



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
TELECOMUNICACIONES PARA LA VIGILANCIA DE UAV'S
DE NUEVA GENERACIÓN.**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniería Electrónica y
Telecomunicaciones

Autor:

CARRASCO SAMPEDRO, ISAAC MOISÉS

Tutor:

Mgs. CUZCO SILVA, EDGAR GIOVANNY

Riobamba, Ecuador.

2024

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, CARRASCO SAMPEDRO ISAAC MOISES, con cédula de ciudadanía 060410029-7, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES PARA LA VIGILANCIA DE UAVS DE NUEVA GENERACION, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 31 de mayo del 2024



Isaac Moisés Carrasco Sampedro.

C.I: 060410029-7



ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN CARRERAS NO VIGENTES

En la Ciudad de Riobamba, a los 27 días del mes de mayo de 2024, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante **CARRASCO SAMPEDRO ISAAC MOISES** con CC: **060410029-7**, de la carrera **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES** y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el **ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES PARA LA VIGILANCIA DE UAV’S DE NUEVA GENERACIÓN**”, por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



EDGAR GIOVANNY
CUZCO SILVA

Msc. Edgar Giovanni Cuzco Silva
TUTOR(A)

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES PARA LA VIGILANCIA DE UAVS DE NUEVA GENERACION”, presentado por ISAAC MOISES CARRASCO SAMPEDRO, con cédula de identidad número 060410029-7, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 31 de mayo del 2024.

Ph.D. Ciro Diego Radicelli Garcia
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE
GRADO

Firma

Mgs. Klever Hernán Torres Rodríguez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Mgs. Luis Gonzalo Santillán Valdiviezo
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Mgs. Edgar Giovanni Cuzco Silva
TUTOR

Firma

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES PARA LA VIGILANCIA DE UAVS DE NUEVA GENERACION”, presentado por ISAAC MOISES CARRASCO SAMPEDRO, con cédula de identidad número 060410029-7, bajo la tutoría de Mgs. EDGAR GIOVANNY CUZCO SILVA; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 31 de mayo del 2024.

Ph.D. Ciro Diego Radicelli Garcia
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE
GRADO

Firma

Mgs. Klever Hernán Torres Rodríguez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Mgs. Luis Gonzalo Santillán Valdiviezo
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Mgs. Edgar Giovanni Cuzco Silva
TUTOR

Firma



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-02.20
VERSIÓN 02: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **CARRASCO SAMPEDRO ISAAC MOISES** con CC: **060410029-7**, estudiante de la Carrera **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES PARA LA VIGILANCIA DE UAV'S DE NUEVA GENERACIÓN**", cumple con el **0 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, **27** de mayo de 2024



EDGAR GIOVANNY
CUZCO SILVA

Msc. Edgar Giovanni Cuzco Silva
TUTOR(A) TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Con profunda gratitud, dedico este trabajo a mi hermosa hija, cuyo apoyo incondicional ha sido el pilar de mi vida. En cada uno de los momentos, tanto los felices como los desafiantes, siempre ha estado a mi lado, brindándome su amor y aliento y por eso les estaré eternamente agradecido.

A toda mi familia en general, quiero agradecerles por su contribución en mi desarrollo y éxito. Cada uno de ustedes ha tenido un impacto significativo en mi vida, ya sea a través de conversaciones inspiradoras, gestos de apoyo o simples momentos compartidos. Vuestra presencia ha sido un recordatorio constante de la importancia de la unidad familiar y del valor de tener un sistema de apoyo sólido. Estoy bendecido de tenerlos en mi vida.

A mis compañeros y futuros compañeros de trabajo, ustedes han sido mi principal apoyo durante mi tiempo en la universidad y más allá. Los momentos que hemos compartido, las risas y los obstáculos que hemos superado juntos siempre serán recordados con afecto. Su amistad ha sido un rayo de luz en momentos difíciles y una razón para celebrar nuestros éxitos compartidos. Estoy emocionado por los encuentros futuros, ya sea en el trabajo o en situaciones sociales, para seguir fortaleciendo nuestra amistad a lo largo del tiempo.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a todos quienes forman parte de mi vida y han estado en todos los momentos a mi familia en especial.

Asimismo, quiero agradecer de manera especial a los ingenieros docentes por compartir sus vastos conocimientos, brindar valiosos consejos y ofrecer un apoyo incondicional a lo largo de mi carrera. Su guía y dedicación han sido fundamentales para mi desarrollo profesional.

No puedo dejar pasar esta oportunidad sin agradecer también a mi hija. Su amor incondicional, apoyo constante y aliento inquebrantable han sido el motor que me ha impulsado en cada paso de este camino. Su presencia ha sido mi mayor fuente de inspiración y estoy profundamente agradecido por tenerle a mi lado.

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO.....	
ÍNDICE GENERAL.....	
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	
ÍNDICE DE TABLAS	14
ÍNDICE DE ECUACIONES	
RESUMEN.....	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I.....	17
1.1 INTRODUCCIÓN.....	17
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.3 JUSTIFICACIÓN	21
1.4 OBJETIVOS.....	23
1.4.1 GENERAL.....	23
1.4.2 ESPECÍFICOS.....	23
CAPÍTULO II.....	24
2. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	24
2.2 SISTEMAS DE CONTROL ÁEREO	25
2.3 SEÑALES DEL RADAR SECUNDARIO DE VIGILANCIA (SSR)	26
2.3.1 MODOS SSR DE COMUNICACIÓN.....	26
2.4 VIGILANCIA DEPENDIENTE AUTOMÁTICA (ADS)	27
2.4.1 VIGILANCIA DEPENDIENTE AUTOMÁTICA-BROADCAST (ADS-B).....	28
2.4.2 PROTOCOLO ADS-B.....	28
2.4.3 LA ESTRUCTURA DE BLOQUE DE DATOS ADS-B	29
2.4.4 SDR (RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE)	34

2.5	UAVS DE NUEVA GENERACIÓN	35
2.5.1	TECNOLOGÍA DJI AIRSENSE (ADS-B in)	35
2.5.2	DRONES COMERCIALES CON EL SISTEMA ADS-B “DJI”	35
2.5.3	UAVs DJI MAVIC AIR 2	36
2.5.4	UAVs DJI AIR 2s	36
2.5.5	UAVs DJI MATRICE SERIES	37
2.6	HARDWARE DEL SISTEMA.....	37
2.6.1	FLIGHTAWARE RECEPTOR USB ADS-B PRO STICK	37
2.6.2	MINIORDENADOR (RASPBerry PI 4).....	38
2.6.3	ANTENA SMA 3DBI ADS-B 1090MHZ CON BASE MAGNÉTICA	39
2.6.4	MÓDULO GPS NEO – 6M	40
2.6.5	ADALM PLUTO	41
2.7	SOFTWARE DEL SISTEMA.....	42
2.7.1	FLIGHTAWARE	42
2.7.2	MATLAB	42
CAPÍTULO III		43
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		43
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	43
3.1.1	INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL.....	43
3.1.2	INVESTIGACIÓN APLICADA	43
3.2	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	43
3.2.1	MÉTODO ANALÍTICO	43
3.2.2	MÉTODO DESCRIPTIVO.....	43
3.2.3	MÉTODO EXPERIMENTAL	43
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	44
3.3.1	POBLACIÓN.....	44
3.3.2	MUESTRA.....	44
3.3.3	OPERALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	44
3.4	HIPÓTESIS.....	44
3.4.1	HIPÓTESIS NULA	45
3.4.2	HIPÓTESIS ALTERNATIVA	45
3.5	DISEÑO DEL SISTEMA TRANSMISIÓN PARA UAVS DE NUEVA GENERACIÓN	45
3.5.1	ACTIVACIÓN DEL MÓDULO GPS NEO – 6M.....	46

3.5.2	CONEXIÓN DEL MÓDULO GPS Y MÓDULO ESP32	46
3.5.3	RECEPCIÓN DE LOS DATOS SATÉLITES DE LA UBICACIÓN	47
3.6	RECEPTOR ADS-B CON EL SISTEMA DE FLIGHTAWARE.....	47
3.6.1	INSTALACIÓN DEL SISTEMA OPERATIVO PIAWARE.....	48
3.6.2	CONFIGURACIÓN DE LA NETWORK.....	49
3.6.3	INICIALIZACIÓN DEL SISTEMA PARA EL RECEPTOR ADS-B.....	50
3.6.4	INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES.	52
3.6.5	VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES	53
3.7	DESARROLLO DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES EN MATLAB PARA UAVS	53
3.7.1	TRASMISOR DEL SISTEMA.....	53
3.7.2	RECEPTOR DEL SISTEMA.....	55
3.7.3	GENERACIÓN DE MENSAJE ADS-B.....	57
CAPÍTULO IV.....		59
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
4.2	REGISTRO DE DETECCIÓN DEL DISPOSITIVO UAVs EN DOS LUGARES DIFERENTES	59
4.2.1	ESCENARIO DE PRUEBA 1 PARA LA DETECCIÓN DEL UAVS	60
4.2.2	ESCENARIO DE PRUEBA 2 PARA LA DETECCIÓN DEL UAVS	62
4.2.3	REGISTRO DEL POSICIONAMIENTO	64
4.2.4	CÁLCULO DEL ERROR.....	67
4.2.5	ERROR ABSOLUTO	68
4.2.6	DATOS ESTADÍSTICOS DE LA MEDIA.....	70
4.2.7	DATOS COMPARATIVOS ENTRE LOS DOS SISTEMAS.....	75
4.3	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	76
CAPÍTULO V.....		77
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
5.1	CONCLUSIONES.....	77
5.2	RECOMENDACIONES.....	78
BIBLIOGRAFIA.....		79
ANEXOS.....		81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

<i>Ilustración 1. Detección de UAVs.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 2. Sistema de vigilancia para UAVs.</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 3. Bloque de datos correspondiente a la secuencia. [2]</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 4. Estructura del mensaje ADS-B.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 5. Esquema SDR en dispositivos de bajo costo.</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 6. Sistema AirSense</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 7. Drone MAVIC Air 2.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 8. Drone DJI Air 2</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 9. Drone Matrice series</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 10. FlightAware Receptor USB ADS-B Pro Stick</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 11. Raspberry pi 4 con case</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 12. Antena SMA 3dBi ADS-B.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 13. SDR Adalm Pluto.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 14. FlightAware</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 15. Diagrama de flujo de la instalación del módulo GPS.</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 16. Conexión del módulo GPS y ESP32</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 17. Datos para mostrar una posición.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 18. Receptor ADS-B.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 19. Descarga del sistema operativo PiAware</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 20. Instalación del sistema operativo PiAware.</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 21. Archivo piaware-config</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 22. Configuración de NETWORK.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 23. Receptor ADS-B instalada en Raspberry.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 24. Conexión de la Network y el funcionamiento correcto del Receptor ADS-B.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 25. Conexión con PC para visualizar los Drones</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 26. Funcionamiento del sistema receptor.....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 27. Instalación de la antena del receptor</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 28. Prueba del sistema de telecomunicaciones</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 29. Bloque de bit de generación de datos.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 30. Bloques de modulación y sincronización de la señal</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 31. Esquema TX del sistema de telecomunicaciones para UAVS</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 32. Bloque de RX de los datos</i>	<i>55</i>

<i>Ilustración 33. Bloque de demodulación de la información en Rx.</i>	55
<i>Ilustración 34. Componentes internos del bloque de demodulación</i>	55
<i>Ilustración 35. Esquema RX del sistema de telecomunicaciones para UAVS</i>	56
<i>Ilustración 36. Sistema de TX móvil.</i>	56
<i>Ilustración 37. Comando para llamar al GPS</i>	57
<i>Ilustración 38. Código de Transponder ADS-B.</i>	57
<i>Ilustración 39. Comando de Posición y Velocidad.</i>	57
<i>Ilustración 40. Generación de la estructura ADS-B.</i>	58
<i>Ilustración 41. Escenario 1 escogidos para la detección del UAVs</i>	60
<i>Ilustración 42. Escenario 2 escogidos para la detección del UAVs</i>	60
<i>Ilustración 43. Ruta 1 de vuelo del Drone Puntos de detallado</i>	61
<i>Ilustración 44. Detección del UAV de nueva generación en el mapa de la ruta 1.</i>	62
<i>Ilustración 45. Ruta 2 de vuelo del Drone Puntos detallados.</i>	63
<i>Ilustración 46. Detección UAV en el mapa de la ruta 2.</i>	64
<i>Ilustración 47. Recolección de datos ruta 2 del UAVs vs GPS.</i>	64
<i>Ilustración 48. Cálculo de la fórmula de Haversine.</i>	67
<i>Ilustración 49. Gráfico de dispersión Latitud R1 GPS vs UAVs.</i>	73
<i>Ilustración 50. Gráfico de dispersión Longitud R1 GPS vs UAVs</i>	73
<i>Ilustración 51. Diagrama de cajas Latitud R1 GPS vs UAVs.</i>	74
<i>Ilustración 52. Diagrama de cajas Longitud R1 GPS vs UAVs</i>	74
<i>Ilustración 53. Imágenes tomadas desde le UAVS en la Ruta 1</i>	81
<i>Ilustración 54. Toma de puntos en la Ruta 1.</i>	81
<i>Ilustración 55. Finalización de la Ruta 1.</i>	81
<i>Ilustración 56. Datos de Posición del UAVs Ruta 1</i>	82
<i>Ilustración 57. Inicio de toma de datos Ruta 2.</i>	82
<i>Ilustración 58. Toma de datos en la finalización de la Ruta 2</i>	82
<i>Ilustración 59. Datos de la posición del UAVs</i>	83
<i>Ilustración 60. Información de la recepción de los datos ADS-B en los tiempos de pruebas por FlightAware</i>	83
<i>Ilustración 61. Información de las Posiciones de los UAVs por FlightAware</i>	83
<i>Ilustración 62. Reporte de los UAVs por FlightAware.</i>	84
<i>Ilustración 63. Tx y Rx del sistema de telecomunicaciones Simulink.</i>	85

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Característica principal de cada modo.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 2. La estructura de un mensaje</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3. Sentido de la comunicación en la codificación.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 4. Identificación del mensaje a través del Tipo de Código</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5. Significado de los campos de las tramas de posición</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 6. Ficha de especificaciones técnicas del Pro Stick Plus</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 7. Especificaciones técnicas Raspberry Pi4</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 8. Especificaciones técnicas antena.</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 9. Especificaciones técnicas GPS-NEO 6M.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 10. Especificaciones técnicas Adalm Pluto.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 11. Variables del sistema.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 12. Escenarios para la detección del UAV's</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 13. Ruta 1 de vuelo del Drone Puntos de detallado con su longitud y latitud</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 14. Ruta 2 de vuelo del Drone Puntos de detallado con su longitud y latitud</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 15. Comparación de los datos recopilados por el Sistema y el GPS en la ruta 1.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 16. Comparación de los datos recopilados por el Sistema y el GPS en la ruta 2.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 17. Tabla de Error ruta 1.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 18. Tabla de Error ruta 2.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 19. Latitud Ruta 1 GPS vs Latitud Ruta 1 UAVs.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 20. Longitud Ruta 1 GPS vs Longitud Ruta 1 UAVs</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 21. Tabla de Media de valores entre la latitud GPS vs UAVs en la Ruta 1.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 22. Tabla de Media de valores entre la longitud del GPS vs UAVs en la Ruta 1</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 23. Análisis comparativo de la latitud en la Ruta 1</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 24. Análisis comparativo de la longitud en la Ruta 1</i>	<i>75</i>

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1. Formula de la ecuación de Haversine</i>	<i>67</i>
--	-----------

RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se diseñará e implementará un sistema de telecomunicaciones para la vigilancia de UAVs de nueva generación, para una frecuencia asignada para el uso global de la vigilancia automática dependiente de difusión (ADS-B). El principal objetivo del proyecto es diseñar un sistema de vigilancia que permita la detección y seguimiento de UAVs en tiempo real.

Debido al avance y comercialización de los UAVs existen nuevas tecnologías las cuales nos ayudan y nos facilita la vigilancia de estos. Para la selección de hardware y software se realiza un análisis de las opciones disponibles en el mercado para seleccionar la opción más compatible con el alcance del proyecto el cual se empezará estructurando el proceso de selección de hardware y software con la evaluación de requisitos y terminando con la selección final. La selección del sistema se comparará en los dispositivos que existe en el mercado y se considera evaluar la frecuencia de operación en relación con los requisitos de transmisión y recepción del sistema, etc. Una vez que se selecciona los parámetros del trasmisor y el receptor, es necesario analizar la antena, teniendo en cuenta parámetros como la frecuencia central y la ganancia de la antena. Se seleccionó el software de decodificación según su modelo de trabajo, Actualmente FlightAware, tiene la capacidad de recibir la señal transmitida desde los UAVs de nueva generación, los datos de posición se muestran en la interfaz a través de FlightAware y el software de PiAware, y para reconocer la posición de los UAVs receptados esperando tener la capacidad de detectar y rastrear múltiples UAVs simultáneamente. Analizar cómo se decodifican los diferentes parámetros de recepción dentro del software FlightAware. Al finalizar se realiza los resultados para demostrar la viabilidad de la propuesta presentada.

PALABRAS CLAVE

- **RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE**
- **FLIGHTAWARE**
- **SISTEMA DE VIGILANCIA AUTOMÁTICA DEPENDIENTE-DIFUSIÓN**

ABSTRACT

The main objective of this research study was to focus on a telecommunication system for the surveillance of new generation UAVs will be designed and implemented for a frequency assigned for the global use of Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B). The main objective of the project is to design a surveillance system that allows the detection and tracking of UAVs in real time. Due to the advancement and commercialization of UAVs, there are new technologies that help us and facilitate the surveillance of UAVs. For the selection of hardware and software an analysis of the options available in the market is made to select the most compatible option with the scope of the project which will begin structuring the selection process of hardware and software with the evaluation of requirements and ending with the final selection. The system selection will be compared on the devices that exist in the market and will consider evaluating the frequency of operation in relation to the system's transmission and reception requirements, etc. Once the transmitter and receiver parameters are selected, it is necessary to analyze the antenna, taking into account parameters such as center frequency and antenna gain. The decoding software was selected according to its working model, Currently FlightAware, has the ability to receive the signal transmitted from the new generation UAVs, the position data is displayed on the interface through FlightAware and PiAware software, and to recognize the position of the received UAVs hoping to have the ability to detect and track multiple UAVs simultaneously. Analyze how the different receiving parameters are decoded within the FlightAware software. At the end the results are performed to demonstrate the feasibility of the proposal presented.

Keywords: SOFTWARE DEFINED RADIO, FLIGHTAWARE, AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE SYSTEM-DIFFUSION



Reviewed by:
Marco Antonio Aquino
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 1753456134

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

En el campo de la aviación, existe una variedad de tecnologías en sistemas que proporcionan información de gran utilidad para el control de tránsito aéreo tales como los radares tradicionales que nos muestran si existe o no un avión dentro del rango de alcance, sistemas de posicionamiento global (GPS) refiriéndose a los datos que indican la ubicación exacta de la aeronave en términos de latitud y longitud, sistemas de vigilancias dependientes que nos indica la identificación, posición de latitud , longitud, velocidad, ruta, etc.

En la última década, se ha tratado de mejorar los sistemas dedicados a la vigilancia aérea, que tiene como objetivo mejorar la identificación y geolocalización de las aeronaves, pero los elevados costos de la implementación de cada sistema ha sido uno de sus mayores problemas. [1]

Debemos tener en cuenta que con la aparición de los UAVs comúnmente conocido como Drones, en los últimos años están implementando sistemas de vigilancia para estos dispositivos ya que son utilizando en todas las áreas de estudio como ejemplo tenemos que son aplicados en las áreas como: agrícolas, comerciales, seguridad, transporte, etc., permitiendo obtener información de lugares inaccesibles o peligrosos, estos dispositivos se basan en un sistemas Máquina-Operador, es decir, quien opera el dispositivo conoce su posición y ubicación.

Los sistemas que existen en el mercado de sistemas de vigilancia para drones de igual manera que los sistemas de vigilancia para aeronaves son muy costosos.

En la actualidad existen estos tipos de sistemas de navegación para aeronaves las cuales se pueden adaptar para los UAVs

- Radar primario de vigilancia (Primary Surveillance Radar)
- Radar secundario de vigilancia (Secondary Surveillance Radar)
- Sistemas dependientes basados en emisión espontánea de ubicación (squitters).
- Sistemas de radar primario de movimiento en superficie (son usados en entornos de aeropuertos)
- Los sistemas de multilateración pueden determinar la ubicación de las aeronaves al evaluar las señales emitidas por los radares SSR.
- Sistemas de comunicación de voz.

En este proyecto, se propone analizar cada sistema de vigilancia con sus respectivas ventajas y desventajas, así como su funcionalidad y costo para luego diseñar e implementar un sistema de vigilancia aérea de bajo costo para UAVs, que nos permita la identificación y geolocalización del UAV en tiempo real, con la tecnología disponible del mercado, analizando los sistemas comerciales existentes para obtener características similares en funcionamiento, pero abaratando los costos permitiendo así que terceras

personas puedan visualizar la información que antiguamente solo el que lo manejaba conocía. Ilustración 1



Ilustración 1. Detección de UAVs

DJI domina el mercado de los drones civiles, abarcando más del 70% del total a nivel mundial. Además de su oferta principal, la compañía también ha desarrollado un sistema de vigilancia llamado DJI AEROSCOPE. Aunque este sistema no tiene un precio comercial establecido, su valor de construcción se estima en más de \$10,000 dólares. Sin embargo, su uso está restringido a autoridades y organizaciones reguladas.

Diseñar un sistema de vigilancia para UAVs aportará con la investigación de realizar un sistema de comunicación desde cero con las herramientas disponibles en el mercado para obtener similares resultados con tecnología de nueva generación que se está aplicando en otros países, pero con un costo menor del sistema propuesto.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los UAVs, ha provocado mucho interés en el uso de estos para aplicaciones comerciales como: seguridad, transporte, agricultura, con lo más nuevo que es el servicio de Delivery (servicio de encomiendas), etc., aplicaciones públicas como el control del medio ambiente o investigación, etc. Esto conlleva a un nuevo problema como la invasión de la privacidad, así como el inconveniente de no disponer de una plataforma del producto para que más personas supervisen los vuelos, dando apertura a otro problema por la falta de sistemas de geolocalización y vigilancia, se basan en un sistema Maquina-Operador, es decir, que es imposible la visualización de otro dron que este sobrevolando la misma aérea de vuelo, Entonces en respuesta a los problemas anteriores surgen varias preguntas ¿Existen sistemas de vigilancia para drones?, ¿Cómo evitar atentados con drones?, ¿Cómo saber si alguna persona nos espía con un UAV?, ¿Cómo determinar la posición de uno o más drones?, ¿Cuánto cuesta un sistema de vigilancia aéreo? ¿Se puede fabricar un sistema de vigilancia de bajo costo?

Existen varios sistemas de vigilancia aérea adaptados para drones, como el radar secundario o SSR (siglas en inglés de Secondary Surveillance Radar). Este sistema permite la identificación y seguimiento de objetivos específicos en el espacio aéreo, generalmente aeronaves. A diferencia del radar primario convencional, que detecta objetos mediante la reflexión de señales de radiofrecuencia, el SSR codifica mensajes en pulsos modulados en amplitud para su transmisión y recepción. Además, realiza "interrogaciones" enviando trenes de pulsos a equipos a bordo de las aeronaves, conocidos como transpondedores, también en fase en caso del radar secundario mejorado denominado Modo S [2]. Los transpondedores detectan y decodifican las interrogaciones de la estación base radar, respondiendo en consecuencia. Sin embargo, este proceso implica costos elevados, ya que la tecnología utilizada en los transpondedores suele ser importada de otros países. En los últimos años, se ha estado desarrollando un sistema de vigilancia dependiente que reemplaza a los sistemas de vigilancia tradicionales tipo radar. Este nuevo sistema combina las funciones del radar primario y secundario en una sola unidad, ofreciendo una alternativa más eficiente y económica.

Actualmente en el Ecuador no existen sistemas de vigilancia para UAVs de uso civil, existen sistemas de vigilancia aérea tipo radar para aeronaves, son de uso militar exclusivamente y sus costos son elevados incluso llegan a costar miles de dólares.

Por lo tanto, se propone la siguiente solución: Diseñar un sistema de vigilancia aérea para UAVs el cual nos permita tener la identificación y geolocalización, para que más personas puedan tener acceso a sistemas de bajo costo. Ilustración 2

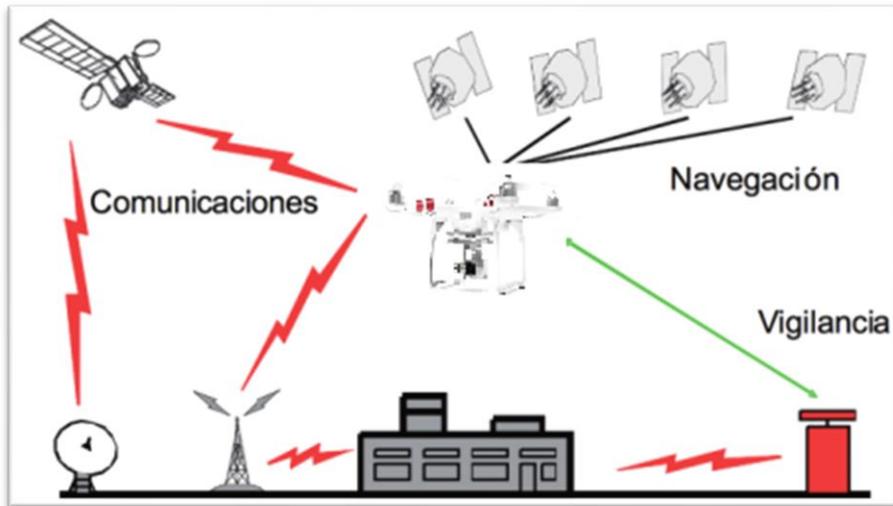


Ilustración 2. Sistema de vigilancia para UAVs.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los drones, o vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés), tienen el potencial de revolucionar la logística en los próximos años al introducir una nueva modalidad de transporte aéreo en situaciones particulares.

Aunque los UAVs no sustituirán por completo al transporte terrestre convencional, agregarán un gran valor en áreas con mucho tráfico, áreas remotas y rurales o en emergencias.

Los UAVs también desempeñan un papel crucial en el control de incendios forestales, el monitoreo de procesos geológicos, la agricultura, la construcción, así como en el control y análisis del tráfico en áreas urbanas densamente pobladas, entre otras aplicaciones.

Son dispositivos muy económicos para operar porque en realidad no requieren insumos ni combustible para manejarlos, y no ponen en riesgo la vida de quienes los manejan de forma remota.

Nuestro país está pasando una crisis de inseguridad en los últimos años ya que los grupos de delincuencia organizada (GDO) optan por usar UAVs para introducir objetos no permitidos en los centros de reclusión (cárceles) ya que son dispositivos pequeños.

En el Ecuador quien es responsable de la seguridad y vigilancia del espacio aéreo es la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE) quien está encargada de la vigilancia y supervisión del territorio aéreo ecuatoriano los cuales cuentan solo con un sistema de vigilancia para las Aeronaves militares y comerciales, los cuales usan sistemas de Radares primarios y secundarios para el control aéreo teniendo un déficit de seguridad para la vigilancia de dispositivos más pequeños como lo son los UAVs.

Los radares primarios tuvieron su origen como sistemas de vigilancia para el control del tráfico aéreo militar. El radar primario de vigilancia (PSR) es un sistema radar autónomo que emite ondas de radio que rebotan en el fuselaje de las aeronaves. Sin embargo, una limitación de este tipo de radar es que también puede reflejar elementos naturales como aves y fenómenos atmosféricos, lo que dificulta la identificación precisa de las aeronaves.

El desarrollo del Radar Secundario (SSR: Secondary Surveillance Radar) en su versión mejorada, el SIF, resuelve el desafío de la identificación precisa, ya que este radar transmite automáticamente y de manera continua esta información. Además, los satélites contribuyen a mejorar la capacidad del espacio aéreo controlado, ya que permiten la implementación de estándares más eficientes en la gestión del espacio aéreo.

En la última década, se ha estado desarrollando e implementando un nuevo sistema dedicado a la vigilancia área llamado ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast), este intenta mejorar la seguridad y bajar los costos. Los aviones con esta tecnología envían datos de identificación, posición, velocidad y de estado de la aeronave en sus diferentes mensajes.

El sistema ADS-B es considerado "automático" ya que no requiere intervención del piloto ni entrada externa para su funcionamiento. Es "dependiente" porque está directamente

conectado a los datos del sistema de navegación de la aeronave, utilizando esta información para transmitir la posición, velocidad y otros datos relevantes a estaciones receptoras en tierra y a otras aeronaves cercanas.

El sistema "ADS-B de emisión" transmite información periódica sobre cada aeronave, incluyendo su identificación, posición actual, altitud y velocidad, mediante un transmisor instalado a bordo. Esta información es más precisa que la proporcionada por los sistemas de radar actuales y beneficia a los controladores de tráfico aéreo, ya que les permite posicionar y separar aviones con mayor precisión.

Por otro lado, el "ADS-B de recepción" en las aeronaves recibe datos ADS-B, lo que incluye la comunicación directa entre aeronaves cercanas. Sin embargo, la información proveniente de estaciones en tierra solo se difunde cuando hay un avión emitiendo señales ADS-B, lo que limita la utilidad de los dispositivos de recepción únicamente.

Este sistema se basa en dos componentes principales: se hace referencia a un sistema que combina un GPS de alta integridad y un enlace de datos ADS-B. Los enlaces de datos más comunes operan a 1090 MHz o 978 MHz.

El enfoque del proyecto será desarrollar un análisis sobre la tecnología actual de los sistemas de vigilancia aéreos para UAVs se propone implementar un sistema de telecomunicaciones para la transmisión y recepción de la información pudiendo visualizar en una plataforma digital la ubicación del UAV en tiempo real y analizar los resultados comparándolos con los parámetros de los sistemas de vigilancia comerciales.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de vigilancia para espacios aéreos de UAVs usando tecnología de bajo costo para la identificación y geolocalización.

1.4.2 ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis sobre la tecnología actual de los sistemas de vigilancia aéreos para UAVs.
- Implementar un sistema de telecomunicaciones para la transmisión y recepción de la información.
- Desarrollar una plataforma digital especializada para la localización espacial de UAVs.
- Analizar los resultados comparándolos con los parámetros de los sistemas de vigilancia para UAVs comerciales.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En la actualidad, existen varios sistemas de vigilancia aérea, como el radar secundario o SSR (Secondary Surveillance Radar), que permite la identificación y seguimiento de objetivos específicos en el espacio, principalmente aeronaves. A diferencia del radar primario convencional, que detecta objetos mediante la reflexión de señales de radiofrecuencia, el SSR utiliza la codificación de mensajes mediante pulsos modulados en amplitud (y también en fase en el caso del radar secundario mejorado conocido como Modo S). Este sistema realiza "interrogaciones" enviando trenes de pulsos a equipos a bordo de las aeronaves llamados transpondedores. Los transpondedores detectan y decodifican estas interrogaciones de la estación base radar, y responden en consecuencia. Sin embargo, este proceso puede tener un costo elevado y la respuesta de datos no siempre es instantánea.

El campo de aplicación más común, aunque no exclusivo, para los radares secundarios es la vigilancia del tráfico aéreo, siendo denominados en este contexto específico como radares secundarios de vigilancia (SSR, por sus siglas en inglés). Una aplicación particular de este contexto es la identificación de aeronaves amigas/enemigas en el ámbito militar.

En la actualidad es necesaria una identificación en tiempo real y es por eso por lo que se analiza el estudio del diseño de este sistema, de detección de UAVs en tiempo real mediante el estándar ADS-B es un paso previo a cualquier toma de decisiones. En este sentido, creo que debe ser ante todo un medio para el conocimiento, y guía para recolección de datos e información relevante sobre la geolocalización de estos elementos. Así, el adecuado uso de este sistema nos permite tener datos precisos y verídicos en tiempo real.

Las investigaciones relacionadas con detección de UAVs mediante un sistema ADS-B en tiempo real utilizando radio definido por software; servirán de respaldo para la presente investigación.

En el artículo desarrollado cuyo tema "Diseño e implementación de un transmisor ADS-B para vehículos aéreos no tripulados" [2], el proyecto implica la creación de un sistema que envíe la ubicación de un vehículo aéreo no tripulado utilizando los datos obtenidos en este estudio. Se buscará generar señales de pulsos altamente optimizadas para cumplir con los requisitos de la interfaz establecida por el estándar ADS-B. [2]

Sin embargo, en vista del poco estudio de estos tipos de sistemas ha provocado que existan desorientación y la inexactitud de estos sistemas y que el tiempo de respuesta de los mensajes no es muy corto no se tiene los datos recibidos en un tiempo real y genera que exista este tipo de problemas en la vigilancia aérea.

En el artículo desarrollado cuyo tema es “DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RECEPCIÓN PARA SEÑALES ADS-B. [3]” el objetivo es desarrollar un prototipo operativo de receptor ADS-B y adquirir el conocimiento necesario para transformar este prototipo en un producto comercializable. Esto implica comprender el proceso de captación de señales, así como la interpretación y utilización de los mensajes recibidos. En la industria de la aviación, existen diversas tecnologías para la detección de aeronaves que se encuentran en un determinado rango, estos sistemas son de gran utilidad en los controladores de tráfico aéreo (ATC) para que estos puedan actuar en consecuencia de la información otorgada. [3]

Sin embargo, el tiempo de recolección de datos en los sistemas comerciales son extensos y a su vez tienen un costo muy elevado en la implementación de estos, al realizar la investigación de nuevas tecnologías con las mismas funcionalidades de los sistemas comerciales se trata de abaratar costos y recolectar la información en tiempo real y con la misma funcionalidad de los grandes sistemas de control aéreo.

2.2 SISTEMAS DE CONTROL ÁEREO

En el campo de la aviación, existe una variedad de tecnologías en sistemas que proporcionan información de gran utilidad para el control de tránsito aéreo tales como los radares tradicionales, sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de vigilancias dependientes, etc. En la última década, se ha mejorado los sistemas dedicados a la vigilancia aérea, que tiene como objetivo mejorar identificación y geolocalización de las aeronaves, pero los elevados costos de la implementación de cada sistema ha sido uno de sus mayores problemas. [2]

Debemos tener en cuenta que con la aparición de los UAVs comúnmente conocido como Dron, en los últimos años están implementando sistemas de vigilancia para estos dispositivos ya que son utilizando en todas las áreas de estudio como ejemplo tenemos que son aplicados en las áreas como: agrícolas, comerciales, seguridad, transporte, etc., permitiendo obtener información de lugares inaccesibles o peligrosos, estos dispositivos se basan en un sistemas Máquina-Operador, es decir, quien opera el dispositivo conoce su posición y ubicación. Los sistemas que existen en el mercado de sistemas de vigilancia para drones de igual manera que los sistemas de vigilancia para aeronaves son muy costosos.

En la actualidad existen estos tipos de sistemas de navegación para aeronaves las cuales se pueden adaptar para los UAVs

- Radar primario de vigilancia (Primary Surveillance Radar, PSR)
- Radar secundario de vigilancia (Secondary Surveillance Radar, SSR)
- Sistemas dependientes basados en squitters (emisiones espontáneas de mensajes de aeronaves con información de posición, etc.)

- Sistemas de radares primarios de movimiento en superficie (utilizados en entornos aeroportuarios)
- Los sistemas de multilateración pueden calcular la ubicación de las aeronaves mediante la evaluación de las señales transmitidas por los radares secundarios.
- Sistemas de comunicación de voz.

2.3 SEÑALES DEL RADAR SECUNDARIO DE VIGILANCIA (SSR)

Las señales enviadas desde el interrogador al transpondedor operan a una frecuencia de 1030 MHz y constan de tres pulsos: P1, P2 y P3, transmitidos en intervalos específicos de tiempo. La diferencia de tiempo entre el Pulso 1 y el Pulso 3 determina el modo de operación del transpondedor, que puede ser Modo 3/A o C. En el modo A, P1 y P3 están separados por 8 microsegundos, mientras que en el modo C están separados por 21 microsegundos. El pulso 2 se conoce como pulso de control, utilizado para determinar si se espera una respuesta. Se anticipa que la respuesta se transmita a 1090 MHz, según el modo del transpondedor [2]. Por ejemplo, un transpondedor que opere en el modo C indicará una altitud de 100 pies.

El radar SSR se basa en la tecnología IFF (Identificación de Amigos o Enemigos) desarrollada durante la Segunda Guerra Mundial. [4]

2.3.1 MODOS SSR DE COMUNICACIÓN.

El radar de vigilancia secundaria (SSR) proporciona tres alternativas de comunicación:

SSR Modo A

En el modo A, se emite una solicitud a 1030 MHz y se genera automáticamente una respuesta con un código de transpondedor. Si la pregunta se envía a Varias aeronaves envían respuestas en diferentes franjas horarias para su correcta identificación. [3]

SSR Modo C

En el Modo C, se transmite la información de altitud de la aeronave, la cual corresponde a la altitud barométrica obtenida del sistema de datos aéreos de la aeronave.

El Modo A como el Modo C presentan desafíos, esto puede deberse a que las señales de respuesta se superponen e introducen errores de decodificación cuando varias aeronaves están en la misma dirección del radar y cuando hay varios radares secundarios en el radar cercano, de otros.

La respuesta del radar puede ser interpretada como una respuesta válida del radar, lo cual puede dar lugar a errores y confusión. Por esta razón, se han desarrollado protocolos de comunicación más avanzados para obtener información más detallada de un gran número de aeronaves, dando lugar al desarrollo del Modo S. [3]

SSR Modo S

Como resultado de la congestión experimentada en el sistema de radar secundario, surgió el radar Modo S, una evolución del radar secundario que opera a una altitud mínima de 25 pies. En este modo, también es posible rastrear la posición de dos objetos simultáneamente en el tiempo. [5]

De esta manera, se puede usar solo un desafío o una respuesta cifrada, una dirección única de 24 bits que garantiza que el objeto deseado descifre la transmisión. Proporciona detección y corrección de errores, evitando dependencias de patrones A y C. En este modo, la frecuencia de interrogación sigue siendo la misma 1030MHz y respuesta 1090MHz. [2]

En este proyecto, se propone analizar cada sistema de vigilancia con sus respectivas ventajas y desventajas, así como su funcionalidad y costo para luego diseñar e implementar un sistema de vigilancia aérea de bajo costo para UAV`s, que nos permita la identificación y geolocalización del mismo, con la tecnología disponible del mercado, analizando los sistemas comerciales existentes para obtener características similares en funcionamiento, pero abaratando los costos permitiendo así que terceras personas puedan visualizar la información que antiguamente solo el que lo manejaba conocía.

Con el paso del tiempo, han surgido nuevas tecnologías que han reemplazado a las anteriores, como es el caso de los sistemas basados en ADS y ADS-B, que analizaremos a continuación. La siguiente tabla muestra la característica principal de cada modo en la Tabla 1.

Tabla 1. Característica principal de cada modo.

MODO A	MODO C	MODO S
Muestra la posición de la aeronave.	Proporciona una ubicación y altitud de la aeronave con mayor precisión.	Más sofisticado, permite conocer la posición, altitud, velocidad, es un sistema que evita colisiones en vuelo.

2.4 VIGILANCIA DEPENDIENTE AUTOMÁTICA (ADS)

El ADS es una tecnología que transmite una serie de parámetros a través del enlace de datos correspondiente al sistema de navegación y posicionamiento de a bordo, junto con la información del estado del vuelo. Tiene dos características fundamentales: en primer lugar, es dependiente porque la información se origina en la aeronave y, por lo tanto, depende de los sistemas a bordo; en segundo lugar, es automático ya que no requiere que el piloto envíe datos a la base de control. Además, el sistema ADS utiliza un sistema de navegación aérea y estaciones receptoras terrestres capaces de recibir y procesar mensajes ADS a través del sistema de vigilancia. [2]

2.4.1 VIGILANCIA DEPENDIENTE AUTOMÁTICA- BROADCAST (ADS-B)

La definición de la tecnología ADS-B se desglosa de la siguiente manera:

ADS: Automática, ya que la información se transmite periódicamente y no requiere ninguna acción por parte del piloto ni de ningún operador.

Dependiente: Debido a que sus vectores de posición y velocidad dependen del Sistema de Posicionamiento Global GPS.

Vigilancia: Corresponde a un método en el cual cada aeronave pasa por la identificación de ubicación tridimensional.

Difusión: Permite que cualquier dispositivo con un sistema de recepción adecuado pueda recibir la señal. [6]

En la actualidad, la tecnología ADS-B se emplea para llevar a cabo la vigilancia aérea en tiempo real utilizando aeronaves equipadas con esta tecnología. El sistema se basa en la utilización de un sistema de navegación satelital (GPS) que se encuentra en constante actualización.

Cuando una aeronave transmite datos, se refiere como "ADS-B Out", mientras que las estaciones equipadas con receptores ADS-B se conocen como "ADS-B In". Estas estaciones receptoras también pueden recibir señales ADS-B para conocer la posición de otras aeronaves en el espacio aéreo.[4]

Los datos que transmite la aeronave suelen incluir identificadores de vuelo, ubicación, hora, entre otros. Dado que no hay acuse de recibo y la transmisión es en modo de difusión, la aeronave no tiene conocimiento sobre qué receptores reciben su información ni si es recibida por algún receptor en absoluto.[3]

2.4.2 PROTOCOLO ADS-B

Hay protocolos y normativas establecidos para la codificación y decodificación de datos. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) ha desarrollado dos sistemas estandarizados de ADS-B. (OACI, 2013)

1. 1090ES (extensor de señales espontáneas de 1090 MHz)
2. UAT (transpondedor de acceso universal)

El 1090ES Se puede describir como una ampliación del transpondedor del radar secundario en Modo S, que transmite a 1090 MHz, una aeronave con esta extensión de transpondedor puede enviar un mensaje de 112 bits, suficiente para que coincida con La señal de datos ADS-B emitida desde tierra, la cual es recibida por el radar en Modo S o mediante una antena omnidireccional, ofrece una solución económica de implementar debido a las razones mencionadas anteriormente. El extensor de Squitter emite señales a intervalos aleatorios, que no están coordinados con las transmisiones de otros usuarios.[2]

Es importante tener en consideración que este protocolo es requerido para vuelos que superen los 18,000 pies o 5,500 metros, pero también puede ser utilizado en vuelos a altitudes inferiores. La frecuencia de 1090 MHz está designada para SSR, TCAS y ADS-B, lo que significa que no interfiere con los usos actuales de los transpondedores de Modo S. [6]

UAT puede ser configurado para ofrecer tanto "ADS-B Out" como "ADS-B In" en un mismo producto. La transmisión se realiza a 978 MHz, la misma frecuencia que utiliza el Squitter Extensor para transmitir los mismos datos que los 1090 MHz, con la diferencia de que en "ADS-B In" hay un mayor servicio de datos upstream en la frecuencia de 978 MHz

Existe un estándar conocido como VDL Modo 4, que permite el establecimiento de enlaces de datos para la navegación y vigilancia aire-aire y aire-tierra. Utiliza un esquema de modulación y un método de acceso denominado Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) y Ad Hoc Time Multiple Access (STMA). Tanto el equipo instalado en la aeronave como el equipo en tierra deben tener la capacidad de sintonizar un canal entre 117,95 MHz y 137 MHz. Sin embargo, este estándar se encuentra rezagado respecto al 1090 ES y UAT debido a su costo y a las restricciones impuestas por la necesidad de cuatro canales de 25 kHz para cumplir con los requisitos de densidad de tráfico existentes, además de problemas de interferencia.

La diferencia principal entre VDL Modo 4 y los dos estándares anteriores es que se trata de una tecnología similar a ADS-B, derivada de sistemas marítimos. En noviembre de 2001, la OACI adoptó el protocolo como norma mundial debido a que permite las comunicaciones aire-tierra. VDL Modo 4 opera en la banda VHF para servicios típicos como la radionavegación, mientras que los estándares 1090ES y UAT operan en la banda UHF para servicios similares. [6]

2.4.3 LA ESTRUCTURA DE BLOQUE DE DATOS ADS-B

Los datos ADS-B están disponibles en dos formatos. La primera es una llamada de mensaje corto, es el formato estándar el cual únicamente envía datos sobre la dirección de la aeronave y ocupa 56 bits. El segundo es el formato extendido, que proporciona información más detallada y relevante, y tiene un tamaño de 112 bits.

El inicio del mensaje, conocido como preámbulo, abarca un lapso de 8 microsegundos y se compone de cuatro pulsos, cada uno con una duración de 0.5 ± 0.05 microsegundos.

La separación temporal entre estos pulsos es de 1 microsegundo para el primero, 3.5 microsegundos para el segundo y 4 microsegundos para el tercero.

Después de estos 8 microsegundos, comienza el campo de datos del mensaje. Este campo tiene una duración de 112 microsegundos, asignándose 1 microsegundo a cada "bit" o ranura de tiempo. Cada bit se construye mediante la combinación de dos pulsos, los cuales deben tener una duración de 1 ± 0.05 microsegundos.

ocurre de aire a tierra, de tierra a aire o en ambos sentidos. Los detalles se encuentran disponibles en la Tabla 3 a continuación.

Tabla 3. Sentido de la comunicación en la codificación

Codificación		Sentido de la Comunicación
Binario	Decimal	
000	0	Nivel 1 de transponder y modo tierra-aire
-	1,2,3	Reservado
100	4	Nivel 2, modo Tierra-Tierra
101	5	Nivel 2, modo Aire-Aire
110	6	Nivel 2, modo Aire-Tierra o tierra-Aire
111	7	DR no es igual a 0 o FS es 2, 3, 4 o 5 y modo tierra o aire

3. (ICAO) Dirección de 24 bits

Número identificador del transponder único para cada avión

4. Data

La sección de datos consta de 56 bits en total, siendo los primeros 5 bits indicativos del contenido específico del mensaje. En la Tabla 4 se detallan los distintos contenidos junto con sus correspondientes códigos.

Tabla 4. Identificación del mensaje a través del Tipo de Código

Código Tipo (TC)	Definición
1-4	Identificación del avión
5-8	Posición superficial
9-18	Posición aerotransportada (altitud barométrica)
19	Velocidad aerodinámica
20-22	Posición aerotransportada (GNSS)
23-27	Reservado
28	Estado del avión
29	Información de vuelo y del estado
31	Estado de operación de la aeronave

A continuación, se dará una pequeña explicación sobre los datos que constan en la tabla anterior

Tipo de Código (TC)

Este bloque de tipo de código nos ayuda a diferenciar e identificar qué contienen los diferentes mensajes.

Código de Subtipo (SC)

El código de subtipo consta de tres bits, ubicado entre los bits 38 y 48. Un valor de 0 indica que la aeronave está en vuelo, mientras que un valor de 1 indica que la aeronave está en tierra. Los valores de 2 a 7 están reservados.

Altitud (Altitude)

Distancia vertical medida desde un punto específico, como el nivel del mar, hasta otro punto en la atmósfera, la superficie de la Tierra o cualquier otra referencia adecuada un código de longitud de 12 bits de 41-52.

Tiempo (Time)

El tiempo es de 53 bits, no se envía cuando es 0, y el valor es 1 significa el tiempo del GPS. Se realiza a través de funciones trigonométricas y utilizando retardos de señal.

Informe de Ubicación Compacto (Compact Position Reporting)

La ubicación abreviada se describe en función de mediciones de distancias pares/impares (en los hemisferios norte/sur) y se establece la posición de la embarcación (coordenadas de latitud y longitud). Cada conjunto de coordenadas requiere 17 bits de espacio para su representación. [3]

Latitud (Latitude)

Es la medida angular que indica la distancia hacia el norte o hacia el sur desde el ecuador de la Tierra.

Longitud (Longitude)

Es la medida angular que indica la distancia hacia el este o hacia el oeste desde el meridiano de referencia, que es el meridiano de Greenwich.

5. Identidad de paridad (Parity)

Por otro lado, la paridad está representada por los últimos 24 bits del mensaje. Esta parte se emplea para verificar la integridad del mensaje recibido. El sistema ADS-B utiliza un método de verificación de redundancia cíclica (CRC) para validar el mensaje. [2]

6. Código Squawk

Los códigos Squawk son representados por cuatro bits, donde cada bit puede tomar un valor entre cero y siete. En ocasiones, se solicita a una aeronave cambiar su código después del despegue para mejorar la comunicación con otras torres de control o cuando ingresa a espacios aéreos restringidos.

Los códigos de emergencia más comunes son:

- Sqwk=7500: Indica que la aeronave ha sido secuestrada y se requieren servicios de seguridad y control de tráfico aéreo.
- Sqwk=7600: Utilizado cuando se pierde la comunicación con la torre.
- Sqwk=7700: Representa todas las emergencias durante el vuelo que requieren atención inmediata.

Los elementos más importantes transmitidos en el mensaje de salida ADS-B (Out) incluyen el tiempo de validez, la identificación única de 24 bits de la aeronave, el identificador de vuelo, la clase o tipo de transmisor, la ubicación geográfica, la altitud, la velocidad horizontal y el modo de operación para recibir servicios de control de tráfico aéreo.

Existen mensajes codificados para transmitir la posición y la altitud de la aeronave. Los códigos TC de 9 a 18 y de 20 a 22 indican si la altitud es barométrica o basada en el

Sistema de Navegación Global por Satélite (GNSS). Cuando el código de modelo es del 9 al 18, la altitud codificada representa la altitud de presión atmosférica de la aeronave. Cuando es de 20 a 22, la altitud codificada contiene la altitud GNSS de la aeronave. Los cálculos de altitud GNSS y las altitudes barométricas generalmente no difieren significativamente (+/- 25 pies). La Tabla 5 define la longitud y el significado de cada mensaje y parámetro de altitud y posición.

Tabla 5. Significado de los campos de las tramas de posición

Campo		MSG	ME	BITS
Tipo de código (TC) 9-18: para altitud barométrica 20-22: altitud GNSS	TC	33-37	1-5	5
Estado de Vigilancia 0: Sin condición 1: Alerta permanente 2: Alerta temporal 3: Condición SPI	SS	38-39	6-7	2
Bandera única de antena	SAF	40	8	1
Altitud codificada	ALT	41-52	9-20	12
Tiempo	T	53	21	1
Formato CPR 0: trama par 1: trama impar	F	54	22	1
Latitud Codificada	LAT-CPR	55-71	23-29	17
Longitud Codificada	LON-CPR	77-88	40-56	17

2.4.4 SDR (RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE)

Si estos dispositivos se emplean para recibir la señal, resultan económicos debido a su capacidad para cambiar el protocolo y la forma de onda mediante software.

El diagrama por bloques presentado en la Figura 2 abarca elementos esenciales del receptor, que van desde la antena hasta el conversor analógico-digital (ADC) y el

conversor digital-analógico (DAC), incluyendo el procesamiento digital, que implica el uso de SDR mediante software, tal como se muestra en la Ilustración 5.

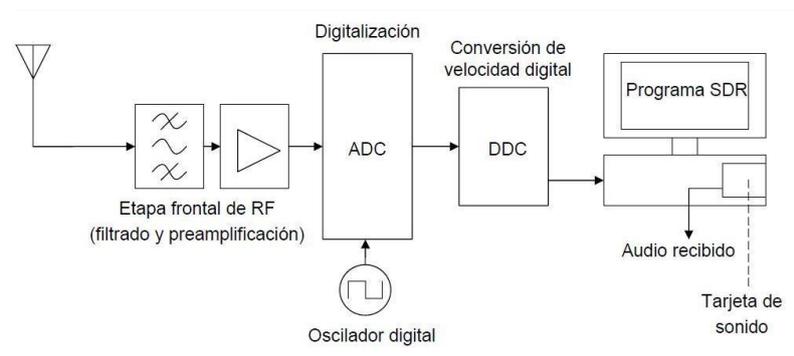


Ilustración 5. Esquema SDR en dispositivos de bajo costo.

2.5 UAVS DE NUEVA GENERACIÓN

DJI, que es la abreviatura de Dà-Jiāng Innovations, es una empresa china de renombre internacionalmente. Su principal enfoque se concentra en la producción de drones, lo que la ha posicionado como el principal fabricante a nivel global de estos vehículos aéreos no tripulados. En los últimos años, ha introducido al mercado drones equipados con innovadoras tecnologías de comunicación aérea, como el Sistema de Vigilancia Automática. (ADS-B). [8]

2.5.1 TECNOLOGÍA DJI AIRSENSE (ADS-B in)

DJI AirSense es una función de alerta que emplea tecnología ADS-B, diseñada para proporcionar a los pilotos de drones una mayor percepción del entorno y asistirlos en la toma de decisiones prudentes durante el vuelo. Esta característica recopila datos de vuelo enviados de forma automática desde aeronaves cercanas equipadas con transmisores ADS-B, analizándolos para identificar posibles peligros de colisión y alertar a los usuarios con suficiente anticipación mediante la aplicación móvil de DJI a continuación se detalla el esquema del sistema en la Ilustración 6. [8]



Ilustración 6. Sistema AirSense

2.5.2 DRONES COMERCIALES CON EL SISTEMA ADS-B “DJI”

La tecnología AirSense recibe las señales ADS-B transmitidas por aeronaves y helicópteros cercanos, alertando a los pilotos de drones en caso de que estén en curso de colisión. Esta implementación marca un hito significativo al representar la mayor

adopción de la tecnología de detección de colisiones ADS-B hasta la fecha, estableciendo un nuevo estándar al hacer que la tecnología de seguridad de drones de nivel profesional sea accesible para todos. [8]

AirSense tiene la capacidad de detectar aviones y helicópteros a varios kilómetros de distancia, superando los límites de la vista y audición de los pilotos. Esta información se mostrará en la pantalla del control remoto. Hasta el momento, esta función solo estaba disponible en algunos drones de gama profesional de DJI.

A continuación, mostraremos los modelos de los drones de la marca DJI de nueva generación que poseen el sistema ADS-B, así como sus especificaciones por parte de la empresa con la nueva tecnología AIRSENSE que es lo nuevo que está promocionando para la vigilancia de estos. [8]

2.5.3 UAVs DJI MAVIC AIR 2

El DJI Mavic Air 2 ha alcanzado el primer puesto en nuestra lista de los mejores drones disponibles en el mercado. Sin embargo, durante su lanzamiento oficial, hubo una nota interesante por parte de DJI: las unidades del Mavic Air 2 incluirán AirSense incorporado. Ilustración 7.



Ilustración 7. Drone MAVIC Air 2

2.5.4 UAVs DJI AIR 2s

Un dron de nueva generación de gama media que comprende el sistema de vigilancia automática con su sistema de ADS-B mediante el AirSense que proporciona que sea más eficiente a la hora de un vuelo. [8] Ilustración 8.



Ilustración 8. Drone DJI Air 2

2.5.5 UAVs DJI MATRICE SERIES

DJI planea equipar todos los nuevos drones que pesen más de 250 gramos con receptores ADS-B, con esto observamos que todos sus modelos Matrice contengan este sistema ya que son drones de alta gama usados especialmente para trabajos de rescate, vigilancia, etc. [8] Ilustración 9.



Ilustración 9. Drone Matrice series

2.6 HARDWARE DEL SISTEMA

2.6.1 FLIGHTAWARE RECEPTOR USB ADS-B PRO STICK

ADS-B es una tecnología que habilita a las aeronaves para determinar su ubicación mediante satélites y luego transmitirla. Esta data puede ser captada por estaciones terrestres, permitiendo el rastreo de vuelos. Con FlightAware, puedes construir y operar tu propia estación terrestre ADS-B, la cual puede ser instalada en cualquier lugar y recibir información en tiempo real directamente desde aviones en tu Raspberry Pi. Ilustración 10.



Ilustración 10. FlightAware Receptor USB ADS-B Pro Stick

FlightAware ha revolucionado el mundo de los receptores ADS-B con su FlightAware Pro Stick y Pro Stick Plus. Estos dispositivos son radios definidas por software (SDR) USB de alto rendimiento, equipados con un amplificador RF integrado para una eficiencia máxima en la recepción de señales ADS-B/MLAT. El Pro Stick de FlightAware es pionero en su clase y es compatible con PiAware y otros dispositivos que admiten receptores USB RTLSDR.

El Pro Stick Plus incluye un filtro de paso de banda de 1090 MHz incorporado para mejorar el desempeño y alcance de recepción en áreas con ruido de RF moderado, como

es habitual en la mayoría de las zonas urbanas a continuación, se presentan los datos técnicos detallados en la tabla 6.

Tabla 6. Ficha de especificaciones técnicas del Pro Stick Plus

Características del Pro Stick Plus	Especificaciones del Pro Stick Plus
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor rendimiento para ADS-B y MLAT <ul style="list-style-type: none"> ○ Aumenta el alcance entre un 10 y un 20 % con respecto al Pro Stick cuando el filtrado es beneficioso ○ Agrega un filtro integrado de 1090 MHz con R820T2 SDR y amplificador de RF (alimentado por USB) ○ El conector SMA nativo produce una pérdida reducida debido al cableado/adaptadores de antena • Más fácil de configurar <ul style="list-style-type: none"> ○ Conector SMA F para una fácil conectividad a una antena de alto rendimiento ○ No se requieren adaptadores MCX ○ No se requiere amplificador externo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Chip: R820T2 • Amplificador: 19dB con figura de ruido de 0,4dB y OIP3 +39dB • TCXO: 0,5 ppm • Filtro: banda de paso de 1.075 MHz a 1.105 MHz con pérdida de inserción de 2,3 dB; Atenuación de 30 dB en otras frecuencias. • Consumo de energía: 300 mA • Peso: 17 g/0,6 onzas • Dimensiones: 95 mm x 32 mm x 13 mm • Puerto de antena: SMA hembra (requiere cable de antena SMA y, opcionalmente, adaptador N-macho para antena grande) • Alcance: Más de 300 nm/550 km dependiendo de la calidad de la instalación.

2.6.2 MINIORDENADOR (RASPBERRY PI 4)

El miniordenador Raspberry Pi 4 es un miniordenador que, en su última versión, el Modelo B, ofrece una variedad sorprendente de funcionalidades sin necesitar de todo el hardware tradicional. Ilustración 11.



Ilustración 11. Raspberry pi 4 con case

Los entusiastas de la tecnología aprovechan las placas Pi para transformarlas en una variedad de dispositivos, incluyendo centros de medios, servidores de archivos, consolas de juegos retro, enrutadores e incluso bloqueadores de red para principiantes. Y esto es solo la punta del iceberg en cuanto a su potencial. A continuación, se presentan los datos técnicos detallados en la tabla 7.

Tabla 7. Especificaciones técnicas Raspberry Pi4

FICHA TECNICA	
PROCESADOR	ARM Cortex-A72
FRECUENCIA DE RELOJ	1,5 GHz
GPU	Video Core VI (con soporte para OpenGL ES 3.x)
MEMORIA	1 GB / 2 GB / 4 GB LPDDR4 SDRAM
CONECTIVIDAD	Bluetooth 5.0, Wi-Fi 802.11ac, Gigabit Ethernet
PUERTOS	GPIO 40 pines 2 x micro HDMI 2 x USB 2.0 2 x USB 3.0 CSI (cámara Raspberry Pi) DSI (pantalla táctil) Micro SD Conector de audio Jack USB-C (alimentación)

2.6.3 ANTENA SMA 3DBI ADS-B 1090MHZ CON BASE MAGNÉTICA

La antena SMA 3DBi ADS-B de 1090 MHz con base magnética es una opción compacta y elegante diseñada específicamente para recibir los datos ADS-B procedentes de los UAVs que se muestra en la Ilustración 12.



Ilustración 12. Antena SMA 3dBi ADS-B

Con su conector SMA macho, es compatible con una amplia gama de receptores ADS-B, incluyendo FlightAware Dongles, PiAware, Mode S Beast, Radarcapc, Kinetic SBS1/SBS3, RTL Dongles, entre otros. Su base magnética permite fijarla fácilmente a una superficie metálica interna, lo que facilita seguir el rastro de los aviones a medida que pasan se detalla los datos técnicos en la tabla 8.

Tabla 8. Especificaciones técnicas antena.

Descripción del producto	
1	Frecuencia: 1090 MHz
2	Ganancia: 6 dBi (máx.)
3	Tipo de polarización: vertical.
4	Potencia nominal: 50 W.
5	Conector: SMA macho
6	Longitud total (de la base a la parte superior): 11.8 pulgadas
7	Diámetro de la base: 1.2 in
8	Tipo de cable: RG174.
9	Longitud del cable: 1.5M/3M

2.6.4 MÓDULO GPS NEO – 6M

La línea de módulos NEO6 representa una serie de receptores GPS autónomos, basados en la arquitectura UBLOX6. Estos dispositivos son motores de funcionamiento eficientes y económicos, que ofrecen una amplia gama de opciones de conectividad en dispositivos portátiles. La arquitectura, así como las opciones de alimentación y almacenamiento, hacen que el módulo NEO6 se destaque, convirtiéndolo en la elección preferida para la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi. Los detalles técnicos se encuentran detallados en la tabla 9.

Tabla 9. Especificaciones técnicas GPS-NEO 6M.

Sistemas Compatibles	GPS
Voltaje de entrada	2.7 – 3.6 V
Precisión	2.5 m
Tiempo conexión principal	26 s
Canales frecuencia	50 canales
Interfaces lectura	DDC, UART

2.6.5 ADALM PLUTO

El módulo de aprendizaje activo ADALM-PLUTO (PlutoSDR) es un dispositivo (SDR) diseñado a facilitar el aprendizaje e introducción de estudiantes de ingeniería eléctrica en los conceptos fundamentales de la radiofrecuencia (RF) y las comunicaciones inalámbricas. Ilustración 13



Ilustración 13. SDR Adalm Pluto

Es un recurso fácil de usar que está especialmente pensado para estudiantes de todos los niveles y de diversos trasfondos académicos. Este módulo se puede emplear tanto en entornos de aprendizaje dirigidos por un instructor como de manera autodidacta, lo que posibilita que los estudiantes adquieran un sólido entendimiento de la RF y las comunicaciones inalámbricas en situaciones del mundo real. Este conocimiento es invaluable para aquellos que están estudiando ciencia, tecnología o ingeniería, ya que les proporciona una base sólida que pueden aplicar y desarrollar a medida que avanzan en sus carreras académicas y profesionales se detalla los datos técnicos en la tabla 10.

Tabla 10. Especificaciones técnicas Adalm Pluto.

Atributo del producto	Valor de atributo
Fabricante:	Analog Devices Inc.
Categoría de producto:	Herramientas de desarrollo RF
RoHS:	Detalles
Producto:	Evaluation Modules
Tipo:	Software Defined Radio - SDR
La Herramienta es para la Evaluación de:	AD9363
Frecuencia:	325 MHz to 3.8 GHz
Marca:	Analog Devices

Empaquetado:	Bulk
Tipo de producto:	RF Development Tools
Serie:	HW-ALLIANCE
Subcategoría:	Development Tools
Peso de la unidad:	25

2.7 SOFTWARE DEL SISTEMA

2.7.1 FLIGHTAWARE

Este es un programa de línea de comandos que decodifica señales ADS-B, diseñado para receptores RTL-SDR. Su función principal es recibir señales y mostrar la ubicación de aeronaves cercanas en un mapa. La empresa FlightAware ha desarrollado una aplicación para Pc, la cual permite mediante Redes Ip conectarse al dispositivo, que se conecta al receptor RTL mediante un adaptador. Ilustración 14



Ilustración 14. FlightAware

El motor HyperFeed de FlightAware procesa grandes volúmenes de datos diariamente, alcanzando cientos de gigabytes. Utiliza inteligencia artificial (IA) y algoritmos de aprendizaje automático (ML o "machine learning") para analizar y comprender los movimientos de aeronaves a nivel global. Este motor ofrece tanto datos predictivos como históricos, consolidándose como una fuente confiable y completa de información aeronáutica.

2.7.2 MATLAB

MATLAB es un entorno de programación y desarrollo de software utilizado en diversos campos, desde matemáticas y ciencias hasta ingeniería y finanzas. Ofrece un amplio conjunto de herramientas para el análisis de datos, la visualización y la resolución de problemas numéricos y simbólicos. MATLAB se destaca por su capacidad para realizar cálculos complejos, crear modelos y simulaciones, y desarrollar algoritmos para una variedad de aplicaciones. Es ampliamente utilizado en la investigación académica, la industria y otras áreas donde se requiera análisis y procesamiento de datos avanzados.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Se llevó a cabo una investigación exhaustiva que abarcó libros, artículos, tesis, publicaciones en línea, sitios web y revistas. Se recopiló toda la información necesaria para la creación de los documentos. Para establecer el marco teórico, se realizó un análisis detallado de la literatura bibliográfica y de revistas especializadas.

3.1.2 INVESTIGACIÓN APLICADA

Se emplea para tomar acciones y elaborar políticas y estrategias en el diseño de equipos. Estas decisiones se fundamentan en descubrimientos técnicos obtenidos a partir de la investigación bibliográfica, considerando el proceso de integración de la teoría con el producto.

Todos los conocimientos previos se aplican para generar un resultado técnico, culminando en el resultado final al conectar el proceso teórico con el práctico antes de la obtención de datos en el prototipo.

3.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 MÉTODO ANALÍTICO

Los fenómenos únicos son examinados mediante enfoques analíticos, mientras que la inducción da lugar al establecimiento de leyes generales. Estas leyes, a su vez, son aplicadas a casos particulares mediante métodos deductivos, y mediante la síntesis, se fusionan conocimientos que parecieran no estar relacionados.

El proceso comienza con una interrogante de investigación y sigue con un análisis hipotético para abordar la problemática estudiada.

3.2.2 MÉTODO DESCRIPTIVO

Mediante este método de investigación, es factible explicar la construcción del prototipo, detallar los elementos físicos empleados y el procedimiento seguido para alcanzar el desenlace.

3.2.3 MÉTODO EXPERIMENTAL

El método experimental está caracterizado para el establecimiento de un control bajo observación. Mediante este enfoque, se tienen en cuenta los conocimientos de análisis previos para su aplicación final y demostración a través de resultados de rendimiento del sistema diseñado.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 POBLACIÓN

Se definió una población finita, recopilando datos sobre la longitud, latitud y altitud de la recepción de señales en dos escenarios distintos, cada uno con una trayectoria predefinida, en diferentes días y horas.

3.3.2 MUESTRA

La muestra será seleccionada de la población previamente definida.

3.3.3 OPERALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 11. Variables del sistema.

Variable	Concepto	Indicadores	Técnicas e Instrumentación
INDEPENDIENTE COBERTURA DE DETECCIÓN DEL SISTEMA EN UN RANGO DE 200m	La distancia que cubre este sistema de vigilancia para detectar la circulación de un dispositivo UAVs desconocido.	Distancia (m)	Mediante un análisis basado en eventos a través del sistema de vigilancia se evaluará mediante una técnica cuantitativa de acuerdo con la transmisión y visualización de datos enviados, se demostrará la cobertura del sistema para detectar drones.
DEPENDIENTE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN DE DATOS, CANTIDAD DE BITS QUE SE ENVIAN A DIFERENTES DISTANCIAS	Los datos han sido procesados y presentados de manera que puedan ser comprendidos e interpretados por el receptor.	Flujo de bits (bits/s)	

3.4 HIPÓTESIS

El diseño del sistema de telecomunicaciones para vigilancia de UAVs de nueva generación tendremos como resultado un prototipo en el cual podamos saber su ubicación e información dentro de un área establecida para ser usada en diferentes proyectos en la industria aplicando las siguientes hipótesis en base a lo diseñado

3.4.1 HIPÓTESIS NULA

Hipótesis Nula (H0)

H0: $\mu A = \mu B$

Como resultado de nuestro sistema de telecomunicaciones UAVs de nueva generación equivale al rango de la distancia especificada por el sistema SDR, para aun aumento significativo del área de cobertura, así como la frecuencia asignada para el uso de este sistema de 1090 MHz, el control significativo en saber la ubicación de un UAVs sin tener un aporte viable en la industria, según el análisis estadístico podemos comprobar que nuestro sistema tiene la misma funcionalidad que el GPS.

3.4.2 HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Hipótesis Alternativa (H1)

H1: $\mu A \neq \mu B$

Para mejorar el sistema de telecomunicaciones para los UAVs, se tomará en cuenta el transmisor como el receptor de la señal ADS-B ya que los sistemas radiantes (antenas) tiene gran importancia al momento de enviar y recibir con eficiencias las señales del sistema, acoplaremos los resultados obtenidos como Latitud, Longitud y Altura para poder aplicar en el monitoreo de UAVs en un sector o aplicarlos a gran escala.

3.5 DISEÑO DEL SISTEMA TRANSMISIÓN PARA UAVS DE NUEVA GENERACIÓN

A continuación, se describen los pasos para configurar e instalar el sistema de transmisión de señales ADS-B.

Inicialmente configuraremos el módulo GPS, en el módulo ESP32 y el software.

3.5.1 ACTIVACIÓN DEL MÓDULO GPS NEO – 6M

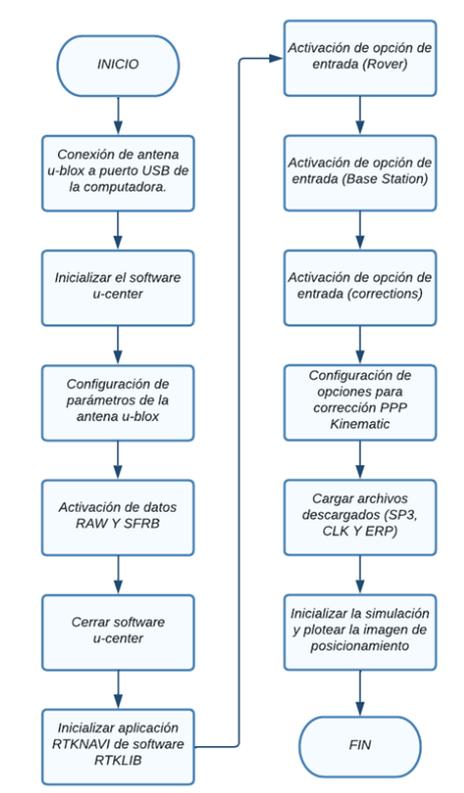


Ilustración 15. Diagrama de flujo de la instalación del módulo GPS.

3.5.2 CONEXIÓN DEL MÓDULO GPS Y MÓDULO ESP32

Se trata de conectar básica los dispositivos en serie, por lo que es necesario enlazar los pines TX y RX del módulo ESP32. La señal de entrada RX debe conectarse a la salida TX del módulo ESP32, y viceversa, asegurándose de ajustar los voltajes correctamente, tal como se observa en la Ilustración 16.



Ilustración 16. Conexión del módulo GPS y ESP32

3.5.3 RECEPCIÓN DE LOS DATOS SATÉLITES DE LA UBICACIÓN

Los datos corregidos se presentan en la consola de ESP32. Esta consola permite visualizar las coordenadas geográficas, como la latitud, la longitud y su altitud. Además, proporciona información adicional sobre la velocidad de un punto específico, como miramos en la Ilustración 17.

```
pi@raspberrypi: ~  
lqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqkllqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqk  
x Time: 2024-05-28T23:51:20.000Z xxPRN: Elev: Azim: SNR: Used: x  
x Latitude: -1 N xx 8 55 301 22 Y x  
x Longitude: -7 E xx 10 70 101 29 Y x  
x Altitude: 235.318 m xx 11 21 284 27 Y x  
x Speed: 0.15 kph xx 16 28 198 20 Y x  
x Heading: 126.4 deg (true) xx 20 44 059 31 Y x  
x Climb: -2.64 m/min xx 21 21 080 15 Y x  
x Status: 3D FIX (90 secs) xx 26 07 185 17 N x  
x Longitude Err: +/- 9 m xx 27 85 184 17 N x  
x Latitude Err: +/- 15 m xx 32 13 139 22 N x  
x Altitude Err: +/- 34 m xx 153 -91 000 27 N x  
x Course Err: n/a xx x  
x Speed Err: +/- 2 kph xx x  
x Time offset: 0.131 xx x  
x Grid Square: JN88ee xx x
```

Ilustración 17. Datos para mostrar una posición

3.6 RECEPTOR ADS-B CON EL SISTEMA DE FLIGHTAWARE

Para construir un este receptor necesitaremos de la conexión de las Raspberry, una tarjeta de microSD, el lector de la tarjeta microSD, el receptor SDR ADS-B de puerto USB y una antena para la frecuencia deseada en este caso usaremos una antena para 1090MHz como se muestra en la Ilustración 18.



Ilustración 18. Receptor ADS-B

3.6.1 INSTALACIÓN DEL SISTEMA OPERATIVO PIAWARE

Para instalar el sistema operativo PiAware, se utilizó Raspbian Linux 8.2 Imager, una aplicación que simplifica el proceso al permitir la selección y descarga de las imágenes disponibles de Raspbian. Después, la tarjeta SD se introdujo en la ranura de la PC. En caso de no disponer de esta ranura, se puede utilizar un lector externo de tarjetas SD. Luego, el proceso de instalación prosiguió según se muestra en la Ilustración 19.

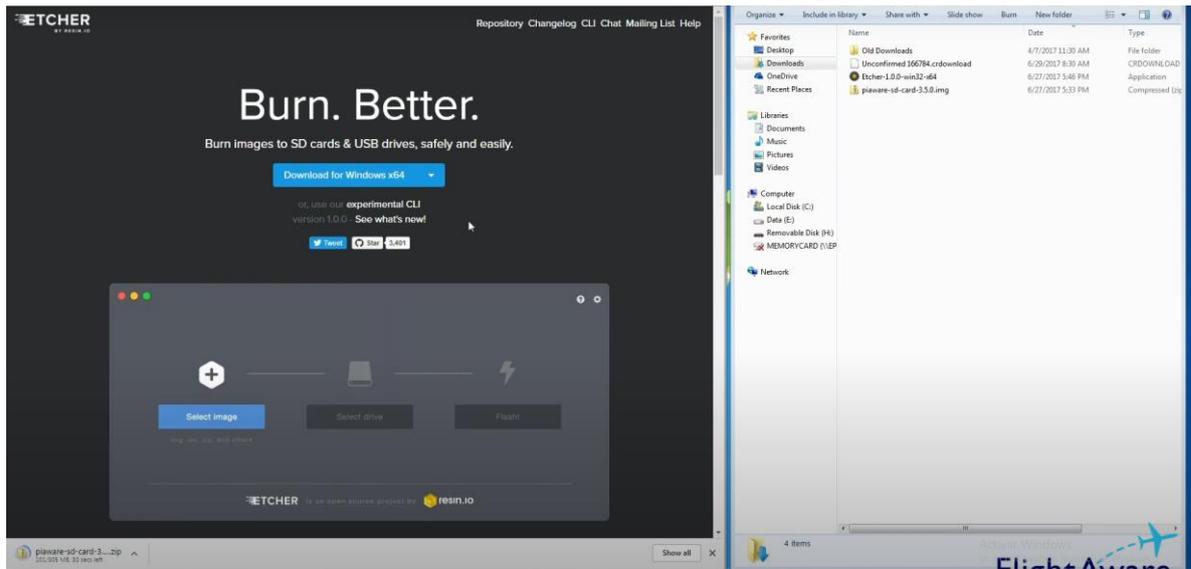


Ilustración 19. Descarga del sistema operativo PiAware

Con ETCHER, el programa PiAware que descargamos en la memoria microSD procedemos a realizar el flasheo para poder utilizarlo en nuestra Raspberry. Ilustración 20.



Ilustración 20. Instalación del sistema operativo PiAware.

3.6.2 CONFIGURACIÓN DE LA NETWORK

Para esta parte tenemos que tomar en cuenta que tipo de conectividad vamos a usar, ya sea una comunicación mediante un cable de red o una configuración con la tarjeta wifi del dispositivo Raspberry puesto que de las dos formas tendremos conexión, en este proyecto lo realizaremos de con la tarjeta wifi así procederemos a buscar el archivo “piaware-config” como se muestra en la Ilustración 21.

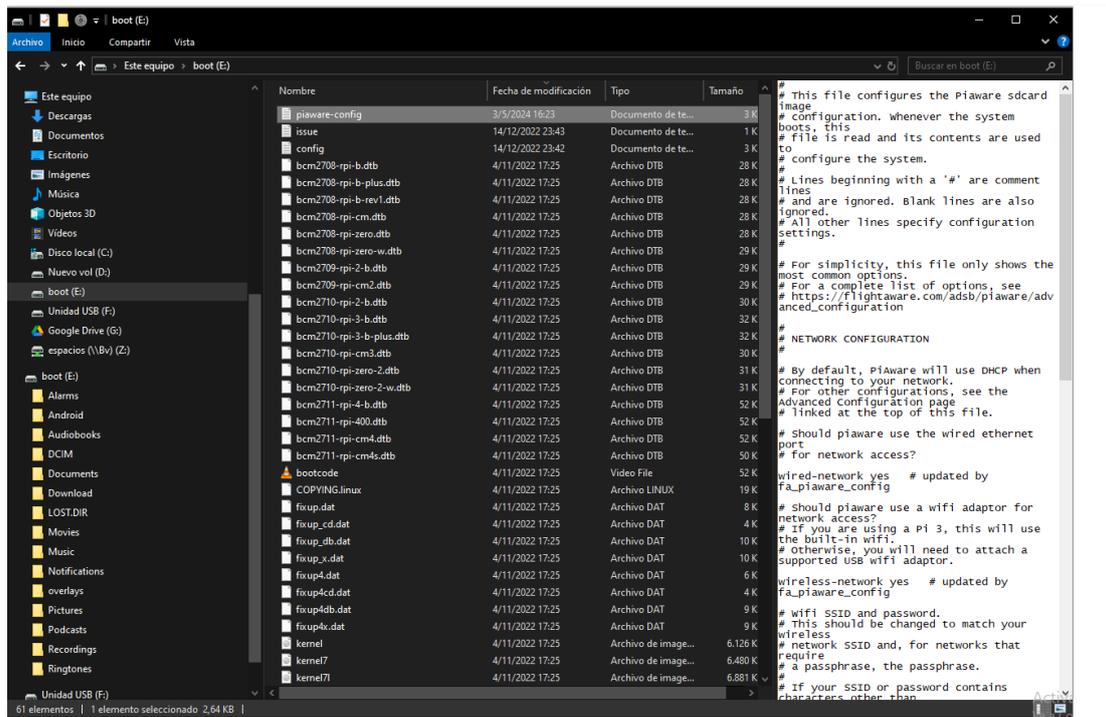


Ilustración 21. Archivo piaware-config

Abrimos el archivo “piaware-config” con el Bloc de notas y en este caso se conectará a la red del primer lugar en donde se realizará las pruebas Estudio de Arquitectura “ESPACIOS” como se describe en la siguiente Ilustración 22.

```
piaware-config: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
# for network access?

wired-network yes # updated by fa_piaware_config

# Should piaware use a wifi adaptor for network access?
# If you are using a Pi 3, this will use the built-in wifi.
# Otherwise, you will need to attach a supported USB wifi adaptor.

wireless-network yes # updated by fa_piaware_config

# Wifi SSID and password.
# This should be changed to match your wireless
# network SSID and, for networks that require
# a passphrase, the passphrase.
#
# If your SSID or password contains characters other than
# numbers and letters, such as the # character or whitespace,
# you should enclose the value in quotation marks. For example,
# "pass word" or "pass#word".
#
# To include quotation marks (") in a quoted value, use \"
# To include a backslash (\) in a quoted value, use \\

wireless-ssid SPEEDY ESPACIOS
wireless-password E$P@CIOS

#
# 1090MHZ RECEIVER CONFIGURATION
#
# For a complete list of receiver types and their associated settings,
# see the Advanced Configuration page linked at the top of this file.
#
# For a receiver type of 'rtlsdr', this setting controls the dongle gain.
# Use "max" for maximum gain. Other values are interpreted as a gain in dB.
rtlsdr-gain max

#
# OTHER CONFIGURATION
#
# Should automatic system updates (initiated by FlightAware) be allowed?
allow-auto-updates yes

# Should manual system updates (initiated by you from the website control
```

Ilustración 22. Configuración de NETWORK

3.6.3 INICIALIZACIÓN DEL SISTEMA PARA EL RECEPTOR ADS-B

Una vez realizado todo el procedimiento anterior, insertamos la microSD en la Raspberry para ejecutar todo el código insertado en la programación del sistema operativo PiAware para que pueda correr el receptor y obtener la señal del sistema de telecomunicaciones para drones con tecnología ADS-B como se muestra en la Ilustración 23 e Ilustración 24.

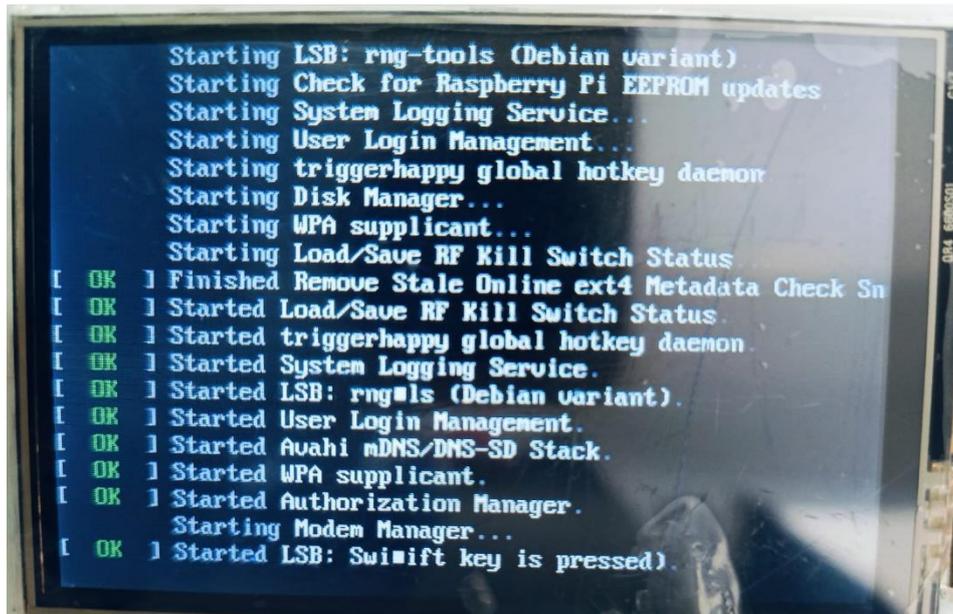


Ilustración 23. Receptor ADS-B instalada en Raspberry

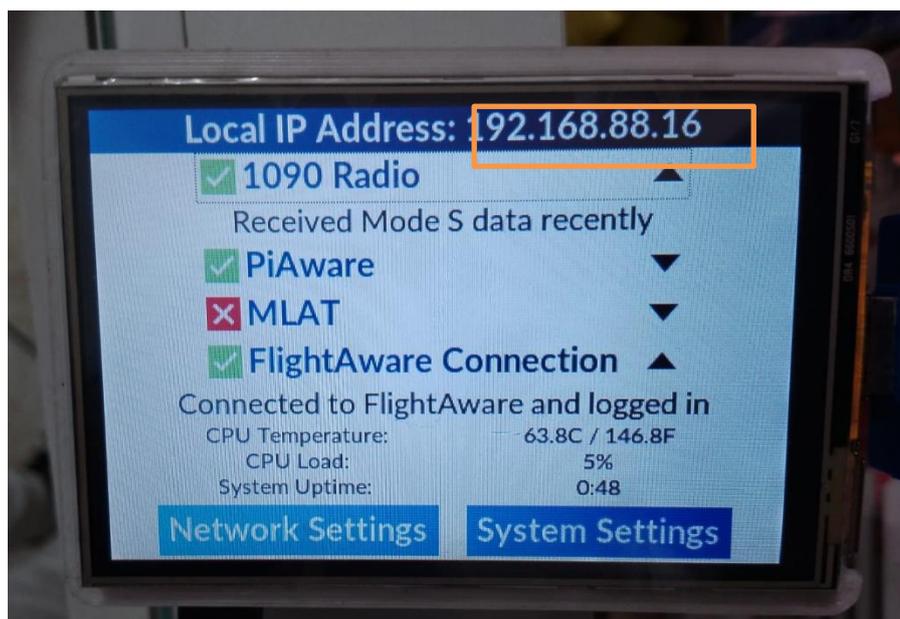


Ilustración 24. Conexión de la Network y el funcionamiento correcto del Receptor ADS-B

Con la dirección Ip del dispositivo 192.168.88.16 procedemos a abrir la página oficial del sistema FlightAware en donde podremos tener la visualización para la localización de los UAVs de nueva generación que disponen del sistema de ADS-B como se muestra en la Ilustración 25.

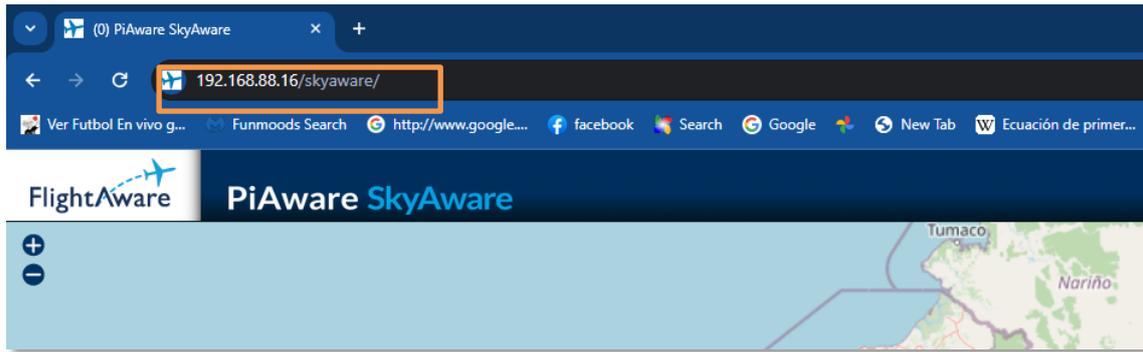


Ilustración 25. Conexión con PC para visualizar los Drones

3.6.4 INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES.

Para esta instalación del sistema se la realizara en la siguiente dirección Tarqui y primera Constituyente Esq. Por lo cual procedemos a conectar todos los equipos en su sitio verificando el funcionamiento del receptor de la señal ADS-B y colocando la Antena en un lugar abierto. Ilustración 26 y 27.



Ilustración 26. Funcionamiento del sistema receptor



Ilustración 27. Instalación de la antena del receptor

3.6.5 VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES

Al conectar todo el sistema de telecomunicaciones podemos observar la ubicación que nos marca en el mapa es donde se realizara las pruebas pertinentes. Ilustración 28.

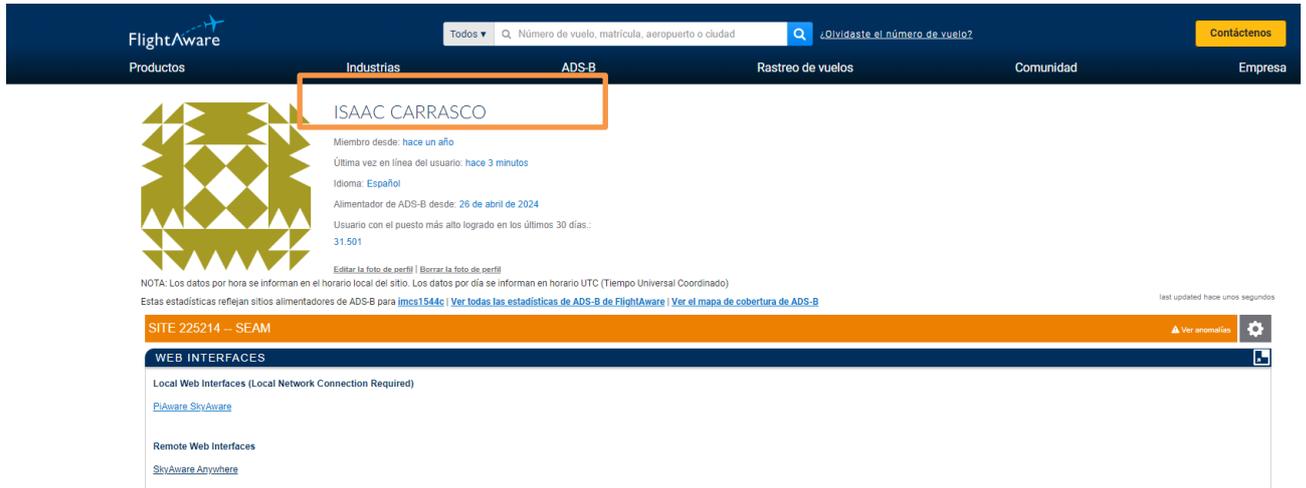


Ilustración 28. Prueba del sistema de telecomunicaciones

3.7 DESARROLLO DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES EN MATLAB PARA UAVS

3.7.1 TRASMISOR DEL SISTEMA

Se realizó un transmisor y un receptor con los dispositivos Adalm Pluto los cuales son dispositivos SDR que funcionan en la frecuencia de trabajo deseada 1090Mhz como siguiente paso se realizó la recolección de los datos obtenidos del GPS Neo-6M a través del controlador ESP 32 para así poder realizar el envío de los mismo.

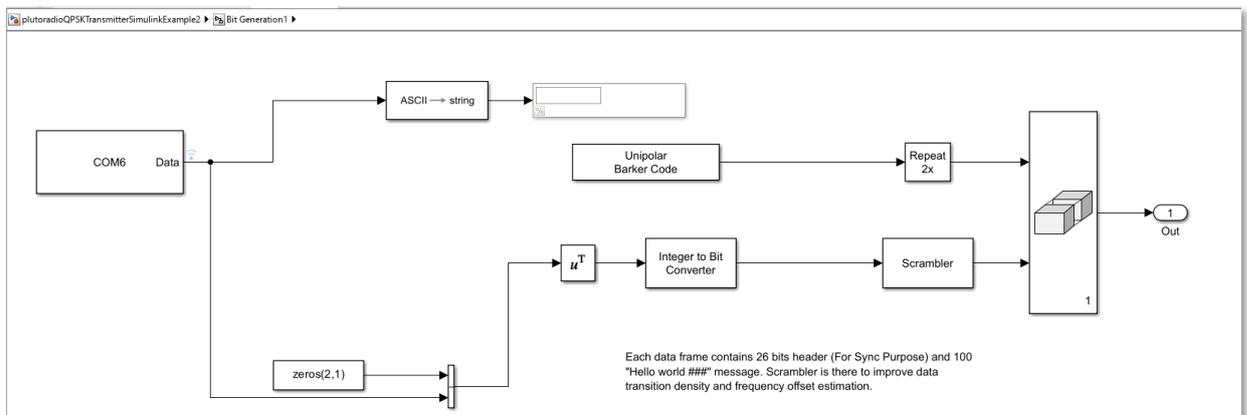


Ilustración 29. Bloque de bit de generación de datos

Los datos proporcionados por el Módulo GPS Neo-6M son digitales, lo que requiere una modulación y codificación para ser transmitidos como una señal. En este caso, optaremos por una modulación QPSK, también conocida como PSK Cuaternaria, PSK Cuadra-fásica o 4-QAM, a pesar de las diferencias entre QAM y QPSK. En el diagrama de constelación, esta forma de modulación digital se representa mediante cuatro puntos equidistantes del centro. Al tener cuatro fases, QPSK puede codificar dos bits por cada símbolo. Normalmente, la asignación de bits a cada símbolo se realiza utilizando el código Gray, que garantiza que entre dos símbolos consecutivos solo difiera un bit, minimizando así la tasa de errores de bits, como en la Ilustración 30.

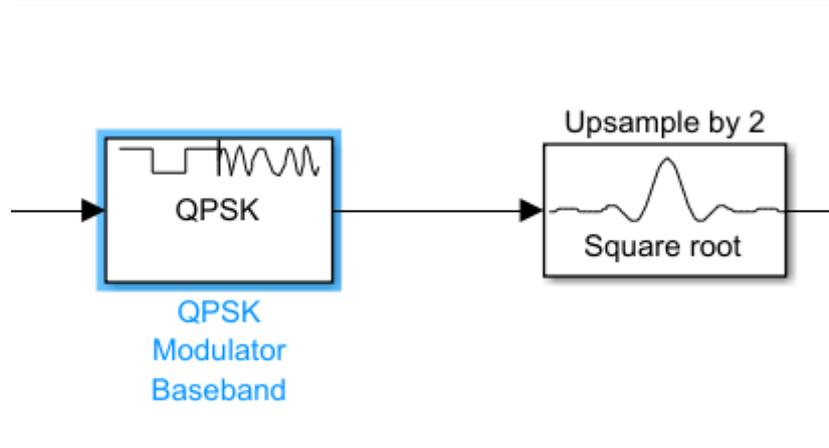


Ilustración 30. Bloques de modulación y sincronización de la señal

Una vez realizada la modulación procedemos a la sincronización de la señal de datos con la señal de la portadora para poder enviar la información a la frecuencia requerida como en la Ilustración 31.

Finalmente, se la envía por el dispositivo Adalm-Pluto terminando así el diseño del sistema de trasmisión como se observa Ilustración 31.

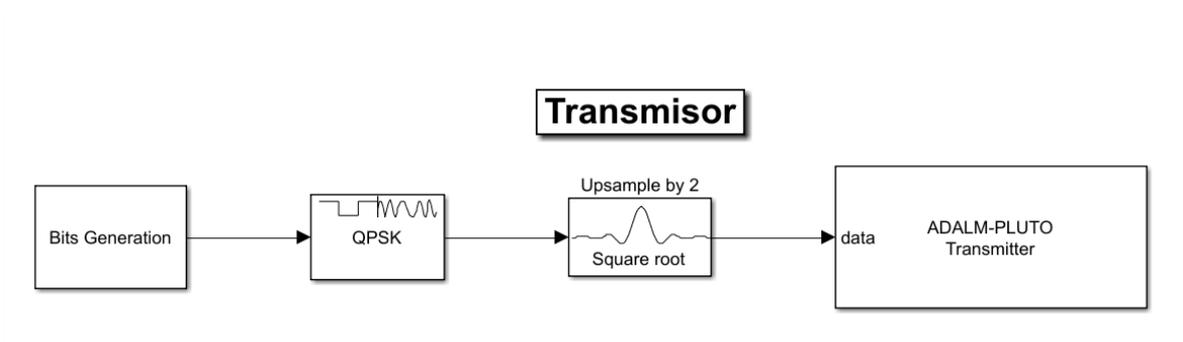


Ilustración 31. Esquema TX del sistema de telecomunicaciones para UAVS

3.7.2 RECEPTOR DEL SISTEMA

Como en todo sistema de telecomunicación la recepción es lo contrario de la transmisión empezamos con el bloque final el cual sería la recepción de la señal a través del dispositivo Adalm-Pluto teniendo como primer bloque el dispositivo

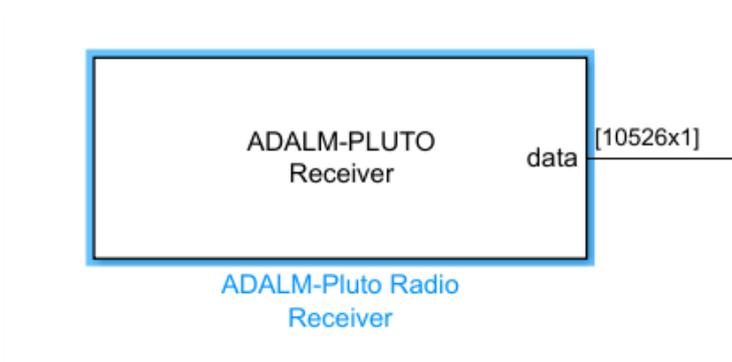


Ilustración 32. Bloque de RX de los datos

Después de recibir la señal procedemos a realizar la demodulación y decodificación de los datos recibidos ya que el mensaje viene en señal analógica y la deseamos convertir en señal digital así que realizamos la demodulación con el mismo sistema aplicado que es el QPSK como está en la Ilustración 33. Así mismo como está compuesto internamente este bloque Ilustración 34.

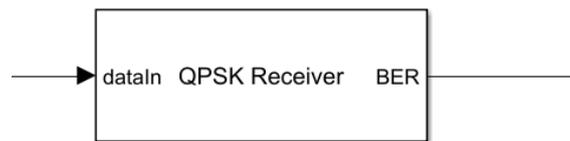


Ilustración 33. Bloque de demodulación de la información en Rx.

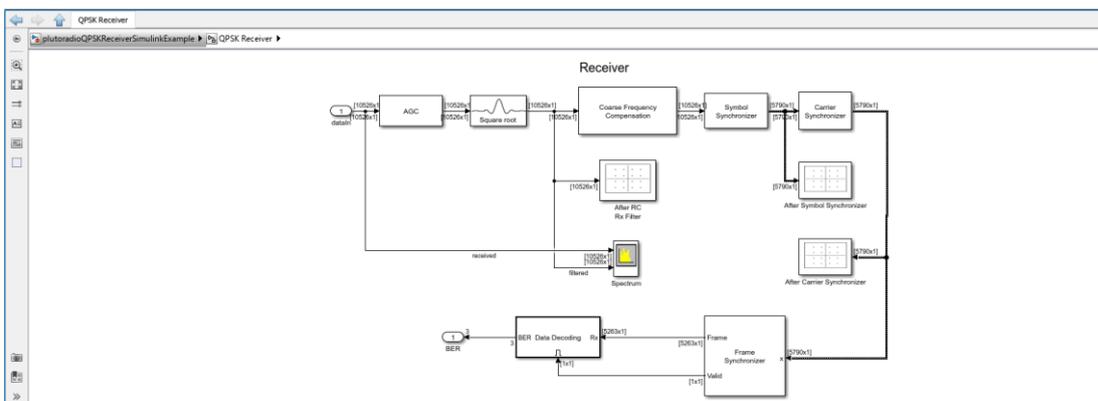


Ilustración 34. Componentes internos del bloque de demodulación

Finalmente, el bloque de visualización el cual nos ayuda a ver los datos que se están transmitiendo en tiempo real. Con estos bloques final mente terminamos el trabajo de la recepción teniendo así el resultado deseado un RX de un UAVs. Ilustración 35.

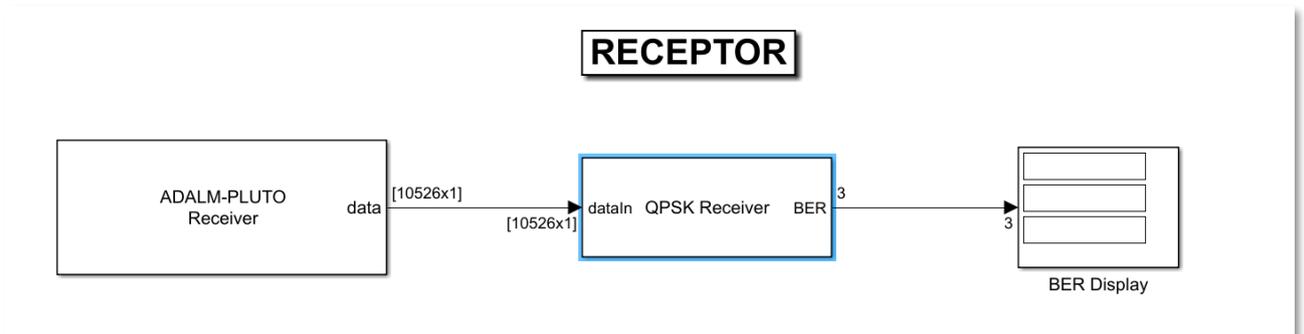


Ilustración 35. Esquema RX del sistema de telecomunicaciones para UAVS

Todo el Tx esta implementado en un miniordenador (Raspberry Pi 4) el cual es compacto y se lo puede implementar en el UAVs siendo así un sistema de telecomunicación móvil y portable, Ilustración 36.



Ilustración 36. Sistema de TX móvil

Como podemos ver en la ilustración anterior tenemos nuestro Módulo GPS Neo-6M conectado al ESP32 recolectando la información de Longitud y Latitud seguido de eso se realiza el procesamiento de los datos a través de miniordenador para finalmente ser transmitida por el SDR Adalm-Pluto.

Como limitaciones tenemos que al diseñar este sistema móvil tendremos en cuenta el peso que tiene ya que deberá ser implementado en UAVs que soporten cargas mayores a 1KG ya que ese es el peso del sistema móvil para que sean implementado, para las pruebas se la realizo en un UAVs que soporta cargas superiores al peso necesitado como por ejemplo el DJI MATRICE 210., el sistema funcionará mientras dure las baterías extras integradas que es un aproximado de 20 min

3.7.3 GENERACIÓN DE MENSAJE ADS-B

Para generar el protocolo ADS-B en Matlab se crea un gpsSensorObjeto con el siguiente código. Ilustración 37.

Crea un gpsSensorobjeto.

```
gps = gpsSensor( 'PositionInputFormat' , 'Geodésico' , 'HorizontalPositionAccuracy' , 100);
```

Ilustración 37. Comando para llamar al GPS

Crea un adsbTransponderobjeto basado en el gpsSensorobjeto, el cual llevara la información del UAVs. Ilustración 38.

```
transponedor = adsbTransponder( 'ABC123' , ...  
    'Categoría' ,adsbCategory(12), ...  
    'Indicativo' , 'X2347568' , ...  
    'GPS' ,gps);
```

Ilustración 38. Código de Transponder ADS-B.

Definir la posición y velocidad de la plataforma. Ilustración 39.

```
verdaderaPos = [42,753 31,896 10000]; % grados grados m  
trueVel = [250 0 0]; % EM
```

Ilustración 39. Comando de Posición y Velocidad

Generar el mensaje ADS-B, con la información que se le dio al Trasponder de su velocidad y posición y a su vez generando la estructura del mensaje que se va a transmitir por medio del protocolo ADS-B con el siguiente código. Ilustración 40.

```
adsbMessage = transpondedor (truePos,trueVel)
```

```
adsbMessage = estructura con campos:  
    OACI: 'ABC123'  
    Hora: 0  
    Categoría: Vehículo_aéreo_no tripulado  
    Indicativo de llamada: 'X2347568'  
    Latitud: 42.7530  
    Longitud: 31.8961  
    Altitud: 1.0000e+04  
    Del error: -7.5704e-04  
    Vnorte: 250.0919  
    Velocidad de ascenso: -0,1308  
    Título: 359.9998  
    NACPosición: 6  
    Precisión geométrica vertical: 2  
    NACVelocidad: 4
```

Ilustración 40. Generación de la estructura ADS-B

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El diseño del sistema de comunicaciones para UAVs de nueva generación tiene como objetivo facilitar la adquisición de datos satelitales. Para garantizar su correcto funcionamiento, se han establecido condiciones mínimas de operación. Por ejemplo, es fundamental que el módulo GPS se ubique en espacios abiertos, ya que su rendimiento se ve afectado en lugares cerrados o bajo condiciones climáticas adversas, fenómeno común en la mayoría de los dispositivos GPS, además la detección del UAVs de nueva generación.

En este sistema, se emplea el protocolo ADS-B, el cual se transmite en una frecuencia de 1090MHz y se implementa en el UAVs. La portabilidad del dispositivo es destacable, ya que funciona con una batería de 3.7V que proporciona una autonomía de hasta 6 horas.

Para visualizar los datos recopilados por el receptor del sistema ADS-B, se utiliza el sistema de vigilancia FlightAware, que permite seguir la trayectoria del dron en tiempo real.

Además de registrar latitud y longitud, el sistema GPS del prototipo también puede medir la velocidad de movimiento.

Para garantizar la precisión de los dispositivos, se considerarán las coordenadas reales obtenidas a partir de datos proporcionados por el Instituto Geográfico Militar (IGM). En relación con el sistema de telecomunicaciones construido, se llevará a cabo una verificación que consistirá en identificar el error de precisión mediante el siguiente proceso:

1. Se recibirán señales en dos escenarios diferentes, con una trayectoria de puntos establecidos que constará de un mínimo de 15 y un máximo de 40 puntos en cada uno.
2. Se procesarán los datos, calculando el error absoluto en cada punto.
3. Se realizará un análisis de la varianza para evaluar la precisión del dispositivo.

De este modo, se podrá determinar y evaluar la precisión y la capacidad de detección del dispositivo en diferentes condiciones.

4.2 REGISTRO DE DETECCIÓN DEL DISPOSITIVO UAVs EN DOS LUGARES DIFERENTES

Para registrar el posicionamiento, se emplean dos escenarios distintos, los cuales se detallan en la tabla 12. Cada uno de estos escenarios se realizará la recolección de datos de una ruta definida.

Tabla 12. Escenarios para la detección del UAV's

ESCENARIO	LUGAR
1	CENTRO DE LA CIUDAD “TARQUI Y PRIMERA CONSTITUYENTE”
2	UNACH “FACULTAD DE INGENIERIA”



Ilustración 41. Escenario 1 escogidos para la detección del UAVs

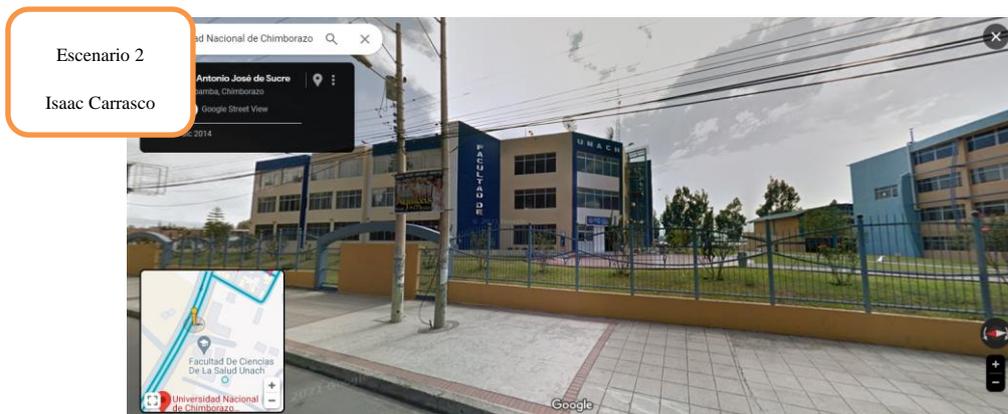


Ilustración 42. Escenario 2 escogidos para la detección del UAVs

4.2.1 ESCENARIO DE PRUEBA 1 PARA LA DETECCIÓN DEL UAVS

La primera ruta de análisis se encuentra en una ubicación transitada en la ciudad, en las proximidades del Ayuntamiento de Riobamba. Se han identificado y registrado 18 puntos específicos en esta área, los cuales se detallan en la tabla 13.

Tabla 13. Ruta 1 de vuelo del Drone Puntos de detallado con su longitud y latitud

Posición	Latitud	Longitud	Altura
P1	-1,673748	-78,647601	4,8
P2	-1,673748	-78,647601	4,9
P3	-1,673712	-78,647637	4,8
P4	-1,673685	-78,647655	4,7
P5	-1,673676	-78,647691	4,8
P6	-1,673685	-78,647709	4,8
P7	-1,673712	-78,647718	4,14
P8	-1,673730	-78,647745	4,7
P9	-1,673757	-78,647763	4,6
P10	-1,673775	-78,647745	4,8
P11	-1,673793	-78,647718	4,2
P12	-1,673820	-78,647700	4,6
P13	-1,673838	-78,647673	4,8
P14	-1,673811	-78,647664	4,6
P15	-1,673802	-78,647637	4,8
P16	-1,673784	-78,647637	4,5
P17	-1,673775	-78,647610	4,8
P18	-1,673757	-78,647601	4,2



Ilustración 43. Ruta 1 de vuelo del Drone Puntos de detallado

A continuación, se muestra la detección del UAVs de nueva generación en la plataforma FlightAware dando la ubicación en las calles Primera Constituyente y Tarqui donde fue establecida la ruta 1 del vuelo del Drone como se muestra en la Ilustración 44.

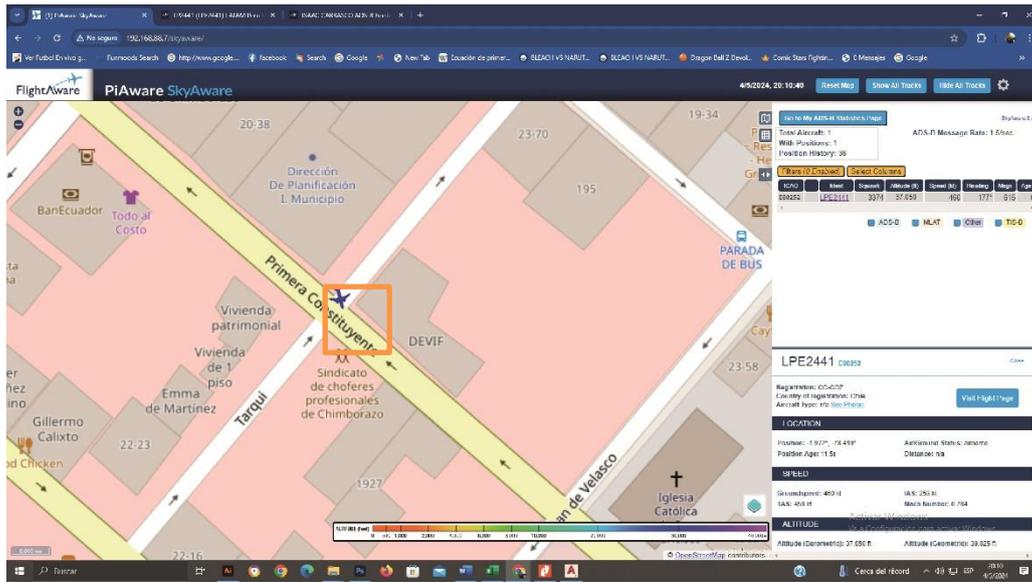


Ilustración 44. Detección del UAV de nueva generación en el mapa de la ruta 1.

4.2.2 ESCENARIO DE PRUEBA 2 PARA LA DETECCIÓN DEL UAVS

La ruta para el análisis está en un lugar concurrido durante toda mi carrera, así como el sitio de descanso en las horas libres, el patio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo Vía A Guano “Campus Édison Riera” el que se registran 32 puntos detallados a continuación en la tabla 14

Tabla 14. Ruta 2 de vuelo del Drone Puntos de detallado con su longitud y latitud

Posición	Latitud	longitud	Altura
P1	-1,652012	-78,643342	4,8
P2	-1,652020	-78,643358	4,9
P3	-1,652075	-78,643261	4,8
P4	-1,652102	-78,643243	4,7
P5	-1,652129	-78,643207	4,8
P6	-1,652147	-78,643180	4,8
P7	-1,652165	-78,643135	4,14
P8	-1,652192	-78,643091	4,7
P9	-1,652201	-78,643037	4,6
P10	-1,652228	-78,642983	4,8
P11	-1,652246	-78,642947	4,2
P12	-1,652282	-78,642947	4,6
P13	-1,652309	-78,642956	4,8
P14	-1,652307	-78,642974	4,6
P15	-1,652309	-78,643019	4,8
P16	-1,652300	-78,643045	4,5

P17	-1,652282	-78,643108	4,8
P18	-1,652283	-78,643144	4,2
P19	-1,652283	-78,643207	4,8
P20	-1,652274	-78,643261	4,7
P21	-1,652274	-78,643315	4,7
P22	-1,652265	-78,643360	4,6
P23	-1,652255	-78,642516	4,5
P24	-1,652246	-78,642551	4,4
P25	-1,652237	-78,642569	4,3
P26	-1,652200	-78,642596	4,0
P27	-1,652174	-78,643477	4,7
P28	-1,652147	-78,643459	4,4
P29	-1,652093	-78,643441	4,9
P30	-1,652075	-78,643423	4,7
P31	-1,652039	-78,643405	4,3
P32	-1,652048	-78,643351	4,4



Ilustración 45. Ruta 2 de vuelo del Drone Puntos detallados

A continuación, se muestra la detección del UAVs de nueva generación en la plataforma FlightAware dando la ubicación en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo, donde fue establecida la ruta 2 del vuelo del UAVs, Ilustración 46.

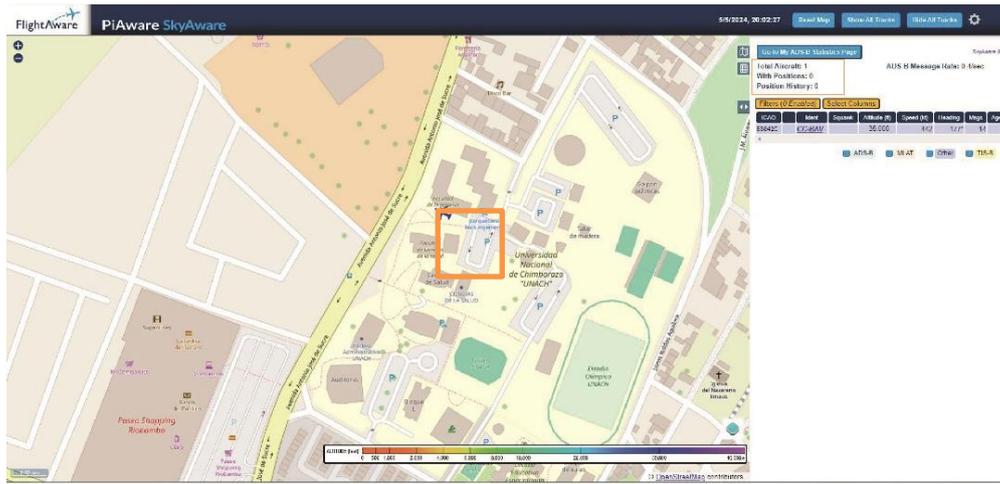


Ilustración 46. Detección UAV en el mapa de la ruta 2.

4.2.3 REGISTRO DEL POSICIONAMIENTO

Para la toma de datos se emplearon los datos proporcionados por el Instituto Geográfico Militar (IGM) en un dispositivo GPS comercial y se utilizaron sus datos como referencia o datos reales en relación con los datos del sistema de telecomunicaciones que nos brinda esta información.

Este método nos permitirá comparar si nuestro dispositivo ofrece datos similares al analizar la distancia en cada punto. El propósito es llevar a cabo una comparación para determinar la capacidad de detección de un UAV en términos de latitud y longitud en contraste con un dispositivo GPS comercial. Es crucial destacar que el diseño del prototipo se orienta hacia la detección de drones de última generación, así como su ubicación con la optimización de recursos económicos.

Se debe manifestar que para tomar los datos se realizó en el mismo punto de vuelo especificado en las trayectorias definidas anteriormente, Ilustración 47.

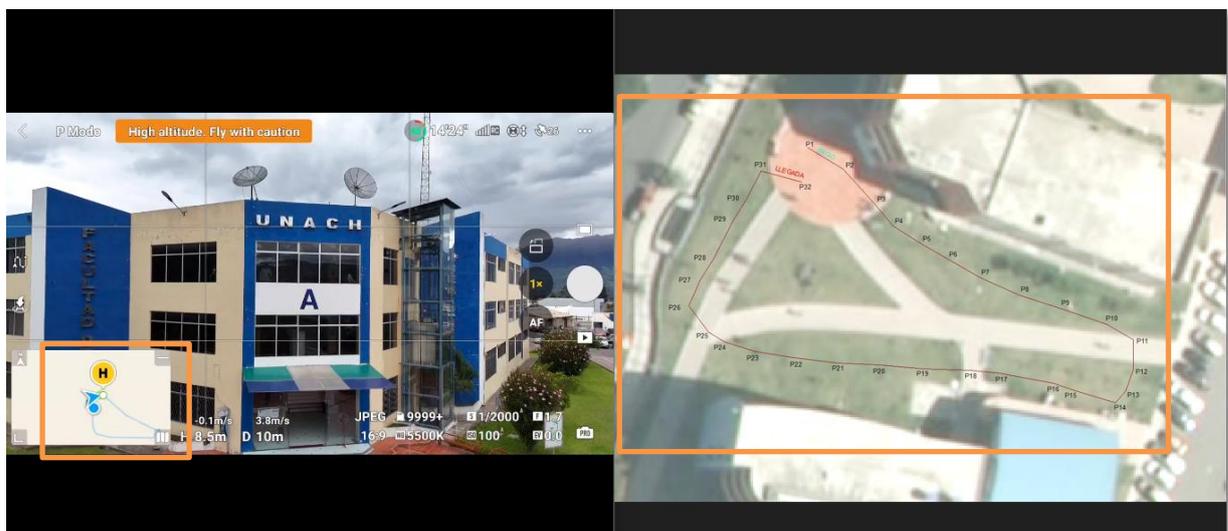


Ilustración 47. Recolección de datos ruta 2 del UAVs vs GPS.

La tabla muestra que hay discrepancias en los datos recopilados por los dos dispositivos de geolocalización, por lo tanto, se incluyen datos de cada punto para ilustrar la distancia y el error entre cada uno de los sistemas en la Ruta 1 establecida. Tabla15.

Tabla 15. Comparación de los datos recopilados por el Sistema y el GPS en la ruta 1

RUTA 1 GPS			RUTA 1 DRON		
RUTA 1			RUTA 1		
POSICION	Latitud	Longitud	POSICION	Latitud	Longitud
1	-1.67374	-78.64772	1	-1.67375	-78.64760
2	-1.67378	-78.64754	2	-1.67375	-78.64760
3	-1.67372	-78.64756	3	-1.67371	-78.64764
4	-1.67364	-78.64762	4	-1.67369	-78.64766
5	-1.67365	-78.64768	5	-1.67368	-78.64769
6	-1.67366	-78.64779	6	-1.67369	-78.64771
7	-1.67376	-78.64782	7	-1.67371	-78.64772
8	-1.67371	-78.64779	8	-1.67373	-78.64775
9	-1.67375	-78.64779	9	-1.67376	-78.64776
10	-1.67379	-78.64776	10	-1.67378	-78.64775
11	-1.67376	-78.64772	11	-1.67379	-78.64772
12	-1.67386	-78.64754	12	-1.67383	-78.64779
13	-1.67386	-78.64756	13	-1.67384	-78.64767
14	-1.67383	-78.64762	14	-1.67381	-78.64766
15	-1.67379	-78.64768	15	-1.67380	-78.64764
16	-1.67375	-78.64779	16	-1.67378	-78.64764
17	-1.67380	-78.64782	17	-1.67378	-78.64762
18	-1.67375	-78.64759	18	-1.67376	-78.64760

La tabla muestra que hay discrepancias en los datos recopilados por los dos dispositivos de geolocalización, por lo tanto, se incluyen datos de cada punto para ilustrar la distancia y el error entre cada uno de los sistemas en la Ruta 2 establecida. Tabla16

Tabla 16. Comparación de los datos recopilados por el Sistema y el GPS en la ruta 2

RUTA 2 GPS			RUTA 2 DRON		
RUTA 2			RUTA 2		
POSICION	Latitud	Longitud	POSICION	Latitud	Longitud
1	-1.65205	-7.86430	1	-1.65202	-7.86433
2	-1.65211	-7.89221	2	-1.65214	-7.89225
3	-1.65204	-7.86436	3	-1.65208	-7.86433
4	-1.65218	-7.86437	4	-1.65210	-7.86432
5	-1.65209	-7.86429	5	-1.65213	-7.86432
6	-1.65218	-7.86431	6	-1.65215	-7.86432
7	-1.65219	-7.86427	7	-1.65217	-7.86431
8	-1.65215	-7.86433	8	-1.65219	-7.86431
9	-1.65221	-7.86427	9	-1.65220	-7.86430
10	-1.65220	-7.86425	10	-1.65223	-7.86430
11	-1.65222	-7.86431	11	-1.65225	-7.86429
12	-1.65225	-7.86428	12	-1.65228	-7.86429
13	-1.65232	-7.86429	13	-1.65231	-7.86430
14	-1.65229	-7.86433	14	-1.65228	-7.86430
15	-1.65233	-7.86436	15	-1.65231	-7.86430
16	-1.65239	-7.86432	16	-1.65236	-7.86430
17	-1.65225	-7.86429	17	-1.65228	-7.86431
18	-1.65230	-7.86427	18	-1.65228	-7.86431
19	-1.65229	-7.86430	19	-1.65228	-7.86432
20	-1.65225	-7.86429	20	-1.65227	-7.86433
21	-1.65229	-7.86435	21	-1.65227	-7.86433
22	-1.65221	-7.86438	22	-1.65227	-7.86434
23	-1.65228	-7.86420	23	-1.65226	-7.86425
24	-1.65226	-7.86425	24	-1.65225	-7.86426
25	-1.65223	-7.86428	25	-1.65224	-7.86426
26	-1.65222	-7.86429	26	-1.65226	-7.86426
27	-1.65219	-7.86434	27	-1.65217	-7.86435
28	-1.65210	-7.86433	28	-1.65215	-7.86435
29	-1.65211	-7.86436	29	-1.65209	-7.86435
30	-1.65201	-7.86435	30	-1.65208	-7.86434
31	-1.65209	-7.86430	31	-1.65204	-7.86445
32	-1.65206	-7.86434	32	-1.65205	-7.86433

4.2.4 CÁLCULO DEL ERROR

Para calcular la distancia entre dos coordenadas geográficas, se emplea la fórmula de Haversine, que toma en cuenta variables como el radio de la Tierra (aproximadamente 6371 km) y las coordenadas específicas de los puntos en cuestión.

A continuación, se presenta la fórmula utilizada para calcular esta distancia, la cual permite evaluar el margen de error entre los puntos. Es importante destacar que el marco de referencia es un GPS comercial, en relación con el prototipo realizado.

$$d = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda - \lambda_1}{2} \right)} a^2 + b^2 \right)$$

Ecuación 1. Fórmula de la ecuación de Haversine

Se desarrolló en un programa web para calcular el error, el cual analiza los datos y utiliza la fórmula de Haversine para calcular la distancia en metros entre dos puntos ingresando sus coordenadas. Esto se ilustra en la Ilustración 48.

vCalc revisado
Ultima modificación por kurtheckman en 22 de noviembre 2023 14:18:13
Creado por kurtheckman en 20 mar. 2014 6:46:57 pm

$D = F(-1.67378, -78.64754, -1.67375, -78.6476)$

(y_{oat}₁) Latitud del punto 1
-1.67378 (°) degree angle

(y_{ooh}orte₁) Longitud del punto 1
-78.64754 (°) degree angle

(y_{oat}₂) Latitud del punto 2
-1.67375 (°) degree angle

(y_{ooh}orte₂) Longitud del punto 2
-78.6476 (°) degree angle

Compartir resultado

Distancia en Kilómetros:
0.1 (m) meter

Distancia en Millas Náuticas:

Ilustración 48. Cálculo de la fórmula de Haversine

4.2.5 ERROR ABSOLUTO

Tabla 17. Tabla de Error ruta 1

RUTA GPS			RUTA DRON			Calculo de Error Absoluto
RUTA 1			RUTA 1			RUTA 1
POSICION	Latitud	Longitud	POSICION	Latitud	Longitud	Fórmula de Haversine (m)
1	-1,67374	-78,64772	1	-1,67375	-78,64760	0,1
2	-1,67378	-78,64754	2	-1,67375	-78,64760	0,02
3	-1,67372	-78,64756	3	-1,67371	-78,64764	0,1
4	-1,67364	-78,64762	4	-1,67369	-78,64766	0,18
5	-1,67365	-78,64768	5	-1,67368	-78,64769	0,17
6	-1,67366	-78,64779	6	-1,67369	-78,64771	0,25
7	-1,67376	-78,64782	7	-1,67371	-78,64772	0,12
8	-1,67371	-78,64779	8	-1,67373	-78,64775	0,14
9	-1,67375	-78,64779	9	-1,67376	-78,64776	0,18
10	-1,67379	-78,64776	10	-1,67378	-78,64775	0,11
11	-1,67376	-78,64772	11	-1,67379	-78,64772	0,1
12	-1,67386	-78,64754	12	-1,67383	-78,64779	0,21
13	-1,67386	-78,64756	13	-1,67384	-78,64767	0,02
14	-1,67383	-78,64762	14	-1,67381	-78,64766	0,011
15	-1,67379	-78,64768	15	-1,67380	-78,64764	0,17
16	-1,67375	-78,64779	16	-1,67378	-78,64764	0,26
17	-1,67380	-78,64782	17	-1,67378	-78,64762	0,02
18	-1,67375	-78,64759	18	-1,67376	-78,64760	0,18
Total error Absoluto						0,13005556

En la tabla 17 podemos observar que al medir la distancia entre los dos puntos antes señalados con el dispositivo GPS y los datos entregados por el sistema de telecomunicaciones en la Ruta 1 de prueba existe un margen de error de 0.13 para poder localizar y detectar al Drone en nuestro sistema el cual está dentro de un rango aceptable.

Tabla 18. Tabla de Error ruta 2

RUTA GPS			RUTA DRON			Calculo de Error Absoluto
RUTA 2			RUTA 2			RUTA 2
POSICION	Latitud	Longitud	POSICION	Latitud	Longitud	Fórmula de Haversine (m)
1	-1,65205	-7,86430	1	-1,65202	-7,86433	0,10
2	-1,65211	-7,89221	2	-1,65214	-7,89225	0,02
3	-1,65204	-7,86436	3	-1,65208	-7,86433	0,10
4	-1,65218	-7,86437	4	-1,65210	-7,86432	0,18
5	-1,65209	-7,86429	5	-1,65213	-7,86432	0,17
6	-1,65218	-7,86431	6	-1,65215	-7,86432	0,25
7	-1,65219	-7,86427	7	-1,65217	-7,86431	0,12
8	-1,65215	-7,86433	8	-1,65219	-7,86431	0,14
9	-1,65221	-7,86427	9	-1,65220	-7,86430	0,18
10	-1,65220	-7,86425	10	-1,65223	-7,86430	0,11
11	-1,65222	-7,86431	11	-1,65225	-7,86429	0,10
12	-1,65225	-7,86428	12	-1,65228	-7,86429	0,21
13	-1,65232	-7,86429	13	-1,65231	-7,86430	0,08
14	-1,65229	-7,86433	14	-1,65228	-7,86430	0,01
15	-1,65233	-7,86436	15	-1,65231	-7,86430	0,17
16	-1,65239	-7,86432	16	-1,65236	-7,86430	0,26
17	-1,65225	-7,86429	17	-1,65228	-7,86431	0,02
18	-1,65230	-7,86427	18	-1,65228	-7,86431	0,20
19	-1,65229	-7,86430	19	-1,65228	-7,86432	0,12
20	-1,65225	-7,86429	20	-1,65227	-7,86433	0,17
21	-1,65229	-7,86435	21	-1,65227	-7,86433	0,12
22	-1,65221	-7,86438	22	-1,65227	-7,86434	0,12
23	-1,65228	-7,86420	23	-1,65226	-7,86425	0,23
24	-1,65226	-7,86425	24	-1,65225	-7,86426	0,60
25	-1,65223	-7,86428	25	-1,65224	-7,86426	0,78
26	-1,65222	-7,86429	26	-1,65226	-7,86426	0,26
27	-1,65219	-7,86434	27	-1,65217	-7,86435	0,89
28	-1,65210	-7,86433	28	-1,65215	-7,86435	0,37
29	-1,65211	-7,86436	29	-1,65209	-7,86435	0,14
30	-1,65201	-7,86435	30	-1,65208	-7,86434	0,14
31	-1,65209	-7,86430	31	-1,65204	-7,86445	0,19
32	-1,65206	-7,86434	32	-1,65205	-7,86433	0,27
Total error Absoluto						0,213062117

En la tabla 18 podemos observar que al medir la distancia entre los dos puntos antes señalados con el dispositivo GPS y los datos entregados por el sistema de telecomunicaciones en la Ruta 2 de prueba existe un margen de error de 0.23 metros para poder localizar y detectar al Drone en nuestro sistema el cual está dentro de un rango aceptable.

4.2.6 DATOS ESTADÍSTICOS DE LA MEDIA

Para el análisis de datos estadísticos, se empleará el programa IBM SPSS. Este software permitirá comparar cada dato obtenido matemáticamente con los datos recopilados, determinando así la funcionalidad del sistema.

Para esto se realizó un procesamiento de casos en el cual compararemos las longitudes y latitudes de la Ruta 1 y Ruta 2 sucesivamente que están tomados por el dispositivo GPS y los datos tomados del sistema de telecomunicaciones.

En la tabla 19 y 20 se resalta la muestra de 18 puntos que se tomó del GPS y 18 puntos obtenidos por el sistema de telecomunicaciones en la ruta 1, y que todos los datos fueron analizados correctamente.

Tabla 19. Latitud Ruta 1 GPS vs Latitud Ruta 1 UAVs

Resumen de procesamiento de casos							
Método de medición		Casos					
		Válido		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
LatR1	GPS	18	100,0%	0	0,0%	18	100,0%
	UAVs	18	100,0%	0	0,0%	18	100,0%

Tabla 20. Longitud Ruta 1 GPS vs Longitud Ruta 1 UAVs

Resumen de procesamiento de casos							
Método de medición		Casos					
		Válido		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
LongR1	GPS	18	100,0%	0	0,0%	18	100,0%
	UAVs	18	100,0%	0	0,0%	18	100,0%

Al realizar el cuadro de medias tenemos valores muy parecidos en los cuales podemos deducir que los dos sistemas teniendo un comportamiento parecido tanto en la media de la latitud y la longitud de la Ruta 1 como se puede observar en las tablas 21 y 22.

Tabla 21. Tabla de Media de valores entre la latitud GPS vs UAVs en la Ruta 1

Descriptivos				
	m med		Estadístico	Error estándar
LatR1	GPS	Media	-1,6737556	,00001509
		Mediana	-1,6737550	
		Varianza	,000	
		Desv. estándar	,00006401	
		Mínimo	-1,67386	
		Máximo	-1,67364	
	UAVs	Media	-1,6737578	,00001139
		Mediana	-1,6737600	
		Varianza	,000	
		Desv. estándar	,00004833	
		Mínimo	-1,67384	
		Máximo	-1,67368	

Tabla 22. Tabla de Media de valores entre la longitud del GPS vs UAVs en la Ruta 1

Descriptivos				
	m med		Estadístico	Error estándar
LongR1	GPS	Media	-78,6476883	,00002420
		Mediana	-78,6477000	
		Varianza	,000	
		Desv. estándar	,00010268	
		Mínimo	-78,64782	
		Máximo	-78,64754	
	UAVs	Media	-78,6476789	,00001412
		Mediana	-78,6476650	
		Varianza	,000	
		Desv. estándar	,00005989	
		Mínimo	-78,64779	
		Máximo	-78,64760	

En las siguientes Ilustraciones 49 y 50 mostramos los gráficos de dispersión de la latitud y longitud de la Ruta 1 en la cual podemos deducir que los dos sistemas están realizando un trabajo similar el uno del otro porque los puntos están muy cercanos a la línea de referencia.

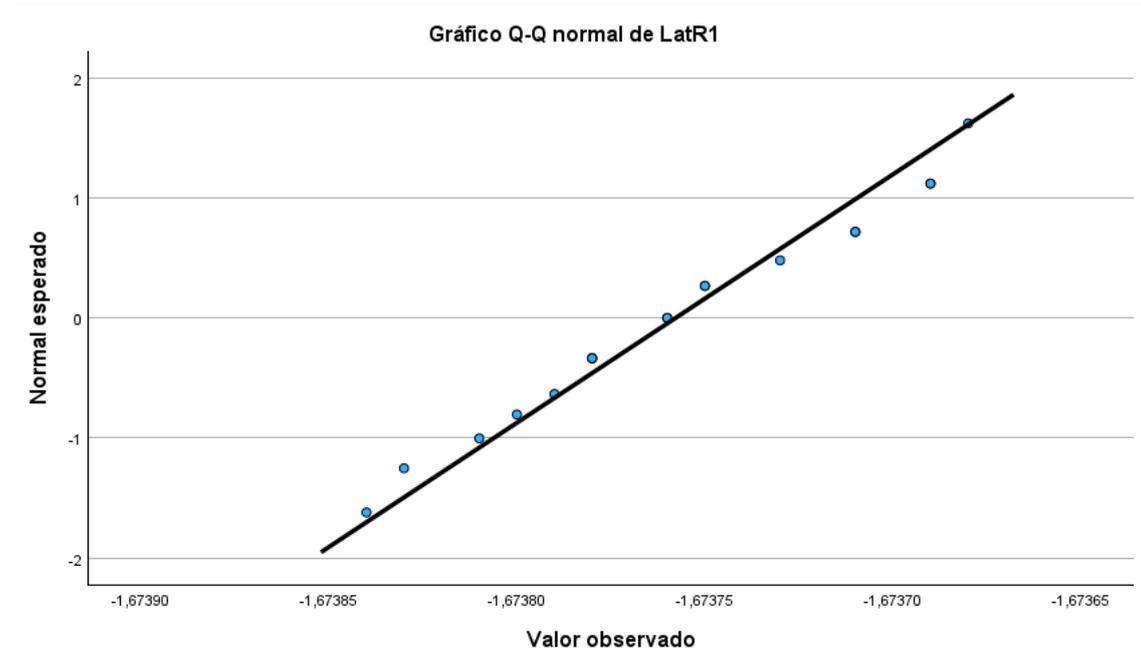


Ilustración 49. Gráfico de dispersión Latitud R1 GPS vs UAVs

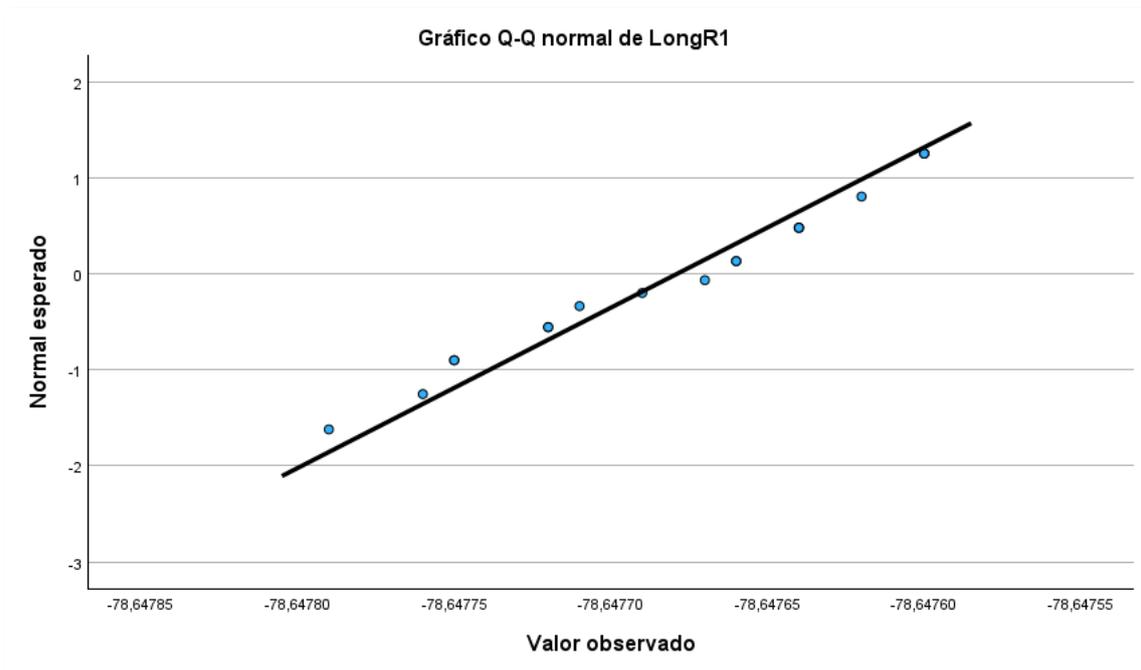


Ilustración 50. Gráfico de dispersión Longitud R1 GPS vs UAVs

En las Ilustraciones 51 y 52 mostramos los diagramas de cajas de media de la latitud y longitud de la Ruta 1 para comparar la efectividad del sistema.

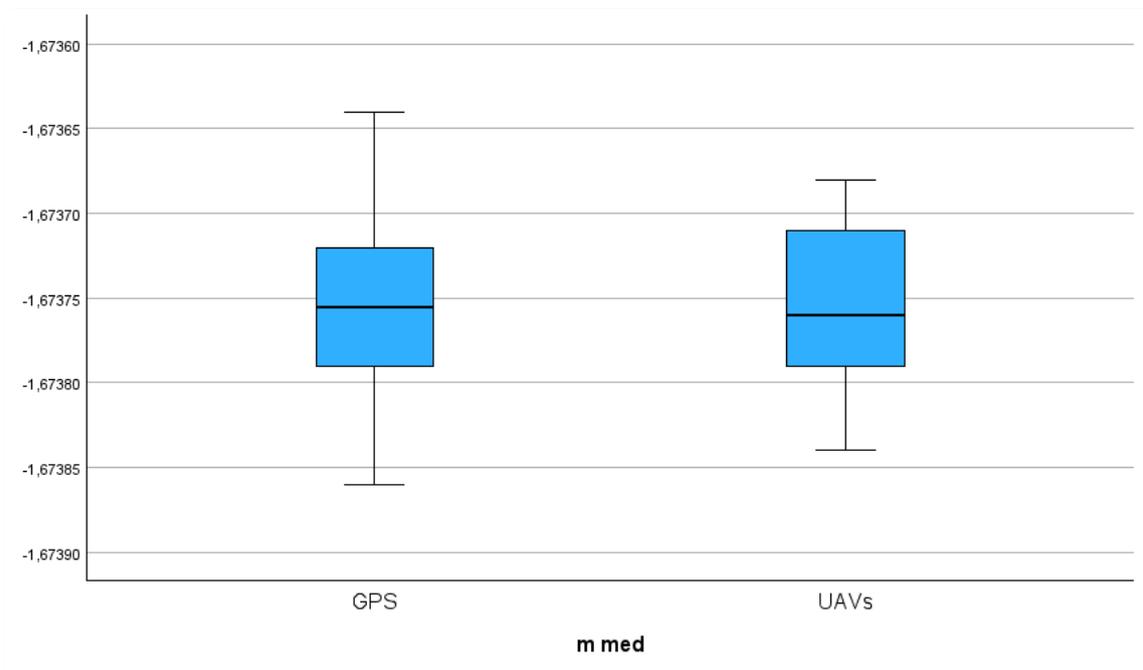


Ilustración 51. Diagrama de cajas Latitud R1 GPS vs UAVs

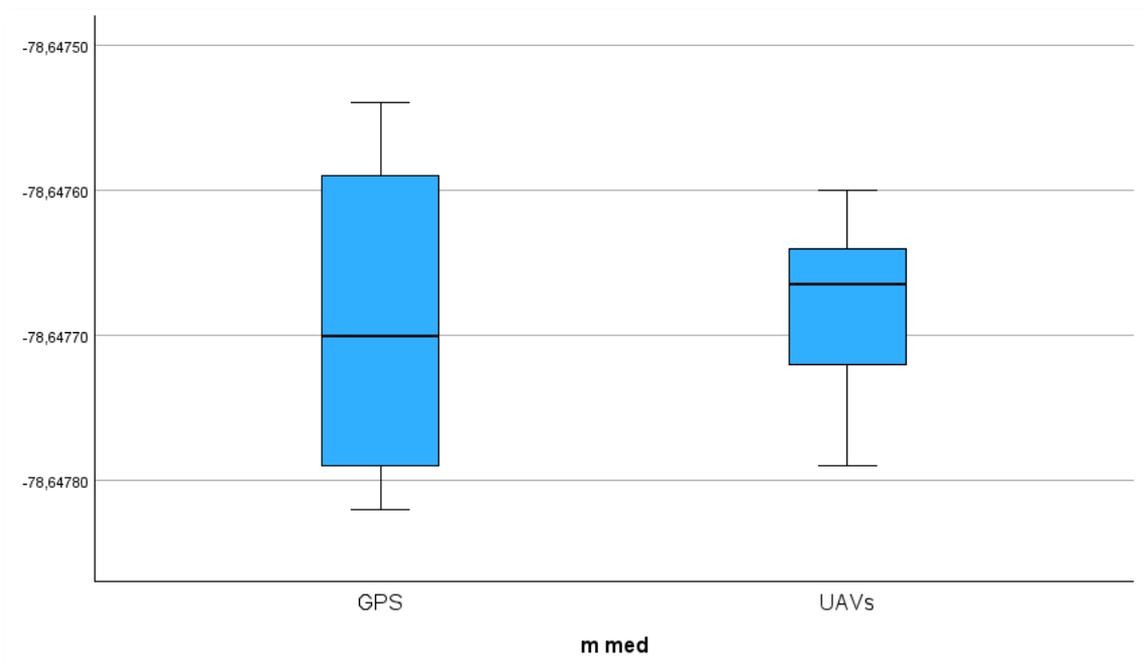


Ilustración 52. Diagrama de cajas Longitud R1 GPS vs UAVs

Al realizar el mismo análisis para la Ruta 2 obtenemos comportamientos similares en todos los casos que se explicó anteriormente por lo cual podemos decir que los datos recolectados por el sistema tienen un grado de igualdad entre el sistema GPS y el sistema de telecomunicaciones realizado por el mismo motivo se realizará un análisis comparativo entre cada sistema.

4.2.7 DATOS COMPARATIVOS ENTRE LOS DOS SISTEMAS

Al realizar un análisis comparativo en el programa IBM SPSS entre los datos obtenidos por el GPS y el sistema de telecomunicaciones para UAVs tanto en latitud y longitud de la Ruta 1 y Ruta 2 podemos observar que en la tabla 41 y 42 la significación de la prueba de valores tenemos que los dos sistemas tienen similares comportamientos por lo cual estadísticamente el dispositivo es funcional.

Tabla 23. Análisis comparativo de la latitud en la Ruta 1

Prueba de muestras independientes											
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Significación		Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
						P de un factor	P de dos factores			Inferior	Superior
Lat R1	Se asumen varianzas iguales	,562	,459	,118	34	,454	,907	,00000222	,00001890	-,00003620	,00004064
	No se asumen varianzas iguales			,118	31,630	,454	,907	,00000222	,00001890	-,00003630	,00004075

Tabla 24. Análisis comparativo de la longitud en la Ruta 1

Prueba de muestras independientes											
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Significación		Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
						P de un factor	P de dos factores			Inferior	Superior
Long R1	Se asumen varianzas iguales	9,156	,005	-,337	34	,369	,738	-,00000944	,00002802	-,00006639	,00004750
	No se asumen varianzas iguales			-,337	27,367	,369	,739	-,00000944	,00002802	-,00006690	,00004801

De la misma manera podemos decir que en la Ruta 2 tiene el mismo comportamiento de los datos de la Ruta 1 por lo cual es un sistema fiable para el uso.

4.3 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

PRESUPUESTO			
Rubros	Cantidad	Valor unitario	Total
FONDOS PROPIOS			
Tecnología			
Dron	1	\$ 1500	\$ 1500
Tarjetas	2	\$ 250	\$ 500
Antena	1	\$ 50	\$ 50
Adalm Pluto	1	\$200	\$200
Imprevistos			
Varios	10%		\$250
TOTAL			\$ 2500

CAPÍTULO V.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Al investigar sobre los principios básicos de la tecnología ADS-B simplificó la evaluación de los parámetros clave para seleccionar el receptor SDR y la antena comercial. Esto se debe a que dicho hardware debe cumplir con las especificaciones requeridas para recibir datos de los UAV equipados con esta tecnología.

Se instaló un receptor capaz de rastrear UAVs comerciales y Aeronaves que utilizan tecnología ADS-B. Estas soluciones son esenciales para proporcionar servicios de vigilancia áreas donde la instalación de un radar es imposible, Sin necesidad de incurrir en los altos costos asociados a la implementación de sistemas PSR (Primary Surveillance Radar) y SSR (Secondary Surveillance Radar) en la actualidad.

Durante todas las pruebas realizadas, el dispositivo FlightAware ProStick utilizado en la implementación del receptor demostró ser completamente funcional en la detección de señales ADS-B. Se confirmó su compatibilidad exitosa mediante los resultados obtenidos en todas las pruebas, mostrando su capacidad para detectar tanto UAVs de nueva generación como sistemas que operan en la misma frecuencia (aeronaves comerciales).

Finalmente se logró alcanzar los objetivos establecidos, que incluían la implementación de un dispositivo capaz de Detectar una posición precisa mediante el uso del sistema ADS-B y la decodificación de los datos de los satélites. Se logró este avance mediante el uso de tarjetas de desarrollo y módulos de bajo costo, combinados con software de código abierto y archivos IGM. En conjunto, estas herramientas contribuyeron a la detección y seguimiento en tiempo real de un UAV de última generación.

5.2 RECOMENDACIONES

Se realizó un análisis de los datos obtenidos por los satélites, y es fundamental comprender las condiciones mínimas necesarias para garantizar una recepción de señal óptima. Esto implica evitar lugares cerrados, asegurar condiciones climáticas favorables, garantizar la portabilidad mediante una batería móvil y contar con suficiente capacidad de almacenamiento de datos.

Para obtener mejores resultados es indispensable analizar los UAVs comerciales que existen, así como sus fichas técnicas para conocer sobre sus especificaciones y tener en cuenta si cuentan con este sistema o si está acorde a la necesidad.

Implementar una aplicación IOT para poder visualizar el vuelo en diferentes puntos de acceso.

Para estudios posteriores se debería tomar en cuenta los recursos de los dispositivos utilizados para una mejor fluidez de al momento de la implementación de un sistema realizado en miniordenadores

BIBLIOGRAFIA

- [1] S. Sosa, «Los drones, bien utilizados, serian de gran beneficio,» *milenion.com*, 2015.
- [2] D. M. Crespo, «Diseño e implementación de un transmisor ADS-B para vehículos aéreos no tripulados,» pp. 1-4, 2017.
- [3] G. C. Pastor, «DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RECEPCIÓN,» pp. 1-12, 2017.
- [4] L. Gómez, «Vigilancia DepenDiente automatica (aDS-b) en Colombia,» *Ciencia y Poder Aéreo*, pp. 21-32, 2015.
- [5] G. Gugliota, «The New York Times.,» *Recuperado el junio 2021*, p. 180, 2021.
- [6] S. Pazmiño & J. Romero, «Implementacion de una sistema de receptores de am,fmy Ads-b usando sdr,» 2021.
- [7] D. A. Strand, «Automatic Dependent Surveillance: Broadcast (ADS-B) Vulnerabilities,» p. 2017.
- [8] DJI, DRONES DE NUEVA GENERACION, 2024.
- [9] W. Paper, «Anatomy of DJI drone identification implementation,» *Department 13*, 2017.
- [10] Z. F. X. S. & J. Y. Yueyan Zhi, «Security and Privacy Issues of UAV: A Survey,» *Mobile Netw Appl* 25, p. 95–101, 2020.
- [11] Y. E. & H. k. Daekeun Jeon, «Estimation fusion with radar and ADS-B for air traffic surveillance,» *International Journal of Control, Automation and Systems*, vol. 13, pp. 336-345, 2015.

- [12] H. L. B. F. N. K. H. L. Na Zhang, «Collision probability between intruding drone and commercial aircraft in airport restricted area based on collision-course trajectory planning,,» *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*,, vol. 120, nº 102736, 2020.
- [13] M. Huttunen, «Civil unmanned aircraft systems and security: The European approach,,» *Journal of Transportation Security*, vol. 12, pp. 83-101, 2019.
- [14] R. W. & D. A. V. Dahai Liu, «Effects of System Automation Management Strategies and Multi-mission Operator-to-vehicle Ratio on Operator Performance in UAV Systems,,» *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 54, pp. 795-810, 2009.
- [15] M. works, 2024. [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>.

ANEXOS



Ilustración 53. Imágenes tomadas desde le UAVS en la Ruta 1



Ilustración 54. Toma de puntos en la Ruta 1



Ilustración 55. Finalización de la Ruta 1



Ilustración 56. Datos de Posición del UAVs Ruta 1



Ilustración 57. Inicio de toma de datos Ruta 2



Ilustración 58. Toma de datos en la finalización de la Ruta 2



Ilustración 59. Datos de la posición del UAVs



Ilustración 60. Información de la recepción de los datos ADS-B en los tiempos de pruebas por FlightAware

	7/5/2024	6/5/2024	5/5/2024	4/5/2024	3/5/2024	2/5/2024	1/5/2024	30/4/2024	29/4/2024
Row 1	0	165	196	181	90	33	156	0	0
Row 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Row 3	0	51	60	91	57	9	66	0	0
Row 4	0	216	256	272	147	42	222	0	0

Ilustración 61. Información de las Posiciones de los UAVs por FlightAware

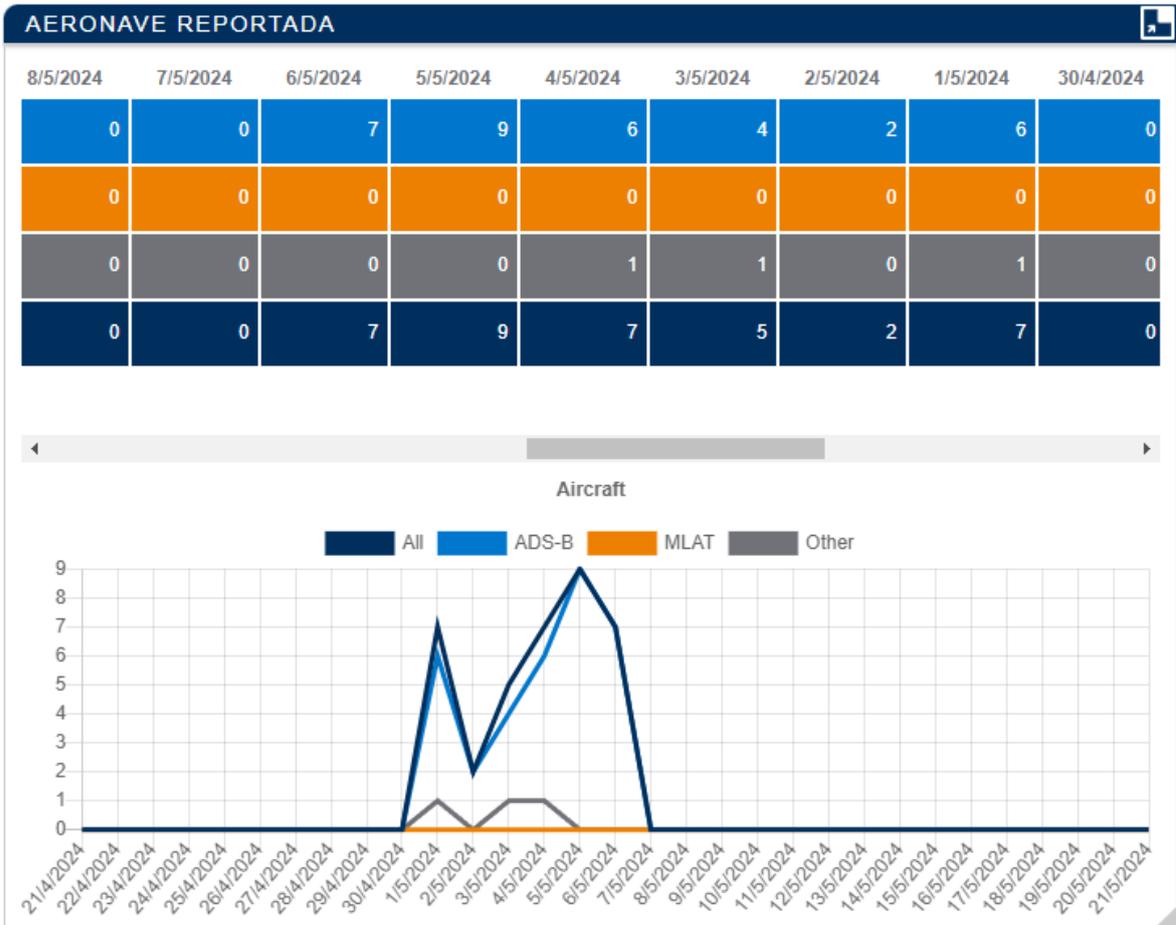


Ilustración 62. Reporte de los UAVs por FlightAware

Código de inicialización para Tx. en Matlab

```
function SimParams = plutoradioqpsktransmitter_init
% Copyright 2017 The MathWorks, Inc.

%% General simulation parameters
SimParams.Rsym = 0.2e6; % Symbol rate in Hertz
SimParams.ModulationOrder = 4; % QPSK alphabet size
SimParams.Interpolation = 2; % Interpolation factor
SimParams.Decimation = 1; % Decimation factor
SimParams.Tsym = 1/SimParams.Rsym; % Symbol time in sec
SimParams.Fs = SimParams.Rsym * SimParams.Interpolation; % Sample rate

%% Frame Specifications
% [BarkerCode*2 | 'Hello world 000\n' | 'Hello world 001\n' ...];
SimParams.BarkerCode = [+1 +1 +1 +1 +1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 -1 +1]; % Bipolar Barker Code
SimParams.BarkerLength = length(SimParams.BarkerCode);
SimParams.HeaderLength = SimParams.BarkerLength * 2; % Duplicate 2 Barker codes to
be as a header
SimParams.Message = 'longitud y latitud \n';
SimParams.MessageLength = length(SimParams.Message) + 5; % 'Hello world 000\n'...
```

```

SimParams.NumberOfMessage = 100; % Number of messages in a frame
SimParams.PayloadLength = SimParams.NumberOfMessage * SimParams.MessageLength * 7; % 7 bits
per characters
SimParams.FrameSize = (SimParams.HeaderLength + SimParams.PayloadLength) ...
/ log2(SimParams.ModulationOrder); % Frame size in symbols
SimParams.FrameTime = SimParams.Tsym*SimParams.FrameSize;

%% Tx parameters
SimParams.RolloffFactor = 0.5; % Rolloff Factor of Raised Cosine Filter
SimParams.ScramblerBase = 2;
SimParams.ScramblerPolynomial = [1 1 1 0 1];
SimParams.ScramblerInitialConditions = [0 0 0 0];
SimParams.RaisedCosineFilterSpan = 10; % Filter span of Raised Cosine Tx Rx filters (in symbols)

%% Message generation
msgSet = zeros(100 * SimParams.MessageLength, 1);
for msgCnt = 0 : 99
    msgSet(msgCnt * SimParams.MessageLength + (1 : SimParams.MessageLength)) = ...
        sprintf('%s %03d\n', SimParams.Message, msgCnt);
end
bits = de2bi(msgSet, 7, 'left-msb');
SimParams.MessageBits = bits(:);

% Pluto transmitter parameters
SimParams.PlutoCenterFrequency = 915e6;
SimParams.PlutoGain = 0;
SimParams.PlutoFrontEndSampleRate = SimParams.Fs;
SimParams.PlutoFrameLength = SimParams.Interpolation * SimParams.FrameSize;

% Simulation Parameters
SimParams.FrameTime = SimParams.PlutoFrameLength/SimParams.PlutoFrontEndSampleRate;
SimParams.StopTime = 1000;

```

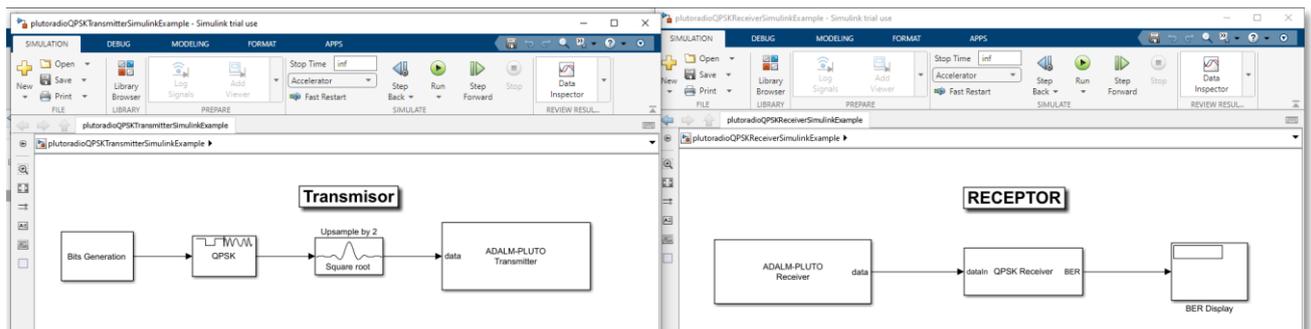


Ilustración 63. Tx y Rx del sistema de telecomunicaciones Simulink.

Código de inicialización para Rx. en Matlab

```

function SimParams = plutoradioqpskreceiver_init
% Copyright 2017-2022 The MathWorks, Inc.

%% General simulation parameters

```

```

SimParams.Rsym = 0.2e6;           % Symbol rate in Hertz
SimParams.ModulationOrder = 4;   % QPSK alphabet size
SimParams.Interpolation = 2;     % Interpolation factor
SimParams.Decimation = 1;        % Decimation factor
SimParams.Tsym = 1/SimParams.Rsym; % Symbol time in sec
SimParams.Fs = SimParams.Rsym * SimParams.Interpolation; % Sample rate

%% Frame Specifications
% [BarkerCode*2 | 'Hello world 000\n' | 'Hello world 001\n' ... | 'Hello world 099\n'];
SimParams.BarkerCode = [+1 +1 +1 +1 +1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 -1 +1]; % Bipolar Barker Code
SimParams.BarkerLength = length(SimParams.BarkerCode);
SimParams.HeaderLength = SimParams.BarkerLength * 2; % Duplicate 2 Barker codes to
be as a header
SimParams.Message = 'mensaje \n';
SimParams.MessageLength = length(SimParams.Message) + 5; % 'Hello world 000\n'...
SimParams.NumberOfMessage = 100; % Number of messages in a frame
SimParams.PayloadLength = SimParams.NumberOfMessage * SimParams.MessageLength * 7; % 7 bits
per characters
SimParams.FrameSize = (SimParams.HeaderLength + SimParams.PayloadLength) ...
/ log2(SimParams.ModulationOrder); % Frame size in symbols
SimParams.FrameTime = SimParams.Tsym*SimParams.FrameSize;

%% Rx parameters
SimParams.RolloffFactor = 0.5; % Rolloff Factor of Raised Cosine Filter
SimParams.ScramblerBase = 2;
SimParams.ScramblerPolynomial = [1 1 1 0 1];
SimParams.ScramblerInitialConditions = [0 0 0 0];
SimParams.RaisedCosineFilterSpan = 10; % Filter span of Raised Cosine Tx Rx filters (in
symbols)
SimParams.DesiredPower = 2; % AGC desired output power (in watts)
SimParams.AveragingLength = 50; % AGC averaging length
SimParams.MaxPowerGain = 60; % AGC maximum output power gain
SimParams.MaximumFrequencyOffset = 6e3;
% Look into model for details for details of PLL parameter choice.
% Refer equation 7.30 of "Digital Communications - A Discrete-Time Approach" by Michael Rice.
K = 1;
A = 1/sqrt(2);
SimParams.PhaseRecoveryLoopBandwidth = 0.01; % Normalized loop bandwidth for fine
frequency compensation
SimParams.PhaseRecoveryDampingFactor = 1; % Damping Factor for fine frequency
compensation
SimParams.TimingRecoveryLoopBandwidth = 0.01; % Normalized loop bandwidth for timing
recovery
SimParams.TimingRecoveryDampingFactor = 1; % Damping Factor for timing recovery
% K_p for Timing Recovery PLL, determined by 2KA^2*2.7 (for binary PAM),
% QPSK could be treated as two individual binary PAM,
% 2.7 is for raised cosine filter with roll-off factor 0.5
SimParams.TimingErrorDetectorGain = 2.7*2*K*A^2+2.7*2*K*A^2;
SimParams.PreambleDetectionThreshold = 0.8;

%% Message generation and BER calculation parameters
msgSet = zeros(100 * SimParams.MessageLength, 1);
for msgCnt = 0 : 99
    msgSet(msgCnt * SimParams.MessageLength + (1 : SimParams.MessageLength)) = ...
    sprintf('%s %03d\n', SimParams.Message, msgCnt);
end
bits = de2bi(msgSet, 7, 'left-msb');
SimParams.MessageBits = bits(:);

```

```

% For BER calculation masks
SimParams.BerMask = zeros(SimParams.NumberOfMessage * length(SimParams.Message) * 7, 1);
for i = 1 : SimParams.NumberOfMessage
    SimParams.BerMask( (i-1) * length(SimParams.Message) * 7 + ( 1: length(SimParams.Message) * 7 )
= ...
    (i-1) * SimParams.MessageLength * 7 + (1: length(SimParams.Message) * 7);
end
% Pluto receiver parameters
SimParams.PlutoCenterFrequency = 1090e6;
SimParams.PlutoGain = 30;
SimParams.PlutoFrontEndSampleRate = SimParams.Fs;
SimParams.PlutoFrameLength = SimParams.Interpolation * SimParams.FrameSize;

% Experiment parameters
SimParams.PlutoFrameTime = SimParams.PlutoFrameLength / SimParams.PlutoFrontEndSampleRate;
SimParams.StopTime = 10;

```

Generar el mensaje ADS-B

```

adsbMessage = estructura con campos:
    OACI: 'ABC123'
    Hora: 0
    Categoría: Vehículo_aéreo_no tripulado
    Indicativo de llamada: 'X2347568'
    Latitud: 42.7530
    Longitud: 31.8961
    Altitud: 1.0000e+04
    Del error: -7.5704e-04
    Vnorte: 250.0919
    Velocidad de ascenso: -0,1308
    Título: 359.9998
    NACPosición: 6
    Precisión geométrica vertical: 2
    NACVelocidad: 4

```