



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

**SISTEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE LOS UAV Y LAS ESTACIONES DE
CONTROL TERRESTRE PARA APLICACIONES INTELIGENTES DE
VIDEOVIGILANCIA EN TIEMPO REAL DEL CIDFAE**

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

ÁREA: Física y Electrónica

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnología de Comunicación.

AUTORES: Roberto Carlos Murillo Unda

Daniel Alejandro Pachar Navas

TUTOR: Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño

Ambato – Ecuador

marzo– 2022

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE LOS UAV Y LAS ESTACIONES DE CONTROL TERRESTRE PARA APLICACIONES INTELIGENTES DE VIDEOVIGILANCIA EN TIEMPO REAL DEL CIDFAE, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por los señores Roberto Carlos Murillo Unda y Daniel Alejandro Pachar Navas, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que los estudiantes han sido tutorados durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, marzo 2022.

Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño
TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE LOS UAV Y LAS ESTACIONES DE CONTROL TERRESTRE PARA APLICACIONES INTELIGENTES DE VIDEOVIGILANCIA EN TIEMPO REAL DEL CIDFAE, es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, marzo 2022.



Roberto Carlos Murillo Unda

C.C. 0503404386

AUTOR



Daniel Alejandro Pachar Navas

C.C.1804783429

AUTOR

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por los señores Roberto Carlos Murillo Unda y Daniel Alejandro Pachar Navas, estudiantes de la Carrera de Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE LOS UAV Y LAS ESTACIONES DE CONTROL TERRESTRE PARA APLICACIONES INTELIGENTES DE VIDEOVIGILANCIA EN TIEMPO REAL DEL CIDFAE , nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, marzo 2022

Ing. Pilar Urrutia, Mg.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ing. Julio Enrique Cuji Rodríguez
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Elizabeth Paulina Ayala Baño, Mg
PROFESOR CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, marzo 2022.



Roberto Carlos Murillo Unda

C.C. 0503404386

AUTOR



Daniel Alejandro Pachar Navas

C.C. 1804783429

AUTOR

DEDICATORIA

Principalmente a Dios por haberme guiado, a mis padres Pedro y Beatriz que han sido motor fundamental para culminar toda mi etapa universitaria que con su cariño, paciencia me han sabido inculcar valores como la perseverancia, de un sueño que al principio se vio muy lejano pero ahora gracias a su apoyo incondicional siempre luchar ante cualquier dificultad.

A mi hermano que ha sido mi ejemplo de no rendirse nunca, su paciencia y sus palabras.

Finalmente a Mary por haberme acompañado a lo largo de este trayecto que con su paciencia, cariño, apoyo me ha permitido llegar a este momento tan anhelado en mi vida.

Roberto Carlos Murillo Unda

AGRADECIMIENTO

Un eterno y profundo agradecimiento a todos los docentes que han transcurrido en la carrera, con sus enseñanzas diarias para ser profesionales de éxito.

A las autoridades del CIDFAE, nuestro tutor Ing. Franklin Salazar por habernos guiado en todo nuestro proceso de titulación.

Un abrazo eterno a todos mis compañeros, hermanos más que amigos de todos los días que ahora cada quien se encuentra en su ámbito profesional, siempre conservaremos la amistad hasta que nos volvamos encontrar.

Roberto Carlos Murillo Unda

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis padres Manuel y Luisa quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño que alguna vez lo vi lejano, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades.

A mis hermanos Omar y Anahí por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia, mi enamorada Alejandra que con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona, acompañándome en este proceso con sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mi madrina Ligia, por apoyarme cuando más lo necesitaba, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día hacia mí y mis padres, de verdad mil gracias.

Daniel Alejandro Pachar Navas

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a todas las autoridades y personal que forman parte del CIDFAE, por permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Técnica de Ambato, a toda la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como estudiante y ahora a nivel profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Daniel Alejandro Pachar Navas

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO	7
ABSTRACT.....	8
CAPÍTULO I	9
MARCO TEÓRICO.....	9
1.1. Tema de Investigación.....	9
1.2. Antecedentes Investigativos	9
1.2.1 Contextualización del Problema	11
1.2.2 Fundamentación Teórica	13
UAV– Vehículos Aéreos No Tripulados	13
Composición básica de los subsistemas de un UAV	13
Elementos de un sistema de comunicación para UAV	14
Superficies de control de vuelo de un vehículo aéreo no tripulado (UAV).....	15
Clasificación de los UAVs	16
Según el uso de misión.....	16
Según el método de control.....	16
Según su forma de sustentación	17
Fuerzas aerodinámicas que actúan sobre un UAV de ala fija	18
Descripción de los componentes principales que tiene un UAV-Ala Fija	18
Sistema de Comunicación de un Sistema Aéreo No Tripulado (UAS).....	22
Banda de Frecuencias.....	25
UHF (Ultra High Frequency)	25
Propagación.....	26
Presupuesto de Potencia del Enlace.....	26
Pérdida en Espacio Libre.....	26
Margen del enlace	27
Software de planificación y Control de Misiones	27
Protocolo MavLink	28
Sistema de Videovigilancia	29
Estructura de un sistema de video vigilancia típico.....	29
Sistema de transmisión y recepción de video	30
1.3. Objetivos	31
1.3.1. Objetivo General	31

1.3.2. Objetivos específicos.....	31
CAPITULO II.....	32
METODOLOGÍA.....	32
2.1 Materiales.....	32
2.2 Métodos.....	32
2.2.1 Modalidad de investigación.....	32
2.2.2 Recolección de información.....	32
2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos.....	33
2.2.4 Desarrollo del Proyecto.....	33
CAPITULO III.....	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
3.1. Análisis y discusión de los resultados.....	35
3.1.1 Desarrollo de la propuesta.....	35
Evaluación de los sistemas de comunicación existentes en el CIDFAE.....	35
Tipos de UAV desarrollados en el CIDFAE.....	38
Criterios para la selección del UAV.....	38
Diseño del Sistema de Comunicaciones.....	40
Diseño del Sistema de Telemetría.....	40
Cálculo del Presupuesto de potencia del Enlace-Telemetría.....	40
Selección de los equipos que conforman el sistema de telemetría.....	42
Diseño del Sistema de Video.....	47
Cálculo del Presupuesto de Potencia del Enlace-Video.....	47
Selección de equipos que conforman el sistema de video.....	50
Equipos para el sistema de video que se encuentran en el UAV.....	50
Selección para la Cámara de Video FPV.....	50
Selección para el Transmisor de Video y Antena de transmisión.....	52
Equipos para el sistema de video que se encuentran en la Estación de Control en Tierra.....	53
Selección para el Receptor de video.....	53
Consumo de Corriente de los equipos que conforman el sistema de comunicaciones y Videovigilancia.....	56
Incorporación del Sistema de Telemetría con la Estación de Control en Tierra.....	57
Equipos que constituyen el sistema de telemetría.....	57
Calibración y configuración de los sensores incorporados en el UAV Solar mediante el software Mission Planner.....	59
Calibración y configuración del Acelerómetro.....	59

Calibración y configuración del GPS con Brújula.....	60
Incorporación del Sistema de Video con la Estación de Control en Tierra.....	62
Equipos que constituyen el sistema de video.....	62
Emparejamiento del equipo Herelink con el UAV Solar.....	64
Calibración del Control de Radio (RC) en Mission Planner.....	65
Configuración para la transmisión de video en tiempo real para el equipo Herelink.....	66
Configuración para visualizar video en tiempo real en Mission Planner.....	66
Implementación del Sistema.....	68
Implementación de los equipos que se ubican en el UAV.....	68
Implementación de los equipos ubicados en la Estación de Control en Tierra.....	69
Prueba de Funcionamiento del Sistema de Telemetría y Videovigilancia en Tierra.....	69
Pruebas de rango para transmisión de video en tiempo real.....	72
Análisis referente a la autonomía de vuelo para el Sistema de comunicaciones y Videovigilancia en tiempo real.....	76
Comportamiento del sistema en condiciones climáticas favorables.....	78
Comportamiento del sistema en condiciones climáticas desfavorables.....	79
Análisis de Niveles de Señal para Telemetría para diferentes distancias.....	80
Análisis de Niveles de Señal (SNR) para diferentes distancias.....	82
Presupuesto del Proyecto.....	86
CAPITULO IV.....	87
Conclusiones y Recomendaciones.....	87
4.1 Conclusiones.....	87
4.2 Recomendaciones.....	88
MATERIALES DE REFERENCIA.....	89
Referencias Bibliográficas.....	89
ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Composición básica de los subsistemas de un UAV. [12]	13
Figura 2.	Elementos principales de un enlace de comunicaciones para UAV. [12]	14
Figura 3.	Elementos que conforman un sistema aéreo no tripulado. [14]	15
Figura 4.	Superficies de control de vuelo. [14]	16
Figura 5.	UAV de ala fija. [16]	17
Figura 6.	Partes y terminología de un perfil aerodinámico. [17]	18
Figura 7.	Motor Brushless de forma física. [19]	20
Figura 8.	Variador de velocidades del motor. [21]	21
Figura 9.	Varios tipos de hélices para UAV.	21
Figura 10.	Batería de tipo LiPo. [22]	22
Figura 11.	Distribución de elementos en un UAS.	23
Figura 12.	Diagrama de bloques de un Sistema de Comunicación UAV.	25
Figura 13.	Logo del protocolo de comunicación MAVlink	28
Figura 14.	Estructura de un paquete enviado con MAVLink	29
Figura 15.	Estructura de un Sistema de Vigilancia. [28]	30
Figura 16.	Cámara FPV para UAV. [30]	30
Figura 17.	UAV Solar.	39
Figura 18.	Autopiloto Pixhawk 2.1. [31]	43
Figura 19.	Módulos de telemetría Radio 3DR. [32]	44
Figura 20.	RadioLink M8N GPS SE100. [33]	46
Figura 21.	Sensor de velocidad de aire Holybro. [34]	47
Figura 22.	Cámara GoPro Hero 6 Black. [35]	52
Figura 23.	Antena y transmisor de video-Herelink. [36]	52
Figura 24.	Equipo Herelink – Receptor para la estación en tierra. [36]	54
Figura 25.	Diagrama en bloques del sistema de Telemetría	57
Figura 26.	Componentes del sistema de telemetría	58
Figura 27.	Conexión de los equipos con el Micropiloto ubicado en el UAV Solar.	58
Figura 28.	Conexión de los equipos ubicados en la Estación en Tierra	59
Figura 29.	Configuración del acelerómetro en Mission Planner	60
Figura 30.	Mensaje de configuración exitosa del acelerómetro en Mission Planner	60
Figura 31.	Calibración de brújula - Mission Planner	61
Figura 32.	Calibración de brújula completada - Mission Planner	61
Figura 33.	Diagrama en bloques del sistema de Video	62
Figura 34.	Componentes del sistema de video.	62
Figura 35.	Conexión de los equipos del sistema de video ubicado en el UAV.	63

Figura 36.	Conexión de los equipos del sistema ubicado en la estación de control.....	63
Figura 37.	Instalación del firmware al módulo de transmisión Herelink.....	64
Figura 38.	Proceso de instalación del firmware a los equipos Herelink.....	64
Figura 39.	Emparejamiento Exitoso del equipo Herelink con el UAV Solar.	
Fuente:	Los investigadores.....	65
Figura 40.	Ventana de calibración RC-Mission Planner	65
Figura 41.	Calibración de RC-Mission Planner	66
Figura 42.	Interfaz de la aplicación QGroundControl.....	66
Figura 43.	Configuración de video en Mission Planner.....	67
Figura 44.	Ventana de ingreso dirección IP en Mission Planner.....	67
Figura 45.	Conexión de equipos ubicados en el UAV	68
Figura 46.	Conexión de equipos ubicados en la Estación de Control en Tierra	69
Figura 47.	Pruebas de funcionamiento del Sistema de Telemetría en Tierra.....	70
Figura 48.	Pruebas de funcionamiento del Sistema de Video en tierra.....	70
Figura 49.	PRx Señal de Video Real vs PRx Señal de Video Real	72
Figura 50.	Lanzamiento del UAV Solar.....	72
Figura 51.	Señal Recibida de video calculada vs Señal Recibida de video real.....	73
Figura 52.	Recepción de datos y video en la Estación de Control ubicada en Tierra.....	74
Figura 53.	Ubicación vertical antenas de transmisión de video.....	74
Figura 54.	Señal Recibida de video calculada vs Señal Recibida de video real	75
Figura 55.	Señal de video enviada desde el UAV y receptada en la Estación de Control.	
	76	
Figura 56.	Voltaje vs Tiempo - Descarga de batería LiPo	77
Figura 57.	Sistema de comunicaciones para condiciones climáticas favorables	79
Figura 58.	Sistema de comunicaciones para condiciones climáticas desfavorables	79
Figura 59.	Porcentaje de señal Telemetría-Mission Planner	80
Figura 60.	Nivel de SNR de Video-Equipo Herelink.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Cargas que actúan sobre una aeronave. [17].....	18
Tabla 2.	Características de un Motor Brushless.....	19
Tabla 3.	Parámetros técnicos ESC.....	20
Tabla 4.	Materiales de fabricación de las hélices.....	21
Tabla 5.	Ventajas y desventajas de las baterías LiPo.....	22
Tabla 6.	Comparativo software de planificación y control.	27
Tabla 7.	Tabla resumen de las características principales para el enlace de telemetría disponible en el CIDFAE.....	36
Tabla 8.	Tabla resumen de las características principales del Radiocontrol disponible en el CIDFAE. 37	
Tabla 9.	Características Técnicas de las aeronaves pequeñas del CIDFAE.	38
Tabla 10.	Especificaciones técnicas del UAV Solar.....	40
Tabla 11.	Parámetros para calcular la viabilidad del enlace telemetría.....	40
Tabla 12.	Comparativa de Micropiloto para vuelo.	42
Tabla 13.	Características técnicas módulos de telemetría Radio 3DR.....	44
Tabla 14.	Comparativa para el módulo GPS.	45
Tabla 15.	Comparativa Sensor de Velocidad de aire.	46
Tabla 16.	Parámetros para calcular la viabilidad del enlace.	48
Tabla 17.	Pérdida en espacio libre para distintas distancias.	48
Tabla 18.	Presupuesto de potencia del enlace para distintas PEL.....	49
Tabla 19.	Margen de enlace para distintas distancias.	49
Tabla 20.	Comparativa Cámaras FPV.....	51
Tabla 21.	Características técnicas Herelink-Unidad de aire.....	52
Tabla 22.	Comparativa de equipos de recepción para video.....	53
Tabla 23.	Características técnicas Herelink-Estación de tierra.....	54
Tabla 24.	Pesos de los equipos a ser incorporados para el enlace de telemetría y video....	55
Tabla 25.	Consumo de corriente de los equipos ubicados en el UAV Solar.....	56
Tabla 26.	Generación de corriente Total que generan los paneles solares.	56
Tabla 27.	Consumo de corriente de los equipos ubicados en la Estación en Tierra.....	57
Tabla 28.	Potencia de señal para video – Pruebas en Tierra.....	71
Tabla 29.	Potencia de Señal de Video recibida con frecuencia de 2,4GHz.....	73
Tabla 30.	Potencia de Señal de Video recibida con frecuencia de 2,4GHz.....	75
Tabla 31.	Comportamiento del Voltaje y Corriente en el UAV Solar.	77
Tabla 32.	Análisis de niveles de señal en porcentaje para Telemetría.	80
Tabla 33.	Análisis de niveles de señal de video para distintas distancias.	83
Tabla 34.	Presupuesto del proyecto.....	86

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de Investigación describe la implementación de un sistema de comunicación entre un UAV Solar y la estación de control en tierra para aplicaciones inteligentes de Videovigilancia en tiempo real para el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, la factibilidad del presente proyecto permite obtener sistemas completamente autónomos cada vez más necesarios, para así disminuir la dependencia tecnológica de otros países que poseen dichos sistemas.

En cuanto a la propuesta es avalada por el personal táctico militar del CIDFAE cumpliendo sus requerimientos, expectativas y ampliando su visión a campos de última tecnología de fácil acceso, lo cual hace posible que este tipo de sistemas permitan la visualización y análisis de datos de manera automática, mediante el uso de un software libre como Mission Planner para el control en tierra, compatible solo con Windows con la gran utilidad de configuración o complemento de control dinámico para un vehículo aéreo no tripulado autónomo.

Finalmente es importante recalcar que con la implementación del trabajo de investigación el CIDFAE cuenta con un prototipo equipado (sistema de control y enlaces de comunicación eficientes) y funcional que sirve de base para la producción nacional de aeronaves confiables de alta tecnología para misiones militares y futuras investigaciones.

Palabras Claves: Solar, aeronaves, autónomo, militares, videovigilancia, Mission Planner.

ABSTRACT

This research work describes the implementation of a communication system between a Solar UAV and the ground control station for intelligent applications of real-time video surveillance for the Research and Development Center of the Ecuadorian Air Force, the feasibility of this project allows to obtain fully autonomous systems increasingly necessary, in order to reduce technological dependence on other countries that have such systems.

As for the proposal is endorsed by the military tactical personnel of the CIDFAE meeting their requirements, expectations and expanding their vision to fields of latest technology easily accessible, which makes it possible that such systems allow the display and analysis of data automatically, through the use of a free software as Mission Planner for ground control, compatible only with Windows with the great utility of configuration or dynamic control complement for an autonomous unmanned aerial vehicle.

Finally, it is important to emphasize that with the implementation of the research work the CIDFAE has an equipped prototype (control system and efficient communication links) and functional that serves as a basis for the national production of reliable high-tech aircraft for military missions and future research.

Keywords: Solar, aircraft, autonomous, military, video surveillance, Mission Planner.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Tema de Investigación

SISTEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE LOS UAV Y LAS ESTACIONES DE CONTROL TERRESTRE PARA APLICACIONES INTELIGENTES DE VIDEOVIGILANCIA EN TIEMPO REAL DEL CIDFAE

1.2. Antecedentes Investigativos

Henry David Guerra Campoverde en su investigación “Desarrollo De Un Sistema De Comunicaciones En La Banda UHF Y SHF Para Un Vehículo Aéreo No Tripulado De Ala Fija Para El Monitoreo De Los Humedales Pugllohuma Y Jatunhuaycu En Las Inmediaciones Del Volcán Antisana”, en la ciudad de Quito - Ecuador, en el año 2020, desarrollan diferentes sistemas de comunicaciones cada uno de ellos en una banda de frecuencia diferente, donde el enlace de telemetría que se utiliza para transmitir datos de los sensores posee un alcance de 4 km en línea de vista con el uso de antenas omnidireccionales en tiempo real y la transmisión de video de 1 km. La comunicación entre el uav y la estación terrena se establece de manera bidireccional y en forma continua, los autores proponen utilizar el software radio mobile para validar los datos obtenidos y comparar con los cálculos del presupuesto del enlace para la obtención de los equipos a implementar [1].

Elena Moscoso Acosta y Estefanía Verónica Yáñez Arcos en su investigación “Sistema de telemetría y video vigilancia para el control y monitoreo de misiones a larga distancia para el Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE”, de la Universidad Técnica de Ambato, en el año 2020, desarrollan un UAV para misiones operativas de vigilancia que posee un enlace de comunicación fiable para vuelos de precisión y adquisición de datos en tiempo real en la estación de monitoreo terrestre a largas distancias. El sistema de comunicación existente entre la estación de control y la aeronave emplea el protocolo MAVLINK que permite la comunicación bidireccional para la transmisión de dato, con un alcance de monitoreo en telemetría de 4 km y video de alta definición de 3 km. [2]

Rafi Mahabbat Bin Belal en su investigación “Análisis, Estimación Y Predicción De Desvanecimiento Para Una Estación De Control y UAV Variante En El Tiempo Para Comunicaciones Cognitivas”, en Canadá del año 2015 desarrolla una propuesta para estimar el desvanecimiento que sufre el enlace de comunicación entre el UAV y la estación de control, en el cual la antena del UAV y la estación de control son colocados en diferentes puntos para determinar la caída de potencia de las antenas que sufren por desajustes de polarización, distancia, propagación, ganancias, ángulos esféricos y específicos. Como conclusión se determina un análisis de regresión múltiple que permite obtener los parámetros de desvanecimiento dadas las condiciones del canal, además emplean modelos de rendimiento para estimar la precisión del enlace inalámbrico y se compara con diferentes configuraciones de antena para sistemas no tripulados, para que la potencia de transmisión sea optima y así aumentar el rango de operación de los UAV [3].

Ing. Benjamín Araujo en su investigación “Sistema de procesamiento digital de imágenes para realizar tracking automático de objetos durante misiones de vigilancia y reconocimiento utilizando sistemas electroópticos del CIDFAE”, en Ambato - Ecuador en el año 2018, consiste en emplear sistemas electroópticos que posee dos lentes uno para video normal y otro para capturar imágenes térmicas , mediante la adquisición de tramas permite obtener una imagen de muestra que es captada por video para realizar el procesamiento digital de imágenes para el cual integra un sistema de seguimiento automático de objetos en operaciones de vigilancia, detección y reconocimiento. Cabe destacar que la interfaz creada en LabVIEW permite visualizar estados de la trama, parámetros de control y captación de video del sistema electro-óptico [4].

Simbaña Eduardo y Uquillas María en su trabajo de investigación “Análisis Comparativo de Tecnologías de Comunicaciones aplicadas a vehículos aéreos no tripulados (UAV)”, en Quito, en el año 2016, realizan un análisis comparativo de las tecnologías existentes en los sistemas de comunicación, hardware, software, parámetros técnicos, arquitecturas y protocolos de comunicación, con la finalidad de poder recorrer distancias prolongadas sin perder la comunicación entre el UAV y la estación terrestre [5], con un análisis del rendimiento de transmisión basado en los

protocolos básicos, enrutamiento de origen dinámico (DSR), vector de distancia ad hoc bajo demanda (AODV), enrutamiento de estado de enlace optimizado (OLSR) y protocolo de enrutamiento geográfico (GRP). [6]

Carvajal Jonathan y Chuquisala Luis desarrollo el trabajo de investigación “Diseño e implementación de un sistema autónomo de seguimiento de características”, en Quito en el año 2015 en su proyecto investigativo incorpora un sistema de estabilización y seguimiento, mediante software libre detecta las características de un objeto para el procesamiento de imágenes que son obtenidas por la cámara de video que actúa como sensor , la cual extrae información como la cantidad específica de pixeles de una imagen en una determinada área. Todo el algoritmo está basado en reconocimiento de características, en parámetros obtenidos como el color, bordes, posición etc, que son implementados en una tarjeta embebida computacional UDDO que permite el control y seguimiento de los objetos en tiempo real. Un sistema de visión artificial o visión por computadora es parte esencial para aplicaciones de reconocimiento, seguridad, video vigilancia de manera automática para obtener su fácil integración a sistemas completamente autónomos [7].

1.2.1 Contextualización del Problema

En la actualidad los avances tecnológicos en sistema aéreos no tripulados (UAV) han experimentado un amplio desarrollo a través de los años, debido a la amplia gama de aplicaciones tanto militares o civiles a gran escala mediante la inclusión de sistemas inteligentes de última generación como nanotecnología, biotecnología, inteligencia y visión artificial, realidad aumentada, la cual recibe información del medio en que se encuentra y actúe de manera autónoma en base a dichos parámetros obtenidos, ya que son capaces de detectar aquellos comportamientos inusuales, con mayor precisión, rapidez y exactitud, para así garantizar su viabilidad y sostenibilidad [8].

En Ecuador la fuerza aérea ecuatoriana con la finalidad de liderar el desarrollo tecnológico en el campo de la aviación, participa de manera activa en operaciones militares orientados a la defensa interna o externa del estado, donde la frontera norte del Ecuador es altamente vulnerable a la delincuencia organizada, tráfico de drogas, subsidio del petróleo, etc. Por lo cual, la necesidad de implementar sistemas aéreos no

tripulados es de vital importancia para el apoyo desde aire lo cual permitirá acceder a lugares inhóspitos, donde el acceso del personal militar es ineficiente. Con la finalidad de precautelar la seguridad operacional de las FF.AA, los UAV a utilizar requieren sistemas integrales de detección, observación y comunicación de largo alcance que permitan generar información y toma de datos de manera eficiente. [9]

El centro de investigación y desarrollo de la fuerza aérea ecuatoriana CIDFAE, siendo uno de los centros de investigación actuales, contribuye a la creación de Aeronaves no tripuladas tales como FENIX y GAVILAN con capacidades de despegue, aterrizaje autónomo, transmisión en tiempo real, con sistemas electrópticos para aplicaciones reales como vigilancia de frontera y levantamiento de información en desastres naturales [10]. Uno de ellos, el UAV colibrí siendo la única nave que posee sistema de telemetría y video vigilancia para el monitoreo de misiones, pero con problemas de comunicación a largo alcance.

El grupo de monitoreo y reconocimiento electrónico conjunto (GMREC), cuenta con plataformas tipo dron y UAVs para reconocimiento de mediano y largo alcance, entre ellos el Dron Inspire 2, el UAV Alti con sistema de comunicación, sensor-óptico para observación diurna y nocturna, dicho grupo de apoyo tiene como finalidad utilizar inteligencia de imágenes (IMINT). La Dirección Nacional de los Espacios Acuáticos (DIRNEA), posee aeronaves no tripuladas como Searcher Y Heron de procedencia Israelita las cuales permanecen en el centro de operación de Manta para operaciones marítimas, estos dos tipos de UAV pueden funcionar de manera conjunta, la primera como repetidora de comunicación y la segunda para la respectiva aplicación, por ello su costo excesivo de implementación. [11]

Consecuencia de la necesidad e interés del CIDFAE en solucionar problemas operacionales como ancho de banda, frecuencia de operación, enlace de comunicación, alcance, telemetría y la inexistencia de aplicaciones que requieren ser solventadas. El presente proyecto pretende analizar el sistema de comunicación, condiciones aéreas y pérdidas de comunicación, se implementará un enlace de comunicación de mayor alcance en un UAV de tipo solar y así dar solución a los problemas previamente mencionados, motivando a los operadores a incursionar en nuevas tecnologías de sistemas de video vigilancia inteligente, permitiendo su fácil integración en este tipo de aeronave con un peso reducido y a menor costo.

1.2.2 Fundamentación Teórica

UAV– Vehículos Aéreos No Tripulados

Los vehículos aéreos no tripulados, son aeronaves encargadas de llevar la carga útil de cualquier tipo de misión, esta última constituye el dispositivo o sensor que requiere ser transportado de manera aérea para recopilar datos de interés durante el vuelo de la aeronave con la principal característica de no tener ningún tipo de tripulación a bordo [12].

Composición básica de los subsistemas de un UAV

Existen varios subsistemas en un vehículo aéreo no tripulado, en donde, cada uno de ellos constituye un aporte para el UAV.

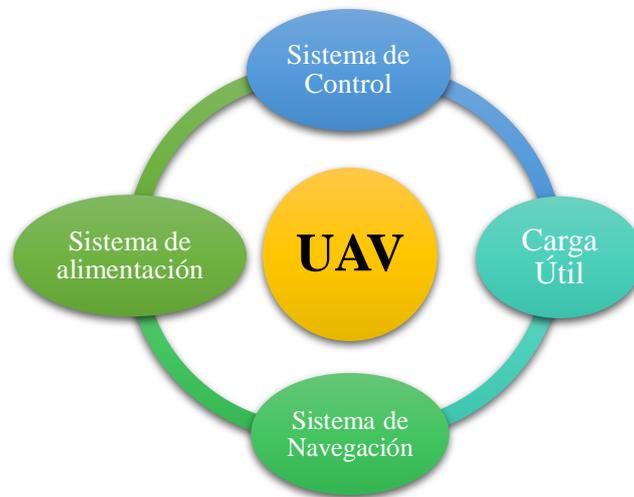


Figura 1. Composición básica de los subsistemas de un UAV. [12]

Sistema de control

Un sistema de control se encuentra constituido por:

- **Controlador:** Parte principal de la aeronave debido a que es el encargado de adquirir la información de todos los sensores integrados al vehículo aéreo con el propósito de determinar las señales de control adecuadas hacia los actuadores para mantener la estabilidad, ya sea un vuelo autónomo o mediante el control de un piloto en tierra.
- **Actuadores:** Conjunto de elementos encargados de producir los movimientos físicos que permiten mantener en vuelo al vehículo aéreo.

- **Sensores:** Recopilan la información necesaria para que el controlador pueda estabilizar y dirigir a la aeronave [12].

Sistema de alimentación

La principal fuente de alimentación de un UAV dependerá de los actuadores que se utilicen debido a que para actuadores eléctricos se usa comúnmente baterías que son muy prácticas y de fácil uso teniendo como desventaja notable el hecho de ser muy pesadas.

Sistema de navegación

Este sistema integra una unidad de medición inercial (IMU) y un sistema de geo localización (GPS). La función de la IMU es la capacidad para medir la orientación, velocidad y fuerzas gravitacionales a través del uso de acelerómetros, giroscopios y magnetómetros mientras que el GPS constituye la información satelital para determinar la ubicación del vehículo aéreo usando el centro de la tierra como punto de referencia a través de un GPS ubicado en el vehículo aéreo.

Carga útil

La principal función para los vehículos aéreos está basada en la capacidad de carga que pueda ofrecer, el uso de UAV han sido considerados como facilitadores de tareas en distintas áreas que tienen características técnicas.

Elementos de un sistema de comunicación para UAV

Tres componentes principales conforman un enlace de comunicación para un UAV mostrados en la Figura 2 a continuación:



Figura 2. Elementos principales de un enlace de comunicaciones para UAV.
[12]

Enlace de monitoreo y control

Este tipo de enlace es conocido como telemetría, debido a que se mantiene un enlace bidireccional con transmisión de datos entre el UAV y la estación terrena.

Enlace de mando

Es el enlace que transmite las señales de control hacia el UAV de manera remota.

Enlace de carga útil

El enlace de carga útil se enfoca en la transmisión de datos a los sensores que forman parte del UAV para cualquier tipo de aplicación usando una banda en específico dentro del espectro radioeléctrico [12].

Surge el término UAS, que hace referencia a un sistema que comprende un UAV capaz de controlar, monitorear, adquirir y procesar información de manera remota desde tierra y un sistema de comunicación entre ellos. [13].

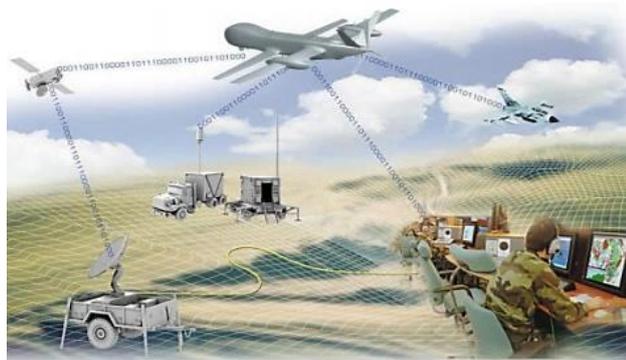


Figura 3. Elementos que conforman un sistema aéreo no tripulado. [14]

Superficies de control de vuelo de un vehículo aéreo no tripulado (UAV)

Las superficies de control son piezas ubicadas en las alas, cola o en estabilizador de una aeronave que ayudan con la guía y estabilidad. Todo tipo de aeronave gira alrededor de su centro de gravedad, donde existe un sistema de coordenadas tridimensional sobre cada uno de los ejes de control.

Las superficies de control de vuelo utilizadas son:

- **Alerones:** Control de Roll, ubicado sobre el eje X donde su función es controlar el giro hacia derecha o izquierda de la aeronave.

- **Elevador:** Control Pitch, ubicado en la parte posterior del eje Y que permite la estabilización horizontal de la aeronave.
- **Timón:** Control Yaw, ubicado en el eje Z donde su función es estabilizar de forma vertical la aeronave. [14]

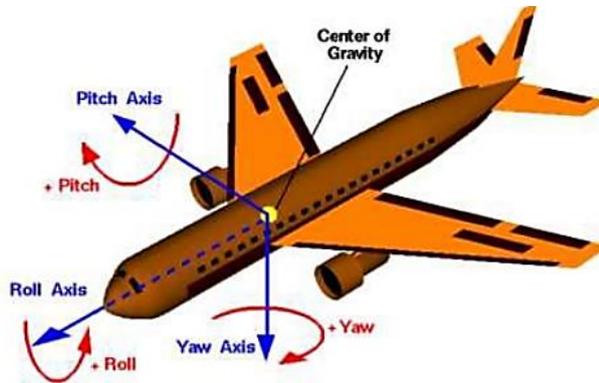


Figura 4. Superficies de control de vuelo. [14]

Clasificación de los UAVs

En un sistema aéreo no tripulado UAS, los UAV son el elemento primario y se los puede clasificar en base a los aspectos considerados los más importantes según sus especificaciones:

Según el uso de misión

Los UAVs en la actualidad se pueden dividir en base a una misión principal: [15]

- **Misión de RECONOCIMIENTO:** Utilizado para realizar reconocimientos en el ámbito militar para zonas donde se tiene difícil acceso, demostrando eficiencia y reducción de recursos.
- **Misión de COMBATE:** Tienen como fin ser usados para misiones ofensivas.
- **Misión LOGÍSTICA:** Transporte de mercancías, insumos o recursos.
- **Misión de INVESTIGACIÓN:** Estudio de la atmosfera, logística y cartografía entre las más destacadas.
- **Misión de uso CIVIL:** Son llamado también UAVs comerciales, por el motivo de que han sido utilizados en aplicaciones cotidianas como la vigilancia, fotografía, repetidoras para TV, control de incendios etc.

Según el método de control

Para el modo de operar un UAV se puede dividir de la siguiente manera: [15]

- **Control AUTÓNOMO:** Para este tipo de control el UAV no necesita de un piloto físico que lo manipule, se encuentra configurado para ser guiado en base a sus sensores integrados.
- **Control MONITORIZADO:** Un piloto físico opera el UAV enviando información con comandos para decidir las acciones que deben llevarse a cabo.
- **Control REMOTO:** Este control es el más usado para aplicaciones de tipo civil, tienen la característica de ser controlados con un Radio Control, donde a distancia es manipulado por un piloto mediante una banda de radiofrecuencia.

Según su forma de sustentación

Debido a la forma estructural de un UAV se tiene: [16]

- **ALA FIJA:** Este tipo tiene sus alas que se entrelazan con el resto de las partes que conforman el UAV. En general, las aeronaves de ala fija mantienen una forma física simple y una alta eficiencia aerodinámica generando también una alta eficiencia energética.

Ventajas de uso:

- Mantiene un nivel de autonomía alto
- Gran capacidad de vuelo
- Vuelo a largas distancias y llegar a altas velocidades
- Sistema de propulsión mantiene un motor de combustión interna o una turbina.

Desventajas de uso:

- Dependen de elementos externos para despegar y aterrizar.
- Complejidad en la ejecución de una misión
- Nivel de maniobrabilidad menor al ser utilizados en espacios complejos.



Figura 5. UAV de ala fija. [16]

Fuerzas aerodinámicas que actúan sobre un UAV de ala fija

Existe la fuerza denominada como una magnitud vectorial interpretada como una interacción entre objetos que cambia su estado de reposo o movimiento, en el interior de una aeronave se logra diferenciar varias fuerzas que ayudan a que ejerza movimiento en 3 ejes: Lateral, vertical y longitudinal, lo que permite mostrar sus cargas aerodinámicas en la estructura física de una aeronave, como se muestra teóricamente en la Tabla 1 y gráficamente en la Figura 6:

Tabla 1. Cargas que actúan sobre una aeronave. [17]

CARGAS DINÁMICAS	DESCRIPCIÓN
<i>Sustentación</i>	Fuerza que permite el vuelo y se origina en base a la diferencia de presiones generadas alrededor del ala.
<i>Peso</i>	Fuerza generada por la atracción gravitacional de la tierra sobre el aeronave.
<i>Resistencia</i>	Fuerza que se opone al movimiento del avión y debe ser equilibrada por el empuje.
<i>Empuje</i>	Fuerza aplicada sobre el aeronave cuya dirección es paralela y opuesta a la fuerza de arrastre que permite que el UAV se desplace a través del aire.

Elaborado por: Los investigadores.

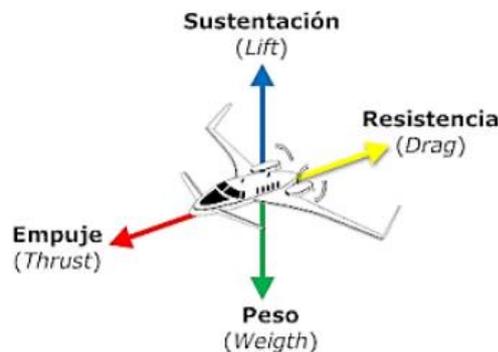


Figura 6. Partes y terminología de un perfil aerodinámico. [17]

Descripción de los componentes principales que tiene un UAV-Ala Fija

Un UAV tiene incorporado elementos o componentes principales que contribuyen a su óptimo funcionamiento en el aire, a continuación, se muestra el estudio de los mismos y sus características principales de funcionamiento.

Motor Brushless

Un motor de tipo Brushless tiene una eficiencia alta, los mismos que durante su uso generan menos calor que otros lo cual requiere menor mantenimiento en largo tiempo y su tiempo de vida es comparado igual al de un motor con escobillas. [18]

Ventajas

- Alto ratio/potencia que permite mayor autonomía de vuelo debido a la reducción de peso
- Disponible en el mercado, con flexibilidad de precio en cada modelo disponible y requerimientos del usuario.
- Compatibles con los tipos de batería de alto rendimiento energético, permitiendo un control óptimo y elevaciones rápidas.
- Al no tener escobillas reduce el mantenimiento y aumenta el rendimiento, durabilidad sin producir mucho ruido.

Características Principales

Tabla 2. Características de un Motor Brushless.

Características	Motor Brushless
Mantenimiento	Mínimo
Durabilidad	Mayor
Eficiencia	Alta, sin caída de tensión por las escobillas
Potencia de salida / Tamaño	Alta, menor tamaño debido a mejores características térmicas
Inercia del rotor	Baja, debido a los imanes permanentes en el rotor
Rango de velocidad	Alto, sin limitaciones mecánicas debido a no tener escobillas
Ruido eléctrico generado	Bajo
Control	Complejo y caro
Requisitos de control	Puede usarse para variar la velocidad

Elaborado por: Los investigadores.



Figura 7. Motor Brushless de forma física. [19]

Variador Electrónico - ESC

Un variador ESC es el circuito que permite controlar la velocidad de giro de los motores, de igual manera controlar la dirección y el freno dinámico de los mismos.

Funcionamiento

El ESC se conecta con el controlador de vuelo mediante 3 cables que son encargados de proveer alimentación y transmitir la señal de control para el funcionamiento del motor. La señal emitida es generada mediante PWM, la cual cambia el ciclo de trabajo de una señal cuadrada que varía en nivel alto y bajo de voltaje, el ciclo de trabajo es el ancho de la parte de la señal en nivel alto. [20]

Parámetros

La programación se realiza en forma manual con el control del UAV mediante una tarjeta disponible para mejorar la interfaz con el usuario en tierra.

Tabla 3. Parámetros técnicos ESC.

Parámetros	Descripción
<i>Brake</i>	Control ON-OFF
<i>Cut-off type</i>	El voltaje desciende a un mínimo se produce que el motor se apaga.
<i>Start Mode</i>	El motor llega a las revoluciones indicadas para el despegue
<i>Timing Mode</i>	Depende del número de polos magnéticos del rotor en el motor, cada vez que se cambia la polaridad de los bobinados.
<i>Battery</i>	Gran cantidad de los variadores detectan el número de celdas de la batería.
<i>PWM frequency</i>	Ajusta la frecuencia de la señal PWM, a mayor frecuencia será mayor el control de la aeronave.

Elaborado por: Los investigadores.



Figura 8. Variador de velocidades del motor. [21]

Hélice

Denominado como uno de los componentes más importantes del UAV, debido a que depende de la fuerza de empuje administrada por los propulsores.

Tabla 4. Materiales de fabricación de las hélices.

Materiales	Descripción
<i>Madera</i>	Madera de haya o de balsa debido a que son más ligeras y no sobrecargan el peso del UAV
<i>Fibra de vidrio</i>	Son caracterizadas como las hélices más pesadas por lo que reduce la velocidad de giro de la hélice.
<i>Fibra de carbono</i>	Rígido y de alto coste, alta eficiencia en el vuelo porque son ligeras y soportan golpes.
<i>Nylon</i>	Barata, resistentes a golpes porque son flexibles lo que provoca su poca eficiencia en el vuelo.

Elaborado por: Los investigadores.



Figura 9. Varios tipos de hélices para UAV.

Batería

La mayoría de UAVs utilizan las baterías de tipo LiPo que son fabricadas en base de polímero de litio, son recargables y sustituye la potencia de combustión, pero a su vez también tiene ventajas y desventajas más destacadas, que se muestran a continuación en la Tabla 5:

Tabla 5. Ventajas y desventajas de las baterías LiPo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Son ligeras y tiene gran variedad de tamaños y formas	El precio reduce a diario debido al desarrollo tecnológico.
Gran capacidad de almacenamiento de carga con un alto nivel de densidad energética	La duración es más corta comparando con otras marcas, pero siempre dependerá del cuidado de la batería.
Alta tasa de descarga energética, requerido para los UAV	Necesitan de un cuidado adecuado conociendo sus características de carga, descarga y almacenamiento.

Elaborado por: Los investigadores.



Figura 10. Batería de tipo LiPo. [22]

Sistema de Comunicación de un Sistema Aéreo No Tripulado (UAS)

El sistema de comunicaciones de un UAS está compuesto por el segmento de vuelo, el segmento de tierra conectados simultáneamente mediante el uso de un sistema de comunicación inalámbrica denominada interna debido a que se encuentra ubicada en el interior del UAV, el segmento de vuelo cuenta con la estructura física del UAV y sus elementos abordado como, por ejemplo; motor de propulsión, sistema de navegación, antenas de radiofrecuencia para la comunicación con la estación base y la carga útil que es la cámara de video. El segmento de tierra es conocido como la estación de control en donde están ubicados los equipos de comunicaciones, visualización, monitorización y control como se muestra en el esquema de la Figura 11.



Figura 11. Distribución de elementos en un UAS.

Elaborado por: Los investigadores.

El sistema de comunicaciones permite tener un enlace bidireccional para conocer la información del desempeño del UAV en todo momento para mantener una operación segura. Está formado generalmente por tres enlaces de comunicación denominados comunicación de control, comunicación de datos y comunicación de video. [23]

- **Comunicación de control:** Se trata del enlace de control del UAV, con el uso de la banda de frecuencia de 2.4 GHz. Disponibles existen varios sistemas de control S. Bus con modulación FHSS (Frequency Hope Spread Spectrum), sistema DSM con modulación DSSS (Direct Sequencing Spread Spectrum) y con la modulación PPM (Pulse Position Modulation).
- **Comunicación de datos:** El enlace que tiene la función de comunicar el UAV con la estación ubicada en tierra, con el fin de receptor y analizar los datos para ordenar la navegación con el piloto automático integrado en el UAV. Existen sistemas de datos en el mercado con hardware y software libre que son configurados según las necesidades del usuario controlador cambiando parámetros de velocidad y potencia de transmisión.

- ✓ **Radio Control:** Mediante un transmisor de radio frecuencia se envían señales desde tierra hacia un dispositivo receptor en la aeronave. El transmisor es un control remoto que opera en la banda de 2.4 GHz de frecuencia, banda usada comúnmente para el pilotaje de cualquier tipo de UAV.
 - ✓ **Wi-Fi:** En la actualidad existen aviones no tripulados que pueden ser pilotados a través de una conexión WiFi, que genera un punto de acceso wifi al cual el usuario puede conectarse con un Smartphone, esta red opera en las bandas de 2.4 o 5.8 GHz.
 - ✓ **Red Celular:** Es capaz de conectarse a una red 4G LTE para realizar la comunicación con tierra vía internet brindando versatilidad a la aeronave en cuanto su uso a distancia, ya que este tipo de red opera en rangos más grandes que las redes convencionales de 2.4 o 5.8 GHz.
-
- **Comunicación de video:** El enlace de video permite transmitir video capturado por el UAV hacia la estación ubicada en tierra, estos sistemas son llamados FPV (First Person View) lo que permite controlar al UAV en modo manual o automático, todo video transmitido puede ser visualizado en un computador personal o Tablet.

Los sistemas de video para los UAVs están divididos en digitales y analógicos, donde los sistemas de video digitales tienen una gran ventaja y son los más utilizados debido a que transmiten video de alta calidad, pero mantienen un alto costo por lo que los sistemas de video analógicos mantienen modulación FM más comercial en la actualidad. La frecuencia mayormente usada para transmitir video desde la aeronave es la banda de 2,4 GHz.

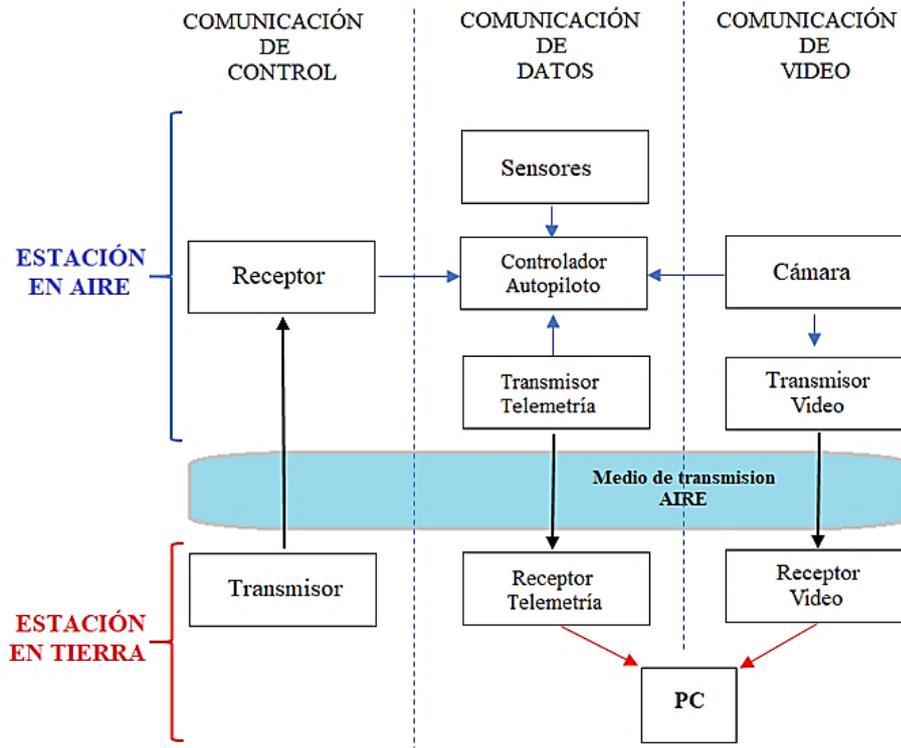


Figura 12. Diagrama de bloques de un Sistema de Comunicación UAV.

Banda de Frecuencias

En razón que la presente investigación utiliza varios equipos de transmisión y recepción para datos y video, los mismos que serán utilizados en distintas frecuencias según sea su aplicación o alcance se deberá tomar en cuenta el espectro radioeléctrico que mejor se adapte a las necesidades. En el rango de frecuencias se encuentra el uso del rango UHF y las bandas denominadas libres.

UHF (Ultra High Frequency)

Esta banda denominada de Frecuencias Ultra Altas, su transmisión se la realiza mediante radio enlaces con línea de vista, comúnmente usado para aplicaciones de TV y radiodifusión como también enlaces de radio, navegación, radar y aéreo con su rango de frecuencia entre 300MHz – 3GHz.

Dentro del espectro de frecuencias existen bandas licenciadas las cuales varían según cada país, las bandas libres no requieren autorización de una entidad para su control y uso, a continuación tenemos que las bandas libres para el Ecuador se encuentran en los siguientes rangos: [24]

- **Rango de 900 MHz:** 902 - 928 MHz
- **Rango de 2.4 GHz:** 2403 - 2483 MHz
- **Rango de 5GHz:** 5150 – 5250 MHz, 5250 – 5350 MHz, 5725 – 5850 MHz

Propagación

Un sistema aéreo no tripulado para lograr alcanzar largas distancias, tiene que tomar en consideración los fenómenos que existen para la transmisión inalámbrica debido a que utilizan ondas de radio frecuencia. La viabilidad de un enlace depende del nivel de señal en la recepción y de la sensibilidad del receptor. [25]

Presupuesto de Potencia del Enlace

El presupuesto de potencia del enlace se trata del cálculo de todas las ganancias y pérdidas desde el transmisor hacia el receptor, lo cual forma parte del diseño adecuado y la correcta elección de los equipos. Para interpretar el presupuesto de potencia del enlace se requiere aplicar la Ecuación 1, que se enuncia a continuación: [26]

Ecuación (1)

$$PRx(\text{dBm}) = PTx(\text{dBm}) - Lc \text{ Tx (dB)} + GTx(\text{dBi}) - PEL(\text{dB}) + GRx(\text{dBi}) - Lc \text{ Rx (dB)}$$

Dónde:

PRx (dBm) = Potencia de Recepción

PTx (dBm) = Potencia del Transmisor

Lc Tx (dB) = Pérdidas en el Transmisor (Cables y Conectores)

GTx (dBi) = Ganancia de la antena Transmisora

PEL (dB) = Pérdida en el Espacio Libre

GRx (dBi) = Ganancia de la antena Receptora

Lc Rx (dB) = Pérdidas en el Receptor (Cables y Conectores)

Pérdida en Espacio Libre

En las comunicaciones inalámbricas existen pérdidas en la transmisión, debido a que gran parte de la potencia de la señal se pierde en el aire. La radiación de las ondas de radio frecuencia dependen de las condiciones atmosféricas, la pérdida en el espacio libre mide la potencia que se pierde en el mismo sin ninguna clase de obstáculo visible.

Para calcular la pérdida que existe en el espacio libre se aplica la Ecuación 2, mostrada a continuación: [26]

Ecuación (2)

$$PEL (dB) = 92,4 + 20 \text{ Log}(f) + 20 \text{ Log}(d)$$

Dónde:

f = Frecuencia de operacion (GHz)

d = Distancia entre UAV y la Estacion de control en tierra (Km)

Margen del enlace

Se traduce al margen del enlace como el margen de operatividad que tiene el sistema en el enlace, lo cual se obtiene mediante la potencia de señal recibida en el receptor restada la sensibilidad. Para obtener el cálculo del margen se utiliza la Ecuación 3, que se ilustra a continuación: [26]

Ecuación (3)

$$M = PRx(dBm) - S(dBm)$$

Dónde:

PRx = Potencia de Recepción (dBm)

S = Sensibilidad del receptor (dBm)

Software de planificación y Control de Misiones

Un software de planificación y control es considerado como la parte central del control en tierra para un Sistema de comunicación UAV debido a que es el encargado de llevar misiones en modo OFFLINE. Existen a disposición gran diversidad de software de código abierto disponibles, los cuales mantienen variedad de funciones que permiten al usuario diseñar nuevos controles. [27]

A continuación, en la Tabla 6, se muestra una comparativa del software de planificación y control más destacados en la actualidad:

Tabla 6. Comparativo software de planificación y control.

SOFTWARE	PROTOCOLO Mavlink	CÓDIGO ABIERTO	Sistema operativo
Mission Planner	Si	Si	
QGround Control	Si	Si	

APM Planner	Si	Si	
Tower	Si	Si	
AndroiPilot	Si	Si	

Elaborado por: Los investigadores

Protocolo MavLink

Se requiere un protocolo de comunicación para transferir información entre el UAV y la estación de control ubicada en tierra. Los UAVs deben controlarse en tiempo real, por lo que se necesitan de protocolos de comunicación que tengan características fundamentales como son: rápidos, confiables y livianos.



Figura 13. Logo del protocolo de comunicación MAVlink

Características fundamentales que son:

- Transmisión de mensaje rápida
- Seguridad de la comunicación

Es el protocolo de comunicación más usado por los UAV para comunicar a la estación de control en tierra y el UAV en el aire, cualquiera de estos dos elementos envía un mensaje codificado, el cual deberá ser enviado byte a byte mediante la conexión física que entrelaza a ambos elementos como puede ser mediante UART, USB, etc.

Un mensaje mediante MAVlink está formado por:

Cabecera – Payload – Checksum

La estructura del paquete enviado por MavLink está basado en los estándares CAN Bus y SAE AS-4 y se puede visualizar la estructura en la Figura 14, a continuación:

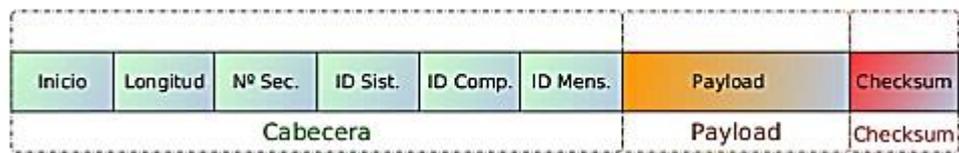


Figura 14. Estructura de un paquete enviado con MAVLink

Características del mensaje enviado por el protocolo MAVLink:

- Paquete mínimo será de 8 bytes, cuyo payload no contiene bytes.
- Paquete máximo será de 263 bytes, cuyo payload contiene 255 bytes.

Sistema de Videovigilancia

Con la evolución de los sistemas de video vigilancia, se ha realizado un análisis sobre la percepción visual y su relación con métodos empleados en visión artificial. Un aspecto importante sobre la detección de objetivos específicos mediante técnicas de extracción de regiones en la escena, en todos los casos se hace un escrutinio de aspectos como, precisión de la detección, tiempo de procesamiento y rendimiento del sistema.

Los sistemas de video vigilancia se componen de un conjunto de sensores ópticos que realizan una cobertura visual de áreas definidas y que adquieren la información de diversos entornos. Esta capacidad se ha visto potenciada por su automatización y los sistemas han pasado de ser dependientes de la actuación por humanos a ser capaces de generar alarmas de detección de forma automática, así como a interpretar escenas y tomar decisiones autónomas. Es decir, la vigilancia ha pasado de ser meramente pasiva a ser autónoma y activa. [28]

Estructura de un sistema de video vigilancia típico

Un sistema de vigilancia típico está conformado principalmente por tres elementos: [28]

- Red de sensores ópticos
- Infraestructura de transporte de la información
- Centro de control



Figura 15. Estructura de un Sistema de Vigilancia. [28]

Sistema de transmisión y recepción de video

Transmisor de video: Es aquel que emite imágenes capturadas por la cámara y trabajan a una frecuencia de 2,4 GHz para mantener un video de alta calidad.

Receptor de video: Es el encargado de recibir el video capturado y emite a cualquier tipo de pantalla visual compatible, la alimentación es fundamental en el receptor de video y su costo es relativamente barato y accesible para conformar un sistema FPV.

Cámara FPV

Las cámaras alojadas en plataformas fijas y en móviles (UAV) son instrumentos para adquirir información (secuencias de video), que se comprime y codifica para ser transportada a través de redes inalámbricas. La cámara es fundamental para el sistema FPV debido a que se debe analizar la calidad de imagen emitida por la cámara, son alimentadas comúnmente con un voltaje en el rango de 5 a 12V. [29]



Figura 16. Cámara FPV para UAV. [30]

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Implementar un sistema de comunicación entre un UAV y la estación de control terrestre para aplicaciones inteligentes de videovigilancia en tiempo real del CIDFAE.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar los sistemas de comunicación (telemetría, video, radiocontrol) de los UAV existentes en el CIDFAE.
- Determinar las especificaciones técnicas de los equipos, transmisor y receptor adecuados para el enlace de comunicación con la estación de control en tierra.
- Integrar el sistema de comunicación con la aplicación de videovigilancia inteligente a larga distancia.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para el desarrollo de la metodología del proyecto de investigación es elemental la implementación de diversos materiales: entrevistas técnicas con los Ingenieros encargados del departamento de investigación del CIDFAE, artículos técnico-científicos de revistas, proyectos investigativos referentes al tema fundamental, fuentes bibliográficas de los repositorios de Universidades Nacionales y Universidades a Nivel Mundial.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de investigación

Para el presente proyecto se definió como una investigación aplicada, debido a que se utilizó los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación académica.

Toda la recolección de información se obtuvo mediante una investigación bibliográfica, la cual se desarrolló en base a libros, revistas, artículos, fuentes documentales del CIDFAE y bases de datos científicas de diversos repositorios de las Universidades Extranjeras y Universidades del Ecuador, principalmente de la Universidad Técnica de Ambato que tengan relación con el tema de investigación.

Se realizó investigación de campo para reconocer los requerimientos del Centro de Investigación FAE, con la finalidad de determinar las falencias de los sistemas de comunicación y aplicaciones en aeronaves de envergadura mediana, con la ayuda del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

Por último, se empleó una investigación de carácter experimental, debido a que se realizó un conjunto de pruebas con el fin de recolectar resultados que se analizaron para optimizar la comunicación y la calidad del video.

2.2.2 Recolección de información

Para el desarrollo de la investigación se obtuvo información de libros, artículos, proyectos de investigación basados en la temática del problema accesibles en los

repositorios de las diversas Universidades del extranjero, Universidades del Ecuador y primordialmente de la Universidad Técnica de Ambato, entrevista al personal táctico del CIDFAE para decidir los requerimientos de los aviones no tripulados, con el objeto de identificar falencias y limitantes que posee dicho centro de investigación.

2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos

El procesamiento y análisis de datos se procedió de la siguiente manera:

- Analizar el funcionamiento del sistema de comunicaciones para mejorar el enlace de datos, alcance y control de los UAV.
- Estudio de los resultados obtenidos para llevar a cabo diagramas y tablas de los datos adquiridos en todas las pruebas para el estudio de la información.

2.2.4 Desarrollo del Proyecto

Para cumplir con los requerimientos del centro de investigación FAE se muestran las siguientes actividades realizadas:

- Evaluar los sistemas de comunicación existentes en el Cidfae.
- Análisis de los tipos de UAV de envergadura pequeña que se han desarrollado en el CIDFAE.
- Análisis de los elementos que conforman un sistema de comunicaciones para UAV.
- Determinación del UAV más adecuado para la ejecución del proyecto de investigación.
- Diseño para el sistema de telemetría y sistema de videovigilancia.
- Análisis de las especificaciones técnicas de los equipos adecuados para el sistema de comunicación.
- Identificación del protocolo y arquitectura de comunicación requeridos para establecer la comunicación entre el UAV y la estación de control en tierra.
- Identificación de los equipos necesarios para el sistema de comunicación para el UAV.

- Comparación de características técnicas, análisis de disponibilidad y costos de los equipos a utilizarse.
- Selección de los equipos requeridos para el enlace de comunicación.
- Análisis y comparación de tecnologías empleadas para aplicaciones de video vigilancia.
- Configuración de los equipos de comunicación para el UAV y la estación de control en tierra.
- Unificación del sistema de comunicación y la aplicación de video.
- Implementación del sistema de comunicación y la aplicación de video vigilancia.
- Ejecución de pruebas del sistema de comunicación y la aplicación implementada.
- Elaboración del informa final

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

En la actualidad los UAV en el Ecuador han logrado mejoras significativas gracias al avance tecnológico generado por los últimos años, para distintas aplicaciones recalcando entre ellas a las operaciones de tipo militar y hoy en día para aplicaciones civiles. El uso de vehículos aéreos no tripulados genera ventajas y desventajas, analizando la materia prima que implica elaborar y controlar un sistema UAV en el Ecuador, ya que al no contar con los materiales y la tecnología dentro del país se requieren importar del extranjero con un alto costo.

3.1.1 Desarrollo de la propuesta

Evaluación de los sistemas de comunicación existentes en el CIDFAE

Mediante un conversatorio con el personal militar que labora en el área de investigación del CIDFAE, se lograron obtener observaciones puntuales acerca de los sistemas de comunicación existentes. Primero, los UAV elaborados dentro del Centro de Investigación son: El Colibrí y el Gorrión, estos son los más destacados y utilizados por el personal militar, ellos nos manifestaron que no cuentan con un sistema de comunicación y video estable para la ejecución de misiones de seguridad y vigilancia; al mismo tiempo que se encuentran limitados en autonomía de vuelo debido a que utilizan un sistema de alimentación de tipo LiPo lo cual, no permite realizar una misión con mayor tiempo de vuelo y limita el uso de cualquiera de estos aviones no tripulados debido a que no satisface con la alimentación necesaria tanto para un sistema de telemetría y video como para el consumo de energía del UAV mediante un radio control. Un aproximado para el tiempo de vuelo de un UAV con un sistema de comunicaciones, nos mencionaron que era entre 25 a 40 minutos máximo. Mediante esta evaluación de las limitaciones que tienen los sistemas de comunicación dentro del CIDFAE, el objetivo de esta investigación es proporcionar al Centro un UAV alimentado con energía renovable de tipo Solar, diseñado por estudiantes de la Universidad Técnica de Ambato, bajo la supervisión de equipo personal militar para diseñar un sistema de comunicaciones de telemetría y videovigilancia con mayor alcance debido a las limitaciones que han existido en modelos de UAV anteriores dentro del Centro de Investigación que su rango máximo de alcance era de 1,5Km.

Sistema de Comunicación

Para el CIDFAE, un sistema de comunicaciones consiste en enlaces radioeléctricos con sus respectivos equipos, para que exista comunicación entre el UAV y la estación terrena. Estos sistemas son diseñados y configurados para operar generalmente con línea de vista, sin el sistema de comunicaciones tanto el despegue y aterrizaje se pueden convertir en una tarea complicada de ser realizada. El sistema de comunicación implementado dentro del centro de investigación tiene elementos colocados en la estación terrena como en el UAV, la comunicación se lleva a cabo bidireccionalmente donde las señales que llevan información requieren el uso de un transmisor y un receptor en cada extremo del enlace y de manera continua, aun cuando el procesamiento de los datos se realice en tierra.

Sistema de Telemetría

El sistema de telemetría permite la intervención del personal humano en tierra para corregir defectos en la programación del piloto automático o del controlador de vuelo, a través de los canales de telemetría se controla el vuelo automático o manual. La telemetría es otra función que no se podría llevar a cabo sin este sistema, debido a los canales de frecuencia los cuales hacen posible llevar información de varios tipos cada uno con su función e importancia. Como la información de GPS no podría llegar a la estación terrena, de esta forma las misiones automáticas no podrían realizarse y si el UAV se perdiera o tuviera una falla mecánica, no se lo podría recuperar.

Tabla 7. Tabla resumen de las características principales para el enlace de telemetría disponible en el CIDFAE

FRECUENCIA DE OPERACIÓN	ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS		RANGO MAXIMO DE OPERACIÓN
915 MHz	UAV	Estación de control	1,5 Km (LOS)
	Sensibilidad de recepción: -121dBm Potencia de transmisión: 30dBm Antena: Dipolo ½ de 2dBi	Sensibilidad de recepción: -121dBm Potencia de transmisión: 30dBm Antena: Dipolo ½ de 2dBi	

Elaborador por: Investigadores

La Tabla 7 muestra un resumen de las características principales de los equipos del enlace de monitoreo y control que se encuentra disponible en el Cidfae. Este es un enlace bidireccional que opera a 915 MHz con transceptores tanto en la estación de

tierra como en el UAV. El transmisor ubicado en el UAV envía y recibe la información disponible en el micropiloto que corresponde a los datos recopilados por los sensores ubicados en el avión no tripulado, mientras que, en la estación de control en tierra, la información es recibida por el correspondiente receptor de telemetría por el software de uso libre.

Sistema de video

Actualmente en el CIDFAE no se registra un sistema de video implementado debido al alto costo de sus equipos y el tipo de aeronave que se requiere para implementar un sistema de este tipo. Un sistema de video permite tener una imagen más clara, al ser un segmento completamente independiente para transmisiones de video en tiempo real. El video cobra importancia especialmente en el aterrizaje, debido a que en ocasiones se pierde la percepción de la altura y el espacio observando desde un punto fijo en tierra. El aterrizaje manual puede mejorar si se lo realiza observando desde el UAV hacia tierra.

Sistema de radio control

El sistema de radiocontrol más usado dentro del Centro es el Futaba, el cual se requiere para el despegue y aterrizaje de forma manual o automática dependiendo de la necesidad, la comodidad del piloto en tierra o las condiciones del viento. Si el viento es desfavorable, es mejor usar el despegue con piloto automático, ya que el UAV maneja las superficies de control para que éste vuele de forma estable, elevándose hasta alcanzar la altura de vuelo. Actualmente en el CIDFAE son utilizadas las tecnologías frecuentemente denominadas de espectro expandido que usan técnicas en bandas libres debido a su gran capacidad para reducir la interferencia, existe la limitación para este tipo de equipos debido a su alcance máximo.

Tabla 8. Tabla resumen de las características principales del Radiocontrol disponible en el CIDFAE.

FRECUENCIA DE OPERACIÓN	ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS		RANGO MAXIMO DE OPERACIÓN
2,4 GHz	UAV (Receptor Futaba)	Estación de control	800 metros (LOS)
	Voltaje: 3.5 a 8.4 [V] Consumo: 75 [mA]	Control Remoto	

Tipos de UAV desarrollados en el CIDFAE

En el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana existen dos tipos de UAVs desarrollados, los cuales tienen su criterio de clasificación en base a su tamaño y se presentan a continuación:

- **Aeronaves pequeñas:** Límite 5 metros de envergadura.
- **Aeronaves medianas:** Límite 15 metros de envergadura.

Los UAV favorecen en la reducción de tiempos al realizar una misión determinada disminuyendo el riesgo humano al solamente ser controlados a distancia, es así, que las aeronaves pequeñas tienen las características técnicas adecuadas para el desarrollo del proyecto de investigación debido a que su tamaño no supera los 5 metros de envergadura, facilitando la adecuación de los equipos para mantener un enlace de comunicaciones a larga distancia y una aplicación de video vigilancia estable. En el CIDFAE están desarrollados 3 prototipos UAV que son: Gorrión, Colibrí, Solar, todos estos considerados como aeronaves pequeñas con tipo de ala fija.

Tabla 9. Características Técnicas de las aeronaves pequeñas del CIDFAE.

UAV Características	Gorrión	Colibrí	Solar
Envergadura (m)	2.5	2.4	2.7
Peso (kg)	4.5	2.5	7
Carga útil (kg)	2.30	0.5	4,2
Autonomía (min)	30	< 60	> 60
Control	Manual	Manual y automático	Manual y automático
Despegue	Tren de aterrizaje	Manual	Manual
Aterrizaje	Tren de aterrizaje	Manual	Manual

Elaborador por: Investigadores

Criterios para la selección del UAV

De las tres aeronaves pequeñas desarrolladas en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana se analizaron los siguientes criterios para la selección del UAV:

- **Carga Útil:** Es primordial este criterio debido a que nos permitirá conocer el peso determinado de los materiales que se colocarán en el UAV, como por ejemplo la cámara para la transmisión de video.
- **Estabilidad:** Con el propósito de capturar video de buena calidad, es necesario que el UAV se mantenga estable en el aire sin muchas complicaciones.
- **Ensamblaje y manejo:** Importante que el UAV tenga una forma de manejo sencilla para que sea controlado de manera óptima por parte de nuestro jefe de vuelo.
- **Autonomía:** La aplicación de video vigilancia depende mucho del tiempo de vuelo, entre mayor sea el tiempo de autonomía se obtendrá mejores resultados en la aplicación.

Analizando los criterios anteriores, se seleccionó el UAV Solar (Figura 17):



Figura 17.UAV Solar.

Fuente: Los investigadores.

En el Ecuador existe ausencia de vehículos aéreos no tripulados autónomos, los cuales su principal fuente de energía sea energía renovable para el cumplimiento de misiones en las distintas aéreas de uso para los UAV. A nivel mundial existen este tipo de UAV con energía solar, pero adquirirlos representa una gran inversión por lo cual estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones junto con personal Militar del CIDFAE diseñaron y construyeron un UAV con energía renovable de tipo Solar, el mismo que tiene las siguientes especificaciones técnicas en la Tabla 10:

Tabla 10. Especificaciones técnicas del UAV Solar.

ESPECIFICACIONES	DESCRIPCIÓN
<i>Peso Total</i>	7 Kg
<i>Capacidad carga útil</i>	4.200 Gramos aproximadamente
<i>Tiempo de carga de batería</i>	50 Min aproximadamente
<i>Altura máxima de funcionamiento</i>	300 metros
<i>Máxima duración de vuelo</i>	Aproximadamente 150 minutos

Elaborado por: Los investigadores

Diseño del Sistema de Comunicaciones

Para elaborar el diseño del enlace de telemetría y video se tienen en consideración los requerimientos para ambos sistemas, punto importante de ellos es la frecuencia con la que van a operar, posteriormente la sustentación de los enlaces teniendo en cuenta factores de pérdida en la señal, sensibilidad de cada receptor y por supuesto el margen umbral para ambos enlaces. Por último, la selección de los equipos adecuados para la transmisión y recepción de datos y video.

Diseño del Sistema de Telemetría

Para un enlace de telemetría, en el Ecuador se tiene bandas de uso libre como por ejemplo la frecuencia de operación de 915MHz, que es considerada de mayor alcance para envío y recepción de datos en un UAV pese a obstáculos presentes en el trayecto.

Cálculo del Presupuesto de potencia del Enlace-Telemetría

Se requiere calcular la viabilidad que va a tener la transmisión de datos en el enlace, para verificar que la transmisión sea estable desde el UAV hasta la estación terrena es necesario el cálculo del presupuesto de potencia, donde se debe conocer las ganancias y pérdidas que existen en el transmisor, perdidas en el espacio libre hasta culminar en el receptor.

En la Tabla 11, tenemos los parámetros para calcular la viabilidad del enlace de Telemetría:

Tabla 11. Parámetros para calcular la viabilidad del enlace telemetría.

PARÁMETRO	VALOR
PRx (dBm)	----
PTx (dBm)	20

Lc Tx (dB)	0,25
GTx (dBi)	2,5
GRx (dBi)	3
Lc Rx (dB)	0,25
Sensibilidad en el receptor	-117 dBm
Frecuencia de operación	915 MHz – 0,915 GHz

Elaborado por: Los investigadores.

Primero se calcula la pérdida en espacio libre en base a la frecuencia de operación de 915 MHz y una distancia mínima de 2Km que separa al UAV con la Estación de control en Tierra, reemplazamos los valores en la Ecuación 2:

Sí la $f = 915$ MHz y $d = 2$ Km

Entonces:

$$PEL (dB) = 92,4 + 20 \text{ Log}(0,915 \text{ GHz}) + 20 \text{ Log}(2 \text{ Km})$$

$$\mathbf{PEL (dB) = 97,64 \approx 98}$$

Calculamos la viabilidad del enlace mediante la Ecuación 1:

$$PRx(dBm) = 20(dBm) - 0,25(dB) + 2,5(dBi) - 98(dB) + 3(dBi) - 0,25(dB)$$

$$\mathbf{PRx(dBm) = -73 (dBm)}$$

Dónde, la potencia que llega a la Estación de control tiene que ser mayor para que el enlace sea viable como:

Presupuesto de potencia del enlace > Sensibilidad del receptor

$$PRx(dBm) > S(dBm)$$

$$\mathbf{-73 (dBm) > -117 (dBm)}$$

El equipo para recepción de Telemetría ubicado en la estación de control en Tierra tiene una sensibilidad de -117(dBm), entonces reemplazamos valores en la Ecuación 3:

$$M = -73 (dBm) - (-117 \text{ dBm})$$

$$\mathbf{M = 44 (dBm)}$$

$$\mathbf{44 \text{ dBm} > 10 \text{ dBm}}$$

Finalmente, el presupuesto de potencia del enlace es mayor que la sensibilidad del receptor, como conclusión, el enlace de telemetría es viable debido también a que el margen del enlace es mayor al valor mínimo considerado para que un enlace sea óptimo en condiciones climáticas desfavorables, lo que permite que los datos lleguen al receptor ubicado en la Estación de Control en tierra.

Una vez determinada la viabilidad, se requiere seleccionar los equipos para el enlace de telemetría. Para el sistema de telemetría se deben elegir equipos que trabajen con software de tipo libre para equilibrar el precio y su función a la hora del funcionamiento en conjunto.

Selección de los equipos que conforman el sistema de telemetría

El sistema de telemetría propuesto se encuentra formado por:

- Autopiloto
- Módulos para transmisión y recepción de telemetría
- GPS
- Sensor de Velocidad del aire

Selección para el Autopiloto

El controlador de vuelo o micropiloto adaptable a cualquier tipo de configuración, siendo un controlador de vuelo basado en diseño de hardware abierto, además de incluir aislamiento de vibraciones en dos de las IMU (Unidad de medida Inercial) que permiten automatizar el control de vuelo del UAV solar para lo cual se realizó una tabla comparativa de acuerdo a sus capacidades y características.

Tabla 12. Comparativa de Micropiloto para vuelo.

EQUIPOS	Pixhawk 2.1	Pixhawk 4
ESPECIFICACIONES		
<i>Gama</i>	Media	Alta
<i>Dimensiones</i>	9.5*3*3 mm	44x84x12mm
<i>Procesador</i>	STM32F427 de 32 bits	Arm® Cortex®-M7 de 32 bits
<i>Voltaje</i>	4.1V a 6 V	4.75 V a 5.25 V

<i>UAVs Específicos</i>	Ala Fija	Ala fija y Ala Rotatoria
<i>Número de salidas</i>	14 salidas PWM	16 salidas PWM
<i>Peso</i>	75gr	100 gr
<i>Interfaces</i>	I2C, UART, CAN	I2C, CAN
<i>Potencia</i>	Max 10V y Corriente 10 A+	Max 8V y Corriente 8 A
<i>Puertos</i>	GPS, TELEM,USB	GPS, TELEM,USB
<i>PRECIO</i>	\$ 240	\$268

Elaborado por: Los investigadores.

Autopiloto Pixhawk 2.1

Como se puede apreciar en la tabla 12 comparativa los micropilotos que mejor se adaptan al UAV de tipo solar no solo por el costo, con la ventaja que presenta su dimensionamiento adaptable para la cabina y por su ligero peso menor en 30gr, por lo cual para el desarrollo del prototipo se ha seleccionado el Pixhawk 2.1 por su fácil adaptación a sistemas de navegación autónoma. El controlador de vuelo conocido como Pixhawk 2.1 se trata de un piloto automático flexible destinado principalmente a los fabricantes de sistemas comerciales. [31]

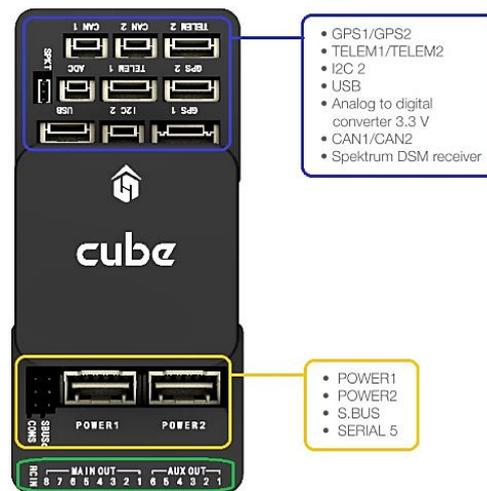


Figura 18. Autopiloto Pixhawk 2.1. [31]

Selección para los módulos de transmisión y recepción de telemetría

Para el presente proyecto de investigación, se analizó el mejor módulo de transmisión y recepción de telemetría, basados en el diseño del enlace antes calculado y como mejor opción que se adapte al objetivo del proyecto se elige los siguientes equipos:

Módulos de Telemetría de Radio 3DR (Transmisor y receptor de datos para aire y tierra)

El conjunto de radio telemetría le permite conectarse a un controlador de vuelo como el APM a través de un dispositivo equipado con USB, en su gran mayoría una computadora portátil o tableta que admita una conexión USB (OTG). El conjunto de radio permite visualizar la posición GPS en vivo, el voltaje del sistema, el rumbo, la navegación del punto de referencia, incluso el horizonte artificial y mucho más, utilizando MAVlink de código abierto. [32]



Figura 19. Módulos de telemetría Radio 3DR. [32]

Tabla 13. Características técnicas módulos de telemetría Radio 3DR

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
<i>Banda de frecuencia</i>	915 MHz
<i>Potencia de Salida</i>	100mW (20dBm)
<i>Sensibilidad</i>	-117 dBm
<i>Interfaz</i>	TTL UART estándar
<i>Tasa de datos de aire</i>	Hasta 250kbps
<i>Protocolo</i>	Mavlink
<i>Peso</i>	Menos de 4 gramos (Sin antena)

<i>Alcance</i>	Aproximadamente 1 milla con antenas suministradas
<i>Firmware</i>	Código abierto
<i>Comunicación</i>	Bidireccional full-dúplex a través de TDM adaptativo
<i>Espectro</i>	Espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS)
<i>Multiplificación</i>	Multiplificación adaptativa por división de tiempo (TDM)
<i>Comandos</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Comandos AT para configuración de radio ✓ Comandos RT para configuración de radio remota

Elaborado por: Los investigadores.

Selección para el GPS

El GPS que cuenta con un módulo de precisión estándar de alto rendimiento para integrar y combinar un posicionamiento excepcional completamente automatizado mediante protocolos de comunicación.

Tabla 14. Comparativa para el módulo GPS.

EQUIPOS ESPECIFICACIONES	RadioLink M8N GPS SE100	U-BLOX NEO-M8NJ
<i>Gama</i>	Media	Media
<i>Dimensiones</i>	25 x 25 x 4 mm	12.2 x 16 x 2.4 mm
<i>Voltaje</i>	1.65 V a 5 V	2.7 V a 3.6 V
<i>Potencia</i>	50 mA	31 mA
<i>Canales de seguimiento</i>	72	56
<i>Seguimiento y Navegación</i>	-167 dBm	-164 dBm
<i>Peso</i>	32 gr	2.2 gr
<i>Interfaces</i>	Interfaz GPS UART Brújula geomagnética I2C	UART, USB
<i>Precisión de sincronización</i>	60 ns	80 ns
<i>PRECIO</i>	\$ 38	\$45

Elaborado por: Los investigadores.

Radio Link M8N GPS SE100

Radio Link M8N GPS combina un alto nivel de robustez y capacidad de integración con opciones flexibles de conectividad. La prueba de futuro NEO-M8N incluye un flash interno que permite actualizaciones de firmware simples para apoyar los sistemas GNSS adicionales. La interfaz DDC (I2C compatible) proporciona conectividad y permite sinergias con la mayoría de los módulos de comunicación Ublox. [33]



Figura 20. RadioLink M8N GPS SE100. [33]

Selección para el Sensor de velocidad del aire

Tomando en cuenta el requerimiento para misiones de largo alcance de manera automática es necesario disponer de un dispositivo capaz de conocer su altitud y proveer dicha información para el autopiloto

Tabla 15. Comparativa Sensor de Velocidad de aire.

EQUIPOS	HOLYBRO	SPEKTRUM
ESPECIFICACIONES		
<i>Sensor digital</i>	Si	No
<i>Voltaje</i>	3.3 V a 5 V	4 V a 6.6 V
<i>Potencia</i>	150 mW	190 mW
<i>Rango de medición</i>	1 psi	0.5 PSI
<i>Resolución</i>	0.84 Pa	1 Pa
<i>Peso</i>	2 gr	3.5 gr
<i>Interfaces</i>	I2C, SPI	UART
PRECIO	\$ 40	\$50

Dada las recomendaciones del controlador de vuelo se llegó a la conclusión que el tubo pilot Holybro es útil para el requerimiento del sistema por su rango de medición y desplazamiento muy bajo para mayor exactitud en el modo de vuelo automático y poseer un sensor de velocidad aerodinámica digital.

Sensor de velocidad de aire Holybro

El sensor de velocidad de aire diferencial digital Pixhawk tiene un desplazamiento muy bajo, una alta resolución y no sufre del ruido inducido por cables largos y compensaciones en la salida ratio-métrica del sensor de velocidad de aire analógico APM 2.6. [34]



Figura 21. Sensor de velocidad de aire Holybro. [34]

Diseño del Sistema de Video

El sistema requiere escoger una frecuencia a la cual va a operar el enlace de video, las frecuencias disponibles pueden ser de 2.4GHz y 5.8GHz debido a que en la actualidad se encuentran disponibles y en el Ecuador son bandas de frecuencia con libre uso. Para la elección de la frecuencia también se toma en cuenta el tamaño de los equipos que forman parte del sistema para evitar interferencias, la frecuencia de 2,4GHz tiene como ventajas su rango moderado, equipos económicos y tamaño de antenas manejables con un ancho de banda considerablemente bueno que se ajusta a los requerimientos de un UAV.

Cálculo del Presupuesto de Potencia del Enlace-Video

Según información dentro del CIDFAE, no se ha logrado mantener la transmisión estable de video a más de 3,5Km por lo cual se requiere determinar la viabilidad del

enlace con una distancia mínima de 4Km junto con los parámetros necesarios ubicados en la Tabla 16, para calcular la viabilidad para el enlace de video

Tabla 16. Parámetros para calcular la viabilidad del enlace.

PARÁMETRO	VALOR
PRx (dBm)	----
PTx (dBm)	25
Lc Tx (dB)	0,25
GTx (dBi)	4
GRx (dBi)	6,5
Lc Rx (dB)	0,25
Sensibilidad del receptor	-99 dBm
Frecuencia de operación	2,4 GHz

Elaborado por: Los investigadores.

Mediante la Ecuación 2, reemplazamos los datos para obtener la pérdida en espacio libre para el enlace de video:

Sí la $f = 2,4$ GHz y $d = 4$ Km

Entonces:

$$PEL \text{ (dB)} = 92,4 + 20 \text{ Log}(2,4 \text{ GHz}) + 20 \text{ Log}(4 \text{ Km})$$

$$PEL \text{ (dB)} = 112,04 \approx 112$$

Tabla 17. Pérdida en espacio libre para distintas distancias.

Distancia (Km)	PEL (dB)
1	100
2	106
3	109
4	112
8	118
12	122
16	124
20	126

Elaborado por: Los investigadores.

Teniendo ya los valores necesarios para calcular el presupuesto de potencia del enlace, reemplazamos todo en la Ecuación 1:

$$PRx(dBm) = 25(dBm) - 0,25(dB) + 4(dBi) - 112(dB) + 6,5(dBi) - 0,25(dB)$$

$$PRx(dBm) = -77 (dBm)$$

Tabla 18. Presupuesto de potencia del enlace para distintas PEL.

PEL (dB)	PRx (dBm)
100	-65
106	-71
109	-74
112	-77
118	-83
122	-87
124	-89
126	-91

Elaborado por: Los investigadores.

El cálculo para el margen del enlace, permite conocer si es posible que la recepción del video presente leves interferencias y es suficiente para condiciones climáticas desfavorables mediante la Ecuación 3:

$$M = -77 (dBm) - (-99 dBm)$$

$$M = 22 (dBm)$$

Tabla 19. Margen de enlace para distintas distancias.

Distancia (Km)	PRx (dBm)	M (dBm)
1	-65	34
2	-71	28
3	-74	25
4	-77	22
8	-83	16
12	-87	12
16	-89	10
20	-91	8

Elaborado por: Los investigadores.

La Tabla 19 nos muestra los resultados para el margen de enlace en distintas distancias de transmisión, donde para la distancia de 4Km existió un margen de enlace de 22dBm lo cual significa que la recepción de video es suficiente para condiciones climáticas desfavorables, debido a que el mínimo margen de enlace es aproximadamente 10dBm y se encuentra dentro del rango estable para cumplir con el objetivo de mantener la recepción de video a más de 3,5Km que ha sido una de las falencias que tiene el CIDFAE en tanto a transmisión de video. Se visualiza que, al incrementarse el valor de pérdida en espacio libre, disminuye el margen de enlace, como por ejemplo a la distancia de 20Km el margen se acerca al valor mínimo y es ahí en ese punto donde la transmisión del sistema de video empieza a deteriorarse.

Un sistema de videovigilancia tiene como objetivo transmitir video en tiempo real desde la aeronave que se encuentra en el aire hacia la estación de control ubicada en tierra teniendo en cuenta que existe un nivel de latencia, dependiendo del equipo de transmisión y recepción que sea utilizado. Por ello, se requiere una selección de equipos que conformen el enlace de video y permitan adecuarse a los requerimientos del sistema.

Selección de equipos que conforman el sistema de video

Equipos para el sistema de video que se encuentran en el UAV

El sistema de video propuesto en el UAV se encuentra formado por:

- Cámara de video FPV
- Transmisor de video
- Antena de transmisión

Selección para la Cámara de Video FPV

Las cámaras FPV son de tamaño pequeño, ligeras y a un costo accesible, la cámara FPV se monta en un UAV para enviar vídeo en tiempo real al suelo utilizando un transmisor de vídeo, permitiendo ver zonas donde una persona no puede acceder con facilidad.

Tabla 20. Comparativa Cámaras FPV

EQUIPOS	GoPro Hero Black	Tarot Peeper T10X
ESPECIFICACIONES		
<i>Gama</i>	Media	Alta
<i>Formato</i>	4K/60fps, 4K/30fps, 2.7K/120fps, 1440p / 120fps, 1080p/240fps, 960/240fps, 720/240fps	1080P 60FPS / 720 60FPS / 480P 60FPS
<i>Ángulo de disparo</i>	150°	66,6°
<i>Corriente</i>	Batería de 1220 mAh	Trabaja a 250 mAh
<i>Zoom</i>	-	10X
<i>Interfaz / Conectores</i>	Puertos USB 2.0 HDMI	HDMI
<i>Peso</i>	118 gramos	365 gramos
<i>Tamaño</i>	(62 x 33 x 45)mm	(77 x 105 x 147)mm
<i>Precisión de sincronización</i>	60 ns	80 ns
PRECIO	\$ 450	\$839

Elaborado por: Los investigadores.

Mediante el análisis de la tabla 20 para seleccionar la cámara FPV, la función principal de estas cámaras es capturar video en tiempo real a buena calidad y en el mercado actualmente existen variedades de costos elevados, lo que implica elegir una cámara que permita grabar a buena calidad y su costo sea accesible sin perder el objetivo principal de la grabación de video en tiempo real para ser transmitido desde el UAV y la mejor opción para ello es la Cámara GoPro Hero 6 Black debido a su gama media y accesible para este tipo de proyecto de investigación.

Cámara GoPro Hero 6 Black

La cámara GoPro Hero 6 ahora es capaz de grabar a resolución 4K y 60fps. Con esta mejora se sitúa, al menos en aspectos numéricos, a la par de otras propuestas como la Yi Camera 4K+ ya ofrecían. Luego hay otros aspectos como el Códec, perfiles de color, etc. que hacen que el material capturado por una u otra sea distinto.



Figura 22. Cámara GoPro Hero 6 Black. [35]

Selección para el Transmisor de Video y Antena de transmisión

Herelink se convierte en una solución para la transmisión de video en HD de largo alcance, que puede realizar transmisión de video, datos y control de RC. La unidad aérea tiene integrado las dos antenas para la transmisión de video hacia la Estación de Control en Tierra.

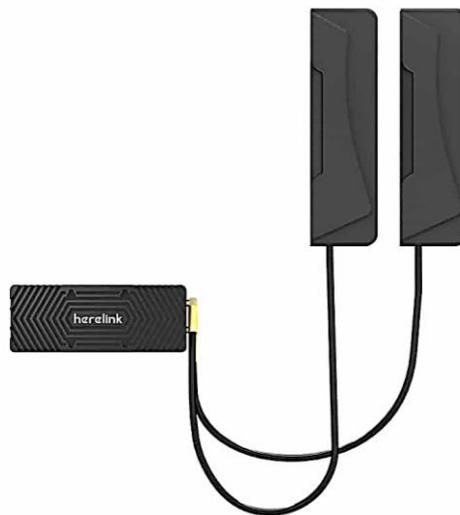


Figura 23. Antena y transmisor de video-Herelink. [36]

Tabla 21. Características técnicas Herelink-Unidad de aire

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
<i>Entrada de video</i>	2 entradas Micro HDMI Entrada para video de cámara compatible con 720P-30fps y 1080P-30/60fps
<i>Alimentación</i>	Voltaje recomendado aproximadamente: Mínimo: 7V

	Máximo: 12V
<i>Telemetría</i>	1 Conector de 3 pines para Interfaz UART nivel 3.3V/5V
<i>Salida de control</i>	1 Conector de 4 pines: 2 conectores de salida RC de 3.3V
<i>USB</i>	1 conector Micro USB: Admite el modo OTG
<i>Antena de transmisión</i>	2 Conectores de antena MMCX: Transmisión de señales y comunicación
<i>Tamaño</i>	(78.5 x 30 x 13)mm

Elaborado por: Los investigadores.

Equipos para el sistema de video que se encuentran en la Estación de Control en Tierra

El sistema de video también está conformado por equipos ubicados en la estación de control en tierra:

- Control Remoto – Receptor de video
- Laptop

Selección para el Receptor de video

El receptor de video ubicado en la estación de control en tierra es el equipo encargado de recibir el video en tiempo real emitido por el módulo de transmisión ubicado en el UAV.

Tabla 22. Comparativa de equipos de recepción para video

EQUIPOS	VDC-15	HERELINK
ESPECIFICACIONES		
<i>Frecuencia</i>	2.4 GHz	2.4 GHz
<i>Modulación</i>	OFDM	OFDM
<i>Potencia de Tx</i>	Máx. 25dBm	Máx. 25dBm
<i>Ancho de banda</i>	10MHz/20MHz	10MHz/20MHz
<i>Entrada de video</i>	HDMI / Ethernet	HDMI
<i>Salida de video</i>	HDMI / Ethernet	HDMI
<i>Entrada de datos</i>	UART / SBUS	UART / SBUS
<i>Salida de datos</i>	UART / SBUS	UART / SBUS
<i>Codificado</i>	H.265	-

<i>Decodificado</i>	H. 264	-
<i>Resolución</i>	1080P a 60 fps	1080P a 60 fps
<i>Voltaje</i>	DC 9-28V	DC 5-12V
<i>Distancia de transmisión</i>	15km	20km
Peso en tierra	98,5 gr	103 gr
Peso en aire	120 gr	124 gr
PRECIO	\$ 1980	\$ 900

Elaborado por: Los investigadores

La tabla 22, permite analizar equipos de recepción para video llegando a la conclusión de que el equipo Herelink es el más óptimo para la investigación, debido a que se puede visualizar video en la pantalla propia del equipo y emitir mediante Hotspot a otras pantallas conectadas a esa red y a su vez se lo puede configurar como control remoto para Radio Control, todo integrado en el mismo dispositivo.



Figura 24. Equipo Herelink – Receptor para la estación en tierra. [36]

Tabla 23. Características técnicas Herelink-Estación de tierra

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
<i>Pantalla</i>	5,46 pulgadas 1080P – Pantalla Táctil
<i>Audio</i>	1 Altavoz incorporado 2 Micrófonos integrados
<i>Control Remoto</i>	2 Cardanes de efecto Hall 1 Rueda de desplazamiento 6 Botones inferiores 1 Botón Superior

<i>Inalámbrico</i>	WIFI / GPS / 2.4GHz
<i>Entradas</i>	1 Micro USB 1 Micro SD – Admite máximo 64GB
<i>Antena</i>	2 Conectores de antena MMCX: Transmisión de señales y comunicación
<i>Alimentación</i>	Batería incorporada tipo LiPo de 4950 mAh
<i>Carga</i>	Carga mediante el puerto micro USB 5V/2A
<i>Consumo de energía</i>	Máximo de 4W
<i>Tamaño</i>	(217 x 106.5 x 31)mm

Elaborado por: Los investigadores.

Al concluir con la descripción de los equipos que serán utilizados en todo el sistema a implementarse, resulta de manera pertinente la evaluación de los pesos para los equipos que estarán ubicados en el UAV.

Es importante considerar los pesos de los equipos que conforman el sistema, debido que el UAV a ser utilizado tiene la capacidad de carga específica recomendada y no debe superar el 10% del peso total del UAV para evitar inconvenientes en el despegue, vuelvo y control del avión no tripulado. Los pesos de los equipos mencionados se encuentran en la Tabla 24:

Tabla 24. Pesos de los equipos a ser incorporados para el enlace de telemetría y video.

	EQUIPO	PESO
Enlace de Telemetría	Micropiloto Pixhawk 2.1	38gr
	Módulo Tx de Telemetría	8gr
	Sensores	27gr
Enlace de video	Módulo Tx de video	25gr
	Antenas Tx de Video	20gr
	Cámara GoPro Hero	117gr
TOTAL		235gr

Elaborado por: Los investigadores.

En base a la Tabla 24 correspondiente a los pesos de los equipos que conforman el sistema de comunicaciones ubicados en el UAV, el UAV soporta alrededor de 2500 gramos mientras que, tenemos que el peso total de los equipos es de 235gr lo cual

corresponde al 9,4% del peso total de dicha aeronave, siendo menor al 10% señalado como porcentaje de alcance recomendado para el peso de equipos de comunicación para el UAV.

Consumo de Corriente de los equipos que conforman el sistema de comunicaciones y Videovigilancia

A continuación, en la Tabla 25 se muestra los valores de consumo de corriente de los equipos electrónicos que conforman el sistema de telemetría y video ubicados en el UAV Solar.

Tabla 25. Consumo de corriente de los equipos ubicados en el UAV Solar

Equipo	Consumo de Corriente (mA)
Pixhawk 2.1	250
GPS	54
Sensor de velocidad de aire	3
Cámara de Video FPV	-
Transmisor de Telemetría	150
Transmisor de Video	660
TOTAL	1117 [mA]

Elaborado por: Los investigadores.

Existió un consumo total del sistema de telemetría y video ubicados en el UAV Solar de 1117[mA], a continuación, en la Tabla 26 se detalla los valores de voltaje, potencia y corriente que suministran los paneles Solares que forman parte del UAV:

Tabla 26. Generación de corriente Total que generan los paneles solares.

Número de Paneles Solares	Voltaje Medido [V]	Potencia [W]	Corriente [mA]
48	25,7	161,3	6276

Elaborado por: Los investigadores.

A continuación, en la Tabla 27 se ilustra los valores de consumo de corriente de los equipos que conforman la estación de control en tierra. En este caso, los equipos podrán funcionar sin inconvenientes debido a que tienen una batería de tipo LiPo

incorporada que, si se descarga, se puede cargar sin problemas en la misma estación en tierra.

Tabla 27. Consumo de corriente de los equipos ubicados en la Estación en Tierra

Equipo	Consumo de Corriente (mA)
Receptor de Video	660
Receptor de Telemetría	150
TOTAL	810 [mA]

Elaborado por: Los investigadores.

Incorporación del Sistema de Telemetría con la Estación de Control en Tierra

El sistema de telemetría tiene como función el envío de datos correspondientes a la posición en la que se encuentra el UAV, la altura con respecto al suelo, distancia de estación en tierra hacia UAV. Los datos al ser enviados deben ser visualizados mediante un software de uso libre instalado en un computador ubicado en la estación de control en tierra. En la Figura 25 se ilustra el diagrama en bloques del sistema de telemetría entre el UAV Solar y la estación de control.

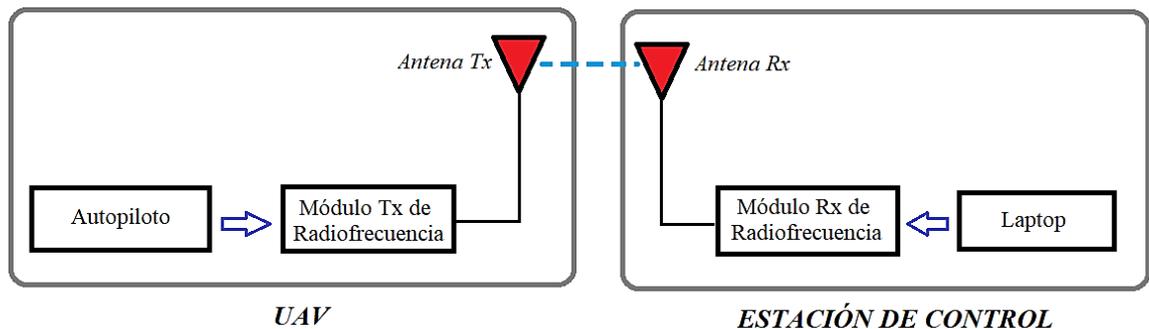


Figura 25. Diagrama en bloques del sistema de Telemetría

Elaborado por: Los investigadores.

Equipos que constituyen el sistema de telemetría

Los equipos que conforman el sistema de telemetría son los siguientes:

- ✓ Micropiloto Pixhawk 2.1
- ✓ Módulos de telemetría para Pixhawk APM Ardupilot 915MHz
- ✓ GPS Ublox Neo-M8N
- ✓ Sensor de velocidad de aire Holybro

✓ Computador (Laptop)

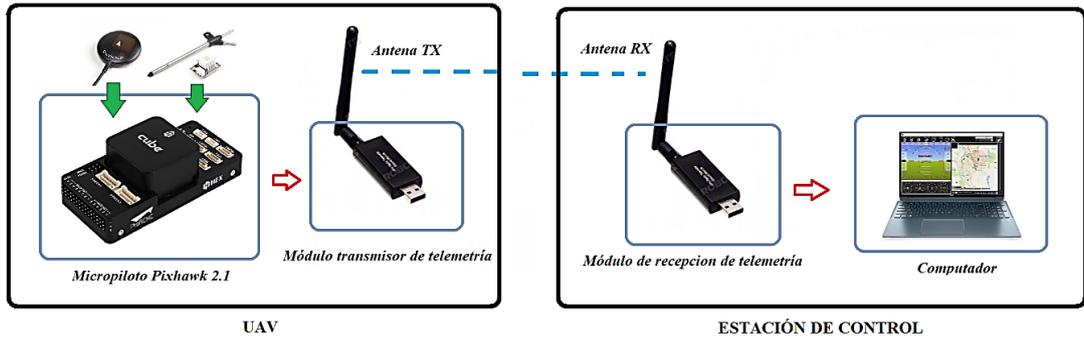


Figura 26. Componentes del sistema de telemetría

El Micropiloto Pixhawk 2.1 tiene como función principal la adquisición de datos del GPS unblox y el sensor de velocidad de aire Holybro, ambos equipos tienen una conexión de comunicación I2C. Cuando el Micropiloto recibe los datos de ambos equipos, se procede al envío hacia la estación de control ubicada en tierra mediante el módulo transmisor de telemetría conectado al puerto “Telem1 o Telem2” disponible en el Micropiloto Pixhawk 2.1. El equipo es energizado con una fuente de alimentación de 5V, en la Figura 35 se ilustra la conexión de los equipos de telemetría ubicados en el UAV Solar.

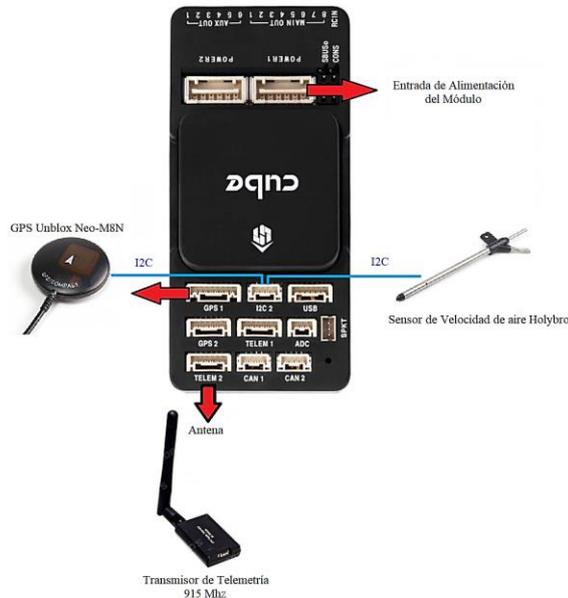


Figura 27. Conexión de los equipos con el Micropiloto ubicado en el UAV Solar.

Elaborado por: Los investigadores.

En tierra se encuentra ubicada la Estación de Control que permite la recepción de los datos de telemetría que son enviados desde el UAV Solar, la estación se encuentra conformada por el módulo de recepción de telemetría junto a un equipo portátil que tenga instalado el software de uso libre *Mission Planner*, el módulo de recepción está conectado mediante puerto USB al computador para establecer la comunicación y recepción de los datos.

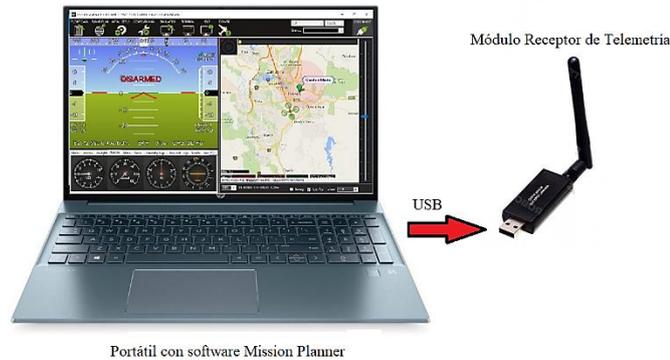


Figura 28. Conexión de los equipos ubicados en la Estación en Tierra
Elaborado por: Los investigadores.

Calibración y configuración de los sensores incorporados en el UAV Solar mediante el software Mission Planner

La configuración y calibración de los sensores en un vehículo aéreo no tripulado se basó en la compatibilidad existente entre ellos y el tipo de vehículo aéreo no tripulado (UAV) disponible.

Calibración y configuración del Acelerómetro

El primer sensor indispensable para calibrar y configurar en *ArduPilot* es el acelerómetro, donde hay que asegurarse que la orientación del Pixhawk 2.1 apunte la flecha hacia adelante.

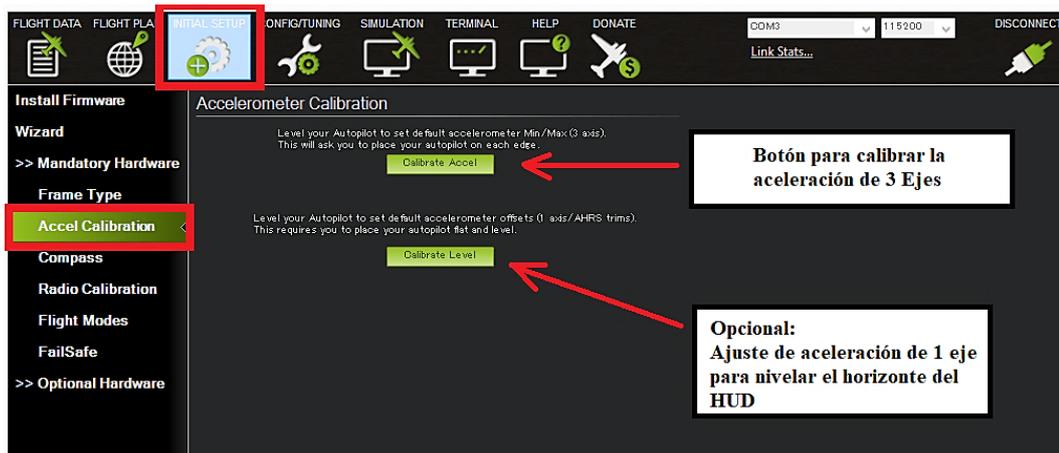


Figura 29. Configuración del acelerómetro en Mission Planner

Elaborado por: Los investigadores.

Hay que tener en cuenta que el UAV debe permanecer cada posición requerida durante algunos segundos para completar cada configuración de manera exitosa, luego de ello se emitirá un mensaje que confirma que la calibración fue exitosa, como se ilustra en la Figura 30:

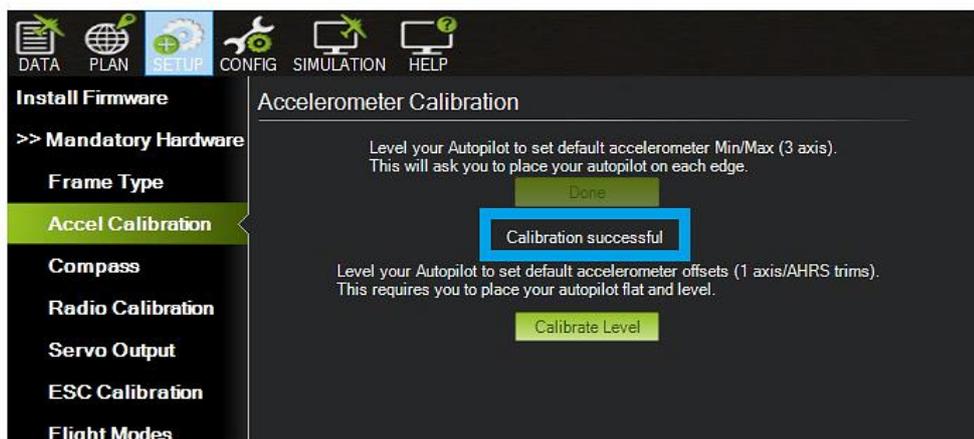


Figura 30. Mensaje de configuración exitosa del acelerómetro en Mission Planner

Elaborado por: Los investigadores.

Calibración y configuración del GPS con Brújula

En Mission Planner eligiendo la misma lista de *Configuración* se eligió la opción “Compass”, donde se desactivó cualquier brújula interna, debido a que pueden provocar interferencia con la brújula externa lista para configurarse, a continuación,

en la Figura 42 se apreció la lista de componentes y opciones de configuración para la brújula.

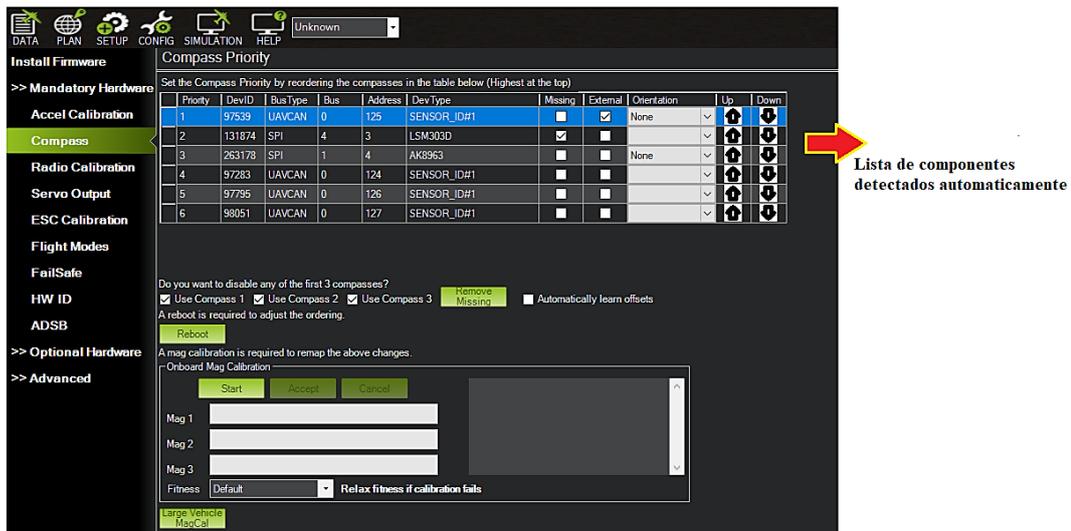


Figura 31. Calibración de brújula - Mission Planner

Elaborado por: Los investigadores.

Luego de reconocer el número ID de la brújula inicia la calibración, es allí donde se tuvo que girar el control de vuelo en 60 segundos para configurar cada eje. Primero hay que sostener el UAV en el aire y girarlo para todos los lados (adelante, atrás, izquierdo, derecho, superior e inferior) teniendo como resultado 6 vueltas completas y terminando el proceso de calibración de forma exitosa como se ilustra en la Figura 32:

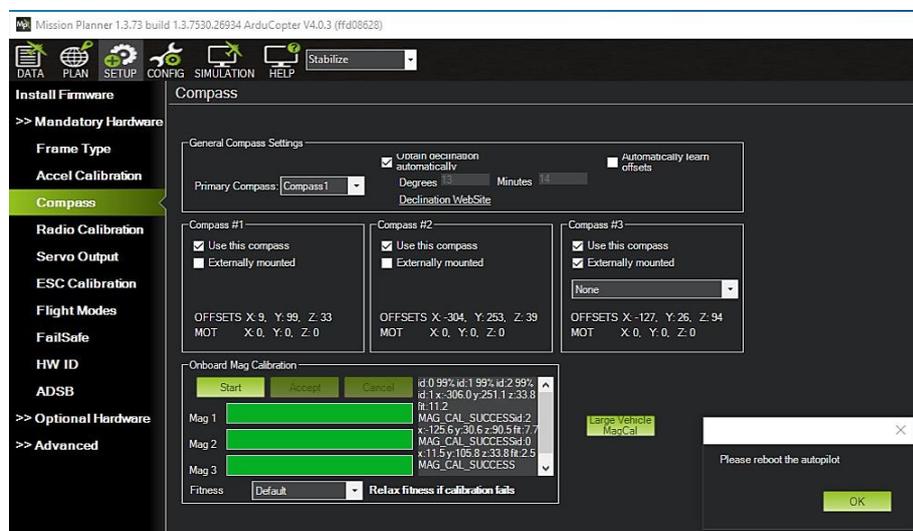


Figura 32. Calibración de brújula completada - Mission Planner

Elaborado por: Los investigadores.

Incorporación del Sistema de Video con la Estación de Control en Tierra.

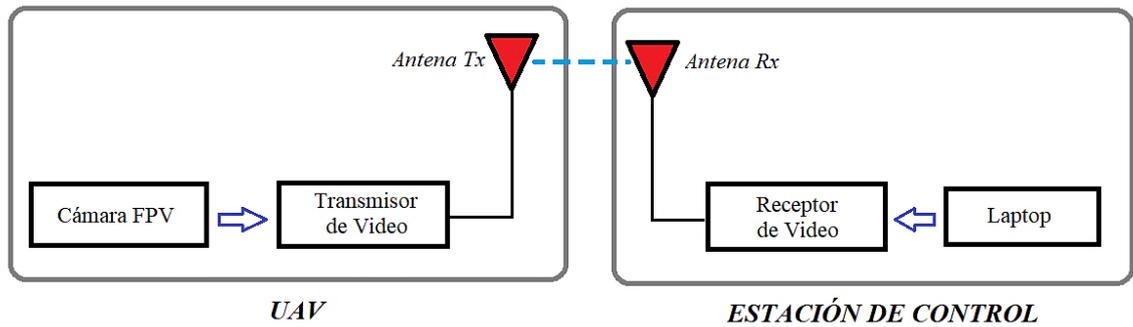


Figura 33. Diagrama en bloques del sistema de Video

Elaborado por: Los investigadores.

Equipos que constituyen el sistema de video

Los equipos que conforman el sistema de video son los siguientes:

- ✓ Cámara GoPro
- ✓ Módulo de transmisión Herelink 2.4GHz
- ✓ Equipo Herelink 2.4 GHz (Para recepción de video)
- ✓ Computador (Laptop)

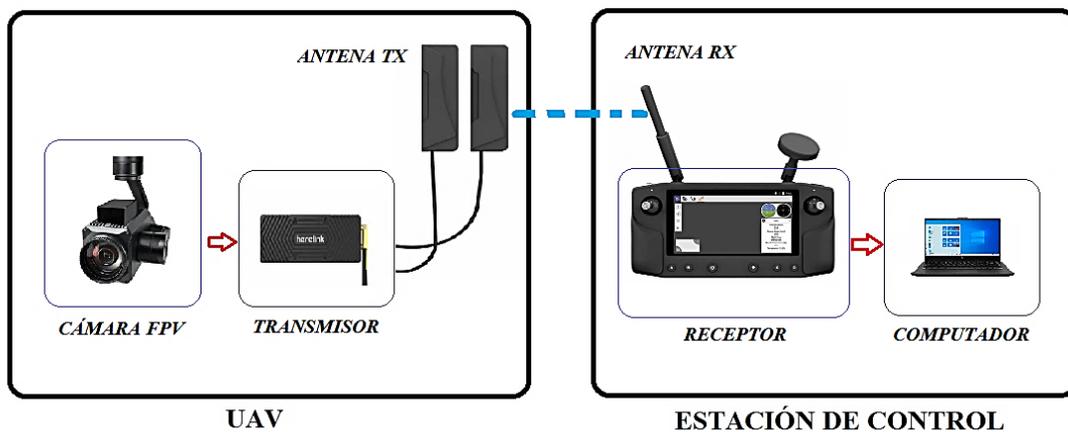


Figura 34. Componentes del sistema de video.

Elaborado por: Los investigadores.

El módulo transmisor de video Herelink es alimentado por un voltaje de hasta 12V lo que permite su funcionamiento óptimo para transmisión de video y cuenta con 2 antenas de transmisión las cuales van conectadas al módulo como se muestra en la Figura 45, la cámara GoPro es conectada mediante el puerto micro USB para transmitir

video en tiempo real a la estación de control ubicada en Tierra, la conexión de los equipos para el sistema de video ubicados en el UAV Solar, se muestra en la Figura 46.

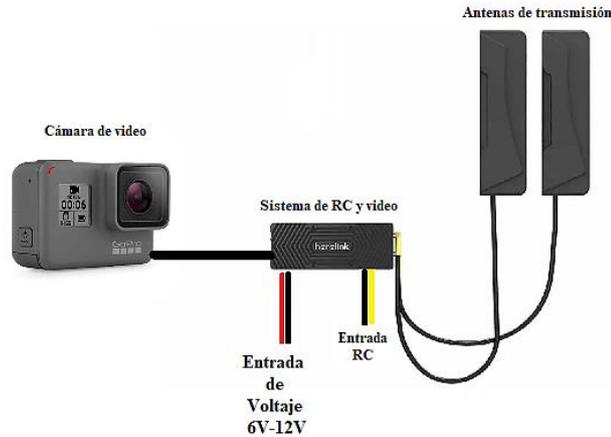


Figura 35. Conexión de los equipos del sistema de video ubicado en el UAV.

Elaborado por: Los investigadores.

Para la visualización del video en tiempo real, tenemos el equipo Herelink que está ubicado en la estación en tierra, el cual permite la recepción del video captado por la cámara en el UAV mediante la Aplicación QGroundControl instalada predeterminada en el equipo Herelink, también se puede emitir video mediante comunicación inalámbrica para visualizar en el computador con el software de Mission Planner. Los equipos que conforman el sistema de video ubicado en la Estación de Control se ilustra en la Figura 36gggg.



Figura 36. Conexión de los equipos del sistema ubicado en la estación de control.

Elaborado por: Los investigadores.

Emparejamiento del equipo Herelink con el UAV Solar

Para realizar el emparejamiento del equipo Herelink con el UAV Solar primero se requirió instalar el firmware que permiten actualizar el control remoto Herelink a través de una conexión WiFi, este proceso fue realizado descargando el ultimo firmware disponible de la página oficial y flasheando desde un computador Windows, Mac o Linux mediante el cable Micro USB al control remoto y al módulo de transmisión de video ubicado en el UAV. El proceso de conexión para la actualización se lo puede visualizar en la Figura 37, a continuación:

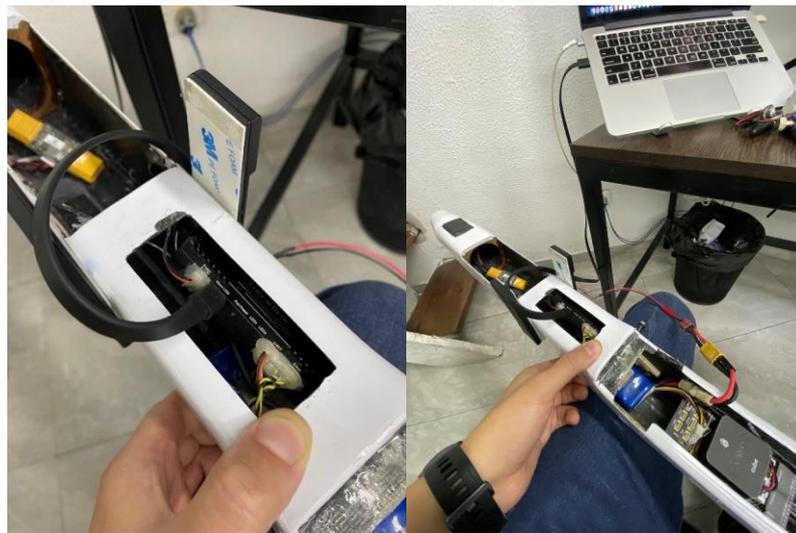


Figura 37. Instalación del firmware al módulo de transmisión Herelink.

Fuente: Los investigadores.

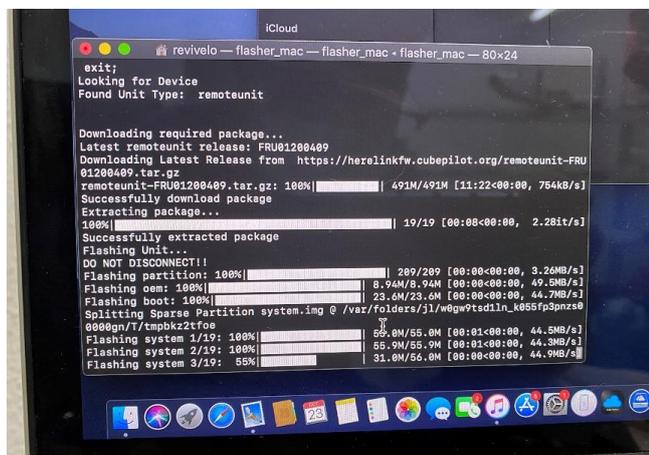


Figura 38. Proceso de instalación del firmware a los equipos Herelink.

Fuente: Los investigadores.

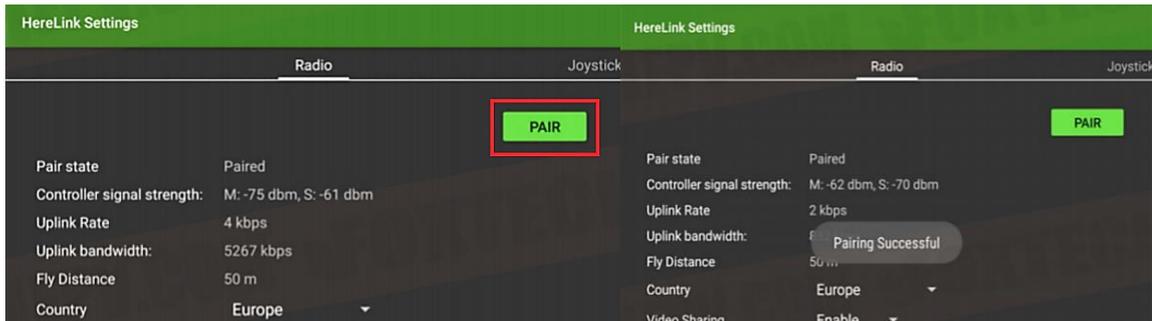


Figura 39. Emparejamiento Exitoso del equipo Herelink con el UAV Solar.

Fuente: Los investigadores.

Calibración del Control de Radio (RC) en Mission Planner

La calibración del RC en el software de Mission Planner se buscó la opción de “*Radio Calibration*”, teniendo así en ventana las opciones para la calibración como se muestra en la Figura 40 y para comenzar el proceso en el botón de “*Calibrate Radio*”.



Figura 40. Ventana de calibración RC-Mission Planner

Fuente: Los investigadores.

Empieza el proceso de calibración y se debe manipular el interruptor del control remoto para mover la barra de indicación roja de cada uno los canales a las posiciones que tienen un límite superior e inferior como se ilustra en la Figura 41, ya completada la calibración de la línea roja de todos los canales, se terminó el proceso. Y el programa muestra una ventana con los valores de calibración.



Figura 41. Calibración de RC-Mission Planner

Fuente: Los investigadores.

Configuración para la transmisión de video en tiempo real para el equipo Herelink

Para visualizar video en la aplicación del equipo Herelink denominada QGroundControl, se requiere configurar primero la cámara ubicada en el UAV Solar y conectarla mediante cable micro USB al módulo de transmisión de video Herelink. Posteriormente en el equipo ubicado en tierra se configura en el icono del avión que se encuentra en la esquina superior izquierda de la aplicación QGC y se obtiene un menú desplegable de valores a la derecha para la recepción del video en tiempo real como se puede visualizar en la Figura 42:

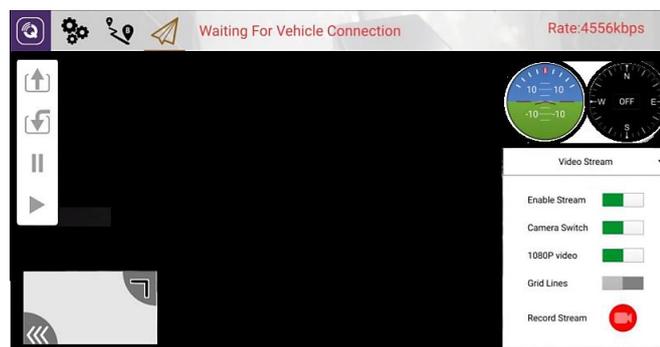


Figura 42. Interfaz de la aplicación QGroundControl

Fuente: Los investigadores.

Configuración para visualizar video en tiempo real en Mission Planner

Es importante recalcar que para la emisión de Video se requiere el software Mission Planner con la última versión o superior a 1.3.70.

En primera instancia abrimos la aplicación de QGroundControl que está instalada en el equipo Herelink para verificar que la transmisión de video funciona correctamente debido a que es necesario para iniciar el proceso de transmisión de video. Luego, en la pantalla principal en Mission Planner en el área de *HUD* para dar clic y seleccionar la opción de *Video* que despliega un menú y de allí la opción *Herelink Video*, el proceso se ilustra en la Figura 43.

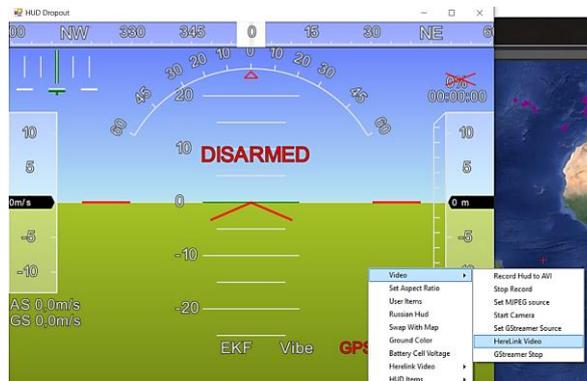


Figura 43. Configuración de video en Mission Planner.

Fuente: Los investigadores.

Finalmente aparecerá la ventana donde ingresamos la dirección IP del equipo Herelink, si no se conoce aún esta dirección IP se puede consultar en el menú desplegable del control remoto, configuración en la esquina superior derecha y buscar la opción *Acerca de la información de estado del teléfono* y elegimos la opción de *dirección IP*.



Figura 44. Ventana de ingreso dirección IP en Mission Planner.

Fuente: Los investigadores.

Implementación del Sistema

Para la implementación del sistema completo, existen equipos que se encuentran ubicados en el interior del UAV con sus respectivas conexiones y de la misma forma existen equipos ubicados en la Estación de Control en Tierra.

Implementación de los equipos que se ubican en el UAV

En el UAV Solar se encuentran ubicados los equipos para transmisión de Telemetría y Video, la conexión de los equipos se ilustra en la Figura 45, que contiene al Micropiloto Pixhawk 2.1 que es alimentado por el banco de baterías cargados mediante los paneles Solares, los sensores como el GPS, Brújula y el Sensor de velocidad del aire, el módulo para la transmisión de Video que tiene conectado la cámara y las antenas de transmisión de video, el módulo de transmisión de Telemetría también que está conectado al puerto de telemetría del Micropiloto.

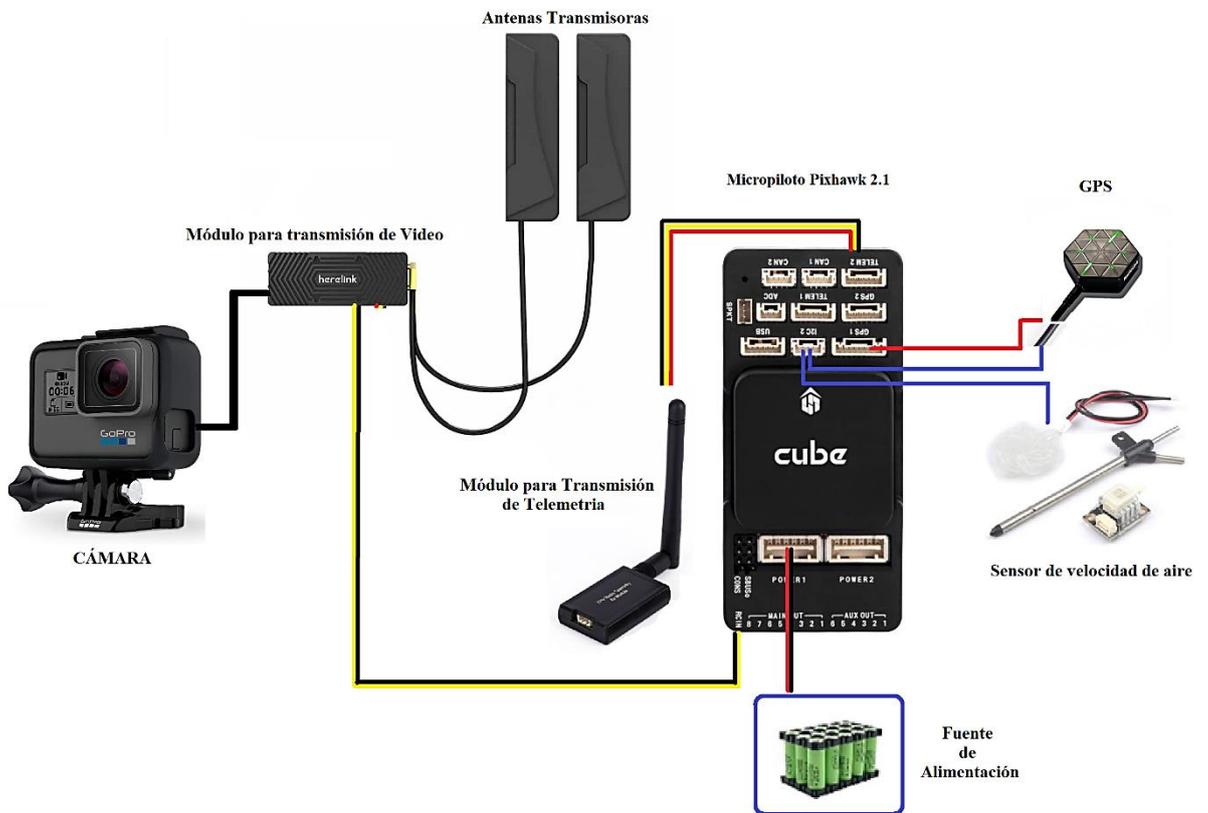


Figura 45. Conexión de equipos ubicados en el UAV

Elaborado por: Los investigadores.

Implementación de los equipos ubicados en la Estación de Control en Tierra

Para los equipos ubicados en Tierra, como el control Remoto Herelink que está funcionando para el control RC del UAV mediante la aceleración de motor, control de movimientos para los servos y la recepción del video en tiempo real mediante la aplicación QGroundControl instalada en el equipo Herelink. También el video puede ser visualizado en un computador portátil o cualquier dispositivo con acceso a las conexiones de redes inalámbricas, el portátil será de buen uso debido a que también tiene conectado el receptor de Telemetría para recibir los datos enviados desde el UAV mientras se encuentre suspendido en el aire.



Figura 46. Conexión de equipos ubicados en la Estación de Control en Tierra

Elaborado por: Los investigadores.

Prueba de Funcionamiento del Sistema de Telemetría y Videovigilancia en Tierra

Las pruebas de funcionamiento se realizaron tanto para el sistema de telemetría y el sistema de video. Para Telemetría, la calibración de todos los sensores debe ser exitoso para establecer una comunicación estable de todos los sensores y deben entregar los datos de ubicación, altura, posicionamiento, hacia el control Herelink y replicados en un computador con el software de planificación de vuelo Mission Planner como se puede apreciar en la Figura 47, estas pruebas sirven para verificar el correcto funcionamiento de los equipos y corregir errores de conexión y calibración.



Figura 47. Pruebas de funcionamiento del Sistema de Telemetría en Tierra.

Fuente: Los Investigadores.

Luego de la conexión de los equipos se logró realizar las pruebas de funcionamiento donde el transmisor de video del UAV Solar y el receptor de video del sistema necesitaron sintonizarse a la misma frecuencia de 2.4GHz, el objetivo de esta prueba tuvo como fin verificar que el video emitido por la cámara ubicada en el UAV, fue visualizada en el control Herelink ubicado en la Estación de Tierra, sin perder la calidad, ni señal de la transmisión como se puede apreciar en la Figura 48:

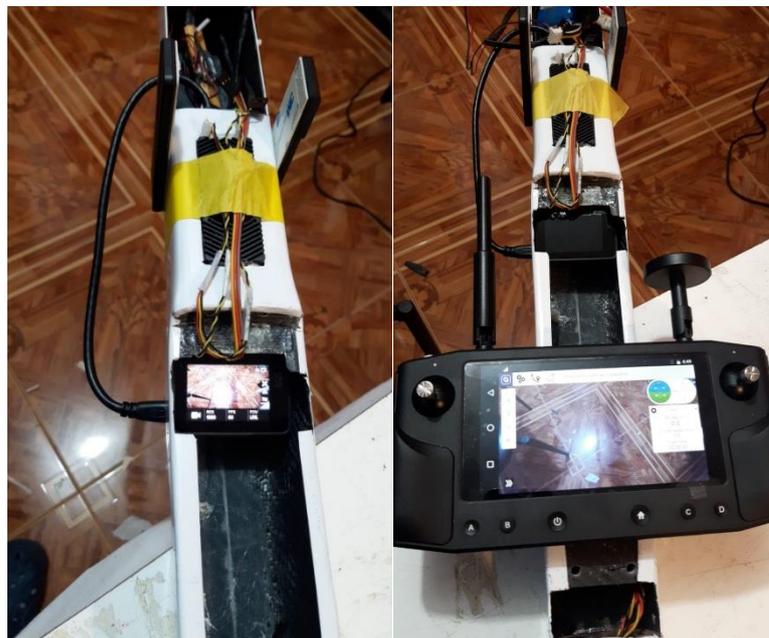


Figura 48. Pruebas de funcionamiento del Sistema de Video en tierra.

En la tabla 28, se muestran los resultados de la potencia de recepción para la señal de video en el equipo Herelink que fue enviada desde el módulo de transmisión ubicado en el UAV, mediante pruebas en Tierra a una distancia máxima de 2Km para visualizar el comportamiento de la señal a medida que se iba distanciando el control Herelink del UAV.

Tabla 28. Potencia de señal para video – Pruebas en Tierra

Frecuencia [GHz]	Distancia [Km]	PRx [dBm] Calculada	PRx [dBm] Real
2,4	0,1	-45,00	-46,69
2,4	0,2	-51,02	-53,68
2,4	0,3	-54,54	-55,93
2,4	0,4	-57,05	-59,24
2,4	0,5	-58,98	-60,88
2,4	0,6	-60,56	-62,79
2,4	0,7	-61,90	-64,13
2,4	0,8	-63,06	-64,82
2,4	0,9	-64,09	-66,81
2,4	1	-65,00	-66,93
2,4	1,1	-65,83	-68,04
2,4	1,2	-66,58	-68,97
2,4	1,3	-67,28	-69,34
2,4	1,4	-67,96	-70,56
2,4	1,5	-68,52	-70,85
2,4	1,6	-69,08	-71,41
2,4	1,7	-69,61	-71,73
2,4	1,8	-70,11	-72,48
2,4	1,9	-70,58	-73,08
2,4	2	-71,02	-73,85

Elaborado por: Los investigadores.

Mediante la figura 49, se puede observar de manera gráfica el comportamiento de la señal mientras se realizó las pruebas para video con los equipos en tierra. La señal de video recibida por el equipo Herelink tuvo perturbaciones en contadas distancias, pero en la mayoría se mantiene la señal de video estable debido a que, al estar probando en

tierra, las perturbaciones no son mayores en comparación a las perturbaciones que existe en el aire por cuestiones climáticas existentes.

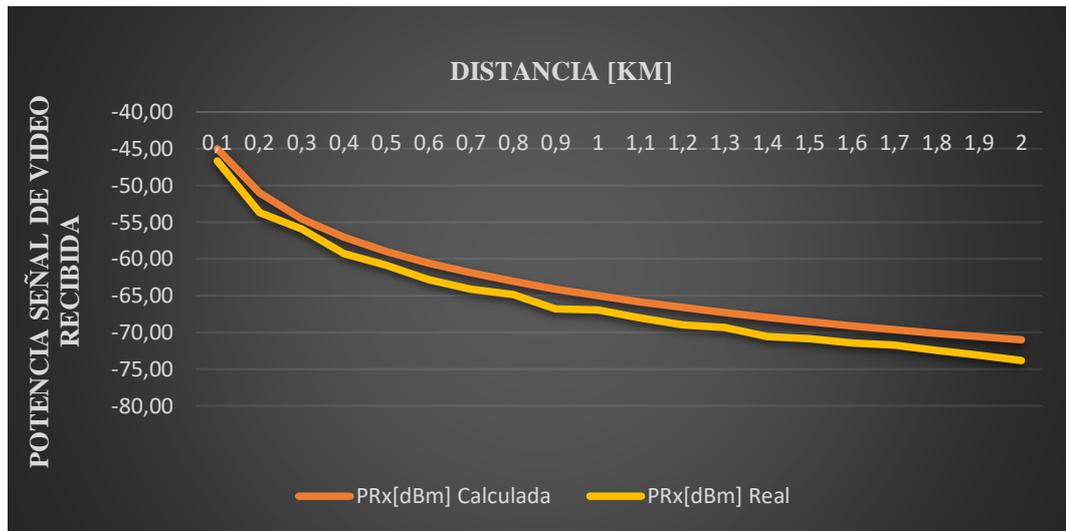


Figura 49. PRx Señal de Video Real vs PRx Señal de Video Real

Fuente: Los investigadores.

Pruebas de rango para transmisión de video en tiempo real

Las pruebas para la recepción del video en la Estación de Control en tierra fueron realizadas desde la pista del aeropuerto del CIDFAE, donde se hizo el lanzamiento del UAV Solar de forma manual con la ayuda del equipo Militar como se ilustra en la Figura 50.



Figura 50. Lanzamiento del UAV Solar.

Se logró analizar la recepción de la señal de video a varias distancias, como se visualiza en la tabla 29, donde la señal presenta variaciones con leves picos debido a la posición

de las antenas de transmisión de video ubicadas en el UAV de forma horizontal y manteniendo la frecuencia de operación de los equipos Herelink de video a 2,4GHz.

Tabla 29. Potencia de Señal de Video recibida con frecuencia de 2,4GHz.

Frecuencia [GHz]	Distancia [Km]	PRx [dBm] Calculada	M [dBm] Calculada	PRx [dBm] Real	M [dBm] Real
2,4	0,5	-58.80	40.20	-61,12	37,88
2,4	1	-65.02	34.02	-68,22	30,78
2,4	1,5	-68.52	30.48	-70,68	28,32
2,4	2	-71,21	27.79	-72,89	26,11
2,4	2,5	-72.96	26.04	-76,23	22,77
2,4	3	-74,54	24.46	-77,11	21,89
2,4	3,5	-75.88	23.12	-78,82	20,18
2,4	4	-77,42	21.58	-81,56	17,44
2,4	4,5	-78.06	20.94	-81,89	17,11
2,4	5	-78,98	20.02	-81,13	17,87
2,4	5,5	-79.81	19.19	-82,57	16,43
2,4	6	-80,56	18.44	-82,42	16,58
2,4	6,5	-81.26	17.74	-83,96	15,04
2,4	7	-81,91	17.09	-84,53	14,47

Elaborado por: Los investigadores.

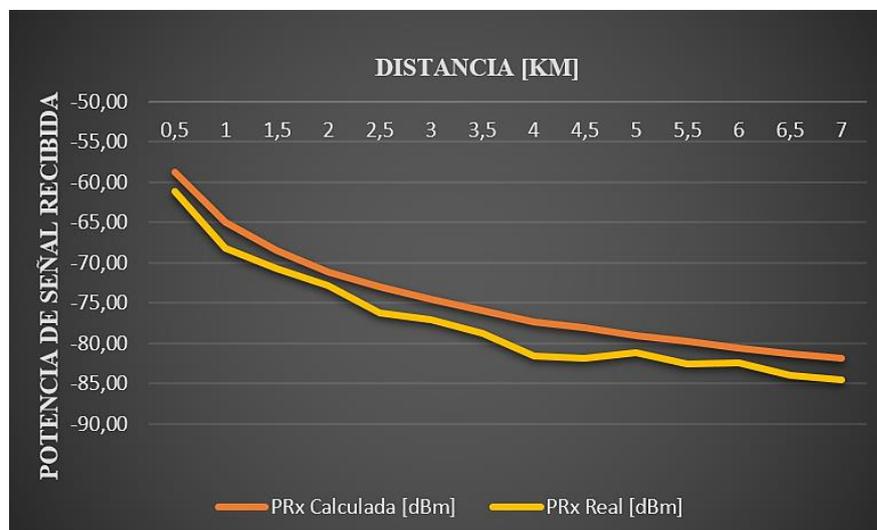


Figura 51. Señal Recibida de video calculada vs Señal Recibida de video real.

Fuente: Los investigadores.



Figura 52. Recepción de datos y video en la Estación de Control ubicada en Tierra.

Fuente: Los investigadores

Mediante las pruebas de señal para video, se logró analizar mediante la Tabla 30 que la ubicación y posición de las antenas de transmisión de video estaban influyendo en el comportamiento de la señal para la recepción de video en la estación de control ubicada en Tierra, por lo que se cambió de posición horizontal a vertical como se puede visualizar en la Figura 53 para tener un comportamiento de señal con menos picos de interferencia, manteniendo la señal con un nivel estable comparado a pruebas anteriores.



Figura 53. Ubicación vertical antenas de transmisión de video.

Fuente: Los investigadores.

Tabla 30. Potencia de Señal de Video recibida con frecuencia de 2,4GHz.

Frecuencia [GHz]	Distancia [Km]	PRx [dBm] Calculada	M [dBm] Calculada	PRx [dBm] Real	M [dBm] Real
2,4	0,5	-58.80	40.20	-62,44	37,88
2,4	1	-65.02	34.02	-67,15	30,78
2,4	1,5	-68.52	30.48	-70,53	28,32
2,4	2	-71,21	27.79	-73,09	26,11
2,4	2,5	-72.96	26.04	-75,72	22,77
2,4	3	-74,54	24.46	-78,08	21,89
2,4	3,5	-75.88	23.12	-79,32	20,18
2,4	4	-77,42	21.58	-80,56	17,44
2,4	4,5	-78.06	20.94	-81,89	17,11
2,4	5	-78,98	20.02	-82,32	17,87
2,4	5,5	-79.81	19.19	-82,67	16,43
2,4	6	-80,56	18.44	-83,94	16,58
2,4	6,5	-81.26	17.74	-84,86	15,04
2,4	7	-81,91	17.09	-85,39	14,47

Elaborado por: Los investigadores.

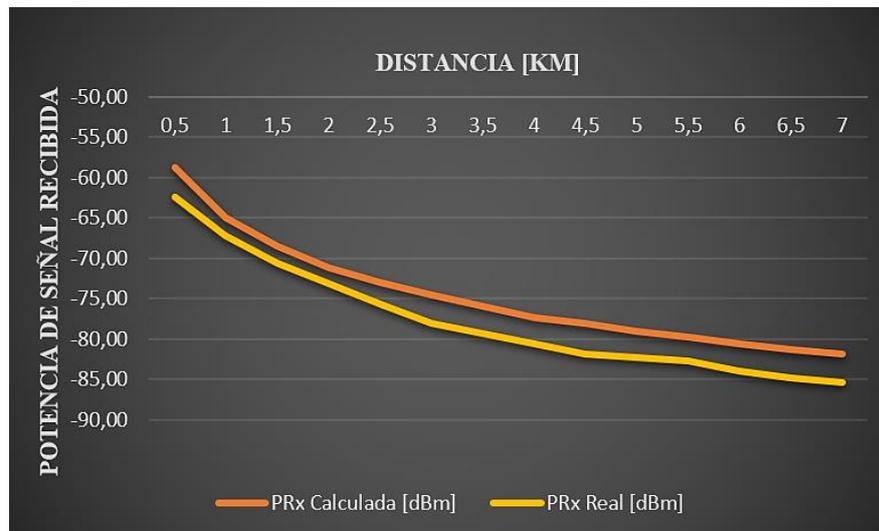


Figura 54. Señal Recibida de video calculada vs Señal Recibida de video real

Fuente: Los investigadores.



Figura 55. Señal de video enviada desde el UAV y receptada en la Estación de Control.

Fuente: Los investigadores.

Análisis referente a la autonomía de vuelo para el Sistema de comunicaciones y Videovigilancia en tiempo real

Mediante las pruebas realizadas al UAV Solar incorporado con el sistema de comunicaciones y videovigilancia se logró evaluar el desempeño en el tema de autonomía de vuelo, debido a que implementar un sistema completo en un UAV se ha visto limitado debido a la fuente de alimentación que los vehículos aéreos no tripulados en la actualidad poseen, la mayoría de ellos se basan en una fuente de energía con Baterías de tipo Lipo.

La Figura 56 muestra el resultado del comportamiento aproximado para la descarga de una batería de tipo Lipo con 5200[mA] y 25[V] cargada al máximo puesta a prueba durante un vuelo con los equipos para el sistema de comunicaciones y videovigilancia, en el mismo que se obtuvo como resultado un tiempo de vuelo aproximadamente de

22 minutos máximo, debido a que no se tiene que descargar a menos de 22,2[V] porque eso dañaría las celdas de la batería y pondría en riesgo su vida útil a largo plazo.

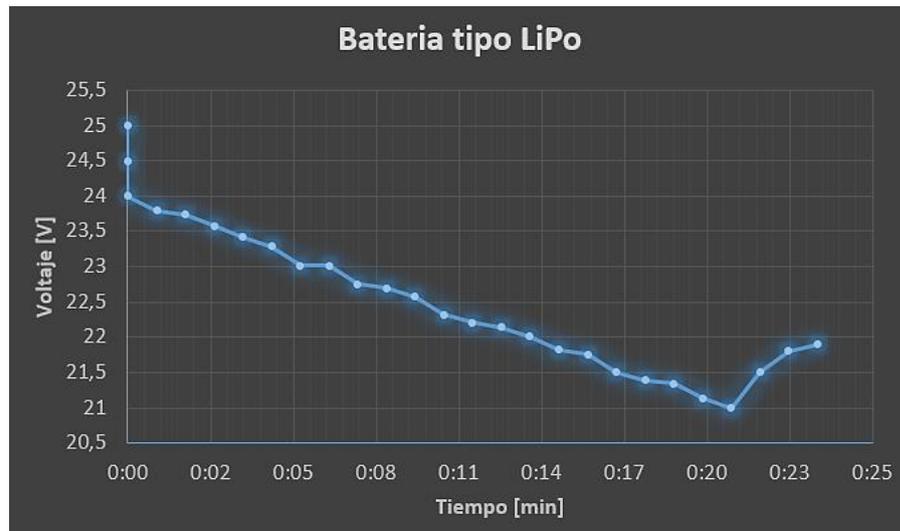


Figura 56. Voltaje vs Tiempo - Descarga de batería LiPo

Fuente: Los Investigadores.

Los paneles solares cumplen la ventaja de adaptación a todo tipo de superficies, como la integración de los paneles a las alas del UAV, donde el objetivo primordial es aumentar la autonomía y cumplir con una eficiencia energética mayor a las baterías de LiPo tradicionales. Se realizaron pruebas del sistema de comunicaciones y videovigilancia con los paneles solares incorporados en la estructura del UAV para verificar la autonomía del prototipo con condiciones climáticas variadas como es para la ciudad de Ambato y los resultados se pueden visualizar en la Tabla 31.

Tabla 31. Comportamiento del Voltaje y Corriente en el UAV Solar.

N° Pruebas	Duración de vuelo	Voltaje inicial [V]	Voltaje final [V]	Corriente inicial [mAh]	Corriente final [mAh]	Condición Climática
1	2h:05min	25,30	21,45	6178	5238	Parcial. Nublado
2	2h:45min	25,25	21,06	6166	5143	Soleado
3	1h:55min	25,20	21,86	6154	5338	Parcial. Nublado
4	2h:55min	25,25	22,36	6166	5460	Soleado

5	2h:58min	25,24	22,68	6164	5539	Soleado
6	2h:45min	25,22	21,18	6159	5172	Soleado
7	1h:15min	25,25	21,46	6166	5241	Parcial. Nublado
8	1h:05min	25,15	19,12	6142	4669	Nublado
9	2h:55min	25,24	19,56	6164	4777	Soleado
10	2h:07min	25,25	21,59	6166	5272	Nublado

Elaborado por: Los Investigadores.

Mediante el análisis de resultados obtenidos en la Tabla 31 observamos que existe una diversidad de duración para los tiempos de vuelo, que superan el tiempo máximo de una misión para un UAV alimentado con baterías LiPo. La corriente se observa con resultado máximo de 6178[mA] y un mínimo consumo de 4777[mA], teniendo en cuenta esto analizamos que el sistema de Comunicaciones requiere un suministro de corriente constante mientras el UAV Solar se encuentre en el aire, los paneles solares del UAV generan aproximadamente un valor de voltaje de 25,7V con una corriente de 6276[mA] en condiciones sumamente óptimas. Para el funcionamiento del sistema de comunicaciones y videovigilancia estos valores deben ser reducidos mediante un regulador de voltaje para obtener aproximadamente 12V que es el valor suficiente de voltaje que requieren los equipos para operar de forma constante, entonces existieron 3138[mA] disponibles para energizar el sistema de comunicaciones y videovigilancia, lo cual es favorable debido a que los equipos ubicados en el UAV consumen un total de 1117[mA] de los 6276[mA] disponibles por la fuente de alimentación, esto significa que el UAV puede realizar 5,62 veces una misión comparada con el mismo UAV alimentado por baterías de tipo LiPo, lo que nos permite concluir que debido a la alimentación con paneles se obtiene un nivel de autonomía superior al uso de baterías Lipo tradicionales.

Comportamiento del sistema en condiciones climáticas favorables

Mediante la Tabla 31, en la prueba de mayor duración el comportamiento de los paneles solares contribuyó para obtener un valor inicial de 25,24[V] y un mínimo de 22,68[V] en el tiempo de 2 horas con 58 minutos para condiciones climáticas de un día soleado por la tarde. Los resultados obtenidos del comportamiento del voltaje se los puede observar en la Figura 57:

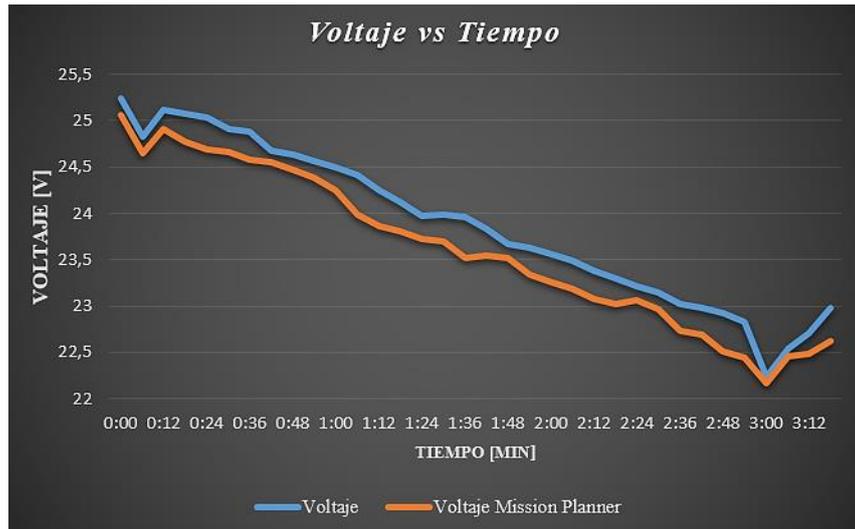


Figura 57. Sistema de comunicaciones para condiciones climáticas favorables

Fuente: Los Investigadores.

Comportamiento del sistema en condiciones climáticas desfavorables

En condiciones climáticas desfavorables el sistema de comunicaciones y videovigilancia del UAV Solar en un día parcialmente nublado tuvo un tiempo de vuelo aproximado de 1 hora y 5 minutos, con un voltaje inicial de 25,15[V] y al finalizar el vuelo la medición de los paneles solares genero un valor de 19,12 [V]. El comportamiento durante esta prueba se puede visualizar en la Figura 58 con variaciones de voltaje con picos fuertes al finalizar el vuelo establecido, lo que representa que existió una disminución notable de la corriente, consecuencia de la ausencia de la radiación solar reduciendo el rendimiento del sistema fotovoltaico.

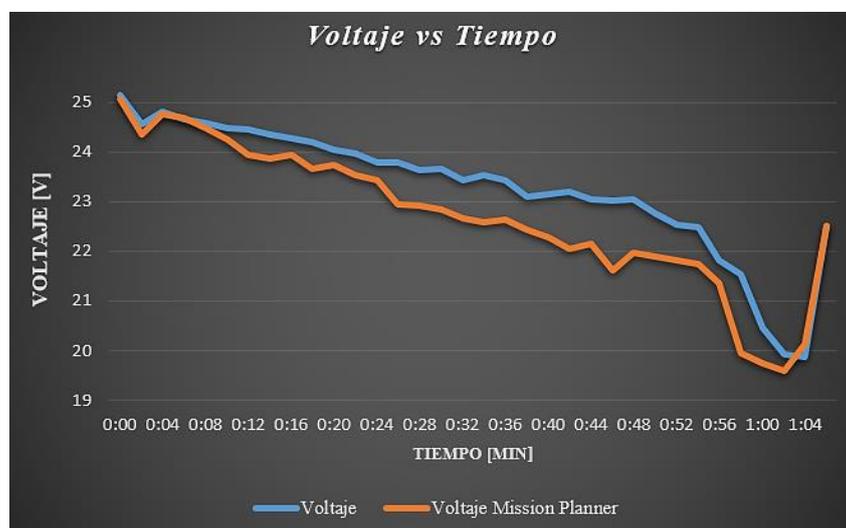


Figura 58. Sistema de comunicaciones para condiciones climáticas desfavorables

Análisis de Niveles de Señal para Telemetría para diferentes distancias

Mediante la interfaz de monitorio en Mission Planner se puede analizar el nivel de señal para el enlace de Telemetría para diferentes distancias, en forma de porcentaje como se ilustra en la Figura 59.



Figura 59. Porcentaje de señal Telemetría-Mission Planner

Fuente: Los Investigadores.

Tabla 32. Análisis de niveles de señal en porcentaje para Telemetría.

Distancia	Mission Planner	Porcentaje de Señal
100 metros		99%
500 metros		99%

1200 metros		97%
2500 metros		96%
3500 metros		94%
4300 metros		67%
4700 metros		80%



Fuente: Los Investigadores.

En la Tabla 32 se puede visualizar los niveles de señal para diferentes distancias en forma de porcentaje, dando comienzo en una distancia de 100 metros donde la señal tiene un porcentaje de 99% y se mantiene hasta la distancia de 500 metros, ya para los 1200 metros el nivel de señal tiene una disminución hasta el 97% disminuyendo a medida que va aumentando la distancia hasta los 3500 metros, tomando un valor de 94% que aún se considera estable. Para los 4500 metros se configura una Misión autónoma para el UAV y en ese lapso de cambio la señal pierde intensidad llegando al valor de 67% y mientras se va retomando distancia va subiendo llegando a los 5000 metros con una señal de 95%, lo que indica que se tuvo una perturbación fuerte al cambiar de control remoto a misión autónoma.

Análisis de Niveles de Señal (SNR) para diferentes distancias

El equipo controlador Herelink se encarga de la recepción de video en tierra, monitoriza el espectro de la señal mediante un eje X y el eje Y siendo:

- **Eje X:** Punto de frecuencia, la línea roja representa la frecuencia de trabajo actual
- **Eje Y:** SNR (relación señal-ruido)

Para analizar los niveles de Señal es importante saber que cuanto mayor es el valor de la señal SNR, menor es la interferencia. A continuación, se puede visualizar la pantalla de monitoreo para SNR en la Figura 60:

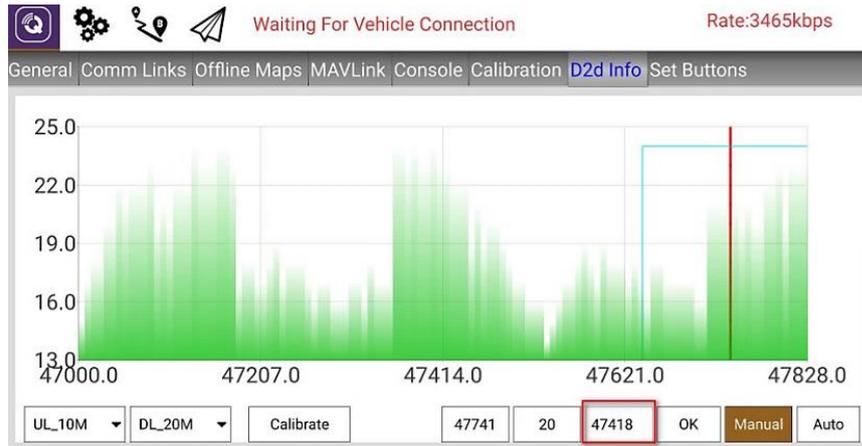


Figura 60. Nivel de SNR de Video-Equipo Herelink

Fuente: Los Investigadores.

Se ha analizado diferentes distancias, calidad de imagen y nivel SNR de ciertas pruebas para comparar la calidad de video con su nivel SNR, tenemos a continuación dicha comparativa en la [Tabla 33](#):

Tabla 33. Análisis de niveles de señal de video para distintas distancias.

DISTANCIA	CALIDAD DE IMAGEN	NIVEL SNR
200 metros		24
500 metros		22

1000 metros		19
1400 metros		14
2300 metros		9
3400 metros		7

5000 metros		5
-------------	--	---

Fuente: Los Investigadores.

Para este análisis se compara 7 capturas de video con distancias diferentes empezando desde 200 metros de transmisión de video hasta llegar a los 5000 metros, en donde los niveles de señal SNR van decreciendo poco a poco desde 24 siendo el valor más alto en la prueba de vuelo debido a que la distancia va aumentando, en un día parcialmente nublado las condiciones climáticas afectaron poco a poco, disminuyendo la calidad de video receptada en la estación de control en tierra por el equipo Herelink pero manteniendo el video con baja latencia.

Presupuesto del Proyecto

Tabla 34. Presupuesto del proyecto

Presupuesto				
N°	Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Total
1	Herelink 2,4GHz	1	\$ 875,00	\$ 875,00
2	RadioLink M8N GPS SE100	1	\$ 40,00	\$ 40,00
3	Micropiloto Pixhawk 2.1	1	\$ 245,00	\$ 245,00
4	Set de cables - Pixhawk 2.1	1	\$ 30,00	\$ 30,00
5	Sensor de Velocidad de aire HOLYBRO	1	\$ 27,00	\$ 27,00
6	Cable Micro HDMI	1	\$ 15,00	\$ 15,00
7	Cámara Go Pro Hero 6 Black	1	\$ 375,00	\$ 375,00
8	Módulo de potencia para Pixhawk 2.1	1	\$ 35,00	\$ 35,00
9	Futaba R2008SB S.Bus 8-Channel S-FHSS	1	\$ 70,00	\$ 70,00
SUBTOTAL				\$ 1.712,00
10	Transporte	Pasajes para ir al CIDFAE		\$ 60,00
11	Internet	Fracción de pago mensual por uso del servicio		\$ 90,00
12	Adicionales	Implementos extras como pegamento, cables de alimentación, etc.		\$ 100,00
13	Mano de obra	Trabajos extras		\$ 225,00
TOTAL				\$ 2.187,00

Elaborado por: Los investigadores.

CAPITULO IV

Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

- Los sistemas implementados en el presente proyecto de investigación fueron compatibles para usarse mediante hardware y software de uso libre. Basados en las especificaciones técnicas de los transmisores y receptores para el enlace de video que operan a una frecuencia de 2,4GHz, siendo una frecuencia adecuada dentro de las bandas de frecuencias disponibles en el Ecuador para operar vehículos aéreos no tripulados.
- Mediante el diseño de cada sistema de comunicaciones se determinó que cada enlace era viable para implementar gracias al análisis de las posibles pérdidas de señal. El enlace de Telemetría operando a 915MHz y el enlace de video con una frecuencia de 2,4GHz, donde a partir de ello los equipos fueron seleccionados en base a las especificaciones técnicas acordes al proyecto de investigación verificando que son lo suficiente para mejorar los rangos de distancia para cada enlace y teniendo en cuenta que las frecuencias elegidas son distantes entre sí, para que no interfieran entre ellas y causen problemas de transmisión o recepción.
- Las primeras pruebas fueron establecidas con los equipos en tierra para analizar el comportamiento de la señal, tanto para datos de telemetría y la visualización del video en tiempo real, estas fueron realizadas dentro de la pista de aterrizaje del CIDFAE con línea de vista hasta 2Km, obteniendo un comportamiento estable debido a que en tierra los equipos no presentan mayor interferencias en comparación a una prueba de vuelo del UAV suspendido en el aire, donde las perturbaciones se presentan con mayor intensidad.
- Mediante pruebas de vuelo, se analizó el comportamiento de los niveles de señal SNR para el enlace de video receptada en la estación de control por el equipo Herelink, el cual mostró una calidad estable en una distancia de al menos 200 metros con un valor de SNR de 24. El valor SNR mientras más alto sea su valor, menos interferencia tendrá, por lo que a la distancia de 5000 metros su valor de SNR cambio a 5 debido a las condiciones climáticas de un día parcialmente nublado.

4.2 Recomendaciones

- Es necesario realizar pruebas de funcionamiento de los equipos antes de incorporarlos en el interior de la cabina del UAV para verificar su funcionamiento y la viabilidad del enlace para los distintos sistemas que se puedan llegar a implementar e identificar posibles problemas de transmisión o conexión.
- La manera de optimizar la aplicación de video vigilancia, sería diseñar un UAV con tren de aterrizaje y colocar un gimbal para la cámara, esto incrementaría el costo de diseño y adquisición de equipos debido a que un vehículo aéreo no tripulado de este tipo necesitaría de combustible para operar, por lo que para este proyecto de investigación resulto un limitante.
- Para el enlace de video implementado es recomendable ubicar las antenas de transmisión de forma vertical y distanciadas de cualquier tipo de superficie para evitar problemas de absorción y reflexión debido a que la primera ubicación de las antenas de forma horizontal provoco pérdida de la señal de video hacia la Estación de Control en Tierra.

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- [1] H. Campoverde y D. Guerra, «Desarrollo de un sistema de comunicaciones en la banda UHF y SHF para un vehiculo aereo no tripulado de ala fija para el monitoreo de los humedales Pugllohuma y Jatunhuaycu en las inmecciones del Colvan Antisana,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2020.
- [2] M. E. Moscoso y E. V. Yanez, «“SISTEMA DE TELEMETRÍA Y VIDEO VIGILANCIA PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE MISIONES A LARGA DISTANCIA PARA EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FAE”,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2020.
- [3] R. Belal y M. Bin , «ANALYSIS, ESTIMATION AND PREDICTION OF FADING FOR A TIME-VARIANT UAV-GROUND CONTROL STATION WIRELESS CHANNEL FOR COGNITIVE COMMUNICATIONS,» UNIVERSIDAD DE MANITOBA, Canadá, 2015.
- [4] B. Araujo Villaroel, «“SISTEMA DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES PARA REALIZAR TRACKING AUTOMATICO DE OBJETOS DURANTE MISIONES DE VIGILANCIA Y RECONOCIMIENTO UTILIZANDO SISTEMAS ELECTROÓPTICOS DEL CIDFAE”,» UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, AMBATO, 2018.
- [5] M. C. Uquillas y R. E. Simbaña, «Análisis comparativo de tecnologías de comuniaciones aplicadas a vehiculos aereos no tripulados (UAV),» Universidad de las americas, Quito, 2016.
- [6] H. Redwan, Sung-Chan y J. Hong, «Análisis de rendimiento de los protocolos de enrutamiento MANET para comunicaciones UAV,» de *Décima Conferencia Internacional sobre Redes Ubicuas y Futuras (ICUFN)*, Praga, Republica Checa, 2018.
- [7] J. F. Carvajal y L. C. Chuquisala, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTÓNOMO DE SEGUIMIENTO DE CARACTERISTICAS,» ESCUELA POLOTECNICA NACIONAL, QUITO, 2015.
- [8] P. Ramos, «Una revisión sobre los sistemas UAV de aprendizaje profundo de IoT para la detección autónoma de obstáculos y la prevención de colisiones».
- [9] FAE CIDFAE, «DETECCIÓN, OBSERVACIÓN, COMUNICACIÓN Y RECONOCIMIENTO,» Fuerza Aérea Ecuatoriana, 2015.

- [10] P. Montoya y R. Briones, «EMPLEO DE LOS UAV, EN OPERACIONES DE SEGURIDAD Y VIGILANCIA EN LAS ÁREAS ESTRATÉGICAS EN EL ECUADOR,» *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, p. 15, 2018.
- [11] P. Baquero Montoya y R. Baquero Montoya , «EMPLEO DE LOS UAV, EN OPERACIONES DE SEGURIDAD Y VIGILANCIA EN LAS ÁREAS ESTRATÉGICAS EN EL ECUADOR,» *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, p. 15, 2018.
- [12] S. Cayo y I. Changoluisa, «Integración y Autometización de un sistema de seguimiento de un UAV para establecer enlace de comunicación con una estación de monitoreo en tierra.,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2018.
- [13] Bryan Chauca, «Seguimiento y búsqueda de objetivos en entornos complejos usando micro vehículos aéreos con cámaras monoculares para aplicaciones militares,» Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito, 2020.
- [14] D. Moreta y G. Salazar, «Diseño e implementación de un sistema electrónico de pre vuelo para el autopiloto pelicano desarrollado en el CIDFAE ubicado en el sector Izamba de la ciudad de Ambato,» ESPEL, Latacunga, 2016.
- [15] P. Ruipérez Martín, *Diseño y Fabricación de un Dron*, Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, 2017.
- [16] E. E. Santana Cruz, *Propuesta de sistema multi-UAV para aplicaciones de cobertura de área*, Barcelona, España: Universidad Autónoma de Barcelona, 2017.
- [17] A. Chancusig Quinatoa y D. Tipan Guachi, «Diseño y construcción de un prototipo de plataforma aérea no tripulada (UAV) con un sistema de aprovechamiento de la energía solar para mejorar la autonomía de vuelo para el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE),» ESPE, Latacunga, 2020.
- [18] J. A. Benito Carrasco, «Integración de un UAV (Vehículo Aéreo No tripulado) en la plataforma robótica ARGOS,» universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2016.
- [19] ElectroStore, «Grupo ElectroStore,» 2019. [En línea]. Available: <https://grupoelectrostore.com/shop/motores/motores-brushless/motor-brushless-a2212-1400kv-10t/>. [Último acceso: 22 Junio 2021].
- [20] R. Wiz, «Electronica Speed Controllers (ESC),» 2015. [En línea]. Available: <http://www.rcmodelswiz.co.uk/electronic-speed-controllers-esc/#.VMIoXUeG8pp>. [Último acceso: 24 Julio 2021].

- [21] Prometec, «Prometec,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.prometec.net/esc-para-drones/>. [Último acceso: 25 Julio 2021].
- [22] Fabricio León , «DYNAMO,» 2019. [En línea]. Available: <https://dynamoelectronics.com/baterias-lipo-caracteristicas-y-cuidados/>. [Último acceso: 28 Julio 2021].
- [23] V. K. Guevara Balarezo, Diseño e Implementacion de un Sistema de telemetría y video para vehiculos no tripulados (UAVS), Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2019.
- [24] Carlos Gallardo y Antonio Fustillos, «Implementacion de un sistema de control remoto automatizado de un UAV para aplicaciones de monitoreo de condiciones climatológicas,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2018.
- [25] P. Alvarez, Software para analisis del presupuesto de enlace y comunicaciones via Satelite., 2010.
- [26] P. A. Vela Remache, «Estudio y Diseño de un radio enlace para la transmision de datos, e internet en frecuencia libre para la cooperativa indigena "Alfa y Omega",» Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador, 2015.
- [27] J. Parra Patiño, Control de drones basado en MAVlink para la plataforma Eyes of Things, Castilla: Universidad de Castilla, 2016.
- [28] Henry Cruz, «Contribucion a la deteccion de objetivos especificos para aplicaciones de vigilancia con realidad aumentada,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2017.
- [29] J. A. Mora Correa, Implementacion de un sistema de transmision de video en tiempo real utilizando el modulo de comunicacion Wolf whoop Q3 5.8GHz para un robot volador de carreras, Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2018.
- [30] Alibaba, «Alibaba,» [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/fh336-v2-36x-mapping-camera-mapping-for-uav-drone-for-survey-and-object-tracking-camera-for-mapping-60819603406.html>. [Último acceso: 30 Julio 2021].
- [31] PX4 Autopilot, «PX4 Autopilot,» 13 Julio 2021. [En línea]. Available: https://docs.px4.io/v1.12/en/flight_controller/pixhawk-2.html. [Último acceso: 12 Septiembre 2021].
- [32] Flying Tech, «Flying Tech,» [En línea]. Available: <https://www.flyingtech.co.uk/electronics/apm-pixhawk-radio-telemetry-kit-v2-433mhz-100mw-500mw>. [Último acceso: 15 Septiembre 2021].

- [33] Hobbyking, «Hobbyking,» [En línea]. Available: https://hobbyking.com/es_es/ublox-neo-m8n-gps-with-compass.html?__store=es_es. [Último acceso: 15 Septiembre 2021].
- [34] Amazon, «Amazon,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/velocidad-Hobbypower-diferencial-PX4-Pixhawk-Autom%C3%A1tico/dp/B01J7NCML0?th=1>. [Último acceso: 15 Septiembre 2021].
- [35] Xalaka, «Xalaka,» Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/fotografia-y-video/gopro-hero6-black-la-camara-de-accion-estrella-ahora-graba-en-4k-a-60fps>. [Último acceso: 14 Septiembre 2021].
- [36] CubePilot, «CubePilot,» Julio 2020. [En línea]. Available: <https://docs.cubepilot.org/user-guides/herelink/herelink-overview>. [Último acceso: 16 Septiembre 2021].
- [37] Fleming, Kerr y Harrison, «La robotización del sector militar de los EEUU,» Universidad Pontificia Comillas (ICADE), Madrid, 2020.
- [38] Sergio Huanqui y Renato Postigo, «Vehículo Aéreo No tripulado para vigilancia en ambientes cerrados con detección de personas y obstaculos a su alrededor,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 2018.
- [39] Laura García, «Interacción hombre - máquina en vehículos aéreos no tripulados,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2017.
- [40] D. Olivos Lara, Diseño de un perfil aerodinamico de un dron, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2017.
- [41] C. A. Tello Vargas y E. G. Herrera Victorio, Diseño e implementacion de un drone de ala fija para el estudio de indices de vegetacion para la agricultura de precision en el Fundo Altamirano - ICA, Lima-Perú: Universidad Ricardo Palma, 2019.
- [42] FoxTech, «User Manual (Herelink Version),» NAGA, 2021.
- [43] S. Cayo y I. Changoluisa, «Integración y Autometización de un sistema de seguimiento de un UAV para establecer enlace de comunicación con una estación de monitoreo en tierra.,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2018.
- [44] I. D. R. De la Cavada, Aerodinamica, Madrid, España: Laboratorio de Aerodinámica, 2016.

ANEXOS
ANEXO A

Hoja de datos de los equipos utilizados

Partes de la Unidad Aérea Herelink

UART:

Pin #	Name	Description
1	RXD	RX of pinecone module, 3.3V/5V TTL
2	TXD	TX of pinecone module, 3.3V/5V TTL
3	GND	Ground pin

S.bus out :

Pin #	Name	Description
1	S.bus out 1	Signal channel 1
2	GND	Ground pin
3	S.bus out 2	Signal channel 2
4	GND	Ground pin

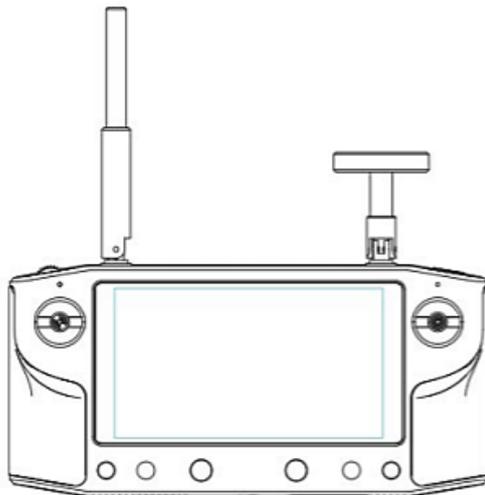
PWR :

Pin #	Name	Description
1	power	Power IN, 5-12V
2	GND	Ground pin

Product Size

Air Unit: 78.5 x 30 x 15mm

Controller: 217 x 106.5 x 31mm



Especificaciones técnicas Unidad aérea Herelink

Herelink Air Unit	
SPECIFICATION	
Appearance & Interface	
Appearance	Main board + video daughterboard + RF daughterboard Video daughterboard designed for bridging HDMI signal input RF daughterboard designed for transceiver transmission RF signal Use M2 (E) connector to connect daughterboard and main board
Dimensions	76.7 x 27 mm
2 x Micro HDMI interface (foreside)	For external camera video signal input
1 x 2 pin connector interface (side)	Include one 5V - 12V Power Input Interface
1 x 3 pin connector interface (side)	Include one 3.3V / 5V Level UART interface
1 x 4 pin connector interface (side)	Include two 3.3V level RC output interfaces (SBus / IBus output, optional control)
1 x Micro USB interface (side)	Debug & upgrade support OTG
1 x Key (side)	One button pairing connection-setup between air system and ground system Auto channel selection for better performance; Fast connection recovery in milliseconds
2 x indicator light (side)	Indicate status of pairing connection and transmission
2 x MMCX antenna interface	For transmission between ground system and air system
Functions & Features	
Processor	SoC - pinecone S1 AP: 4 x big cores, Cortex A53@2.2GHz 4 x small cores, Cortex A53@1.4GHz GPU: 4 cores, Mali- T860 SDR: A7 + DSP
Storage	LPDDR3: 1GB eMMC: 4GB
Bandwidth	20MHz / 10MHz
Transmission Range	FCC 20km CE / SRRC 12km
Latency	minimum 110ms (from input source to ground control screen display)
Video Resolution	720p@30fps
Operating Frequency	1080p@30/60fps
Receiver Sensitivity	2.4GHz ISM
Interference Recovery	-99dBm@20MHz BW
Power Consumption	< 1s Average below 4W

Manual de conexión Unidad aérea Herelink

herelink
User Manual
For Beta Version and Production First Batch

Please check on our website to find the latest user manual:
<http://www.hlx.aero>

Hardware Parameter

1) Accessories

- 1 x Herelink Air Unit
- 1 x Herelink Controller
- 2 x Joystick
- 2 x Air Unit Antenna
- 1 x Controller Directional Antenna
- 1 x HDMI Cable
- 1 x Controller Omni-directional Antenna
- 1 x Power Cord
- 1 x Telem Cable
- 1 x S-bus Cable
- 1 x USB Cable

2) Technical Specifications

Air Unit and Controller Hardware Information:

Processor: SoC - Pinecone S1
AP: 4 x large core, Cortex A53, 2.2GHz
4 x small core, Cortex A53, 1.4GHz
GPU: 4 core, Mali-T860
SDR: A7 + DSP
Storage: Air Unit LPDDR3 1GB, Controller LPDDR3 2GB
Air Unit/Controller: EMMC 4GB
Transmission Range: FCC20km, CE/SRRC 12km
Latency: Min 110ms
Resolution: 720p@30fps, 1080p@30/60fps
Frequency Band: 2.4GHz ISM
Receive sensitivity: -99dBm@20MHz BW
Interference recovery: < 1s

Air Unit

Interfaces:

- ① HDMI 2: Micro HDMI, for video input
- ② HDMI 1: Micro HDMI, for video input (preferred)
- ③ Power: 5V - 12.6V max (3s Lipo supported) power input
- ④ Micro USB: For debug or upgrade, support OTG
- ⑤ Pair/Reset: For pairing and reset
- ⑥ LED 1, 2: To indicate pairing status and transmission status
- ⑦ UART: 3.3V / 5V UART
- ⑧ S-bus: Two 3.3V RC output
- ⑨ ANT 1, 2: MMCX, for signal transmission and communication

Housing: Aluminum Weight: 95g (w. antennas)
Dimension: 78.5x30x15mm (w/o antennas)
Antenna: 2 x omni-directional antennas (2dBi)
Signal Bandwidth: 20MHz/10MHz
Power Consumption: < 4W

1. Air Unit Status Indication and Buttons

LED 1 (left)

- Steady Green Light: Receiving HDMI1 signal
- Steady Red Light: Receiving HDMI2 signal
- Steady Yellow Light: Receiving flight control data signal
- Changing Green-Red Light: Receiving two video signals
- Changing Green-Yellow-Red Light: Receiving two video signals and flight controller signal
- No Light: Receiving no valid video signal or flight controller signal

LED 2 (right)

- Flashing Green Light: Pairing
- Steady Green Light: Receiving valid controller signal, and power is normal
- Steady Yellow Light: Unpaired/no valid signal received

Flashing Red Light: Unstable power
No Light: Air unit is not powered

① HDMI 2
② HDMI 1
③ Power
④ Micro USB
⑤ Pair/Reset
⑥ LED 1, 2
⑦ UART
⑧ S-bus
⑨ ANT

2. Air Unit Interfaces Definition

Pin #	Name	Description
1	Power	Power IN (5V - 12.6V max (3s Lipo supported))
2	GND	Ground pin

Pin #	Name	Description
1	RXD	RX of air module (3.3V / 5V TTL)
2	TXD	TX of air module (3.3V / 5V TTL)
3	GND	Ground pin

Pin #	Name	Description
1	S bus out 1	RC output
2	GND	Ground pin
3	RSVD	For future use
4	GND	Ground pin

3. Air Unit Connections

- Mount the air unit securely to the drone.
- Choose the best position to attach the air unit antennas. Connect the antennas to ⑨ ANT 1, ANT 2 (MMCX) on the air unit. (There shall be no metal parts or any conductor attached to antennas. Air unit antennas should be vertical. Diversity can be improved by placing antennas at ~15-degree angle as picture on P5). Please note that carbon fiber is conductive.
- Connect ③ S-bus on the air unit to RCIN on flight controller.
- Connect ⑦ UART on the air unit to TELEM 1 or TELEM 2 on flight controller.
- Connect 5V-12.6V max (3s Lipo supported) battery to the ③ power supply on the air unit.
- Connect camera to HDMI 1 (preferred) on the air unit. If you are using two cameras, connect the other one to HDMI 2. You may switch from Stream 1 and Stream 2 on the controller to display the corresponding video stream.

Controller

Housing: Plastic Weight: 516g (w. antennas)
Dimensions: 217x106.5x31mm (w/o antennas, joysticks)
Screen: 5.46 inch, 1080P, 16 million colors, capacitive touch screen
Audio: 1 x built-in speaker, 2 x built-in microphone
Remote control: 2 x joystick, 1 x wheel
6 x button (w. backlight), 1 x upper right button
Communication: WIFI/GPS 2.4GHz on the controller side
LED: 2 x tricolor LED (left, right)
Interface: 1 x MicroUSB, 1 x Micro SD card slot (extendable to max. 64GB)
Antenna: 1 x detachable directional (5dBi), 1 x detachable omni-directional (2dBi), built-in WIFI antenna, built-in GPS antenna, external GPS antenna interface
Power: 4950mAh built-in Lipo Battery
Charging: Support micro USB 5V 2A charging
Power consumption: < 4W average (with transmission on, medium screen brightness, WiFi off, GPS off)

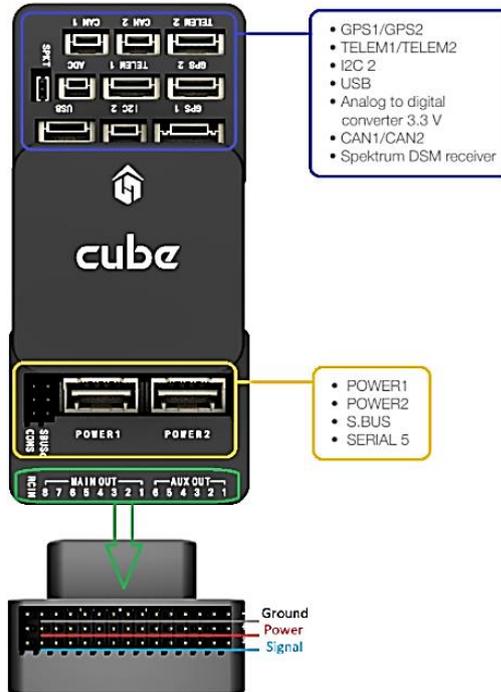
1. Controller LEDs/Buttons/Interfaces

- ① Upper Left Wheel: Control gimbal
- ② Upper Right Button: Take photo (configurable)
- ③ Button A: N/A (configurable)
- ④ Button B: Return to previous page (configurable)
- ⑤ Power Button: Power on/off and unlock screen
- ⑥ Home Button: Return to the ground control station
- ⑦ Button C: N/A (configurable)
- ⑧ Button D: N/A (configurable)

Datasheet Micropiloto Pixhawk Versión 2,1

Ports

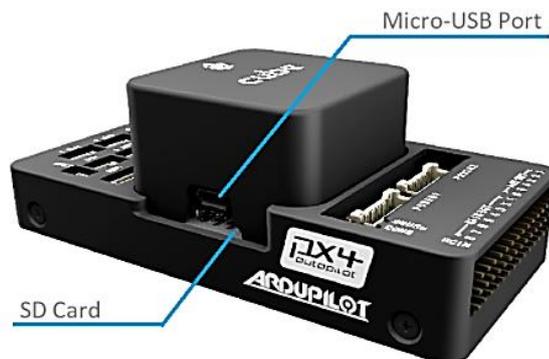
Top-Side (GPS, TELEM etc)



Debug Ports



USB/SDCard Ports



Funciones de la Cámara de Video GoPro 6 Hero Black

CAPTURAR VIDEO Y FOTOS

CAPTURAR VIDEO Y FOTOS

Con este método, dejas la cámara encendida y capturas, según sea necesario. Puedes usar la pantalla táctil para previsualizar las tomas y cambiar los modos y las configuraciones antes de efectuar la captura.

- De ser necesario, selecciona un modo diferente:
 - Toca el ícono de la esquina inferior izquierda de la pantalla táctil.



- Toca uno de los íconos de modo en la parte superior de la pantalla.
- Toca un modo de captura en la lista que se encuentra debajo de cada uno.



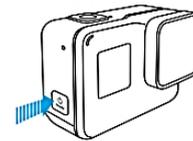
- De ser necesario, selecciona opciones de configuración distintas. Para obtener información detallada sobre las configuraciones, consulta *Modo de video: modos de captura* (página 47), *Modo de foto: modos de captura* (página 59) o *Modo de secuencia: modos de captura* (página 65).

24

CAPTURAR VIDEO Y FOTOS

- Presiona el botón **Obturador** []. La cámara emitirá un pitido y las luces de estado de la cámara parpadearán durante la captura.
- Para detener la captura de video o la secuencia, presiona el botón **Obturador** []. La cámara emitirá un pitido y las luces de estado de la cámara parpadearán rápidamente.

CONSEJO PROFESIONAL: También puedes capturar videos y fotos usando los comandos de voz. Para obtener más información, consulta *Controlar tu GoPro con la voz* (página 32).



AGREGAR ETIQUETAS DE ÉNFASIS

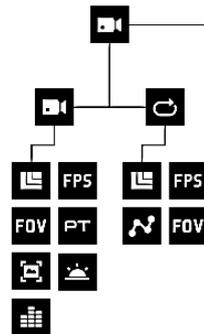
Puedes marcar momentos específicos en el video durante la grabación con HiLight Tags (Etiquetas de énfasis). Las HiLight Tags (Etiquetas de énfasis) te permiten encontrar los mejores momentos destacados para compartir.

Mientras grabas o reproduces un video, presiona el botón **Modo** [].

CONSEJO PROFESIONAL: También puedes agregar HiLight Tags (Etiquetas de énfasis) durante la grabación con aplicación GoPro, Control de voz, o Smart Remote.

25

MAPA DE MODOS Y CONFIGURACIONES



Auto Low Light (Luz baja automática)

Burst (Ráfaga de fotos)

FOV FOV (Campo de visión)

FPS FPS (Fotogramas por segundo)

HDR (Alto rango dinámico)

Interval (Intervalo)

Looping (Grabación en bucle)

Manual Audio Control (Control manual de audio)

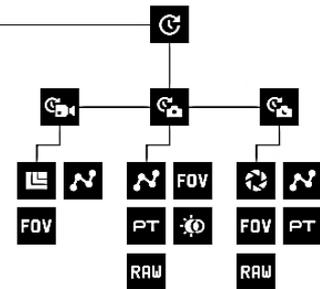
Night Photo (Fotografía nocturna)

Night Lapse Photo (Fotografía secuencial nocturna)

Photo Mode/Photo (Modo de foto/Foto)

22

MAPA DE MODOS Y CONFIGURACIONES



PT Protune

RATE Rate (Velocidad)

RAW RAW Format (Formato RAW)

Resolución (RES)

Shutter (Obturador)

Time Lapse Mode (Modo de secuencia)

Time Lapse Photo (Fotografía secuencial)

Time Lapse Video (Video secuencial)

Video Mode/Video (Modo de video/Video)

Video Stabilization (Estabilización de video)

Video Stabilization (Estabilización de video)

23

Anexo B

Conexión e instalación del Micropiloto Pixhawk 2.1 con Mission Planner

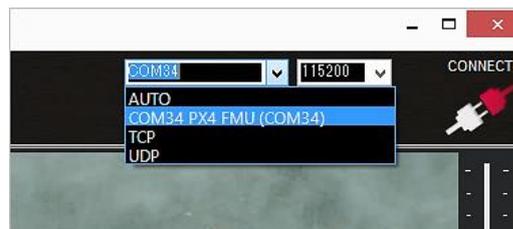
Para proceder con la conexión se requiere que en el computador ya se encuentre instalado el software *Mission Planner*, luego se conectó el piloto automático usando el cable micro USB como se muestra a continuación, utilizando una conexión directa de micro USB del Pixhawk 2.1 al USB del computador.



El sistema operativo instalado en el computador debe detectar e instalar automáticamente el software del controlador correcto para proceder con la instalación del Micropiloto con el software:

✓ **Seleccionar el puerto COM**

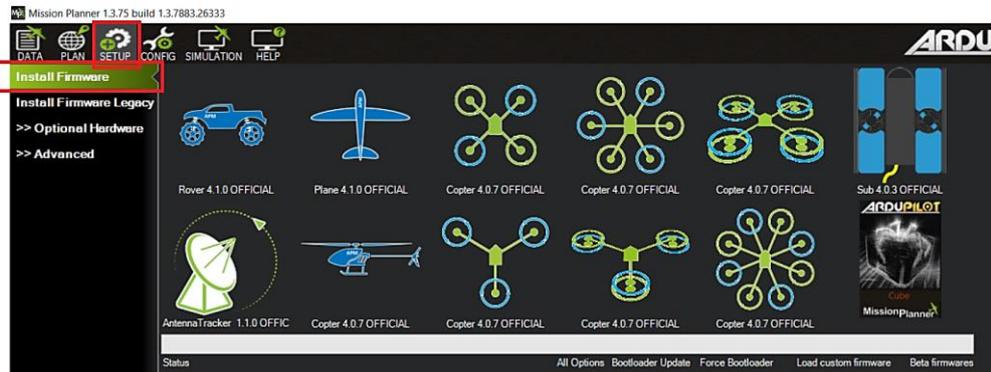
En la interfaz de Mission Planner, seleccionamos el menú desplegable del puerto COM ubicado en la esquina superior derecha de la ventana cerca del botón *CONECTAR*, allí se seleccionó *AUTO* o el número de puerto específico que sea designado para la placa del micropiloto, muy importante es la configuración de la velocidad en baudios donde se asignó el valor de 115200. No se debe presionar *CONECTAR* todavía.



✓ **Instalar firmware**

Para instalar el firmware fue necesario ir al icono de *SETUP* ubicado en la parte superior izquierda de Mission Planner, para buscar la opción de *Install Firmware*,

seleccionamos el icono adecuado que coincida con el modelo de UAV a utilizar para el proyecto de investigación y la instalación iniciará.

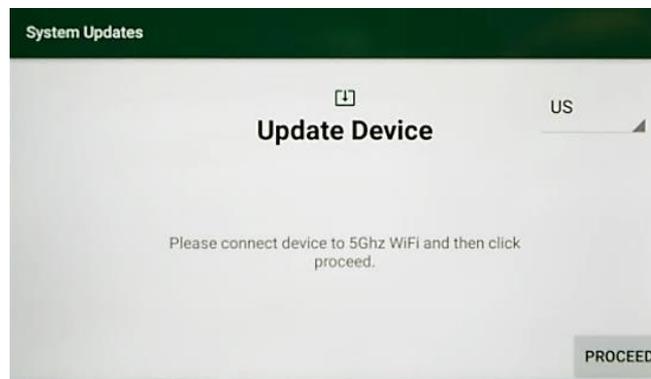


El software detectó automáticamente la placa del autopiloto que se está usando y terminará la instalación del micropiloto Pixhawk 2.1.

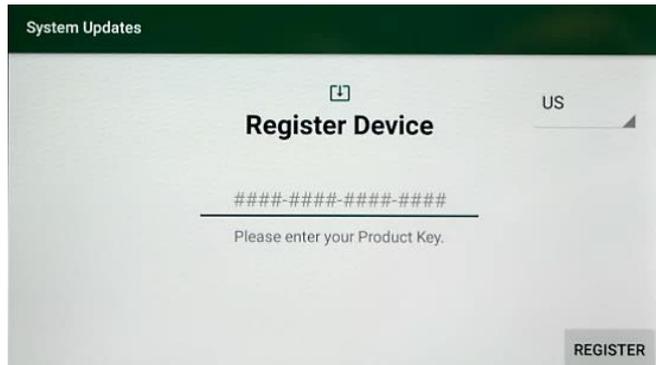
Configuración inicial del Equipo Herelink

Configuración para la Activación del dispositivo Herelink

El dispositivo de recepción en tierra Herelink requirió de la última actualización disponible en el mercado, denominado el *firmware*, este proceso se realizará mediante una conexión 5GHz estable de “WIFI” desde el menú de configuración en la interfaz del equipo como se muestra a continuación:



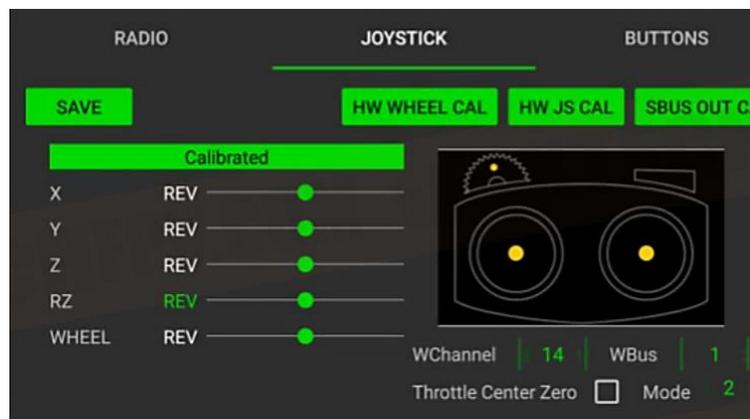
Después de elegir la región correspondiente, se ingresó la clave de activación del producto que consta de 16 dígitos, usualmente en las últimas versiones Herelink la licencia original estará ubicada en la caja y la interfaz de ingreso de la clave se observa:



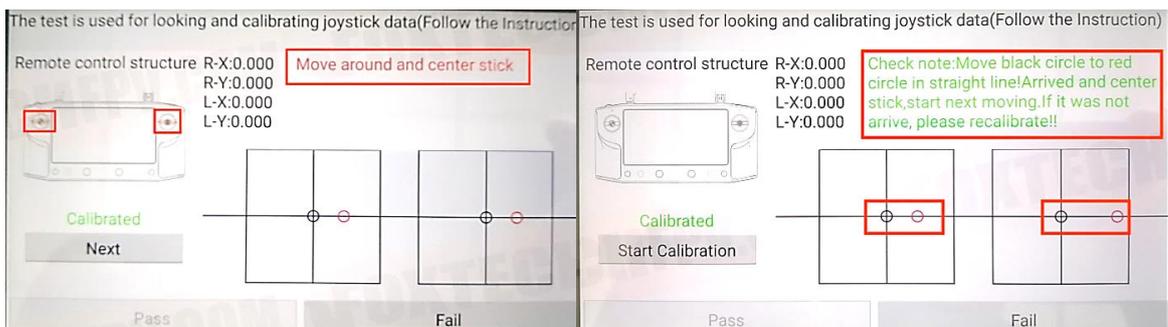
Al terminar de registrarse el dispositivo descargara de forma automática el software y se actualizara a la última versión disponible.

Configuración para el Joystick del control remoto Herelink

Para configurar el joystick del control Herelink, las diversas opciones disponibles se muestran a continuación:

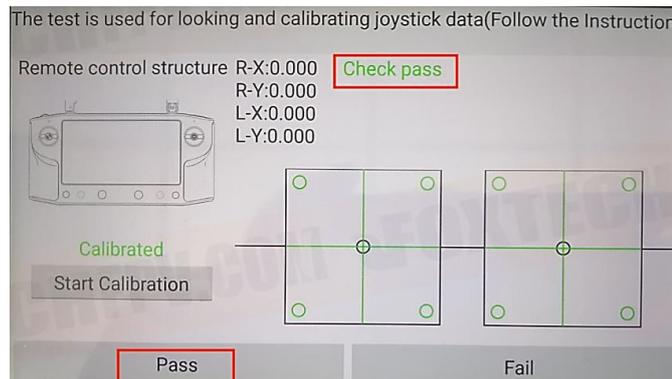


En primera instancia, para calibrar el hardware del joystick, se escogió la opción “*KHW JS CAL*” donde se realizó la calibración del joystick de acuerdo con la flecha y el mensaje que sale a la derecha de la pantalla como se ilustra

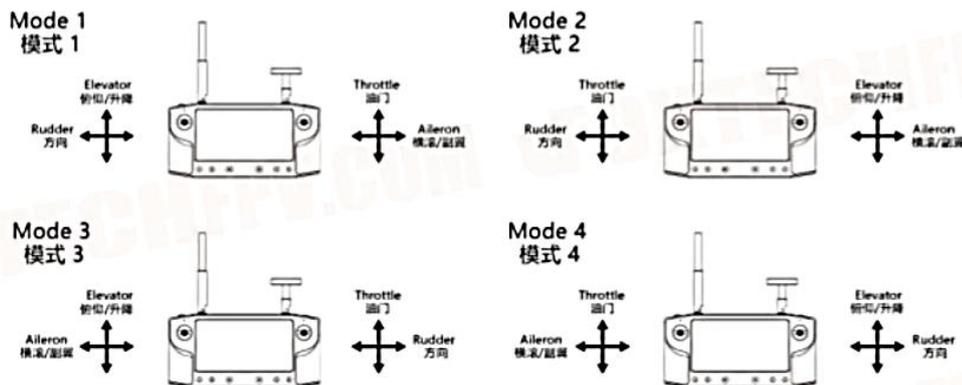
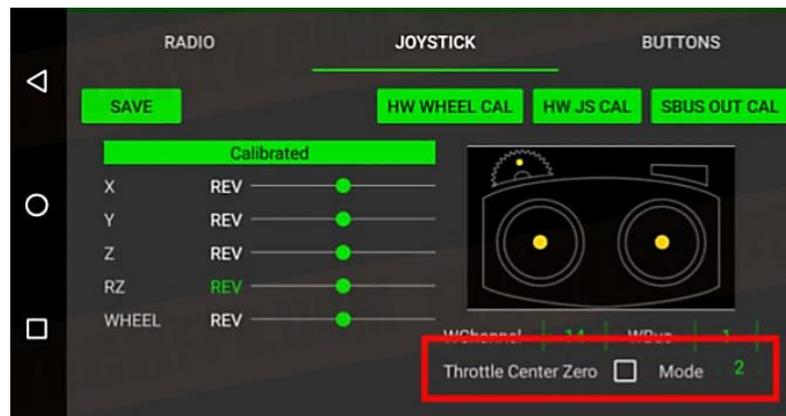


Una vez culminada la calibración del joystick, en pantalla se indicó que fue exitosa la prueba en el botón de “*PASS*” y completamos la calibración del joystick de hardware.

Si existe un problema o la calibración falla durante el proceso, siendo necesario volver a calibrar siguiendo el proceso anterior.

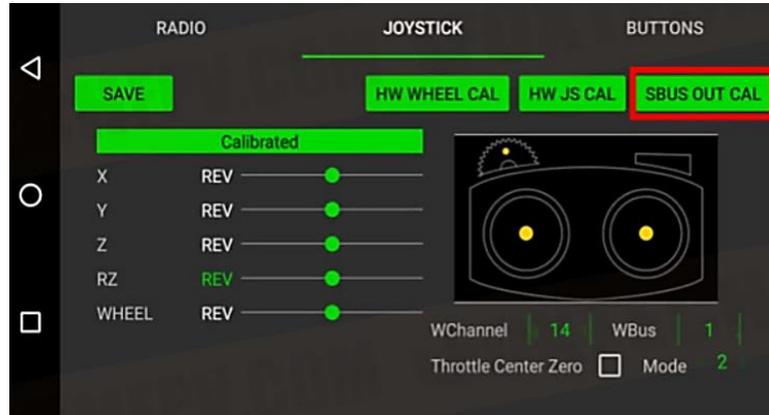


También es muy importante la configuración de los siguientes ajustes, como se muestra la opción de “*Throttle Center Zero*” que significa el centro del acelerador cero, y junto a él, la opción de “*Mode*” que sirve para el ajuste del modo de mano del acelerador. Los modos de mano del acelerador tienen 4 modos en las que varía el movimiento del joystick para el control del UAV y se visualiza a continuación:

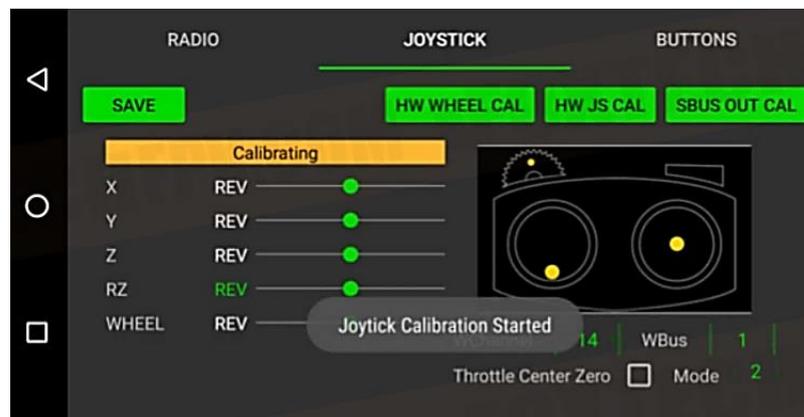


Punto importante de configuración es la calibración de la salida SBUS que significa el protocolo de comunicación para él envío de los movimientos hacia el UAV, entonces

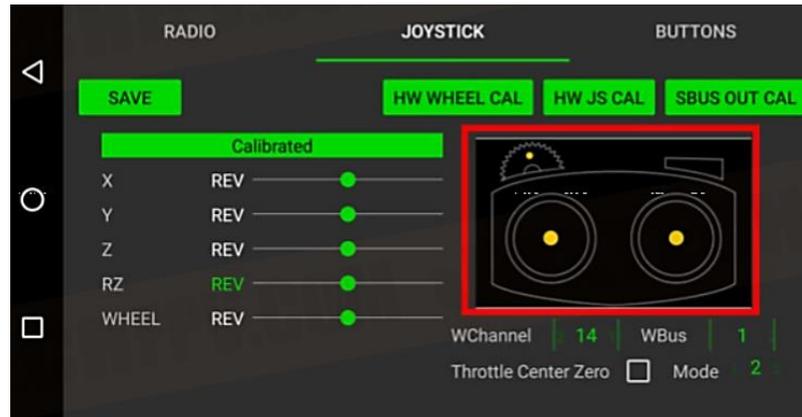
para calibrar la salida SBUS del control remoto Herelink, en la opción "*SBUS OUT CAL*" que está ubicado en la parte derecha superior de la interfaz del control remoto como se ilustra:



Luego, se requiere seguir los pasos de movimiento de la imagen del control remoto ubicado a la derecha de la pantalla para mover el joystick a cada posición correspondiente, según se muestra



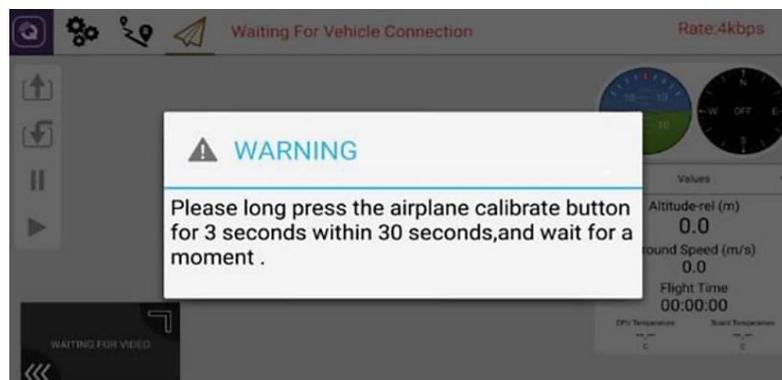
Finalmente, cuando la configuración este realizada, se necesita guardar todo lo efectuado y la configuración estará terminada para la calibración del Joystick como se ilustra:



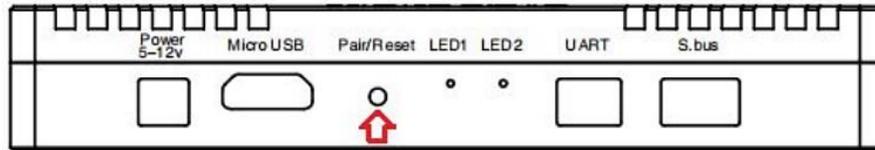
QGroundControl

Configuración de la frecuencia de operación entre la unidad aérea y el equipo Herelink

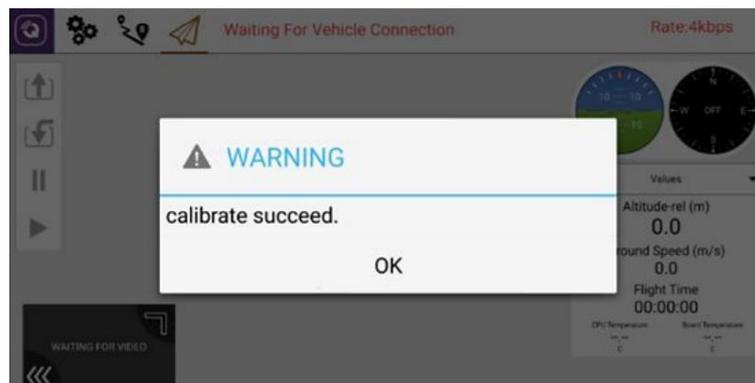
Se requiere encender el control remoto Herelink y los módulos ubicados en el UAV Solar para iniciar con la configuración. En primera instancia ingresamos a la aplicación “QGroundControl” que se encuentra ubicada en la pantalla principal de la interfaz del control Herelink, buscamos la opción “D2D Info” en la pantalla de la aplicación y tocamos en la opción de “Calibrar” para calibrar automáticamente las formas de onda que se visualizan en la Figura, las cuales cambian en tiempo real después de que se establezca la conexión.



Al mismo tiempo, dentro de los 30 segundos que muestra el mensaje de advertencia en la Figura, se debe presionar el botón “Pair/Reset” ubicado en la parte lateral del módulo Herelink durante 3 segundos ubicado en la Unidad Aérea como se muestra en la Figura, a continuación:



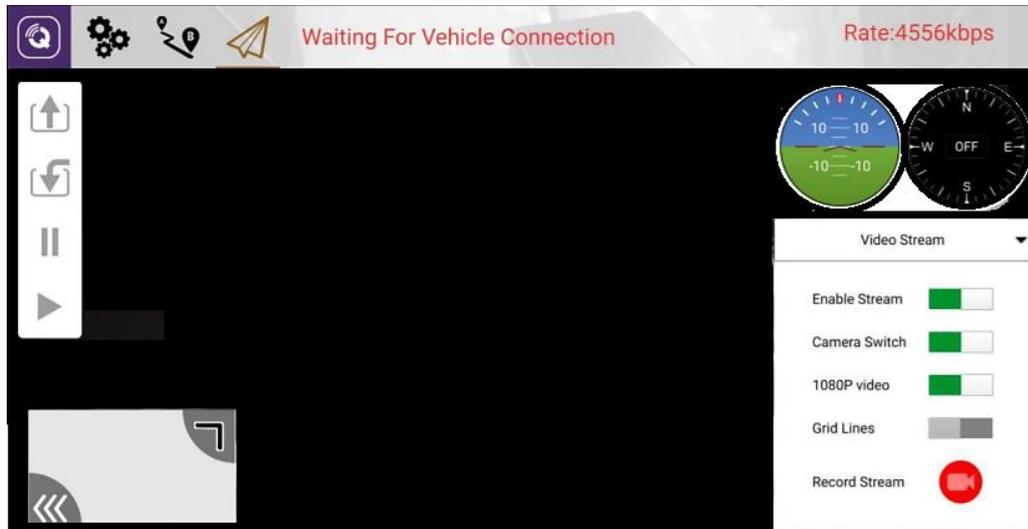
Se requiere esperar y observar el control remoto en la aplicación QGC(QGroundControl), debido a que, si la configuración no resulta exitosa, un mensaje en pantalla nos informara que debemos calibrar nuevamente para tener éxito. Finalmente se mostrará el mensaje de calibración exitosa como se visualiza en la Figura y se dará clic en OK para completar el proceso de configuración, si la calibración solicitada falló, reiniciar el proceso.



ANEXO C

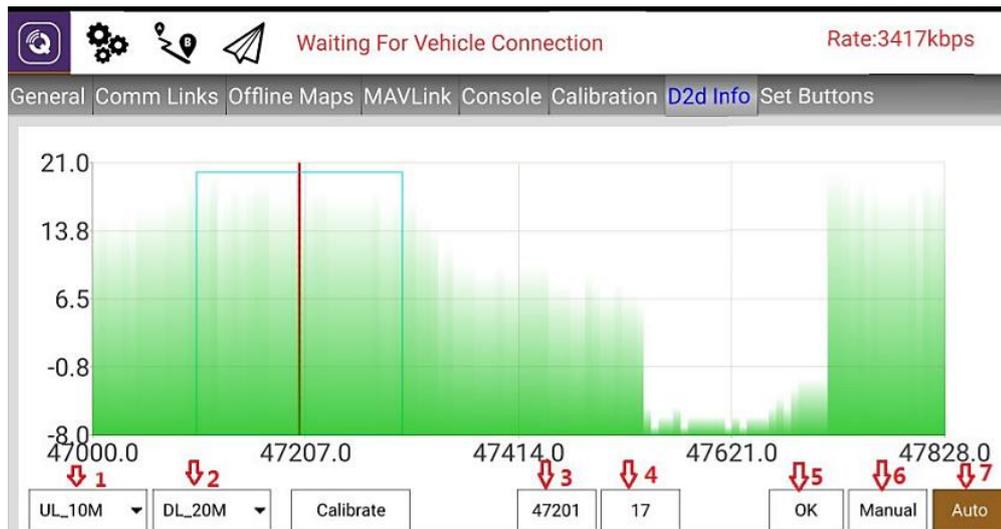
Configuración de transmisión de video

- Haga clic en el icono del avión en la esquina superior izquierda y seleccione Transmisión de video en el menú desplegable de valores a la derecha



Configuración de D2d Link Info

- Haga clic en el icono Q en la esquina superior izquierda y seleccione "D2d info"



- Eje X: punto de frecuencia, la línea roja representa la frecuencia de trabajo actual
- Eje Y: SNR (relación señal-ruido), cuanto mayor es el valor, menor es la interferencia
- Ancho de banda de trabajo ascendente: marca correspondiente 1, compatible con UL_1.4M / UL_10M / UL_20M Menos interferencia, 20M para largas distancias y 1.4M para múltiples escenarios de interferencia

UL_1.4M	<input type="checkbox"/>
UL_10M	<input type="checkbox"/>
UL_20M	<input checked="" type="checkbox"/>

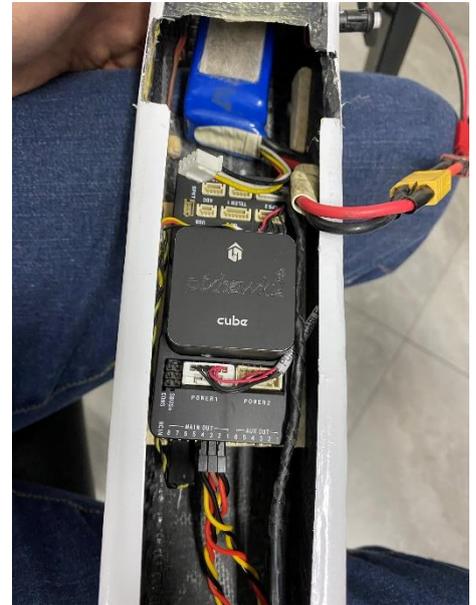
- Ancho de banda de trabajo aguas abajo: correspondiente a la marca 2, compatible con DL_10M / DL_20M Menos interferencia, 20M para largas distancias y 10M para múltiples escenarios de interferencia

DL_10M	<input type="checkbox"/>
DL_20M	<input checked="" type="checkbox"/>

ANEXO D

Calibración de los equipos implementados en Tierra





```

Descargas
iCloud
# revivelo - flasher_mac - flasher_mac - flasher_mac - 80x24
Looking for Device
Found Unit Type: remotunit

Downloading required package...
Latest remotunit release: FRU8128049
Downloading latest release from https://herelinkfw.cubepilot.org/remotunit-FRU8128049.tar.gz
remotunit-FRU8128049.tar.gz: 100% | 493M/493M [11:22<00:00, 754kB/s]
Successfully download package
Extracting package...
100% | 19/19 [00:00<00:00, 2.2617/s]
Successfully extracted package
Flashing Unit...
DO NOT DISCONNECT!!
Flashing partition: 100% | 289/289 [00:00<00:00, 3.260M/s]
Flashing user: 100% | 49.24M/49.24M [00:00<00:00, 49.00M/s]
Flashing boot: 100% | 25.0M/25.0M [00:00<00:00, 44.79M/s]
Splitting Sparse Partition system.img @ /var/folders/j1/w8q9tad1ln_485fPdpnz8
000000/7/mbp22z2f0w
Flashing system 1/19: 100% | 57.0M/55.0M [00:01<00:00, 44.08M/s]
Flashing system 2/19: 100% | 55.2M/55.2M [00:01<00:00, 44.38M/s]
Flashing system 3/19: 100% | 56.0M/55.0M [00:01<00:00, 44.08M/s]

```

ANEXO E

Exposición del UAV Solar incorporado con el Sistema de Comunicaciones y Videovigilancia en la Feria de Aniversario del CIDFAE - Ambato

