñarme el valor del trabajo duro y la perseverancia. A mis hermanos, por estar siempre ahí para darme ánimos y recordarme la importancia de seguir adelante.

A mis amigos, quienes con su compañía y apoyo me ayudaron a sobrellevar los momentos difíciles. Gracias por las risas, las palabras de aliento y por ser siempre una fuente de energía positiva. Quiero también agradecer a mis profesores, en especial a mi tutor de tesis, Christopher Reyes, por su guía y paciencia durante todo el proceso.

Ivonne Sheyla Peñafiel Icaza

Quiero agradecer a todas las personas que de alguna manera contribuyeron al desarrollo de esta tesis. A mis padres, por su respaldo incondicional. A mis hermanos, por su paciencia y ánimo en los momentos más desafiantes y a mis abuelos, por sus palabras de sabiduría y su apoyo constante. Su apoyo ha sido fundamental para superar los desafíos que he enfrentado en este camino.

A mis compañeros de clase, con quienes compartí innumerables horas de estudio, trabajo en equipo y aprendizajes. Gracias por los momentos compartidos, por el apoyo mutuo en los momentos de estudio y por los buenos recuerdos que me llevo de esta etapa.

Darwin Alexander Rodriguez Ladines

I. RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un prototipo de circuito electrónico para rastrear aves silvestres y evaluar su posición georreferenciada en áreas cercanas al aeropuerto de Guayaquil. La selección de la tecnología GPRS como medio de transmisión de datos se basa en su viabilidad en el contexto ecuatoriano, donde la señal satelital, aunque amplia en cobertura, presenta altos costos y vulnerabilidades que la hacen menos accesible. GPRS se presenta como una solución más estable y económica, adecuada para las necesidades de este proyecto.

Para llevar a cabo el rastreo, se utiliza el microcontrolador ESP32 ESP-WROOM-32, que gestiona los datos capturados por el módulo GPS GY-NEO7MV2, responsable de determinar la ubicación mediante señales satelitales. La transmisión de datos se realiza a través de un módulo GSM, mientras que el módulo MS5611 mide la presión atmosférica para mejorar la precisión del posicionamiento. La integración y configuración de estos componentes permiten crear un sistema robusto para el seguimiento teórico de aves. Además, se desarrolló un panel de control en línea para visualizar los datos recopilados en tiempo real.

Finalmente, se diseñó un plan de pruebas que incluyó diversos escenarios de navegación y se establecieron puntos de referencia de alta precisión para comparar las lecturas del prototipo con las de un dispositivo GPS comercial. Las pruebas se realizaron en entornos urbanos y rurales a diferentes altitudes, evaluando la capacidad del circuito GPS para mantener una señal estable y precisa en diversas situaciones. Los resultados mostraron que el prototipo tiene un rendimiento aceptable en la evaluación de la posición, con ciertas limitaciones debido a su naturaleza experimental. Se concluyó que el prototipo es viable para aplicaciones futuras con aves, recomendando mejoras en la precisión y estabilidad de la señal.

Palabras claves: Rastreo de aves, GPS, geolocalización, prototipo electrónico, tecnología GPRS.

II. ABSTRACT

The objective of this project is to develop a prototype electronic circuit to track wild birds and evaluate their georeferenced position in areas near the Guayaquil airport. The selection of GPRS technology as a means of data transmission is based on its viability in the Ecuadorian context, where the satellite signal, although wide in coverage, presents high costs and vulnerabilities that make it less accessible. GPRS is presented as a more stable and economical solution, suitable for the needs of this project.

To carry out the tracking, the ESP32 ESP-WROOM-32 microcontroller is used, which manages the data captured by the GY-NEO7MV2 GPS module, responsible for determining the location through satellite signals. Data transmission is done through a GSM module, while the MS5611 module measures atmospheric pressure to improve positioning accuracy. The integration and configuration of these components allows the creation of a robust system for theoretical bird tracking. In addition, an online control panel was developed to visualize the data collected in real time.

Finally, a test plan was designed that included various navigation scenarios and high accuracy benchmarks were established to compare the readings of the prototype with those of a commercial GPS device. Tests were conducted in urban and rural environments at different altitudes, evaluating the GPS circuit's ability to maintain a stable and accurate signal in various situations. The results showed that the prototype has an acceptable performance in position evaluation, with certain limitations due to its experimental nature. It was concluded that the prototype is viable for future applications with birds, recommending improvements in accuracy and signal stability.

Keywords: Bird tracking, GPS, geolocation, electronic prototype, GPRS technology.

ÍNDICE

I. RESUMEN	7
II. ABSTRACT	8
III. INTRODUCCIÓN	1
IV. PROBLEMA	2
V. JUSTIFICACIÓN	3
VI. OBJETIVOS	4
VI-A. Objetivo general	4
VI-B. Objetivos específicos	4
VII. TABLA DE OBJETIVOS	4
VIII. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
VIII-A. Análisis de comportamiento y hábitat	5
VIII-B. Sistema de geolocalización	6
VIII-C. Sistema de comunicación	8
VIII-D. Sistema de energía	9
IX. MARCO METODOLÓGICO	10
IX-A. Diseño del prototipo	10
IX-A1. Selección de componentes	10
IX-A2. Esquemático del circuito	12
IX-A3. Diseño del PCB	12
IX-B. Carcasa del dispositivo	14
IX-C. Funcionamiento del Prototipo	15
IX-C1. Programación del Microcontrolador	15
IX-C2. Flujo de operaciones del prototipo	17
IX-D. Sistema de Visualización de Datos	19
IX-D1. Infraestructura de Backend Firebase	19
IX-D2. Desarrollo de la Página Web	19
IX-D3. Uso de Node.js para el Servidor	21
IX-E. Pruebas del prototipo	21
IX-E1. Establecimiento de puntos de referencia	21
X. RESULTADOS	24
X-A. Pruebas de campo	24
X-B. Resultados de Localización y Precisión	25
X-B1. Análisis de Precisión	26
X-B2. Tiempo de Respuesta y operatividad	26
X-C. Visualización de datos	27
X-C1. Caso de Prueba 1: Localización en Entornos Urbanos	27
X-C2. Caso de Prueba 2: Localización en Áreas Rurales	27
X-D. Optimización del Esquemático	30
XI. CRONOGRAMA	33

XII. PRESUPUESTO	34
XIII. CONCLUSIONES	35
XIV. RECOMENDACIONES	36
XV. ANEXOS	39
XV-A. Anexos A: Diagramas y Esquemáticos	39
XV-B. Anexos B: Plano del case	40
XV-C. Anexos C: Código Fuente del Prototipo	42
XV-D. Anexos D: Código de la pagina web	45
XV-E. Anexos F: Puntos de referencias	49
XV-F. Anexos G: Pruebas realizadas	49

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Presencia del suirirí bicolor en Ecuador [15].	5
2.	Rango geográfico [15].	6
3.	Arquitectura GPS [18].	7
4.	D1 Mini ESP32 [25].	8
5.	Esquemático ESP32 D1 MINI. Fuente: autores	10
6.	Esquemático GPS GY-NEO7MV2. Fuente: autores	11
7.	Esquemático SIM800L. Fuente: autores	11
8.	Esquemático MS5611. Fuente: autores	11
9.	Esquemático. Fuente: autores	12
10.	PCB. Fuente: autores	13
11.	Modelo 3D. Fuente: autores	13
12.	PCB planchada. Fuente: autores	14
13.	Vistas de la carcasa. Fuente: Autores	15
14.	Inicialización del Hardware. Fuente: autores	16
15.	Gestión de Conexiones y Transmisión de Datos. Fuente: autores	16
16.	Obtención y Procesamiento de Datos. Fuente: autores	17
17.	Funcionamiento del prototipo. Fuente: autores	18
18.	Base de datos en Firebase. Fuente: autores	19
19.	Página web. Fuente: autores	20
20.	Página web móvil. Fuente: autores	20
21.	Coordenadas urbanas. Fuente: autores	22
22.	Coordenadas urbanas. Fuente: autores	22
23.	Coordenadas Rurales. Fuente: autores	23
24.	Coordenadas. Fuente: autores	24
25.	Puntos referenciales urbanos. Fuente: autores	27
26.	Mapeo en Entornos Rural. Fuente: autores	28
27.	Mapeo en Entornos Urbanos. Fuente: autores	29
28.	Mapeo en Entornos Urbanos. Fuente: autores	30
29.	Optimización esquemático. Fuente: autores	31
30.	Optimización esquemático. Fuente: autores	32
31.	Optimización esquemático. Fuente: autores	32
32.	Esquemático del prototipo. Fuente: autores	39
33.	Plano del case. Fuente: autores	39
34.	Plano de la tapa del case. Fuente: autores	40
35.	Diseño PCB. Fuente: autores	41
36.	Coordenadas referenciales en un área de prueba, por I. Peñafiel y D. Rodríguez, Google Earth	49
37.	Evaluación del Punto 1. Fuente: autores	50
38.	Evaluación del Punto 2. Fuente: autores	50
39.	Evaluación del Punto 3. Fuente: autores	51
40.	Evaluación del Punto 4. Fuente: autores	51
41.	Evaluación del Punto 5. Fuente: autores	52
42.	Evaluación del Punto 6. Fuente: autores	52
43.	Vistas de la carcasa. Fuente: Autores	53
44.	Evaluación del Punto 6. Fuente: autores	54

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Matriz de trazabilidad	4
II.	Coordenadas referenciales	21
III.	Pruebas del prototipo	24
IV.	Comparativa entre prototipo y GPS comercial	25
V.	Margen de error	25
VI.	Cronograma	33
VII.	Presupuesto	34

III. INTRODUCCIÓN

Uno de los desafíos más significativos para la seguridad aérea en el mundo es la presencia de aves silvestres alrededor de los aeropuertos. La interacción frecuente de la fauna con las aeronaves, conocida como un “wildlife strike”, plantea un riesgo constante, puede dañar gravemente tanto a los aviones como a los pasajeros. Por ese motivo, el desarrollo de tecnologías que permiten monitorear activamente y mitigar este riesgo se convierte en una prioridad para la gestión del aeropuerto. El Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo en Guayaquil, Ecuador, no es una excepción. Ubicado en una región que presenta una rica biodiversidad, que implica una pluriaridad de especies de aves, la necesidad de soluciones efectivas para restringir el riesgo de colisión es evidente. Sin embargo, las soluciones actuales, como los sistemas de rastreo satelital, no siempre son factibles dentro del contexto ecuatoriano, debido a sus altos costos y vulnerabilidad a perturbaciones, lo que las hace menos viables[1], [2].

Ante este escenario, surge la necesidad de explorar alternativas tecnológicas que sean no solo efectivas, sino también accesibles y adaptables a las condiciones locales. En este sentido, la tecnología de comunicación celular GPRS se presenta como una opción prometedora, ofreciendo una cobertura adecuada y costos relativamente bajos, aunque con ciertas limitaciones en áreas rurales o menos desarrolladas. El presente trabajo de tesis se enfoca en el desarrollo de un prototipo de circuito electrónico de rastreo de aves silvestres, utilizando tecnología GPRS, con el objetivo de evaluar la posición georreferencial de estas aves en las zonas colindantes con el aeropuerto de Guayaquil. Este prototipo busca mitigar el riesgo de colisiones entre aves y aviones, contribuyendo así a la seguridad aérea y a la protección de la fauna local [3].

La metodología de este proyecto incluye la selección y adquisición de componentes adecuados, el diseño y simulación del circuito, el montaje del prototipo, y la configuración de la comunicación GPRS. Además, se realizarán pruebas en escenarios controlados para validar la efectividad del sistema, comparándolo con un GPS comercial. A través de esta investigación, se espera contribuir al desarrollo de soluciones tecnológicas viables para la gestión de riesgos en aeropuertos de Ecuador y otras regiones con características similares.

IV. PROBLEMA

La presencia de aves en aeropuertos es un desafío global para la seguridad de la aviación y la vida silvestre. Se registran más de 50,000 incidentes de colisión aviar al año, una cifra que podría aumentar con el crecimiento de vuelos y avances tecnológicos [4], [5]. En América Latina, también se han documentado accidentes de esta naturaleza. Por ejemplo, según un análisis, Brasil presenta las cifras más elevadas: durante el periodo de 2006 a 2010 se registraron 3.239 incidentes con diversas especies de aves. Asimismo, en países como Colombia y Argentina, se han contabilizado cientos de casos similares [6].

[7]

La ciudad de Guayaquil, Ecuador, enfrenta un persistente problema con la presencia de aves en el Aeropuerto José Joaquín de Olmedo (JJO), especialmente tras el impacto de aves en dos aviones de Equair el 10 de noviembre de 2022. Se han implementado medidas de mitigación, como la reciente operación en el islote El Palmar e Isla Celeste el 19 de enero de 2024, pero las estrategias propuestas por expertos canadienses de Airports Council International-ACI World y Falcon Environmental Inc. enfrentan desafíos, como la posible inmunidad de las aves a los métodos de dispersión [1], [2].

Además, la conservación de las aves migratorias en Ecuador enfrenta desafíos debido a la complejidad de monitorear sus rutas migratorias y la falta de información detallada sobre sus movimientos. Esto destaca la necesidad de soluciones integrales, aunque los métodos actuales de recolección de datos presentan limitaciones que dificultan la prevención de colisiones en el aeropuerto [8]. La falta de información sobre los movimientos y la presencia de aves representa un desafío crucial para fortalecer las estrategias de prevención de colisiones. Esta carencia de datos se debe en parte a limitaciones financieras que impiden la adquisición y mantenimiento de dispositivos de rastreo en Ecuador. La fabricación local de estos dispositivos no está disponible, lo que resulta en una dependencia excesiva de importaciones y costos adicionales por servicios de comunicaciones para rastrear las rutas de las aves. Esta situación dificulta aún más la implementación de medidas preventivas efectivas para mitigar el peligro aviario en el aeropuerto [9].

El seguimiento de cóndores andinos en Ecuador mediante rastreadores satelitales ejemplifica el desafío financiero. Cada dispositivo cuesta entre USD 3,900 y USD 4,200, con tarifas mensuales adicionales de alrededor de USD 300 para mantener la conectividad y recibir datos satelitales. En total, el seguimiento de un cóndor durante dos años puede costar aproximadamente USD 10,000 [10]. Si bien la señal satelital ofrece amplia cobertura, su alto costo de adquisición y mantenimiento limita la accesibilidad en Ecuador. La señal es vulnerable a perturbaciones lo que puede comprometer la precisión y fiabilidad de los datos recolectados. Además, Ecuador depende de sistemas satelitales operados por terceros países, lo que añade complejidad a su implementación y gestión [11].

Por otro lado, la tecnología Long Range (LoRa) ofrece ventajas en alcance extendido, bajo consumo de energía y flexibilidad para IoT en Ecuador. Sin embargo, enfrenta desafíos debido a su limitada velocidad de transmisión y susceptibilidad a interferencias en frecuencias no licenciadas. Además, su implementación exitosa requiere una infraestructura adecuada de gateways y antenas LoRaWAN, y una cobertura suficiente para garantizar una comunicación confiable en todo el país [3]. Por otro lado, la tecnología de Sistema General de Radio por Paquetes (GPRS) se posiciona como una solución más viable. A pesar de posibles limitaciones en zonas menos desarrolladas, proporciona una conexión más estable y potencialmente a un costo menor.

Basados en lo anteriormente expuesto y tras un exhaustivo análisis de requerimientos asociados a la presencia de aves en áreas aeroportuarias, se ha determinado la necesidad de desarrollar un prototipo de circuito electrónico de rastreo GPS de bajo costo que utilice comunicación GPRS. Este prototipo estaría destinado a evaluar la posición georreferencial de aves silvestres en áreas cercanas al aeropuerto de Guayaquil, para comprender los patrones de vuelo, así como los puntos de descanso y alimentación de las aves, es crucial abordar el desafío central que enfrentamos, la falta de información detallada y precisa sobre su comportamiento y hábitats.

V. JUSTIFICACIÓN

La prevención de la presencia de aves en los aeropuertos es esencial para garantizar la seguridad de las operaciones aéreas y proteger la vida silvestre. Si bien se han implementado diversas técnicas para disuadir el tránsito de aves en áreas cercanas al Aeropuerto, como la emisión de sonidos perturbadores y el uso de cetrería, estas soluciones enfrentan desafíos importantes. Los sonidos pierden efectividad con el tiempo, ya que las aves se adaptan a ellos, y la cetrería requiere medidas adicionales para evitar la adaptación de las aves invasoras a la presencia de sus depredadores naturales [12].

Por lo que la comprensión de los patrones de vuelo y el comportamiento de las aves en el área del Aeropuerto José Joaquín de Olmedo es crucial para desarrollar estrategias efectivas de prevención de colisiones. Este conocimiento permitirá identificar áreas de riesgo y aplicar medidas de disuasión en puntos críticos, reduciendo así la probabilidad de incidentes. Además, entender los hábitos de alimentación y descanso de las aves cercanas al aeropuerto ayudará a implementar medidas de control específicas para minimizar su presencia en zonas de riesgo [8].

La investigación propone desarrollar un prototipo de circuito electrónico de rastreo GPS utilizando tecnología GPRS, como una solución más efectiva y rentable para monitorear y controlar la presencia de aves en el Aeropuerto José Joaquín de Olmedo. La elección de GPRS se fundamenta en su capacidad para proporcionar una transmisión de datos en tiempo real, su amplia cobertura en áreas urbanas y rurales, y su relativa accesibilidad y bajo costo en comparación con otras tecnologías. .

La implementación de este prototipo permitirá la evaluación de la posición georreferencial de aves silvestres en zonas colindantes con el Aeropuerto José Joaquín Olmedo, buscando proporcionar una solución tecnológica eficiente y de bajo costo que contribuya a la obtención de datos detallados y precisos sobre su comportamiento de vuelo, así sentar las bases para investigaciones futuras que puedan abordar de manera más integral y efectiva los desafíos asociados con la conservación de la vida silvestre y la seguridad operativa del Aeropuerto José Joaquín Olmedo para promover una convivencia armónica entre la aviación y la biodiversidad local.

La validación de este prototipo se llevará a cabo mediante un análisis comparativo de la posición georreferencial entre el prototipo y dispositivos GPS comerciales, garantizando su fiabilidad y precisión. Esto aumentará su utilidad práctica y su potencial para futuras aplicaciones en la gestión del riesgo aviario. Esta investigación aspira a establecer una plataforma sólida y fiable que facilite la recopilación de datos geoespaciales precisos sobre las aves, permitiendo así el diseño de estrategias de prevención y gestión más informadas.

VI. OBJETIVOS

VI-A. Objetivo general

Desarrollar un prototipo de circuito electrónico de rastreo de aves silvestres para la evaluación de posición georreferencial en zonas colindantes con el aeropuerto de Guayaquil, aplicando tecnología celular GPRS.

VI-B. Objetivos específicos

1. Diseñar un prototipo de rastreo GPS para la evaluación de posición georreferencial de aves silvestres en zonas colindantes con el aeropuerto de Guayaquil.
2. Implementar un sistema de monitoreo continuo en tiempo real mediante el uso de tecnología celular GPRS.
3. Validar la precisión del circuito electrónico de rastreo GPS a través de un análisis comparativo de la posición georreferencial entre el prototipo y un dispositivo GPS comercial.

VII. TABLA DE OBJETIVOS

Tabla I: Matriz de trazabilidad

Objetivos Específicos	Planteamiento	Meta	Indicador
OE.1	Diseñar un prototipo de rastreo GPS para la evaluación de posición georreferencial de aves silvestres en zonas colindantes con el aeropuerto de Guayaquil.	Se entrega 2 Diseño esquemático del prototipo en proteus y código de funcionamiento del controlador	Generar un diseño completo y detallado del prototipo, con todos los componentes y especificaciones técnicas definidas.
OE.2	Implementar un sistema de monitoreo continuo en tiempo real mediante el uso de tecnología celular GPRS.	Lograr que el 95 % de las transmisiones de datos sean exitosas.	Verificación de transmisión continua de datos en tiempo real.
OE.3	Validar la precisión del circuito electrónico de rastreo GPS a través de un análisis comparativo de la posición georreferencial entre el prototipo y un dispositivo GPS comercial.	Alcanzar una precisión dentro del 5 % de error en comparación con el GPS comercial.	Informe comparativo que muestre un margen de error menor al 5 % entre el prototipo y el GPS comercial.

VIII. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

VIII-A. Análisis de comportamiento y hábitat

Ecuador, oficialmente denominado República del Ecuador, se localiza en la región noroeste de América del Sur. Este país es conocido por su soberanía y su carácter plurinacional. Geográficamente, Ecuador se encuentra sobre la línea ecuatorial, lo que hace que su territorio se extienda a ambos lados del hemisferio. El país está compuesto por dos zonas geográficas distintas: la parte continental en el noroeste de América del Sur, que incluye algunas islas cercanas a la costa, y el archipiélago de Galápagos, situado en el océano Pacífico a aproximadamente 1000 kilómetros de la costa continental. Esta configuración geográfica única dota a Ecuador de una extraordinaria variedad de paisajes, ecosistemas y biodiversidad. [13].

Ecuador destaca como uno de los países más ricos en diversidad de aves a nivel mundial. Sorprendentemente, esta riqueza avifaunística se desarrolla en un territorio relativamente reducido, con una extensión de tan solo 256.370 km², comparable en tamaño al Reino Unido o al estado de Colorado en los Estados Unidos. La ubicación geográfica privilegiada, situada en la línea ecuatorial, junto con la influencia de corrientes oceánicas como El Niño y la de Humboldt, así como la presencia de montañas nubladas a lo largo de la cordillera de los Andes, la vasta Amazonia y ecosistemas únicos y amenazados como el Chocó-Andes, la región Tumbesina y las Cordilleras de El Cónor y el Cutucú, contribuyen a esta riqueza. Los variados hábitats que abarcan desde los páramos hasta los valles interandinos húmedos y secos, así como el Archipiélago de Galápagos, conforman un mosaico de ambientes que albergan una asombrosa concentración de especies de aves. En la actualidad, Ecuador registra la presencia de 1722 especies de aves, reflejo de su excepcional biodiversidad y del valor único de sus ecosistemas [14].

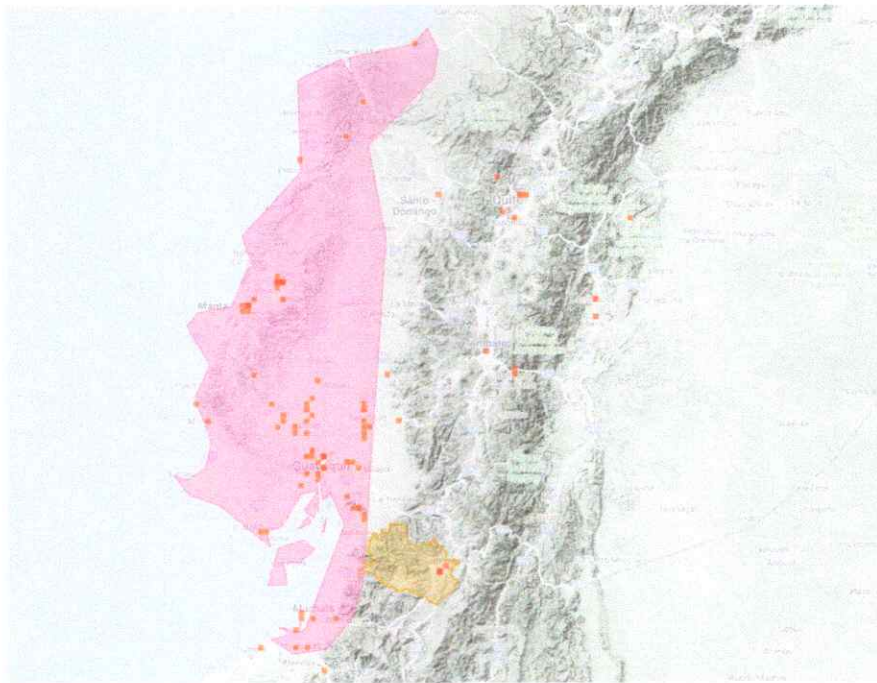


Figura 1: Presencia del suirirí bicolor en Ecuador [15].

En Ecuador, entre su gran variedad de aves, encontramos al Suirirí bicolor, también conocido como sirirí colorado o iguasa María (*Dendrocygna bicolor*), que pertenece a la familia Anatidae. Este ave tropical se distribuye en diferentes regiones del mundo, incluyendo América Central y del Sur, las Indias Occidentales, el sur de Estados Unidos, África subsahariana y el subcontinente indio, como se observa en la Figura 1. Su plumaje es predominantemente pardo rojizo, tiene patas largas y un pico largo y gris. Al volar, muestra una franja blanca

Ecuador, el Suirirí bicolor no muestra un comportamiento migratorio estacional, lo que indica que las poblaciones locales son mayormente sedentarias. Esto contrasta con las poblaciones africanas, que migran hacia el sur durante el verano austral para reproducirse y luego regresan al norte en invierno. En cambio, las poblaciones americanas son bastante nómadas, moviéndose según la disponibilidad de agua y alimento, debido a las fluctuaciones de las lluvias en sus hábitats. A diferencia de estas, las aves en Ecuador tienden a permanecer en el mismo territorio durante todo el año. Además, esta especie ha demostrado una notable capacidad para expandirse a nuevas regiones, habiendo extendido su presencia en regiones como México, Estados Unidos y las Antillas en las últimas décadas, como se puede observar en el Figura 2.

Se localiza comúnmente en pantanos de tierras bajas y manglares de cielo abierto, así como en llanuras, prefiriendo evitar las zonas boscosas. Es especialmente atraída por los humedales que cuentan con una abundante vegetación emergente, entre los cuales se incluyen los arrozales. Durante el día o la noche, este ave se alimenta en humedales en bandadas mixtas junto a otras especies de aves, como suiriríes cariblancos o piquirrojos. Su dieta generalmente consiste en materia vegetal, que incluye semillas, bulbos, hierbas y tallos. Sin embargo, las hembras pueden complementar su alimentación con gusanos acuáticos, moluscos e insectos mientras se preparan para la puesta de huevos.

Un sistema de geolocalización es una herramienta tecnológica que permite determinar la ubicación de un objeto en un espacio físico (geoespacial) o virtual (Internet). A menudo, el objeto es una persona que quiere utilizar

servicios basados en la ubicación, manteniendo su privacidad. Existen diversas formas de obtener información de geolocalización, que van desde la obtención de la dirección IP del usuario, el uso de su dirección MAC, la tecnología RFID, la detección de la conexión Wi-Fi, hasta las coordenadas GPS de su dispositivo [17]. El sistema de posicionamiento global (GPS) es una de las tecnologías de geolocalización más precisas y utilizadas, se fundamenta en una infraestructura de satélites en órbita alrededor de la Tierra. Esta constelación, compuesta de al menos 24 satélites, emite señales continuas que son recibidas por dispositivos receptores, tales como teléfonos móviles o dispositivos de navegación GPS en vehículos. Al conectarse con múltiples satélites simultáneamente, estos receptores calculan su posición en tiempo real. Esta precisión permite la determinación exacta de la ubicación en forma de coordenadas geográficas, facilitando la identificación precisa de direcciones y puntos de interés.



Figura 3: Arquitectura GPS [18].

El objetivo primordial del sistema GPS radica en determinar la posición de un punto en un espacio tridimensional definido por coordenadas (x, y, z) . Mediante la triangulación de las señales recibidas de varios satélites, el receptor puede calcular con alta exactitud su posición geográfica. Este proceso de triangulación se basa en la medición de la diferencia de tiempo entre la emisión de la señal por parte del satélite y su recepción por parte del receptor, lo que permite calcular la distancia entre el receptor y cada satélite [19]. El funcionamiento del módulo GPS GY-NEO7MV2 se basa en este principio de triangulación. Al recibir y procesar las señales emitidas por la constelación de satélites en órbita terrestre, el módulo, mediante el uso de antenas y circuitos receptores, capta estas señales y calcula la posición del dispositivo receptor con base en la información recibida de varios satélites. El procesamiento de las señales se lleva a cabo mediante algoritmos especializados, lo que permite una determinación precisa de la ubicación del receptor [20].

Complementando esta tecnología, el Módulo de Presión Atmosférica MS5611 se utiliza para medir la presión atmosférica en la ubicación del dispositivo de rastreo. Esta información se emplea para calcular la altitud sobre el nivel del mar del dispositivo receptor. La precisión y confiabilidad de este módulo permiten obtener datos precisos sobre la altitud, contribuyendo a una mejor comprensión de la ubicación real de las aves en su entorno [21]. La corrección de altitud proporcionada por el módulo MS5611 permite corregir las posibles discrepancias en los datos de geolocalización obtenidos a través del sistema GPS. Es especialmente relevante en áreas con variaciones significativas en la elevación del terreno, donde las diferencias de altitud pueden afectar la precisión de las coordenadas geográficas calculadas. De esta manera, la combinación de los datos de altitud del MS5611 y las coordenadas del GPS asegura una localización más exacta y confiable.

VIII-C. Sistema de comunicación

Un sistema de comunicación en el contexto del proyecto de rastreo de aves implica el uso de tecnologías inalámbricas para transmitir información entre los dispositivos de rastreo y una estación receptora o servidor. La eficiencia y fiabilidad del sistema de comunicación determinan la calidad y continuidad de los datos obtenidos, los cuales son cruciales para un análisis preciso del comportamiento y movimiento de las aves. En este sentido, el protocolo de comunicación GPRS es una tecnología que permite la transmisión de datos en paquetes a través de redes móviles. Este protocolo es adecuado para aplicaciones de seguimiento debido a su capacidad para transmitir pequeños paquetes de datos de manera eficiente y con baja latencia. El GPRS funciona sobre la infraestructura de redes Global System for Mobile Communications (GSM), las cuales proporcionan cobertura de red para los dispositivos móviles y permiten su rastreo en función de la señal que emiten. Esto es especialmente útil para aplicaciones de seguimiento y monitoreo donde se requieren transmisiones periódicas de pequeños paquetes de datos, como las coordenadas GPS y otras lecturas de sensores [22], [23].

El Módulo D1 Mini ESP32 ESP-WROOM-32 es una tarjeta de desarrollo que cuenta con el potente módulo ESP-WROOM-32, el cual integra Wi-Fi y Bluetooth BLE. Este microcontrolador es conocido por su capacidad de procesamiento, bajo consumo de energía y múltiples opciones de conectividad, lo que lo hace ideal para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) [24]. Aunque en este proyecto se usa principalmente GPRS para la transmisión de datos a larga distancia, el ESP32 ofrece capacidades adicionales de comunicación que pueden ser útiles para configuraciones locales o mantenimiento. Equipado con dos núcleos de CPU que pueden operar hasta 240 MHz, el ESP32 puede manejar la recopilación y procesamiento de datos de múltiples sensores incluidos el módulo GPS y el módulo de presión atmosférica MS5611, este procesa estos datos y los prepara para la transmisión [25].

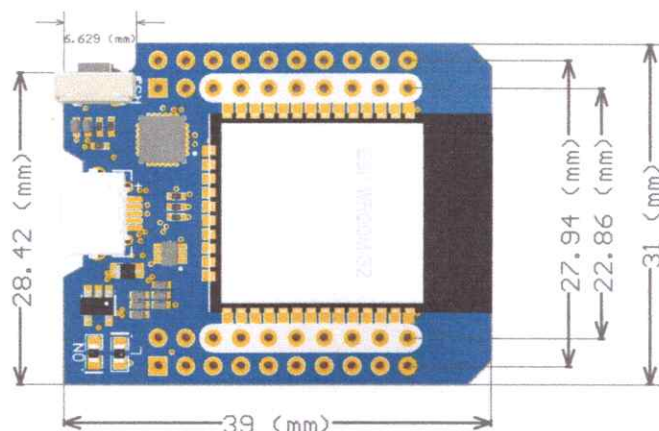


Figura 4: D1 Mini ESP32 [25].

Un módulo de ruptura GSM es un dispositivo que permite a los sistemas embebidos comunicarse a través de redes móviles GSM. Este módulo facilita la transmisión de datos, como las coordenadas GPS y otras lecturas de sensores, a un servidor central o a otro dispositivo remoto. El módulo de ruptura GSM se conecta a la red móvil mediante una tarjeta SIM. Una vez insertada y activada la SIM, el módulo realiza el proceso de autenticación con la red GSM. Tras la autenticación, el módulo establece una sesión GPRS, que es una conexión lógica utilizada para la transmisión de datos [26]. Los datos de geolocalización, capturados por el módulo GPS, son empaquetados y enviados a través de la red GPRS. El módulo GSM convierte estos datos en paquetes que se transmiten a la torre de red móvil más cercana. Los paquetes de datos viajan a través de la infraestructura de la red móvil hasta llegar al servidor central. El servidor central recibe los paquetes de datos, los descompone y procesa la información para actualizar la posición de las aves en tiempo real. Los datos pueden incluir coordenadas GPS, altitud y otros parámetros relevantes recogidos por los sensores a bordo del dispositivo de rastreo.

VIII-D. Sistema de energía

Un sistema de energía en un dispositivo de rastreo de aves comprende tanto una fuente de alimentación, como una batería, como un sistema de gestión de energía que asegura una distribución eficiente y constante de energía a todos los componentes electrónicos. La selección de una batería adecuada es esencial para garantizar la operación continua del dispositivo, especialmente en áreas remotas donde la recarga es difícil o imposible. En este caso, se ha elegido una batería de polímero de litio (LiPo) de 3.7 V y 1500 mAh, conocida por su alta densidad energética, bajo peso y tamaño compacto. Estas características son cruciales en aplicaciones donde el peso y la portabilidad son fundamentales, como en el rastreo de aves, donde el dispositivo debe ser lo más ligero y discreto posible para no interferir con los movimientos y comportamientos naturales de las aves.[27].

Las baterías LiPo son especialmente apreciadas por su capacidad para mantener un voltaje estable durante la descarga, lo cual es vital para el funcionamiento constante y fiable de los componentes electrónicos del dispositivo. Además, tienen una capacidad de descarga rápida, lo que significa que pueden entregar energía de manera eficiente cuando es necesario, sin comprometer la duración de la batería. Esta característica es particularmente útil en dispositivos de rastreo que requieren un rendimiento sostenido durante largos períodos. Además, las baterías LiPo tienen una buena vida útil y son capaces de soportar múltiples ciclos de carga, lo que las hace ideales para aplicaciones a largo plazo en condiciones de campo. Su capacidad de recarga rápida también es una ventaja importante, ya que permite que el dispositivo esté listo para su uso en un corto período de tiempo, minimizando el tiempo de inactividad. [28]

IX. MARCO METODOLÓGICO

El presente anteproyecto tiene como objetivo desarrollar y evaluar un prototipo de rastreador GPS destinado al seguimiento teórico de aves, sin pruebas reales con aves. Se llevará a cabo una comparativa de la eficiencia de la ubicación del prototipo en comparación con un GPS comercial, así como la verificación del correcto envío de datos. Los componentes electrónicos empleados incluyen el ESP32 ESP-WROOM-32, que funcionará como el microcontrolador principal para la gestión de los datos. El módulo GPS GY-NEO7MV2, encargado de la recepción de señales de satélites para determinar la ubicación; el módulo de ruptura GSM, utilizado para la transmisión de datos a través de la red celular; el MS5611, que medirá la presión atmosférica para mejorar la precisión del posicionamiento; y una batería de LiPo de 2 celdas para proporcionar la energía necesaria, como se puede observar en su Figura 23. El proyecto seguirá un plan detallado que incluye la investigación de los principios fundamentales de la tecnología GPS y los microprocesadores, así como de sensores necesarios para una mejor precisión del posicionamiento. Se procederá con la selección y adquisición de los componentes adecuados, el diseño del circuito electrónico y la simulación del prototipo para validar el correcto funcionamiento de los componentes. El montaje del prototipo incluirá la integración de los componentes electrónicos, la configuración y optimización de la comunicación celular GPRS para garantizar una conexión estable y confiable, y la implementación de un panel de control en línea para visualizar los datos recopilados en tiempo real. Se diseñará un plan de pruebas que incluirá diferentes escenarios de navegación y se establecerán puntos de referencia georreferenciados con alta precisión para comparar las lecturas del prototipo con las de un dispositivo GPS comercial. Las pruebas de campo se realizarán en entornos urbanos y rurales a diferentes altitudes para evaluar la capacidad del circuito GPS de mantener una señal estable y precisa en diversas situaciones. El prototipo debe ser pequeño y ligero para permitir su futura instalación en aves. Es importante tener en cuenta que los datos obtenidos pueden presentar un cierto margen de error debido a la naturaleza experimental del prototipo.

IX-A. Diseño del prototipo

IX-A1. Selección de componentes: El microcontrolador ESP32 ESP-WROOM-32 realizará el control del prototipo, seleccionado por su capacidad de procesamiento DUAL-CORE permitiendo la gestión de múltiples tareas simultáneamente, característica importante ya que se requiere la recolección continua de datos GPS, comunicación mediante GPRS y el procesamiento de la señal de varios sensores. Además, ofrece conectividad integrada WIFI/BLEETOOTH lo cual proporciona flexibilidad para futuras expansiones del sistema. Su bajo consumo de energía es crucial para la durabilidad de la batería en aplicaciones en campo.



Figura 5: Esquemático ESP32 D1 MINI. Fuente: autores

Para el sistema de localización, se utiliza el módulo GPS GY-NEO7MV2 considerado por su alta sensibilidad y su capacidad para recibir señales de múltiples constelaciones satélites. Esta capacidad permite mejorar significativamente la precisión en la determinación de la ubicación geográfica, lo que es esencial para el rastreo de aves en áreas cercanas al aeropuerto de Guayaquil. Este módulo es compatible con el microcontrolador ESP32, lo que facilita la integración en el prototipo. Además, se consideró su relación calidad-precio, siendo una opción accesible que ofrece un rendimiento adecuado para las necesidades del proyecto.

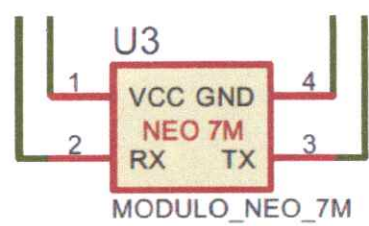


Figura 6: Esquemático GPS GY-NEO7MV2. Fuente: autores

El módulo GSM es esencial para la transmisión de datos, ya que permite una conexión estable a la red celular en una variedad de áreas, tanto urbanas como rurales. Esto permite enviar datos sobre la ubicación de las aves a una base de datos central, lo que garantiza un monitoreo continuo y confiable.

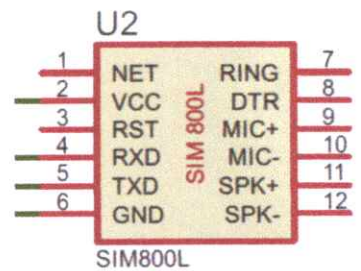


Figura 7: Esquemático SIM800L. Fuente: autores

Para mejorar la precisión del posicionamiento altitudinal, se utiliza el sensor de presión atmosférica MS5611. Este sensor mejora la precisión de las aplicaciones de rastreo aéreo al ajustar los datos de altitud de GPS, lo que es particularmente útil en terrenos irregulares. Además, su bajo consumo de energía es perfecto para mantener la eficiencia del prototipo sin reducir la duración de la batería.

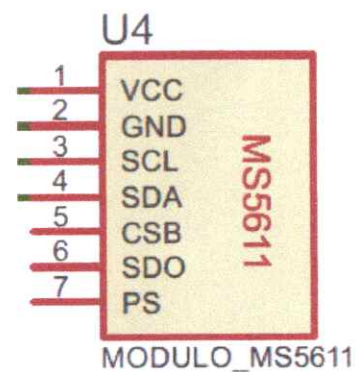


Figura 8: Esquemático MS5611. Fuente: autores

IX-A2. Esquemático del circuito: El prototipo de rastreo de aves silvestres se basa en la integración de múltiples módulos conectados al microcontrolador ESP32 D1 Mini (U1), que funciona como el controlador principal del sistema. El módulo GPS NEO-7M (U3) se conecta al microcontrolador a través de pines específicos de transmisión y recepción de datos (TX y RX). Este módulo recibe y procesa las señales de satélites y le da al ESP32 la información de ubicación para que pueda determinar la posición geográfica del dispositivo. El módulo GSM SIM800L (U2) está conectado al ESP32 para que pueda comunicarse a través de la red celular y transmitir datos de ubicación a un servidor o dispositivo móvil remoto. Esta conexión garantiza que los datos recopilados se envíen en tiempo real para monitoreo continuo. El sensor de presión atmosférica MS5611 (U4) también está integrado en el circuito y se conecta al reloj y a las líneas de datos comunes de comunicación I2C. Al proporcionar datos adicionales sobre la altitud, este sensor ayuda a mejorar la precisión del sistema y es útil para ajustar la información de ubicación en terrenos con variaciones de altura. Todos estos módulos reciben su alimentación a través de un conector de energía (J1), que garantiza un suministro adecuado para el funcionamiento de cada componente, como se puede observar en su Figura 9.

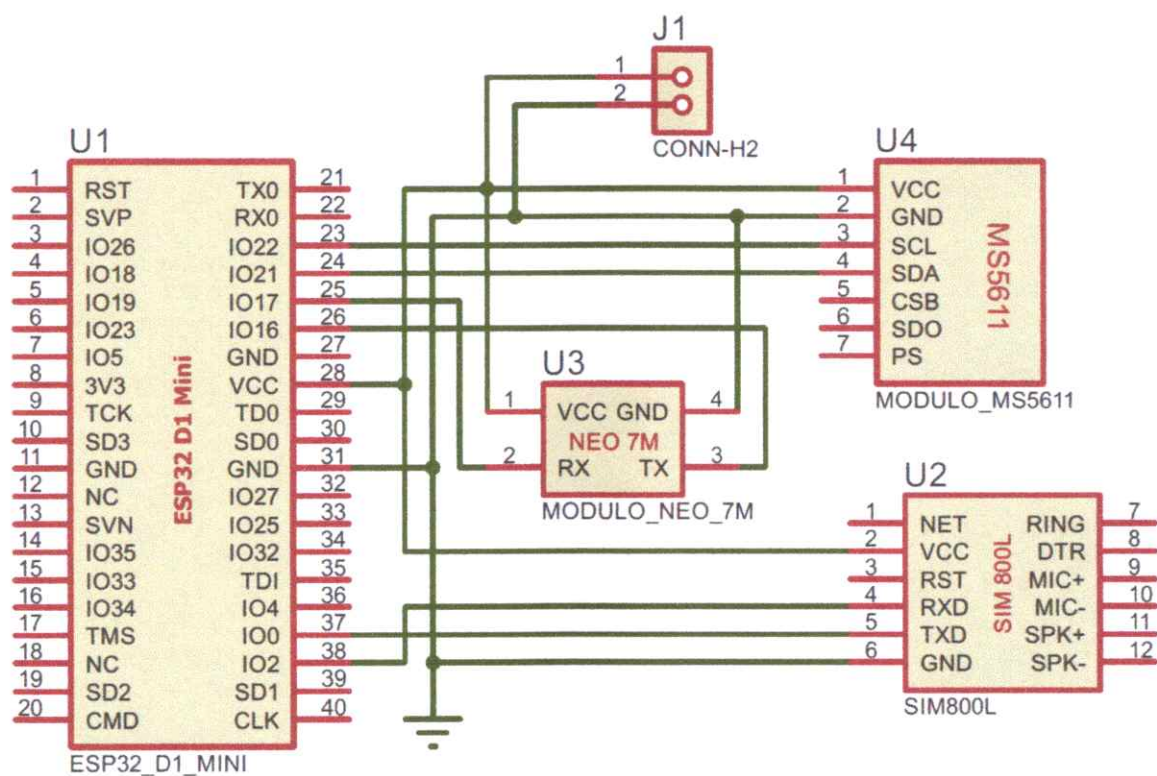


Figura 9: Esquemático. Fuente: autores

IX-A3. Diseño del PCB: Para el prototipo de rastreo de aves silvestres, se utilizó un formato de 60 mm por 80 mm para diseñar el PCB para maximizar el espacio y la disposición de los componentes. Este tamaño pequeño facilita la integración de todos los módulos necesarios, reduciendo el tamaño total del dispositivo, como se puede observar en su Figura 10.

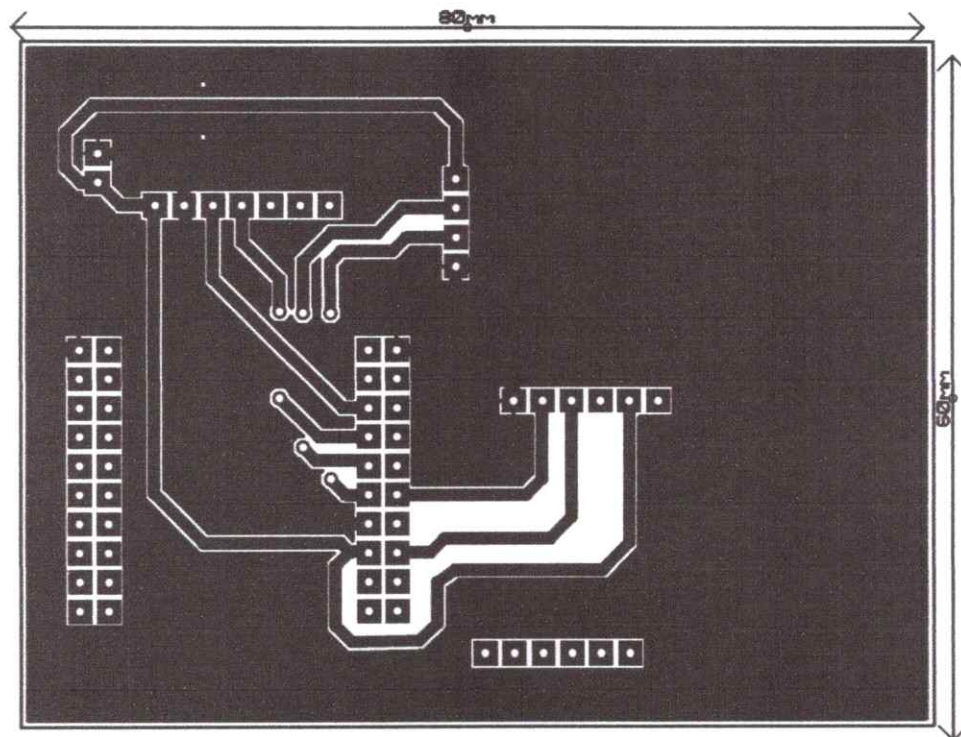


Figura 10: PCB. Fuente: autores

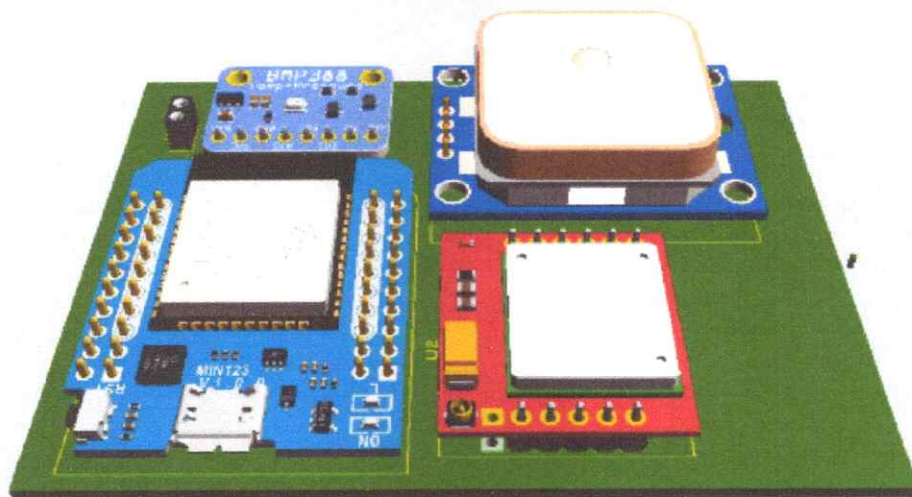


Figura 11: Modelo 3D. Fuente: autores

Tras diseñar el PCB, se procedió a soldar cada componente en su lugar correspondiente con cuidado, asegurando que todas las conexiones fueran firmes y seguras para el correcto funcionamiento de los módulos. Luego de ensamblar los componentes, el microcontrolador ESP32 D1 Mini fue programado utilizando el entorno de desarrollo Arduino IDE, cargando el código necesario para coordinar las funciones del dispositivo.

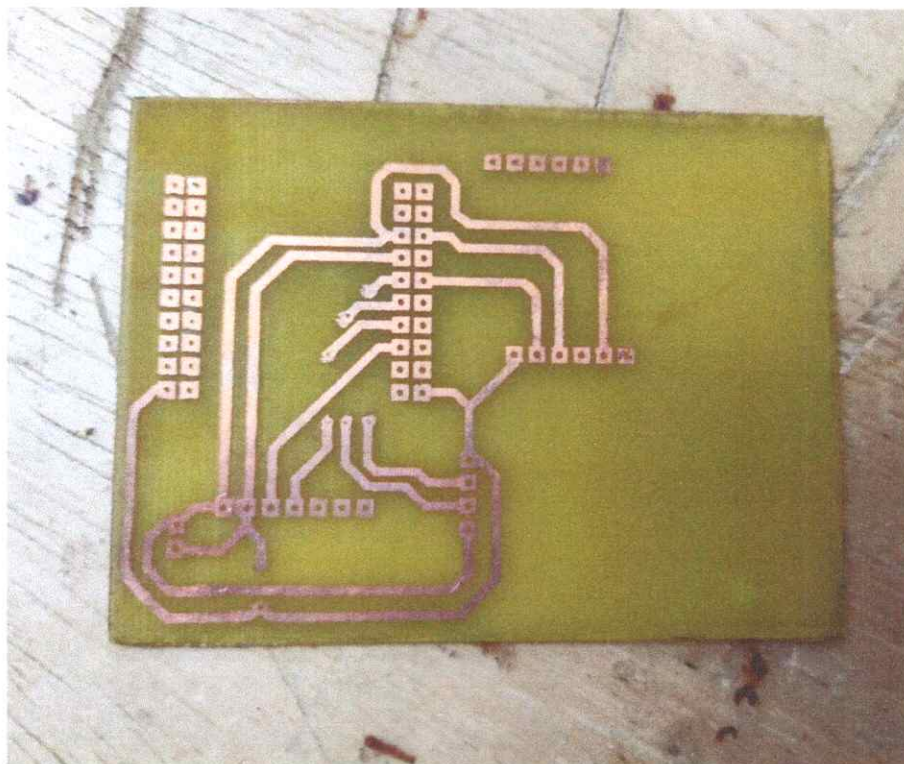


Figura 12: PCB planchada. Fuente: autores

IX-B. Carcasa del dispositivo

La carcasa del dispositivo ha sido diseñada y fabricada utilizando tecnología de impresión 3D, lo que permite una personalización precisa para cumplir con los requisitos específicos del proyecto. La impresión 3D ofrece flexibilidad en el diseño y permite iteraciones rápidas, lo cual es fundamental para optimizar la protección de los componentes electrónicos y mejorar la presentación estética del dispositivo. Para la fabricación de la carcasa, se seleccionó PLA (ácido poliláctico) como material de impresión debido a sus propiedades de resistencia mecánica y facilidad de impresión. El PLA es un material biodegradable que proporciona una estructura rígida y duradera, adecuada para proteger los componentes internos del dispositivo en condiciones de uso real. La carcasa fue impresa utilizando una impresora 3D de tipo FDM (Modelado por Deposición Fundida) con una configuración de capa de 0.2 mm y un porcentaje de relleno del 20 % para equilibrar la resistencia y el peso. El tiempo total de impresión fue de aproximadamente 6 horas y 22 minutos, y el peso final de la carcasa impresa fue de 42 gramos. Los planos del case se pueden encontrar en el Anexo B.



(a) Vista lateral



(b) Vista aérea

Figura 13: Vistas de la carcasa. Fuente: Autores

IX-C. Funcionamiento del Prototipo

IX-C1. Programación del Microcontrolador: Este apartado detalla la programación del microcontrolador ESP32 para gestionar la obtención de datos de ubicación GPS, altitud y temperatura, y su transmisión a una base de datos Firebase a través de la red GPRS.

El código permite la recolección de datos de los sensores GPS y MS5611 y su envío a Firebase utilizando el módulo SIM800L para la conectividad GPRS. Este sistema es fundamental para aplicaciones de monitoreo remoto, proporcionando datos en tiempo real sobre ubicación y condiciones ambientales. El código se organiza en tres secciones principales, cada una enfocada en una parte crítica del sistema: la inicialización de componentes, la gestión de conexiones y la obtención y transmisión de datos.

Inicialización de Componentes

La inicialización de componentes en el código se encarga de preparar todo el hardware y software necesario para el funcionamiento del sistema. Esto incluye la configuración de las bibliotecas requeridas, la inicialización de los módulos de hardware como el SIM800L y el GPS, y el establecimiento de la comunicación serial para estos dispositivos, asegurando que el módem SIM800L esté listo para conectarse a la red GPRS. Además, se configura la comunicación I2C con el sensor MS5611 de altitud y temperatura, verificando su correcta conexión y ajustando la sobre muestreo para obtener lecturas precisas.

```

Serial.begin(115200);
Serial.println("esp32 iniciando");

sim800.begin(9600, SERIAL_8N1, rxPin, txPin);
Serial.println("SIM800L iniciando");

neogps.begin(9600, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);
Serial.println("neogps iniciando");
delay(1000);

Wire.begin(); // Inicializa el bus I2C para el módulo GPS
// Verifica si el sensor MS5611 está correctamente
if (MS5611.begin() == true) {
  Serial.println("MS5611 encontrado.");
} else {
  Serial.println("MS5611 no encontrado.");
  while (1); // El while hace que el programa se quede en un bucle si no se encuentra el sensor
}

```

Figura 14: Inicialización del Hardware. Fuente: autores

Gestión de conexiones y transmisión de datos

El código maneja la conexión a la red GPRS utilizando el módulo SIM800L y se encarga de transmitir los datos a Firebase. Primero, se intenta establecer la conexión con la red GPRS utilizando los parámetros de APN configurados. Si la conexión falla, se implementa una lógica de reconexión que vuelve a intentar después de un breve retraso. Una vez que la conexión es estable, los datos de los sensores se envían a Firebase a través de HTTPS, y el código gestiona la respuesta del servidor para asegurar que la transmisión sea exitosa.

```

Serial.print(F("Conectando a "));
Serial.print(apn);
if (!modem.gprsConnect(apn, user, pass)) {
  Serial.println(" fail");
  delay(1000);
  return;
}
Serial.println(" OK");

http_client.connect(FIREBASE_HOST, SSL_PORT);

```

Figura 15: Gestión de Conexiones y Transmisión de Datos. Fuente: autores

Obtención y Procesamiento de Datos

Esta parte del código se encarga de la lectura de datos del GPS y del sensor MS5611, y de su procesamiento antes de ser enviados a Firebase. Los datos del GPS, como la latitud, longitud, velocidad y satélite, se obtienen mediante la comunicación serial con el módulo GPS. Simultáneamente, el sensor MS5611 proporciona datos de temperatura y presión, que se utilizan para calcular la altitud. Estos datos se formatean en un formato JSON adecuado para la transmisión a Firebase. Para detalles completos del código y ajustes adicionales realizados durante las pruebas, se puede consultar el Anexo A, donde se incluye todo el código fuente.

```

boolean newData = false;
for (unsigned long start = millis(); millis() - start < 2000;){
  while (neogps.available()){
    if (gps.encode(neogps.read())){
      newData = true;
      break;
    }
  }
}
// Si newData es true el gps
if(true){
  newData = false;
  String LATITUD, LONGITUD;
  unsigned long FECHA, HORA, VELOCIDAD, SATELITE;

  LATITUD = String(gps.location.lat(), 8); // Latitud en grados (double)
  LONGITUD = String(gps.location.lng(), 8); // Longitud en grados (double)
  FECHA = gps.date.value(); // Date data in 200000 format (uint)
  HORA = gps.time.value(); // Time data in 000000 format (uint)
  VELOCIDAD = gps.speed.kmph(), 2;
  SATELITE = gps.satellites.value();

  // read temperature and pressure from MS5611
  int result = MS5611.read(); // Read data from I2C from the sensor
  if (result != MS5611_READ_OK) {
    Serial.print("Error en la lectura");
  } else {
    float temperatura = MS5611.getTemperature(); // Temperature in °C
    float presion = MS5611.getPressure(); // Pressure in millibars

    // calculate the adjusted altitude in ft or meters
    float presion_nivel_mar = 1015.23; // Pressure at sea level at level of the sea in mbar
    float ALTITUD = ( (temperatura + 273.15) / 0.0065 ) * ( 1 - pow((presion / presion_nivel_mar), 0.1903) );

```

Figura 16: Obtención y Procesamiento de Datos. Fuente: autores

IX-C2. Flujo de operaciones del prototipo: El funcionamiento del prototipo sigue un flujo de operaciones secuencial diseñado para garantizar la recolección y transmisión de datos en tiempo real.

Al encender el prototipo, el microcontrolador ESP32 ejecuta el código de inicialización que configura todos los módulos conectados. Se verifica la correcta conexión con el módulo GPS, el sensor de presión y el módulo GSM. Una vez inicializados, el microcontrolador comienza a capturar datos de ubicación del módulo GPS NEO-7M. Estos datos incluyen coordenadas de longitud, latitud y altitud, que se registran en intervalos regulares. Simultáneamente, el microcontrolador obtiene lecturas del sensor de presión MS5611 para medir la presión atmosférica. Utilizando estas lecturas, se ajustan los datos de altitud proporcionados por el GPS para mejorar la precisión, especialmente en entornos con variaciones significativas de altura.

Los datos de ubicación y altitud ajustados se procesan en el microcontrolador y se almacenan temporalmente. Este procesamiento incluye la verificación de la validez de los datos y la detección de posibles errores en las lecturas. El microcontrolador establece una conexión con el módulo GSM SIM800L para transmitir los datos procesados a la base de datos en Firebase. Este proceso se realiza en tiempo real, permitiendo que los datos de ubicación se actualicen constantemente en la plataforma de visualización.

El prototipo está diseñado para operar en un ciclo continuo, repitiendo los pasos anteriores de captura, ajuste, procesamiento y transmisión de datos. Esto garantiza que la información sobre la ubicación de las aves sea siempre actualizada y accesible en tiempo real. A continuación, se presenta un diagrama de flujo que ilustra el proceso de funcionamiento del prototipo, desde la inicialización hasta la transmisión de datos.

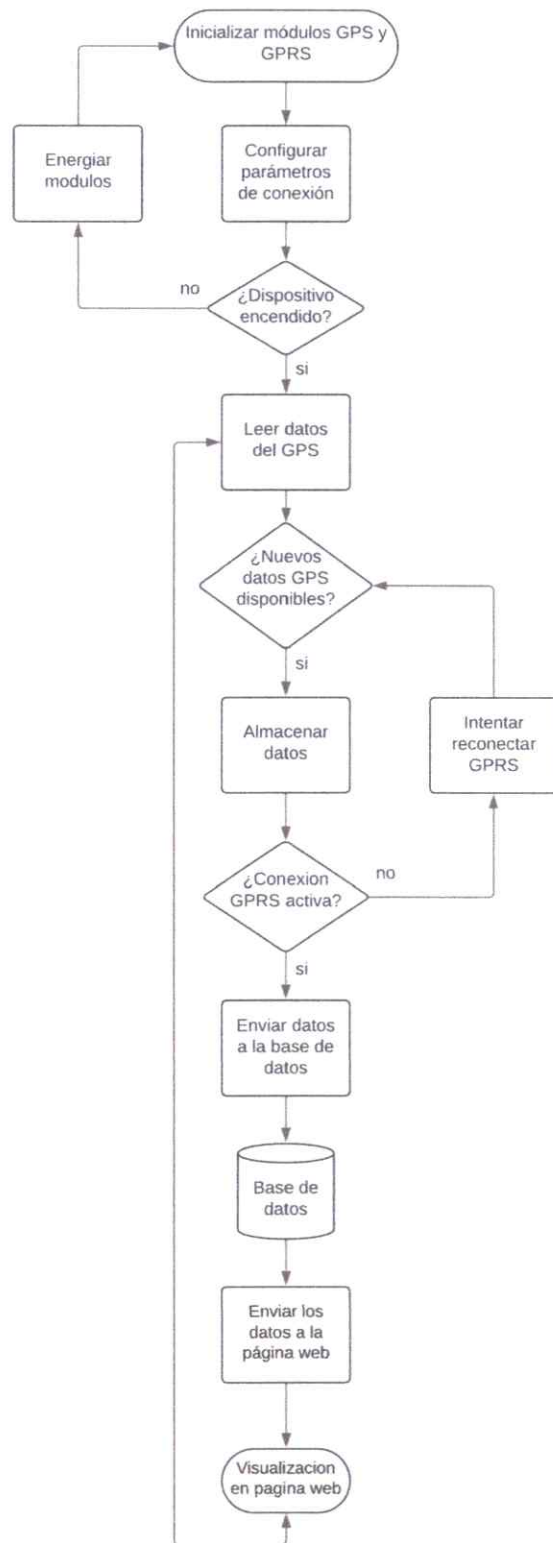


Figura 17: Funcionamiento del prototipo. Fuente: autores

IX-D. Sistema de Visualización de Datos

Para facilitar un seguimiento en tiempo real de los datos recopilados por el prototipo de rastreo de aves silvestres, se creó un sistema de visualización basado en una página web interactiva. Este sistema permite a los usuarios acceder fácilmente a información de ubicación y otros datos importantes, como altitud y velocidad, a través de un mapa interactivo que muestra las coordenadas geográficas proporcionadas por el prototipo. Diseñado para ser intuitivo y accesible desde cualquier dispositivo, ya sea de escritorio o móvil, el sistema garantiza actualizaciones instantáneas de los datos y ofrece flexibilidad para futuras mejoras, como la integración de nuevas fuentes de información o capas geográficas adicionales, siendo una herramienta clave para investigadores y conservacionistas en el monitoreo de rutas y patrones de movimiento de las aves.

IX-D1. Infraestructura de Backend Firebase: Firebase se eligió como plataforma de backend debido a su capacidad para manejar datos en tiempo real y su facilidad de integración con aplicaciones web. Esta plataforma basada en la nube ofrece una base de datos NoSQL que permite almacenar y sincronizar datos de forma automática en todos los dispositivos conectados. Esta característica es esencial para aplicaciones que necesitan actualizaciones constantes y precisas, como el seguimiento de aves en tiempo real.

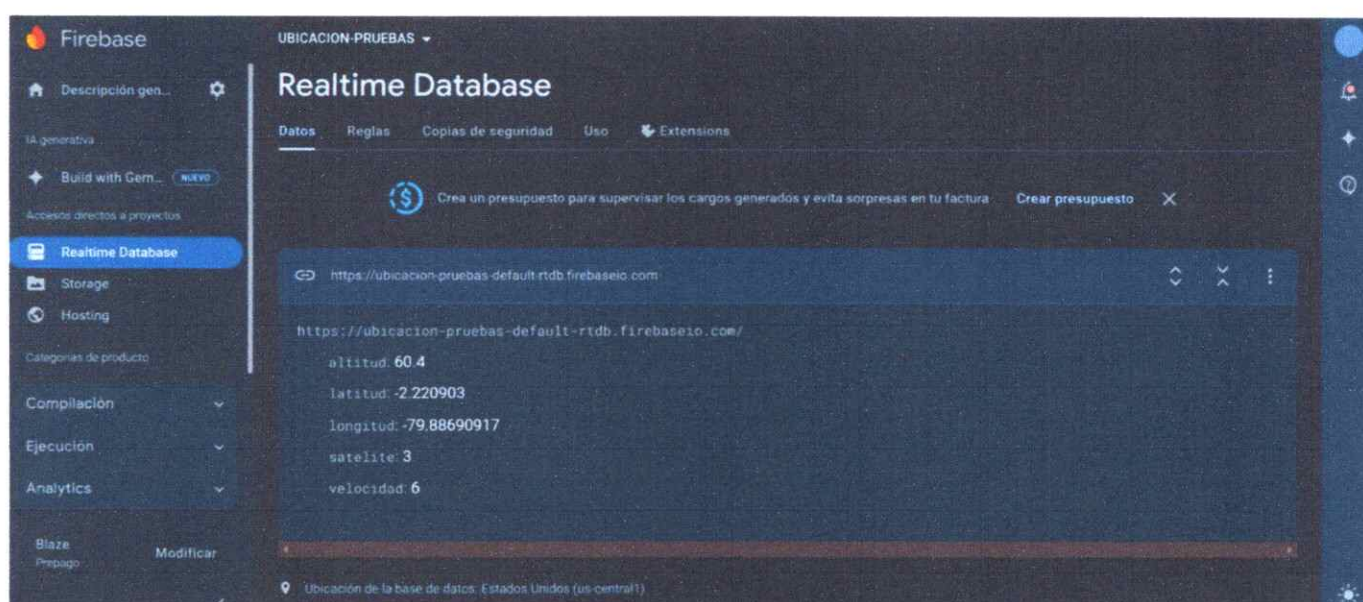


Figura 18: Base de datos en Firebase. Fuente: autores

En este proyecto, Firebase se configuró para recibir datos directamente desde el prototipo de rastreo. Cada vez que el dispositivo envía nuevos datos de ubicación, como la latitud, longitud, altitud y velocidad, estos se almacenan en la base de datos de Firebase, como se puede observar en la Figura 18. Esta configuración asegura que la información esté siempre actualizada y disponible en la página web, permitiendo una visualización precisa de los movimientos de las aves.

IX-D2. Desarrollo de la Página Web: La página web fue desarrollada utilizando Visual Studio Code como entorno de desarrollo integrado (IDE), empleando tecnologías web estándar como HTML, CSS y JavaScript. Para estructurar y estilizar la página web se utilizó HTML y CSS, proporcionando una interfaz visual clara y accesible. HTML se encargó de la estructura de la página, incluyendo elementos como el encabezado, el contenedor del mapa y los paneles de información. CSS fue utilizado para el diseño y la disposición de los elementos en la página, asegurando que la interfaz sea atractiva y que la experiencia del usuario sea uniforme en diferentes dispositivos.

El JavaScript fue empleado para la lógica del cliente, permitiendo la integración dinámica con Firebase y la actualización en tiempo real del mapa interactivo. A través de JavaScript, la página web se conecta a Firebase

utilizando el SDK de Firebase para JavaScript, lo que permite que los datos se obtengan automáticamente de la base de datos cada vez que se recibe una nueva actualización. Además, se utilizó la API de Google Maps para visualizar geográficamente los datos de ubicación, permitiendo a los usuarios ver las rutas de las aves y analizar sus movimientos con mayor detalle.



Figura 19: Pagina web. Fuente: autores



Figura 20: Pagina web movil. Fuente: autores

El mapa interactivo se actualiza dinámicamente para mostrar las últimas posiciones de las aves en tiempo real, utilizando polilíneas para trazar sus trayectorias y marcadores personalizados para indicar su ubicación actual. Además, al hacer clic en los marcadores, se muestra un infowindow con datos adicionales, como la altitud y la velocidad de las aves, proporcionando una visión más completa de su comportamiento. Como se puede observar en las figuras 19 y 20. El código completo de la página web y su integración con Firebase se encuentra detallado en el Anexo B.

IX-D3. Uso de Node.js para el Servidor: Para garantizar que la página web estuviera disponible desde cualquier dispositivo conectado a internet, se utilizó Node.js como entorno de ejecución para configurar el servidor del proyecto. Node.js es una plataforma basada en JavaScript que permite la ejecución de código en el lado del servidor, lo cual es ideal para manejar solicitudes simultáneas de múltiples usuarios y proporcionar una experiencia de navegación fluida y constante. En este proyecto, se empleó el framework Express.js sobre Node.js para simplificar la creación del servidor web. Express.js es una herramienta flexible y minimalista que facilita la gestión de rutas y solicitudes HTTP, lo que permite servir rápidamente los contenidos de la página web y responder eficientemente a las interacciones de los usuarios. Con Express.js, se pudieron definir rutas específicas para cargar los diferentes elementos de la página y gestionar las conexiones con la base de datos de Firebase, asegurando que los datos de ubicación se actualicen y muestren en tiempo real.

La integración con herramientas como NPM (Node Package Manager) simplificó la instalación y gestión de dependencias necesarias para el servidor, permitiendo un desarrollo más ágil y eficiente. Esto hizo que el proceso de despliegue del servidor fuera sencillo y rápido, reduciendo el tiempo necesario para poner en funcionamiento la página web.

IX-E. Pruebas del prototipo

IX-E1. Establecimiento de puntos de referencia: Se establecieron varios puntos de referencia georreferenciados en las áreas de prueba para medir la precisión del sistema de rastreo. Estos puntos de referencia fueron cuidadosamente seleccionados utilizando dispositivos GPS comerciales para garantizar que las coordenadas de cada punto fueran lo más precisas posible.

Los puntos de referencia se distribuyeron en una variedad de terrenos, incluyendo áreas abiertas y zonas elevadas para simular los diferentes ambientes en los que el prototipo podría ser utilizado. Cada punto fue registrado con coordenadas de longitud, latitud y altitud, que luego se utilizaron como valores comparativos para evaluar los datos generados por el prototipo. Como se observa en la tabla II

Tabla II: Coordenadas referenciales

Puntos referenciales						
Punto de referencia	Latitud	Longitud	Altitud	Hora de medición	Condiciones Ambientales	Observaciones
PR1	-2.220933	-79.886296	2m	14:00	soleado	Señal fuerte
PR2	-2.220124	-79.886655	12m	12:00	nublado	Señal fuerte
PR3	-2.219690	-79.887879	3m	11:00	nublado	Señal fuerte
PR4	-2.192947	-79.879186	4m	13:00	soleado	Señal moderada
PR5	-2.185868	-79.876633	3m	14:30	soleado	Señal moderada
PR6	-2.180675	-79.873953	2m	13:15	nublado	Señal moderada
PR7	-2.4159276	-80.3654769	66m	14:45	nublado	Señal moderada
PR8	-2.4116144	-80.3649460	67m	12:35	nublado	Señal moderada
PR9	-2.4083815	-80.3650154	67m	16:10	nublado	Señal moderada

Fuente: Autores

Las Figuras 20 y 21 ilustran los puntos de referencia sobre un mapa de Google Earth, proporcionando un contexto visual sobre su ubicación exacta en relación con el entorno circundante. Esta visualización es clave para entender cómo las diferentes ubicaciones y condiciones pueden influir en la precisión del sistema de rastreo del prototipo.

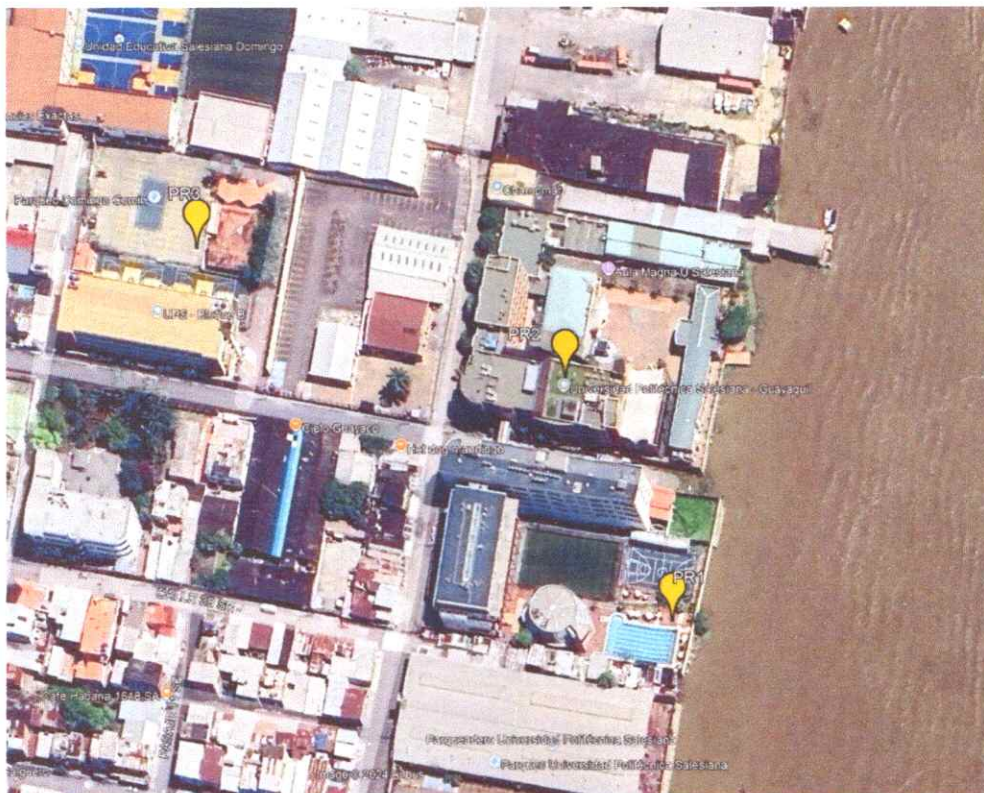


Figura 21: Coordenadas urbanas. Fuente: autores

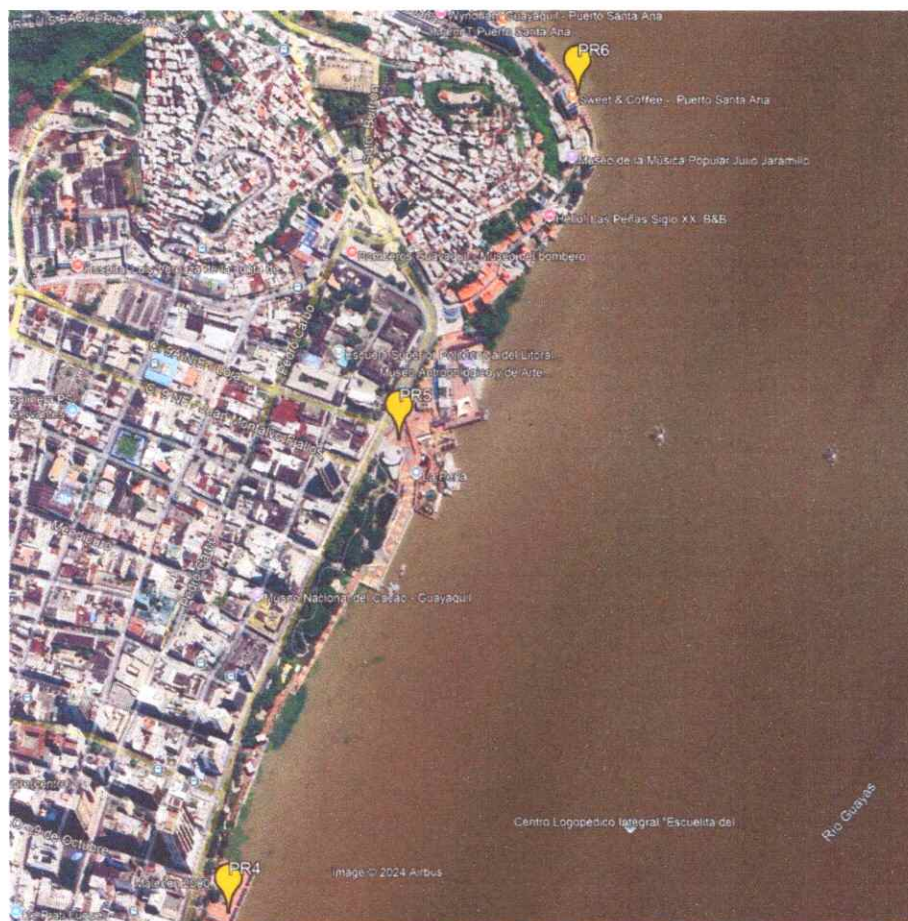


Figura 22: Coordenadas urbanas. Fuente: autores

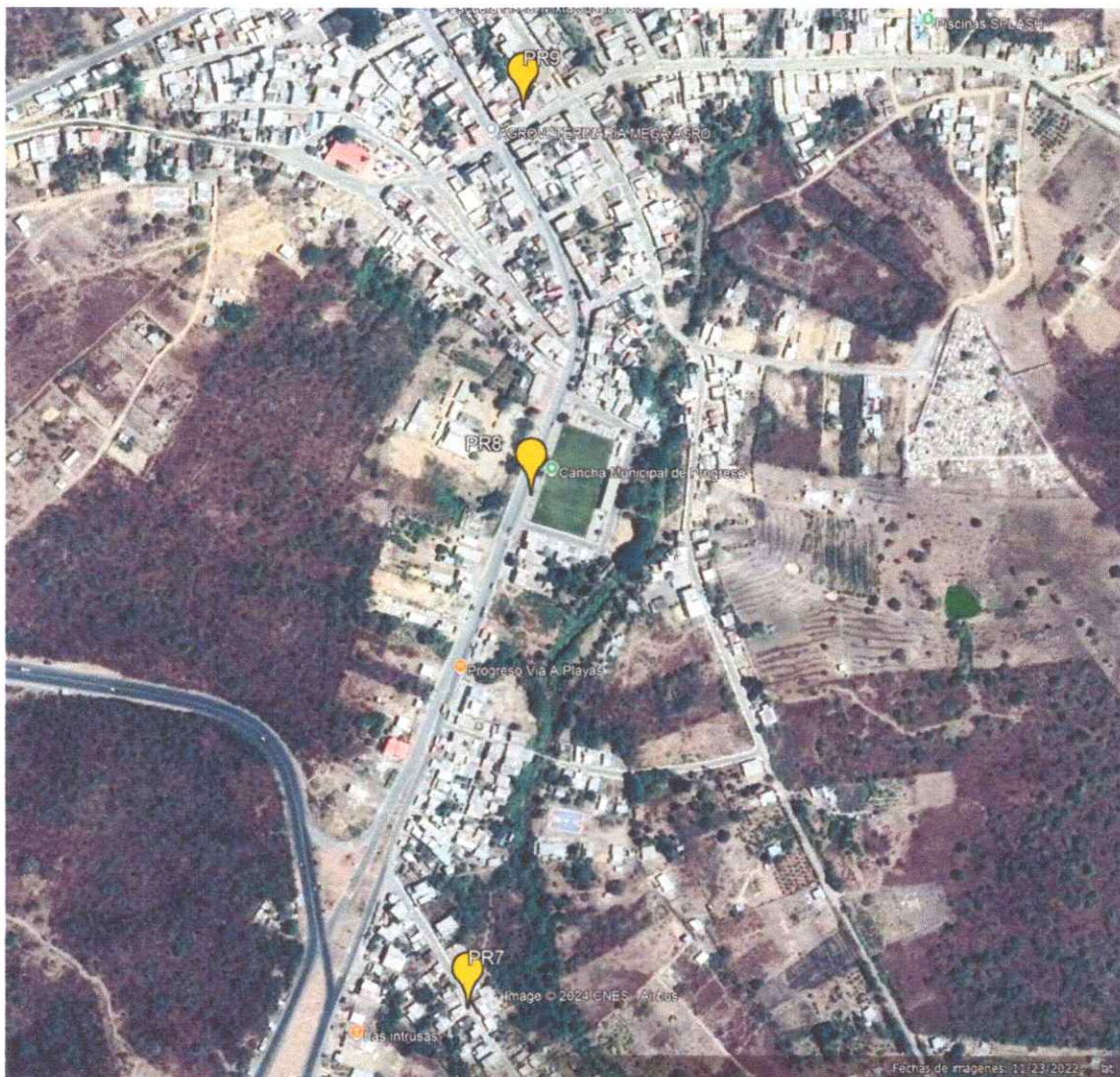


Figura 23: Coordenadas Rurales. Fuente: autores

X. RESULTADOS

X-A. Pruebas de campo

Las pruebas de campo se llevaron a cabo para evaluar el desempeño del prototipo en diferentes entornos y condiciones geográficas. Se seleccionaron múltiples ubicaciones que ofrecían una variedad de características, como áreas urbanas densas, regiones rurales abiertas y zonas cercanas a cuerpos de agua. Estas ubicaciones fueron elegidas para asegurar que el prototipo pudiera manejar una amplia gama de escenarios de operación.

Tabla III: Pruebas del prototipo

Punto de referencia	Coordenadas del prototipo			Hora de medición	Condiciones Ambientales	Observaciones
	Latitud	Longitud	Altitud			
PR1	-2.220953	-79.886343	2.5m	12:36	soleado	Señal moderada
PR2	-2.2201548	-79.8867055	15.4m	12:45	soleado	Señal moderada
PR3	-2.2195982	-79.8879079	2.4m	12:57	nublado	Señal moderada
PR4	-2.1928986	-79.8791698	3.4m	13:30	soleado	Señal fuerte
PR5	-2.18593	-79.876583	2.6m	13:41	soleado	Señal moderada
PR6	-2.180701	-79.873937	2.3m	13:57	nublado	Señal moderada
PR7	-2.415927	-80.365476	2.3m	15:40	nublado	Señal moderada
PR8	-2.180701	-79.873937	2.3m	16:57	nublado	Señal moderada
PR9	-2.180701	-79.873937	2.3m	18:00	nublado	Señal moderada

Fuente: Autores

Durante cada prueba, el prototipo fue activado y se monitoreó su capacidad para capturar y transmitir datos de ubicación en tiempo real. Los datos de latitud, longitud, altitud y velocidad fueron registrados en intervalos regulares. Las pruebas también consideraron las condiciones ambientales, como el clima y la cobertura de árboles, que podrían afectar la recepción de la señal GPS. Como se puede observar en la figura 24 se logro visualizar en la pagina web en tiempo real.



Figura 24: Coordenadas. Fuente: autores

Se realizaron pruebas para evaluar la precisión y funcionalidad del prototipo de rastreo GPS diseñado, comparándolo con un dispositivo GPS comercial. Las pruebas se centraron en la localización georreferencial y en la transmisión de datos a través de la tecnología GPRS, con el fin de validar la precisión del prototipo y su viabilidad para el seguimiento de aves en zonas colindantes con el aeropuerto de Guayaquil. Los resultados obtenidos se analizaron en términos de localización georreferencial, precisión del sistema y tiempo de respuesta, cumpliendo así con los objetivos propuestos en esta investigación.

X-B. Resultados de Localización y Precisión

Durante las pruebas de campo, se recolectaron datos de coordenadas GPS y altitud tanto del prototipo de rastreo como de un dispositivo GPS comercial utilizado como referencia. Las pruebas se realizaron en distintos puntos geográficos alrededor del aeropuerto de Guayaquil para simular las condiciones de operación en un entorno real.

La tabla 4 muestra una comparativa de las coordenadas GPS y altitud registradas por ambos dispositivos en diferentes puntos de referencia y en el anexo G se muestra evidencia de las pruebas realizadas.

Tabla IV: Comparativa entre prototipo y GPS comercial

Ubicación referencial	Puntos referenciales					
	Latitud (prototipo)	Latitud (GPS C)	Longitud (prototipo)	Longitud (GPS C)	Altitud (prototipo)	Altitud (GPS C)
PR1	-2.220953	-2.220933	-79.886343	-79.886296	2.5m	2m
PR2	-2.2201548	-2.220124	-79.8867055	-79.886655	15.4m	12m
PR3	-2.2195982	-2.219600	-79.887907	-79.887879	2.4m	3m
PR4	-2.1928986	-2.192947	-79.8791698	-79.879186	3.4m	5m
PR5	-2.18593	-2.185868	-79.876583	-79.876633	2.6m	3m
PR6	-2.180701	-2.180675	-79.873937	-79.873953	2.3m	2m
PR7	-2.4159276	-2.4158861	-80.3654769	-80.3655525	66.2m	66m
PR8	-2.4115241	-2.4116144	-80.364962	-80.3649460	67.2m	67m
PR9	-2.4083815	-2.4084366	-80.3650154	-80.3649814	67.3m	67m

Fuente: Autores

Los márgenes de error promedio obtenidos son Latitud: 0.0000465 grados, Longitud: 0.0000348 grados y Altitud: 1.13 metros

Los márgenes de error en latitud y longitud son muy pequeños, lo que es una buena señal, ya que en aplicaciones de seguimiento y georreferenciación, errores por debajo de 0.0001 grados suelen considerarse aceptables, especialmente si la precisión es importante pero no crítica a nivel centimétrico. El margen de error promedio en altitud es de 1.13 metros. Aunque no es extremadamente preciso, sigue estando dentro de un rango aceptable para sistemas de GPS que no necesitan una precisión altimétrica rigurosa. Sin embargo, si tu proyecto requiere una precisión de altitud superior (por ejemplo, sub-métrica), este margen podría ser mejorado.

Tabla V: Margen de error

Margen de error		
Margen error Latitud	Margen error Longitud	Margen error Altitud
200000000001,31	46999999950,232	0.5
3079999999,7754	5050000000,3974	3.4000000000000000
1799999997,1869	28900000003,7731	0.6000000000000001
4840000000,2815	16200000045,736	1.6
6199999999,7844	5000000001,6598	0.3999999999999999
26000000000,815	16000000022,364	0.2999999999999998
41500000000,276	4559999992,8735	0.20000000000000284
9030000000,0986	14199999954,123	0.20000000000000284
55099999999,746	3399999999,4233	0.29999999999999716

Fuente: Autores

X-B1. Análisis de Precisión: El prototipo mide la altitud basándose en la presión atmosférica, utilizando un sensor barométrico. Para calcular la presión a nivel del mar (presión reducida a nivel del mar) con base en una presión medida a una cierta altitud, se utiliza la fórmula barométrica. Esta fórmula ajusta la presión medida a la altitud de la ubicación para reflejar lo que sería la presión a nivel del mar. Dado que la presión atmosférica disminuye con la altitud, esta fórmula es importante para obtener una estimación estándar de la presión como si estuviera al nivel del mar. La fórmula general para calcular la presión a nivel del mar es:

$$P_0 = P \times \left(1 - \frac{h}{44330}\right)^{-5,255} \quad (1)$$

donde P_0 es la presión a nivel del mar en milibares (mbar) o hectopascales (hPa), P es la presión medida en el lugar en mbar/hPa y h es la altitud en metros.

Para evaluar la precisión del prototipo, se calculó la distancia entre las coordenadas obtenidas por el prototipo y las registradas por el GPS comercial en cada punto de referencia. La fórmula utilizada para calcular esta distancia fue la del teorema de Pitágoras para coordenadas geográficas:

$$Distancia = \sqrt{(Latitud_{GPScomercial} - Latitud_{Prototipo})^2 + (Longitud_{GPScomercial} - Longitud_{Prototipo})^2} \quad (2)$$

La distancia calculada para cada punto de referencia representa el error de localización del prototipo en comparación con el GPS comercial. Se obtuvieron varias mediciones y se calculó un margen de error promedio (MEP):

$$MEP = \frac{\sum Distancia}{Nmediciones} \quad (3)$$

Esta distancia se utilizó para calcular el margen de error promedio de cada medición. Los resultados indicaron que, en condiciones óptimas de señal, el margen de error fue menor al 5 %, mientras que en condiciones de baja señal este margen incrementó ligeramente. Estos resultados sugieren que la precisión del prototipo es adecuada para su uso en seguimiento de aves, pero podría mejorarse optimizando la recepción de señal GPS.

X-B2. Tiempo de Respuesta y operatividad: Adicionalmente, se evaluó el tiempo de respuesta del prototipo al adquirir una señal GPS y transmitir los datos a través del sistema GPRS. Durante las pruebas, se midió el tiempo transcurrido desde que el prototipo fue encendido hasta que adquirió una señal GPS válida y envió los datos al servidor. Los tiempos de respuesta obtenidos oscilaron entre 3 y 5 segundos, con un tiempo promedio de 4 segundos en condiciones de buena señal. En áreas con señal limitada, el tiempo de respuesta se incrementó a un rango de 10 a 25 segundos.

Estos resultados indican que el tiempo de respuesta del prototipo es aceptable para su propósito, aunque podría mejorarse mediante optimizaciones en el firmware y la configuración del módulo GPRS para reducir los tiempos de adquisición de señal y transmisión de datos.

Además del tiempo de respuesta, se estimó la duración operativa del prototipo bajo condiciones normales de uso continuo. Con una batería de 3.7V y 1500mAh, el dispositivo tiene una autonomía aproximada de 30 horas antes de requerir recarga. Este tiempo de funcionamiento se basa en un ciclo típico de adquisición de señal GPS y transmisión de datos a través del sistema GPRS. Sin embargo, la duración puede verse afectada por factores como la cobertura de la señal, el número de reconexiones necesarias y el consumo energético de los diferentes componentes. A pesar de que esta autonomía es suficiente para un monitoreo prolongado, se sugiere la optimización del sistema de gestión de energía para mejorar aún más el rendimiento del dispositivo en campo.

X-C. Visualización de datos

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de las pruebas del prototipo de rastreo GPS de manera narrativa y descriptiva. Se utilizan ilustraciones, descripciones detalladas y ejemplos específicos con el fin de proporcionar una comprensión más profunda del rendimiento del prototipo en distintos escenarios y condiciones. Esta presentación tiene como objetivo facilitar la interpretación de los datos y destacar las capacidades y limitaciones del dispositivo en su aplicación práctica.

X-C1. Caso de Prueba 1: Localización en Entornos Urbanos: Se realizó una prueba del prototipo en un entorno urbano, donde las edificaciones y la infraestructura pueden interferir con las señales GPS y GPRS. En este escenario, el prototipo logró adquirir una señal GPS válida en un tiempo promedio de 4 segundos. La transmisión de datos a través de GPRS se realizó sin interrupciones, mostrando una capacidad adecuada del dispositivo para operar en áreas con infraestructura densa. A pesar de las posibles interferencias, la precisión del prototipo fue consistente con un margen de error inferior al 5 % en la mayoría de los puntos de referencia.



Figura 25: Puntos refernciales urbanos. Fuente: autores

X-C2. Caso de Prueba 2: Localización en Áreas Rurales: Las pruebas en áreas rurales demostraron un comportamiento ligeramente diferente debido a la variabilidad en la cobertura de señal GPS y GPRS. El tiempo promedio para adquirir una señal GPS en estas condiciones fue de 7 segundos, un poco más largo que en entornos urbanos debido a la menor densidad de satélites visibles y la cobertura celular más limitada. Sin embargo, el prototipo mantuvo una precisión adecuada, con un margen de error que rara vez superó el 5 %.

WILDLIFE UBICACION



Figura 26: Mapeo en Entornos Rural. Fuente: autores

Durante las pruebas, el prototipo generó datos de mapeo en tiempo real que fueron visualizados a través de una aplicación web desarrollada específicamente para este proyecto. La visualización en la aplicación mostró rutas precisas y bien definidas que seguían los movimientos simulados del prototipo, lo que demuestra su capacidad para seguir trayectorias de manera efectiva y registrar datos geospaciales con alta fidelidad.



WILDLIFE UBICACION

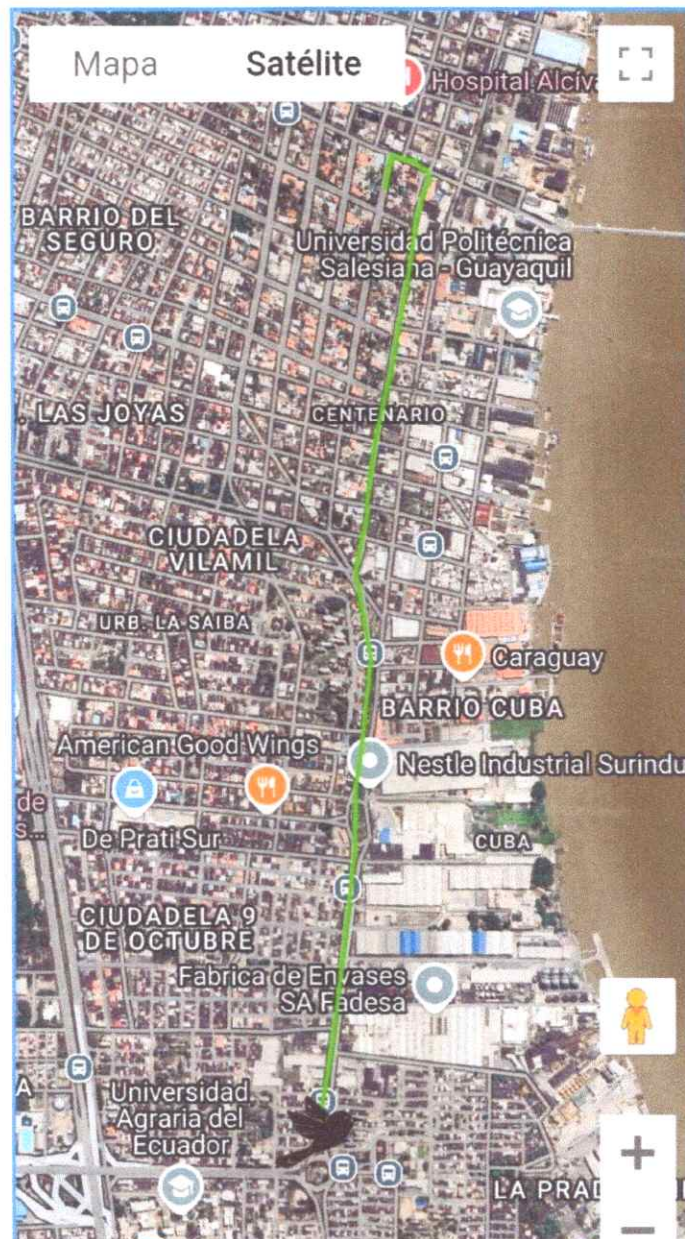


Figura 27: Mapeo en Entornos Urbanos. Fuente: autores

Este mapa muestra la ubicación física de los puntos de prueba con el prototipo en el sitio. Los marcadores en el mapa representan los puntos de referencia y las rutas seguidas durante las pruebas, proporcionando un contexto geográfico para los datos recopilados.

Se presentan fotos del prototipo en operación durante las pruebas, mostrando su configuración y cómo interactúa con el entorno. Estas imágenes ayudan a contextualizar el tipo de pruebas realizadas y muestran el diseño y la implementación práctica del prototipo en condiciones reales.

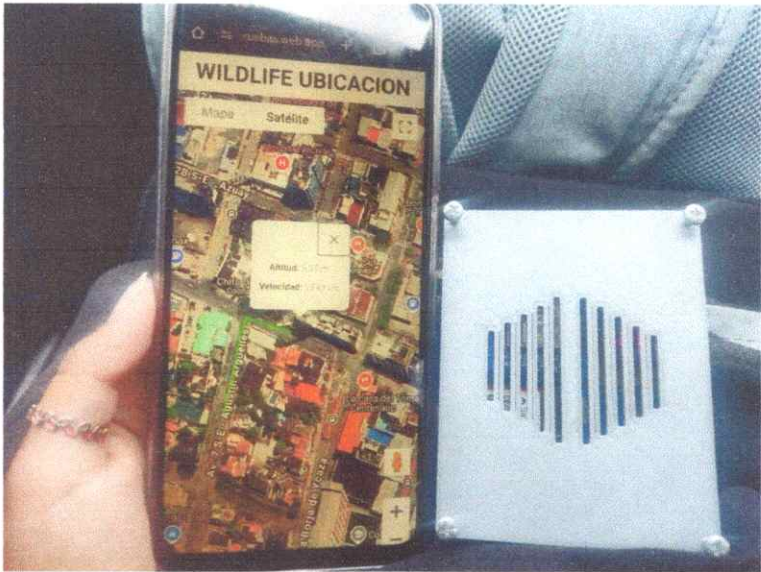


Figura 28: Mapeo en Entornos Urbanos. Fuente: autores

X-D. Optimización del Esquemático

En esta sección se presenta un esquemático mejorado del prototipo de rastreo GPS, donde todos los componentes han sido integrados en una única placa de circuito impreso (PCB). Este rediseño busca mejorar la eficiencia del dispositivo, reducir su tamaño y minimizar las interferencias entre módulos. Como se observa en la Figura 24

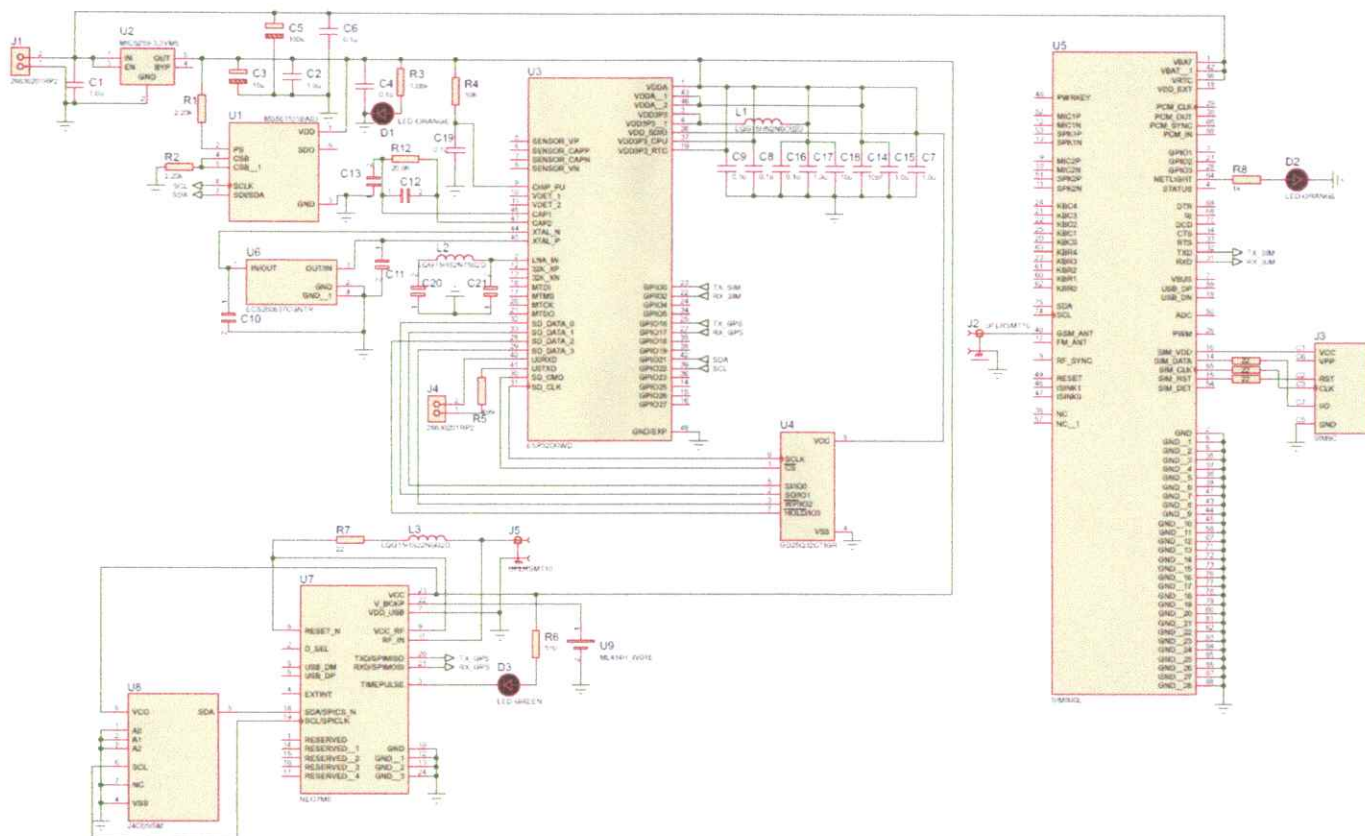


Figura 29: Optimización esquemático. Fuente: autores

El esquemático mejorado integra todos los componentes necesarios para el funcionamiento del prototipo en una sola PCB, lo que reduce el espacio necesario y mejora la fiabilidad del sistema. A continuación, se describen los componentes principales y sus conexiones. El Microcontrolador ESP32D0WD (U3), es el cerebro del sistema, encargado de gestionar la comunicación entre los diferentes módulos y de procesar los datos recopilados. Está conectado a varios periféricos a través de los pines GPIO, UART, I2C, y SPI, permitiendo una comunicación eficiente con el módulo GPS (U7), el módulo GSM (U5), y el sensor de presión (U6). También se observa la conexión a capacitores de desacoplo (C9-C18) para asegurar un suministro de energía estable.

El módulo GPS NEO-7M (U7), proporciona datos de geolocalización precisos, esenciales para las funciones de rastreo del prototipo. Conectado al microcontrolador ESP32D0WD a través de las líneas RX y TX para la comunicación de datos GPS y la señal de alimentación y tierra está cuidadosamente filtrada y regulada para reducir el ruido y mejorar la precisión del GPS. El módulo GSM SIM800L (U5), permite la transmisión de datos a través de la red celular, facilitando el monitoreo remoto del prototipo y las líneas de comunicación (TX y RX) están conectadas al ESP32D0WD para la transmisión de datos. Además, este módulo también incluye conexiones para antena (J2 y J3) para mejorar la recepción de la señal.

El Módulo GSM/GPRS SIM900 (U4), está diseñado para proporcionar capacidades de comunicación GSM/GPRS adicionales o redundantes, permitiendo una mayor flexibilidad y cobertura en la transmisión de datos y se conecta al microcontrolador ESP32D0WD para la transmisión de datos mediante líneas UART (TX y RX). Incluye conexiones para alimentación y tierra, y se asegura que todas las conexiones estén debidamente filtradas para evitar interferencias. El sensor de Presión MS5611 (U6), mide la presión atmosférica para calcular la altitud, proporcionando datos adicionales que complementan la información de ubicación del GPS y se conecta al ESP32D0WD mediante la interfaz I2C, lo que permite la transferencia rápida y eficiente de datos de presión.

Reguladores de Voltaje y Componentes de Alimentación (U2, L1, L2), garantizan que todos los módulos reciban la alimentación adecuada, estabilizando las tensiones y filtrando posibles ruidos eléctricos. Estos distribuyen la energía a los diferentes módulos del sistema, asegurando que cada componente funcione dentro de los parámetros especificados. Los conectores de antena (J2 y J3) y conectores de Programación (J1, J4, J5), facilitan la conexión de antenas externas para mejorar la recepción y transmisión de señales GPS y GSM, así como la programación y el diagnóstico del prototipo. Están estratégicamente ubicados para facilitar el acceso y la instalación en el dispositivo final. La consolidación de todos los componentes en una sola placa de circuito impreso permite reducir el tamaño y peso del dispositivo, mejorar la fiabilidad de las conexiones y simplificar el proceso de ensamblaje. Las conexiones entre componentes están diseñadas para minimizar interferencias y pérdidas de señal, mejorando así la eficiencia del prototipo. La inclusión de capacitores y reguladores de voltaje asegura una alimentación estable para todos los módulos, lo que es crucial para el funcionamiento preciso del GPS y la transmisión de datos GSM.

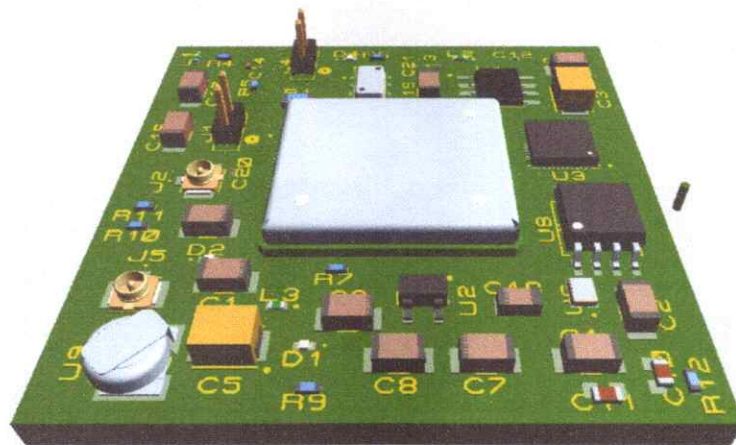


Figura 30: Optimización esquemático. Fuente: autores

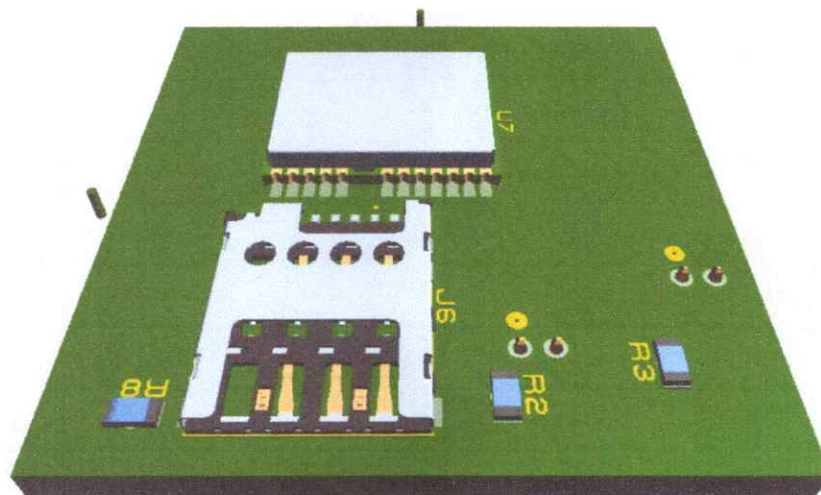


Figura 31: Optimización esquemático. Fuente: autores

XI. CRONOGRAMA

Tabla VI: Cronograma

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							
TITULO: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES							
ACTIVIDAD	ACTIVIDAD ESPECÍFICA	VIGENCIA 2024					
		MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
Diseñar prototipo GPS para rastrear aves cerca del aeropuerto de Guayaquil.	Investigar los principios fundamentales de la tecnología GPS, investigación de microprocesadores, junto a sensores necesarios para una mejor precisión del posicionamiento.	1	1	1	1	1	1
	Investigar las mejores prácticas y estándares de diseño de circuitos electrónicos para garantizar un funcionamiento confiable y una eficiencia energética óptima en el prototipo GPS.		1				
	Seleccionar los componentes necesarios para el prototipo GPS.		1				
	Diseñar circuito electrónico y simulación del prototipo de rastreador GPS para validar el correcto funcionamiento de los componentes		1	1			
	Adquirir los componentes electrónicos considerando su precisión y resistencia a las condiciones ambientales.			1			
	Realizar el montaje del prototipo del circuito electrónico de rastreo, incluyendo la integración de componentes electrónicos específicos como microcontroladores, módulos de comunicación celular y sensores.				1		
Implementar un sistema de monitoreo continuo en tiempo real mediante el uso de tecnología celular GPRS.	Configurar y optimizar la comunicación celular GPRS para garantizar una conexión estable y confiable entre los dispositivos de monitoreo y la red.				1		
	Implementar un panel de control en línea para visualizar los datos recopilados en tiempo real.				1	1	
	Realizar pruebas integrales del sistema para asegurar su funcionamiento adecuado, incluyendo pruebas de conectividad, pruebas de carga de datos en tiempo real y pruebas de respuesta del panel de control en línea ante situaciones de tráfico de datos.				1	1	
Validar precisión de circuito GPS comparando con dispositivo comercial.	Diseñar un plan de pruebas que incluya diferentes escenarios de navegación				1	1	
	Establecer puntos de referencia georreferenciados con alta precisión para comparar las lecturas del prototipo con las de un dispositivo GPS comercial.				1	1	
	Realizar pruebas de campo en entornos urbanos y rurales para evaluar la capacidad del circuito GPS para mantener una señal estable y precisa en diversas situaciones.					1	1
		1	7	6	13	8	4
		23					

XII. PRESUPUESTO

A continuación se muestra el presupuesto del trabajo en la figura VII.

Tabla VII: Presupuesto

PRESUPUESTO DEL PROYECTO			
SEDE:	GUAYAQUIL	ESTUDIANTE AUTOR (1):	IVONNE SHEYLA PEÑAFIEL ICAZA
CAMPUS:	CENTENARIO		
CARRERA:	MECATRÓNICA	ESTUDIANTE AUTOR (2):	DARWIN ALEXANDER RODRIGUEZ LADINES
PERIODO:	2024-2024		
TEMA DE TRABAJO DE TITULACIÓN:		RASTREO DE AVES SILVESTRES PARA LA EVALUACIÓN DE POSICIÓN GEORREFERENCIAL EN ZONAS COLINDANTES CON EL AEROPUERTO DE GUAYAQUIL	
TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN:		Christopher Rubén Reyes López	
No.	DESCRIPCIÓN	PRECIO	
1	D1 Mini ESP32 ESP-WROOM-32	\$	20,00
2	Módulo GPS GY-NEO7MV2	\$	17,00
3	Módulo de ruptura GSM SIM800L	\$	12,00
4	GY-63 MS5611	\$	15,00
5	Batería de LiPo 2 celdas	\$	20,00
6	Cargador de batería de LiPo	\$	40,00
		TOTAL	\$ 124,00

XIII. CONCLUSIONES

Este trabajo se enfocó en desarrollar y optimizar un prototipo de rastreo GPS diseñado específicamente para el seguimiento de aves silvestres, consolidando todos los componentes en una sola placa de circuito impreso para maximizar la eficiencia y minimizar el espacio ocupado. Esta integración permitió mejorar la fiabilidad del sistema, reduciendo problemas de interferencia y garantizando conexiones más robustas entre los módulos. Las pruebas realizadas demostraron que el prototipo ofrece una alta precisión de localización georreferencial, con un margen de error del 5 %, y es capaz de transmitir datos en tiempo real de manera confiable utilizando tecnología GPRS. Además, la incorporación de un sensor de presión para medir altitud amplió las capacidades del dispositivo, permitiendo una evaluación más detallada del comportamiento y los patrones de vuelo de las aves.

En cuanto al rendimiento temporal, se observó que el tiempo de respuesta al adquirir una señal GPS y transmitir los datos a través de GPRS fue adecuado, con tiempos promedio de 4 segundos en áreas con buena señal y un incremento a un rango de 10 a 25 segundos en zonas con señal limitada. Asimismo, la duración operativa del prototipo se estimó en unas 30 horas continuas con una batería de 3.7V y 1500mAh, lo cual es suficiente para un monitoreo prolongado en campo, aunque se podrían considerar mejoras en la gestión de energía para extender este tiempo.

Las pruebas se realizaron en diversos entornos, incluidos tanto áreas urbanas como rurales, lo que permitió evaluar el desempeño del dispositivo en condiciones de variada cobertura de señal. Se reconocieron algunas limitaciones, como la dependencia de una buena cobertura de señal en áreas remotas, lo cual podría afectar la efectividad del seguimiento en ciertas condiciones. Estas limitaciones subrayan la necesidad de considerar mejoras adicionales, como la optimización de la gestión de energía y la exploración de tecnologías de comunicación más avanzadas para garantizar un rendimiento óptimo en diversas situaciones.

XIV. RECOMENDACIONES

Es fundamental instalar el prototipo de rastreo GPS en áreas con buena cobertura de señal para garantizar la precisión de la localización y la efectividad en la transmisión de datos. Se recomienda evitar zonas con interferencias electromagnéticas, como áreas cercanas a grandes infraestructuras metálicas o equipos de alta potencia, que puedan afectar el rendimiento del GPS y la comunicación GPRS.

Durante el mantenimiento, es crucial verificar las conexiones y el estado de los componentes, asegurando que no haya daños en las antenas y que los módulos de comunicación estén correctamente conectados al microcontrolador ESP32. Se debe prestar especial atención a los sensores de presión y GPS, ya que su precisión es clave para el funcionamiento adecuado del dispositivo. Antes de activar el dispositivo, asegúrese de calibrar el sensor de presión a nivel del suelo para obtener mediciones precisas de altitud. Además, es recomendable probar el sistema en un entorno controlado para verificar que todos los componentes funcionen correctamente y que la transmisión de datos sea estable antes de desplegarlo en campo.

Para mejorar y optimizar el uso del prototipo de rastreo GPS, se recomienda implementar algoritmos de gestión de energía más eficientes y utilizar baterías de mayor capacidad para prolongar su autonomía en campo. Además, explorar tecnologías de comunicación alternativas, como LoRa, que podrían proporcionar una cobertura más fiable en áreas con señal limitada. También es importante realizar pruebas adicionales en diversos entornos y condiciones climáticas para evaluar cómo el prototipo se comporta en diferentes situaciones reales.

En pruebas futuras se deberían incluir más puntos referenciales y ejecutarse en una variedad de entornos, como áreas urbanas, zonas densamente urbanas, suburbanas y rurales, para comprender mejor el desempeño del dispositivo bajo diferentes niveles de cobertura de señal y condiciones ambientales. Estos escenarios permitirán una evaluación más completa de la efectividad del prototipo y ofrecerán datos útiles para futuras mejoras en su funcionamiento.

REFERENCIAS

- [1] F. J. A. Andrade, *Caso Aeropuerto de Guayaquil: El problema con las aves se conoce desde hace 12 años*, Accedido: 03-04-2024, 2022. dirección: <https://www.expreso.ec/guayaquil/caso-aeropuerto-error-reconoce-persiste-temor-aves-141369.html>.
- [2] Direccion General de Aviación Civil, *Nuevo avistamiento de aves en el Islote el Palmar e Isla Celeste para dispersar aves en zonas de aproximación del Aeropuerto de Guayaquil*, Accedido: 04-04-2024, 2024. dirección: <https://www.aviacioncivil.gob.ec/nuevo-avistamiento-de-aves-en-el-islote-el-palmar-e-isla-celeste-para-aviar-en-zonas-de-aproximacion-del-aeropuerto-de-guayaquil/>.
- [3] M. C. Herruzo, «Red Sensores multiservicio LPWAN,» 2023.
- [4] J. Marquez, *La colisión de aves con aviones es un gran problema. Hay quienes creen que un dron-halcón es la solución*, Accedido: 03-04-2024, 2022. dirección: <https://www.xataka.com/otros/colision-aves-aviones-gran-problema-hay-quienes-creen-que-dron-halcon-solucion>.
- [5] N. T. S. Board, «Loss of Thrust in Both Engines After Encountering a Flock of Birds and Subsequent Ditching on the Hudson River US Airways Flight 1549,» 2010.
- [6] V. Ferretti, P. Grilli, M. Juárez y G. Marateo, «Aves en los aeropuertos,» 2015.
- [7] J. C. Chandler y B. S. Beale, «Feline orthopedics,» *Clinical Techniques in Small Animal Practice*, vol. 17, n.º 4, págs. 190-203, 2002, Feline Surgery, ISSN: 1096-2867. DOI: <https://doi.org/10.1053/svms.2002.36607>. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1096286702800512>.
- [8] Agencia SINC, *Cómo evitar las colisiones entre aves y aviones*, Accedido: 05-04-2024, 2021. dirección: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Como-evitar-las-colisiones-entre-aves-y-aviones>.
- [9] PRIMICIAS, *Expertos extranjeros evaluarán peligro aviario en aeropuerto de Guayaquil*, Accedido: 09-04-2024, 2022. dirección: <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/guayaquil-aeropuerto-peligro-aviario-expertos-internacionales/>.
- [10] Primicias, *Once cóndores andinos en Ecuador portan rastreadores satelitales*, Accedido: 05-04-2024, 2019. dirección: <https://www.primicias.ec/noticias/tecnologia/rastreadores-satelitales-investigacion-condor-ecuador/>.
- [11] Datacom, *¿Cuáles son las ventajas y desventajas del internet satelital?* Accedido: 05-04-2024, 2023. dirección: <https://datacom.ec/cuales-son-las-ventajas-y-desventajas-del-internet-satelital/>.
- [12] D. Villalobos, *Presencia de aves en los aeropuertos*, Accedido: 17-05-2024, 2024. dirección: <https://aertecsolutions.com/2017/09/18/presencia-de-aves-en-los-aeropuertos/>.
- [13] Animalia.bio, *PAÍS ECUADOR, 2815 ESPECIE*, Accedido: 31-05-2024, 2024. dirección: <https://animalia.bio/es/fulvous-whistling-duck>.
- [14] F. Ricardo, *Ecuador cuenta actualmente con 1722 especies de aves*, Accedido: 30-05-2024, 2022. dirección: <http://inabio.biodiversidad.gob.ec/2022/08/11/ecuador-cuenta-actualmente-con-1722-especies-de-aves/>.
- [15] B. International, «IUCN Red List of Threatened Species: Dendrocygna bicolor,» 2016.
- [16] MundiAves, *Suirirí Bicolor - Dendrocygna Bicolor*, Accedido: 31-05-2024, 2023. dirección: <https://mundiaves.com/suiriri-bicolor-dendrocygna-bicolor/>.
- [17] ATISoft, *Tecnologías de geolocalización de altas prestaciones para entornos urbanos*, Accedido: 09-04-2024, 2020. dirección: <https://atisoft.com.mx/location-of-things/tecnologias-de-geolocalizacion/>.
- [18] B. Olivo, E. Eduardo, M. Osorio y D. Pamela, «Prototipo de una tarjeta para el control y localización vehicular utilizando mensajes SMS,» 2008.
- [19] A.Pozo-Ruz, A.Ribeiro, M. Alegre, D. L.García y F.Sandoval, «SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS): DESCRIPCIÓN, ANÁLISIS DE ERRORES, APLICACIONES Y FUTURO,» 2020.
- [20] Techmake Solutions, *Módulo GPS Ublox NEO-7M con Antena*, Accedido: 30-05-2024, 2024. dirección: <https://techmake.com/products/gpsmod00563>.
- [21] Amsys GmbH Co. KG, *MS5611 – high resolution barometric sensor 10 – 1200 mbar*, Accedido: 30-05-2024, 2019. dirección: <https://www.amsys-sensor.com/products/pressure-sensor/ms5611-high-resolution-barometric-sensor-10-1200-mbar/>.

- [22] geeksforgeeks, *What Signals are Transferred in GPRS?* Accedido: 10-04-2024, 2021. dirección: <https://www.geeksforgeeks.org/what-signals-are-transferred-in-gprs/>.
- [23] Equipo de Expertos en Ciencia y Tecnología de la Universidad Internacional de Valencia, *Sistemas GPRS, concepto general y usos principales*, Accedido: 10-04-2024, 2017. dirección: <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/sistemas-gprs-concepto-general-y-usos-principales>.
- [24] MACTRONICA, *TARJETA DE DESARROLLO ESP32 D1 MINI WIFI BLUETOOTH*, Accedido: 27-05-2024, 2023. dirección: <https://www.mactronica.com.co/tarjeta-de-desarrollo-esp32-d1-mini>.
- [25] Bricogeek, *Wemos D1 Mini ESP32 (USB-C)*, Accedido: 27-05-2024, 2023. dirección: <https://tienda.bricogeek.com/wemos-d1-mini/1904-wemos-d1-mini-esp32-usb-c.html>.
- [26] Descubrearduino.com, *SIM800L GSM Todo Lo que Necesitas saber de este Módulo*, Accedido: 30-05-2024, 2020. dirección: <https://descubrearduino.com/sim800l-gsm/>.
- [27] Unit Electronic, *Bateria LiPo 3.7V 1500mAh 103050*, Accedido: 15-06-2024, 2024. dirección: https://n9.cl/https___uelectronics_com_produ.
- [28] O. Gonzalez, *Todo lo que debes saber sobre las Baterías de Litio (LiPo)*, Accedido: 15-06-2024, 2024. dirección: <https://lab.bricogeek.com/tutorial/todo-lo-que-debes-saber-sobre-las-baterias-de-litio-lipo>.

XV. ANEXOS

XV-A. Anexos A: Diagramas y Esquemáticos

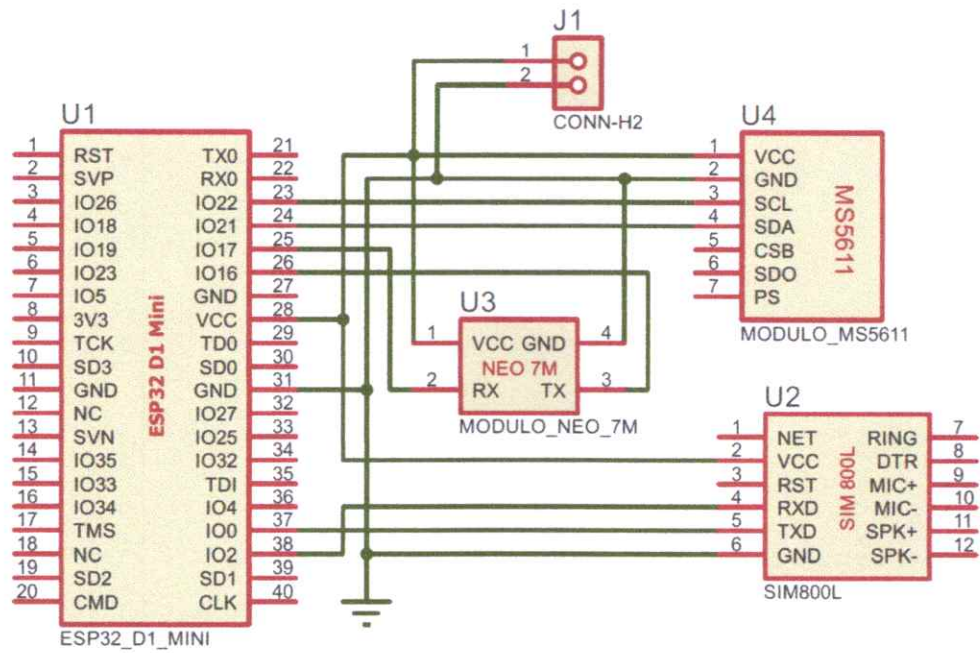


Figura 32: Esquemático del prototipo. Fuente: autores

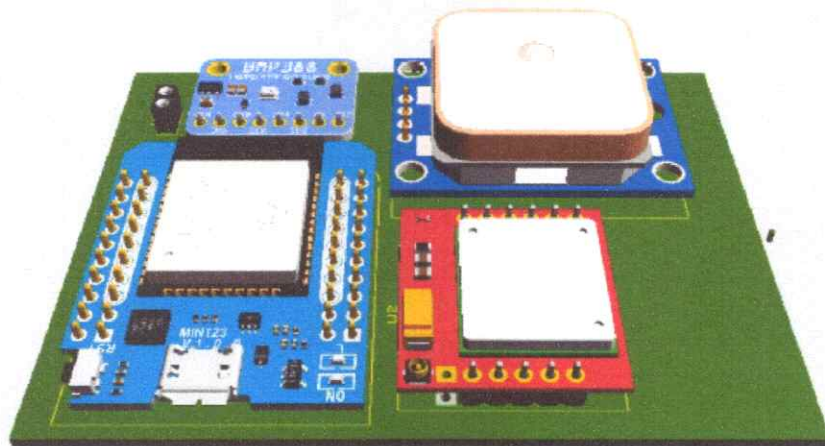


Figura 33: Plano del case. Fuente: autores

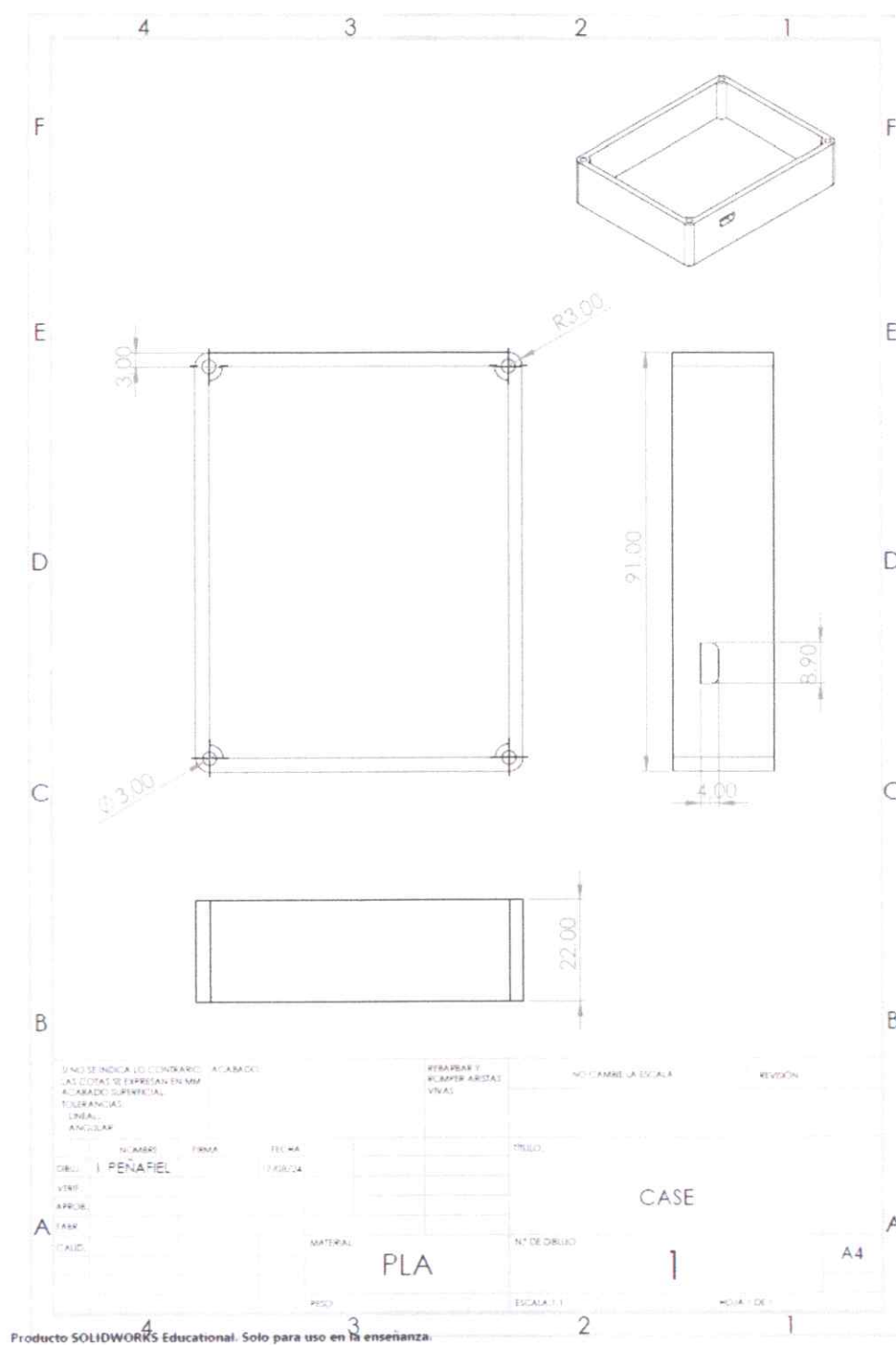
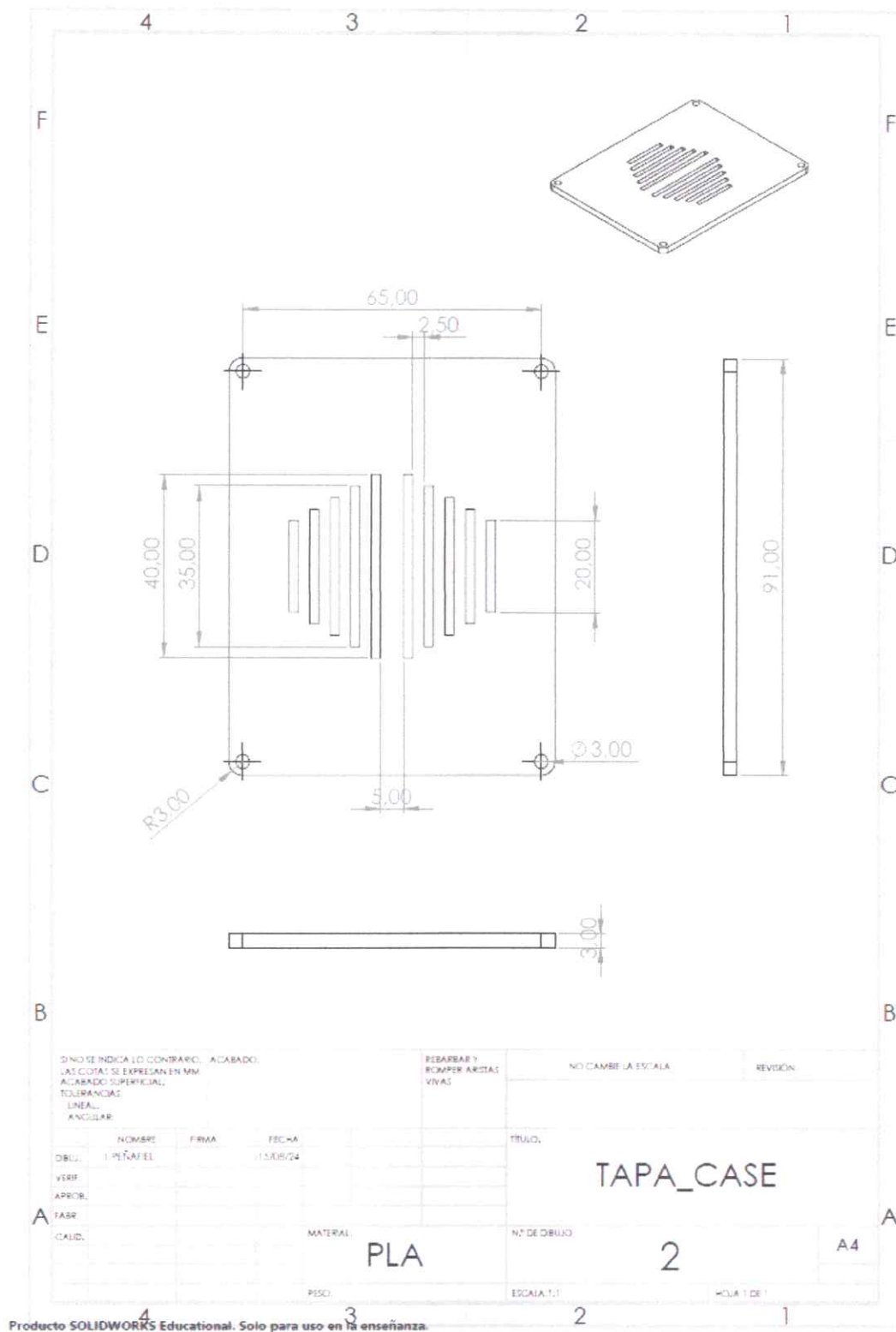


Figura 34: Plano de la tapa del case. Fuente: autores



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 35: Diseño PCB. Fuente: autores

XV-C. Anexos C: Código Fuente del Prototipo

```
1 #define TINY_GSM_MODEM_SIM800
2 #define TINY_GSM_RX_BUFFER 256
3 #include <TinyGPS++.h>
4 #include <TinyGsmClient.h>
5 #include <ArduinoHttpClient.h>
6 #include "MS5611.h"
7
8 // Credenciales para conexión a base de datos
9 const char FIREBASE_HOST[] = "ubicacion-pruebas-default-rtdb.firebaseio.com";
10 const String FIREBASE_AUTH = "MFHzRVE5tGRSKAMJUQ08AjFT4XTXK92jwzdWvA8N";
11 const String FIREBASE_PATH = "/";
12 const int SSL_PORT = 443;
13
14 // Credenciales para conexión GPRS
15 char apn[] = "internet.claro.com.ec"; //Apn de Conecel
16 char user[] = "";
17 char pass[] = "";
18
19 //CONEXION MODULO SIM800L
20 #define rxPin 4
21 #define txPin 2
22 HardwareSerial sim800(1);
23 TinyGsm modem(sim800);
24
25 //CONEXION NEO-7M
26 #define RXD2 16
27 #define TXD2 17
28 HardwareSerial neogps(2);
29 TinyGPSPlus gps;
30
31 // Define la dirección I2C del sensor MS5611
32 MS5611 MS5611(0x77);
33 float temperatura; // Variables globales para almacenar los datos del sensor
34 float ALTITUD;
35
36 //Conexión a base de datos
37 TinyGsmClientSecure gsm_client_secure_modem(modem, 0);
38 HttpClient http_client = HttpClient(gsm_client_secure_modem, FIREBASE_HOST, SSL_PORT);
39
40 unsigned long previousMillis = 0;
41 long interval = 10000;
42
43 void setup() {
44     Serial.begin(115200);
45     Serial.println("esp32 iniciando");
46
47     sim800.begin(9600, SERIAL_8N1, rxPin, txPin);
48     Serial.println("SIM800L iniciando");
49
50     neogps.begin(9600, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);
51     Serial.println("neogps iniciando");
52     delay(1000);
53
54     Wire.begin(); // Inicializa la comunicación I2C
```

```

55 // Verifica si el sensor MS5611 est  conectado
56 if (MS5611.begin() == true) {
57     Serial.println("MS5611 encontrado.");
58 } else {
59     Serial.println("MS5611 no encontrado.");
60     while (1); // Detiene el programa si no se encuentra el sensor
61 }
62
63 // Configura la sobremuestreo al nivel m s alto para mayor precisi n
64 MS5611.setOversampling (OSR_ULTRA_HIGH);
65
66 //El reinicio tarda bastante tiempo
67 //Para omitirlo, llame a init() en lugar de restart()
68 Serial.println("iniciando modem...");
69 modem.restart();
70 String modemInfo = modem.getModemInfo();
71 Serial.print("Modem: ");
72 Serial.println(modemInfo);
73 http_client.setHttpResponseTimeout(90 * 1000); //0 segundos de tiempo de espera
74 }
75
76 void loop() {
77
78     Serial.print(F("Conectando a "));
79     Serial.print(apn);
80     if (!modem.gprsConnect(apn, user, pass)) {
81         Serial.println(" fail");
82         delay(1000);
83         return;
84     }
85     Serial.println(" OK");
86
87     http_client.connect(FIREBASE_HOST, SSL_PORT);
88
89     while (true) {
90         if (!http_client.connected()) {
91             Serial.println();
92             http_client.stop(); // cerrar
93             Serial.println("HTTP no conectado");
94             break;
95         }
96         else{
97             gps_loop();
98         }
99     }
100 }
101
102 void PostToFirebase(const char* method, const String & path , const String & data,
103 HttpClient* http) {
104     String response;
105     int statusCode = 0;
106     http->connectionKeepAlive(); // Actualmente, esto es necesario para HTTPS
107
108     String url;
109     if (path[0] != '/') {

```

```

110     url = "/";
111 }
112 url += path + ".json";
113 url += "?auth=" + FIREBASE_AUTH;
114 Serial.print("POST:");
115 Serial.println(url);
116 Serial.print("Data:");
117 Serial.println(data);
118 String contentType = "application/json";
119 http->put(url, contentType, data);
120
121 //Lee el c digo de estado y el cuerpo de la respuesta
122 //statusCode=200 (OK) | statusCode -3 (TimeOut)
123 statusCode = http->responseStatusCode();
124 Serial.print("Status code: ");
125 Serial.println(statusCode);
126 response = http->responseBody();
127 Serial.print("Response: ");
128 Serial.println(response);
129 if (!http->connected()) {
130     Serial.println();
131     http->stop(); // Cerrar
132     Serial.println("HTTP POST disconnected");
133 }
134 }
135
136 void gps_loop(){
137     //Puede tardar hasta 60 segundos
138     boolean newData = false;
139     for (unsigned long start = millis(); millis() - start < 2000;){
140         while (neogps.available()){
141             if (gps.encode(neogps.read())){
142                 newData = true;
143                 break;
144             }
145         }
146     }
147     //Si newData es verdadero
148     if(true){
149         newData = false;
150         String LATITUD, LONGITUD;
151         unsigned long FECHA, HORA, VELOCIDAD, SATELITE;
152
153         LATITUD = String(gps.location.lat(), 8); // Latitud en grados (doble)
154         LONGITUD = String(gps.location.lng(), 8); // Longitud en grados (doble)
155         FECHA = gps.date.value(); // Raw date in DDMMYY format (u32)
156         HORA = gps.time.value(); // Raw time in HHMMSSCC format (u32)
157         VELOCIDAD = gps.speed.kmph(), 2;
158         SATELITE = gps.satellites.value();
159
160         // Leer temperatura y presi n del sensor MS5611
161         int result = MS5611.read(); // Realiza la lectura del sensor
162         if (result != MS5611_READ_OK) {
163             Serial.print("Error en la lectura");
164         } else {

```

```

165. float temperatura = MS5611.getTemperature(); // Temperatura en C
166. float presion = MS5611.getPressure(); // Presi n en milibares
167.
168. // Calcular la altitud basada en la presi n
169. float presion_nivel_mar = 1015.23; // Presi n est ndar a nivel del mar en mbar
170. float ALTITUD = ( (temperatura + 273.15) / 0.0065 ) *
171. ( 1 - pow((presion / presion_nivel_mar), 0.1903) );
172. Serial.print("Temperatura: ");
173. Serial.print(temperatura, 2); // Muestra la temperatura con 2 decimales
174. Serial.print(" C \tPresi n: ");
175. Serial.print(presion, 2); // Muestra la presi n en milibares con 2 decimales
176. Serial.print(" mbar\tAltitud: ");
177. Serial.print(ALTITUD, 2); // Muestra la altitud en metros con 2 decimales
178. Serial.println(" m");
179. Serial.print("Latitud= ");
180. Serial.print(LATITUD);
181. Serial.print(" Longitud= ");
182. Serial.println(LONGITUD);
183.
184.
185. String gpsData = "{";
186. gpsData += "\"latitud\": " + LATITUD + ",";
187. gpsData += "\"longitud\": " + LONGITUD + ",";
188. gpsData += "\"velocidad\": " + String(VELOCIDAD) + ",";
189. gpsData += "\"Temperatura\": " + String(temperatura, 2) + ",";
190. gpsData += "\"altitud\": " + String(ALTITUD, 2) + ",";
191. gpsData += "\"satelite\": " + String(SATELITE) + " ";
192. gpsData += "}";
193.
194. //PUT Escribe o reemplaza datos en una ruta definida, como messages/users/user1/<data>
195. //PATCH Actualiza algunas de las claves de una ruta definida sin reemplazar
196. todos los datos.
197. //POST Agrega a una lista de datos en nuestra
198. base de datos de Firebase.
199. //Cada vez que enviamos una solicitud POST, el cliente
200. de Firebase genera una clave nica , como messages/users/<unique-id>/<data>
201. //https://firebase.google.com/docs/database/rest/save-data
202.
203. PostToFirebase("PATCH", FIREBASE_PATH, gpsData, &http_client);
204.
205.
206. }
207. }
208. }

```

XV-D. Anexos D: Codigo de la pagina web

El archivo Index actúa como la entrada principal para el sistema web, sirviendo como la página de inicio o el punto de partida para los usuarios.

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="es">
3 <head>
4     <meta charset="UTF-8">
5     <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
6     <title>WILDLIFE UBICACION</title>

```

```

7     <!-- Incluir la API de Google Maps -->
8     <script src="https://maps.googleapis.com/maps/api/js?
9     key=AIzaSyCr_sz5R8J2emc_t48z3LaILSA5SCyR04c"></script>
10    <!-- Enlazar el archivo CSS -->
11    <link rel="stylesheet" href="styles.css">
12  </head>
13  <body>
14    <h1>WILDLIFE UBICACION</h1>
15    <div id="map"></div>
16    <!-- Enlazar el archivo JavaScript -->
17    <script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/9.23.0/
18    firebase-app-compat.js"></script>
19    <script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/9.23.0/f
20    irebase-database-compat.js"></script>
21    <script src="scripts.js"></script>
22  </body>
23  </html>

```

El archivo Styles se refiere a una hoja de estilos CSS en un proyecto web, puedes elaborar una descripción que explique su propósito y cómo contribuye al proyecto.

```

1  /* Estilos para la página y el mapa */
2  body {
3    font-family: Arial, sans-serif;
4    margin: 0;
5    padding: 0;
6    text-align: center;
7  }
8
9  h1 {
10   margin: 10px;
11 }
12
13 #map {
14   height: 90vh;
15   width: 100%;
16 }

```

El archivo scripts contienen código de script (como JavaScript) en un proyecto web.

```

1  // Configura Firebase
2  const firebaseConfig = {
3    apiKey: "AIzaSyBqhlFQgDO6oxuFMF7feaBQdJxT0mzNmsQ",
4    authDomain: "ubicacion-pruebas.firebaseio.com",
5    databaseURL: "https://ubicacion-pruebas-default-rtdb.firebaseio.com",
6    projectId: "ubicacion-pruebas",
7    storageBucket: "ubicacion-pruebas.appspot.com",
8    messagingSenderId: "989875849360",
9    appId: "1:989875849360:web:c09628b92a336dcf947015"
10 };
11
12 // Inicializa Firebase
13 firebase.initializeApp(firebaseConfig);
14 const database = firebase.database();
15
16 // Inicializa el mapa
17 let map;

```

```

18 let marker;
19 let pathCoordinates = []; // Array para almacenar las coordenadas del recorrido
20 let polyline; // Polilínea para trazar la línea de recorrido
21 let infoWindow; // InfoWindow para mostrar altitud y velocidad
22 let infoWindowOpened = false; // Variable para verificar si el InfoWindow está abierto
23
24 function initMap() {
25     // Crear el mapa centrado en una ubicación inicial
26     map = new google.maps.Map(document.getElementById('map'), {
27         center: { lat: 0, lng: 0 }, // Centro inicial del mapa
28         zoom: 8, // Nivel de zoom inicial
29         mapTypeId: 'hybrid' // Tipo de mapa
30     });
31
32     // Crear la polilínea para el recorrido
33     polyline = new google.maps.Polyline({
34         path: pathCoordinates,
35         geodesic: true,
36         strokeColor: '#00FF00', // Color de la línea
37         strokeOpacity: 1.0, // Opacidad de la línea
38         strokeWeight: 2 // Grosor de la línea
39     });
40     polyline.setMap(map); // Asigna la polilínea al mapa
41
42     // Crear el InfoWindow
43     infoWindow = new google.maps.InfoWindow();
44
45     // URL de la imagen del ave en Firebase Storage
46     const birdIcon = {
47         url: 'https://firebasestorage.googleapis.com/v0/b/ubicacion-pruebas.appspot.com/o/SOMBRA%20AVE.png?alt=media&token=7ca63956-ff60-43ad-98d9-74fb94e15a43', // Reemplaza con la
48         URL de la imagen en Firebase Storage
49         scaledSize: new google.maps.Size(50, 50), // Ajusta el tamaño del icono
50         anchor: new google.maps.Point(25, 25) // Establece el punto
51         de anclaje al centro de la imagen
52     };
53
54     // Referencia a la base de datos de Firebase
55     const ref = database.ref('/');
56
57     // Escucha cambios en los datos de ubicación
58     ref.on('value', (snapshot) => {
59         const data = snapshot.val();
60         if (data) {
61             const newPosition = new google.maps.LatLng(data.latitud, data.longitud);
62
63             // Si el marcador ya existe, actualizar su posición
64             if (marker) {
65                 marker.setPosition(newPosition);
66             } else {
67                 // Crear un nuevo marcador si no existe
68                 marker = new google.maps.Marker({
69                     position: newPosition,
70                     map: map,

```

```

73         icon: birdIcon // Usar el icono personalizado del ave
74     });
75     // Aadir listener al marcador para mostrar el InfoWindow al hacer clic
76     marker.addListener('click', () => {
77         infoWindowOpened = true; // Marcar InfoWindow como abierto
78         updateInfoWindow(data); // Actualizar el contenido del InfoWindow
79         infoWindow.open(map, marker);
80     });
81 }
82
83 // Actualizar el contenido del InfoWindow si est abierto
84 if (infoWindowOpened) {
85     updateInfoWindow(data);
86 }
87
88 // Aadir la nueva posici n al array de coordenadas
89 pathCoordinates.push(newPosition);
90 // Actualizar la polil nea con las nuevas coordenadas
91 polyline.setPath(pathCoordinates);
92
93 // Centrar el mapa en el marcador
94 map.setCenter(newPosition);
95 map.setZoom(18);
96 }
97 });
98
99 // Escuchar el evento 'closeclick' para el InfoWindow para marcarlo como cerrado
100 google.maps.event.addListener(infoWindow, 'closeclick', () => {
101     infoWindowOpened = false;
102 });
103 }
104
105 // Funci n para actualizar el contenido del InfoWindow
106 function updateInfoWindow(data) {
107     const contentString = `<div><p><strong>Altitud:</strong> ${data.altitud}
108     m</p><p><strong>Velocidad:</strong> ${data.velocidad} km/h</p></div>`;
109     infoWindow.setContent(contentString);
110 }
111
112 // Inicializa Firebase con tu configuraci n y llama a initMap
113 firebase.initializeApp(firebaseConfig);
114 initMap();

```

XV-E. Anexos F: Puntos de referencias

Se utilizan como ubicaciones específicas y conocidas para validar y comparar la precisión del prototipo de rastreo GPS.

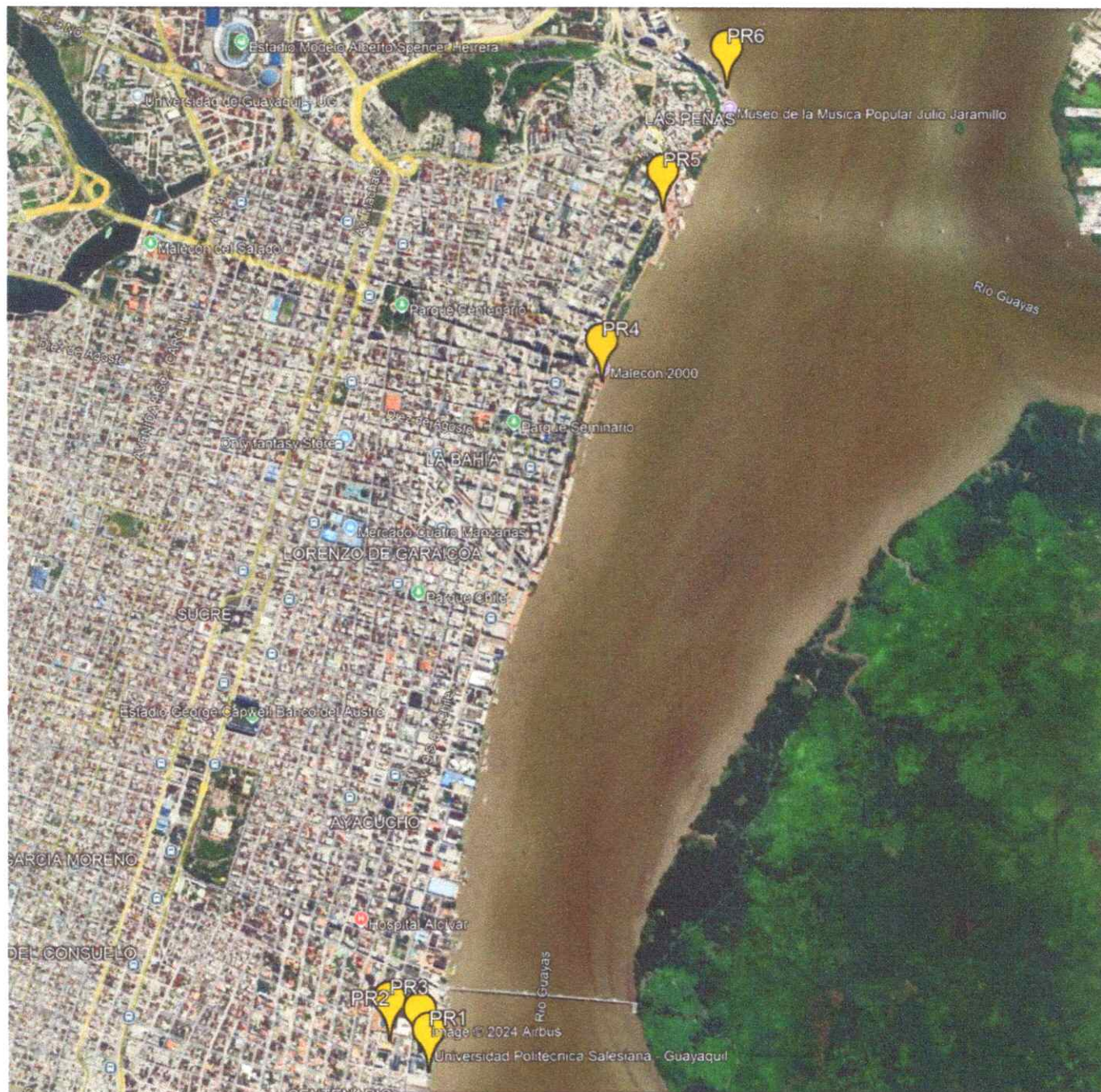


Figura 36: Coordenadas referenciales en un área de prueba, por I. Peñafiel y D. Rodriguez, Google Earth

XV-F. Anexos G: Pruebas realizadas

Este anexo presenta la recopilación de datos obtenidos durante las pruebas realizadas con el prototipo de rastreo GPS

A satellite view of a building complex. The main building is a large, light-colored structure with a flat roof. To its right is a smaller building with a blue roof and a large white satellite dish. Further right is a swimming pool with blue water. The area is surrounded by other buildings and a road. A small white box with a red 'X' is overlaid on the image, showing 'Altitud: 2.5 m' and 'Velocidad: 3 km/h'. The text 'CALLE 38 SE' is visible on the left side of the image. The bottom of the image shows the Google logo and some small text.

50

WILDLIFE UBICACION



Figura 39: Evaluación del Punto 3. Fuente: autores

WILDLIFE UBICACION

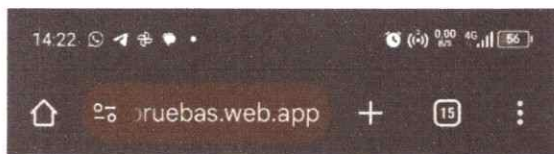


Figura 40: Evaluación del Punto 4. Fuente: autores

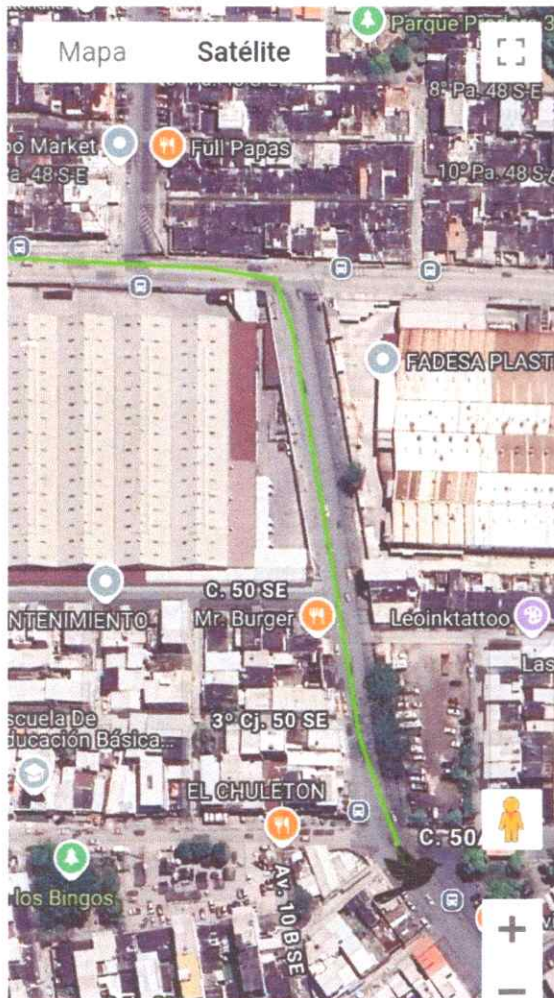
An aerial satellite view of a city center. A large, modern, circular building with a flat roof is the central focus. To its right, a Ferris wheel is visible. The surrounding area is filled with various buildings, streets, and greenery. A small white box with a close button and text 'Altitud: 2.6 m' and 'Velocidad: 0 km/h' is overlaid on the image. The Google Maps interface is visible at the bottom, showing the Google logo and copyright information.

[illegible]

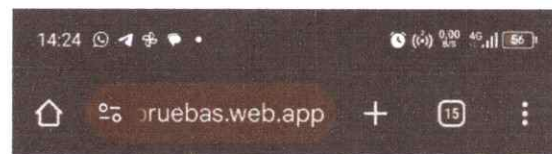
52



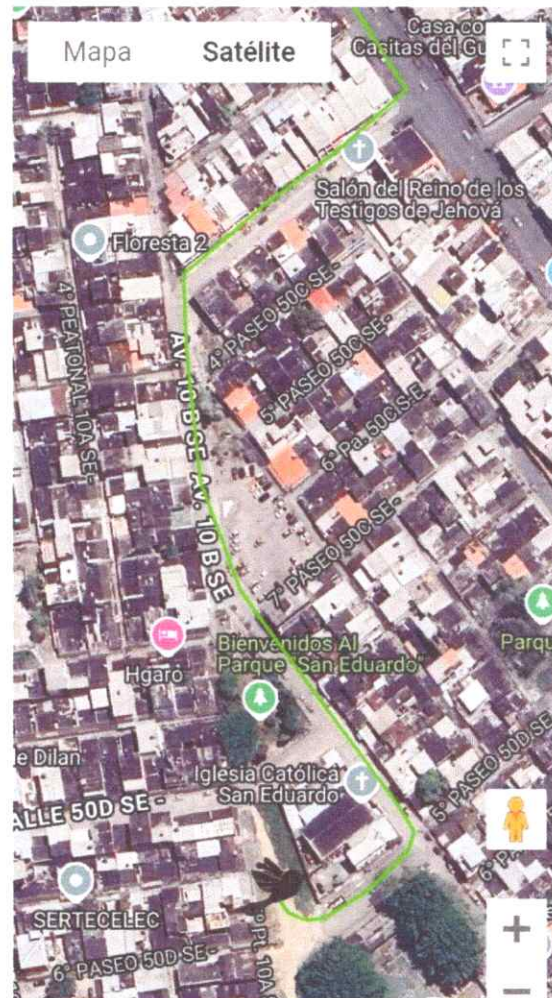
WILDLIFE UBICACION



(a) Mapeo 1

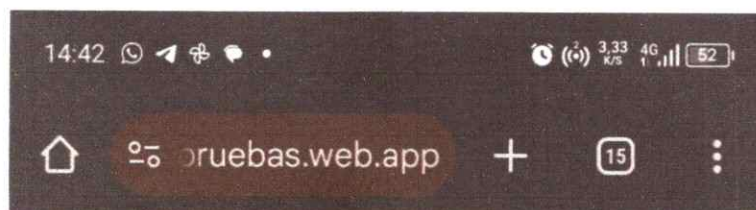


WILDLIFE UBICACION



(b) Mapo 2

Figura 43: Mapeo de ruta. Fuente: Autores



WILDLIFE UBICACION

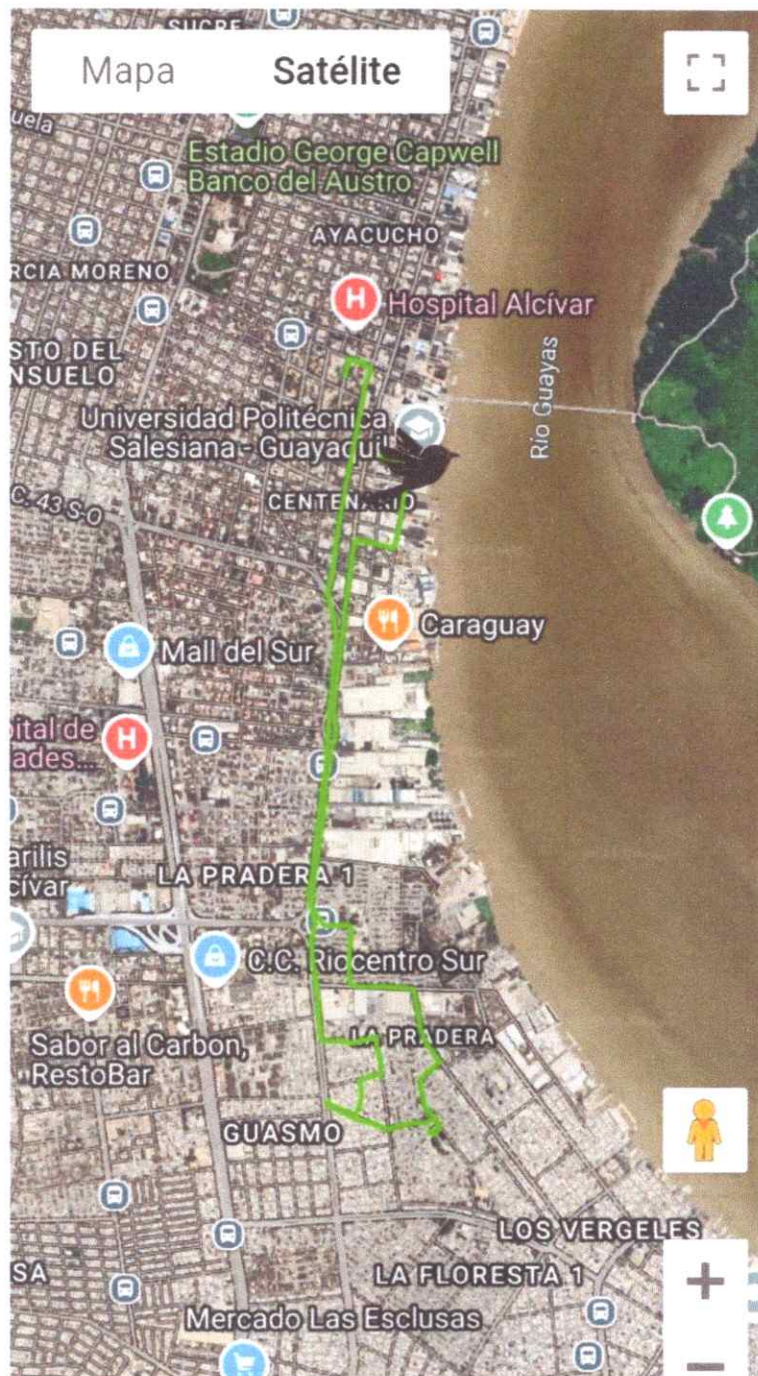


Figura 44: Evaluación de mapeo. Fuente: autores