



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

“INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN AUTÓNOMA Y SISTEMA DE RECONOCIMIENTO PARA UNA AERONAVE NO TRIPULADA EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA DE LA CIUDAD DE AMBATO”

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

Sublínea de Investigación: Comunicaciones Inalámbricas

AUTOR: Manuel Alcivar Fonseca Torres

TUTOR: Ing. Mg. Santiago Mauricio Altamirano Meléndez

Ambato – Ecuador

Marzo – 2018

APROBACION DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de Investigación sobre el Tema “INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN AUTÓNOMA Y SISTEMA DE RECONOCIMIENTO PARA UNA AERONAVE NO TRIPULADA EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA DE LA CIUDAD DE AMBATO”, del señor, estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los lineamientos generales para la aplicación de Instructivos de Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Marzo 2018

EL TUTOR



Ing. Mg. Santiago Mauricio Altamirano Meléndez

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado “INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN AUTÓNOMA Y SISTEMA DE RECONOCIMIENTO PARA UNA AERONAVE NO TRIPULADA EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA DE LA CIUDAD DE AMBATO”, 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 2018



Manuel Alcivar Fonseca Torres

CC: 0502566979

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, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, Marzo 2018



Manuel Alcivar Fonseca Torres

CC: 0502566979

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Mg. Elizabeth Paulina Ayala Baño e Ing. Mg. Geovanni Danilo Brito Moncayo, revisó y aprobó el Informe Final del Proyecto de Investigación titulado “INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN AUTÓNOMA Y SISTEMA DE RECONOCIMIENTO PARA UNA AERONAVE NO TRIPULADA EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA DE LA CIUDAD DE AMBATO”, presentado por el señor Manuel Alcivar Fonseca Torres de acuerdo al Art. 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de los instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad técnica de Ambato.

Ing. Mg. Elsa Pilar Urrutia Urrutia
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ing. Mg. Elizabeth Paulina Ayala Baño
DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Mg. Geovanni Danilo Brito Moncayo
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi padre y a mi madre por ser mi apoyo, y mis primeros maestros e inculcarme el valor de la paciencia y perseverancia para lograr los superar los obstáculos que se presenten por el trayecto de mi vida y por su cariño sincero que me regalan cada día.

A mis amigos y familiares que ha compartido durante este tiempo cada alegría y tristeza que se ha presentado en el camino dejando recuerdos muy gratos en el corazón.

A los docentes de mi querida Facultad que durante el transcurso de mi periodo académico fueron una guía, apoyo, gracias por sus consejos y ayuda incondicional en la realización del presente proyecto

Manuel Alcivar Fonseca Torres

AGRADECIMIENTO

De todo corazón a Dios por darme la fortaleza para no decaer ante cualquier dificultad y siempre seguir adelante cada día disfrutando de los momentos felices y aprendiendo de los errores cometidos.

A toda mi familia por animarme a continuar siempre y culminar las metas planteadas en mi carrera en especial a mis padres Carmita y Manuel de igual manera a mi querida hermana Johanna por su paciencia, por sus consejos y el infinito cariño mostrado a lo largo de mi vida, por siempre estar en los momentos más difíciles junto a mí.

Mi agradecimiento de todo corazón a, mis amigos y a cada persona que de una u otra manera ha sido parte de mi vida y que siempre me han apoyado y brindando su amistad sincera y el apoyo constante para la consecución de este proyecto.

A mi tutor Ing. Santiago Altamirado por compartir su conocimiento y don de persona durante mi vida académica en la universidad y especialmente en este trabajo; A todos los miembros que conforman el CIDFAE Ambato por permitirme realizar este proyecto en sus instalaciones.

Manuel Alcivar Fonseca Torres

ÍNDICE GENERAL

Portada

| | |
|----------------------------------------------|-----|
| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | i |
| APROBACION DEL TUTOR..... | i |
| AUTORÍA..... | ii |
| DERECHOS DE AUTOR | iii |
| APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| ÍNDICE TABLAS..... | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xii |
| RESUMEN..... | xiv |
| ABSTRAC | xv |
| INTRODUCCIÓN | xvi |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| EL PROBLEMA | 1 |
| 1.1 Tema de Investigación | 1 |
| 1.2 Planteamiento del problema..... | 1 |
| 1.3 Delimitación..... | 3 |
| 1.4 Justificación..... | 4 |
| 1.5 Objetivos | 5 |
| 1.5.1 General..... | 5 |
| 1.5.2 Específicos | 5 |
| CAPITULO II | 6 |
| MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| 2.1 Antecedentes Investigativos..... | 6 |
| 2.2 Fundamentación Teórica..... | 8 |
| 2.2.1 Telecomunicación..... | 8 |
| 2.2.2 Tipos de Telecomunicaciones..... | 8 |
| 2.2.3 Redes de Comunicaciones..... | 8 |
| 2.2.4 Comunicaciones Inalámbricas..... | 9 |
| 2.2.5 Propagación de ondas..... | 12 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.6 Principios básicos de vuelo | 13 |
| 2.2.7 Ejes de un avión | 13 |
| 2.2.7 Fuerzas que actúan en vuelo | 14 |
| 2.2.8 Vehículos Aéreos no Tripulados | 16 |
| 2.2.9 Segmentos de Operación Definidos de los UAV | 17 |
| 2.2.10 Plataforma de vuelo: | 17 |
| 2.2.11 Partes De Un UAV | 18 |
| 2.2.12 Clasificación UAV | 18 |
| 2.2.13 Ventajas de los UAV Mini | 19 |
| 2.2.14 Configuración general de un UAV | 20 |
| 2.2.15 Sistema de control de vuelo | 25 |
| 2.2.16 Estación de mando y control en tierra (EMCT) o SHELTER | 26 |
| 2.2.17 Carga Útil | 27 |
| 2.2.18 Sistemas De Sensores | 27 |
| 2.2.19 Sistema de Comunicaciones | 27 |
| 2.2.20 Proyectos de código abierto | 28 |
| 2.2.21 Modos De Vuelo Del Firmware APM: | 30 |
| 2.2.22 Autonomía y toma de decisiones | 30 |
| 2.2.23 Autopiloto | 31 |
| 2.2.24 Autopilotos en el mercado | 31 |
| 2.2.25 Fuentes de energía para UAV | 32 |
| 2.2.26 Señal de video aérea | 34 |
| 2.2.27 Análisis Mundial del Estado de las Regulaciones Aplicables a los UAV'S | 35 |
| 2.3 Propuesta de Solución | 35 |
| CAPITULO III | 36 |
| METODOLOGÍA | 36 |
| 3.1 Modalidad de Investigación | 36 |
| 3.2 Recolección de Información | 36 |
| 3.3 Procesamiento y Análisis de Datos | 37 |
| 3.4 Desarrollo del Proyecto | 37 |
| CAPÍTULO IV | 38 |
| DESARROLLO DE PROPUESTA | 38 |
| 4.1 Introducción | 38 |

| | | |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2 | Análisis de la entrevista | 38 |
| 4.3 | Interpretación de los resultados de la entrevista | 41 |
| 4.4 | Requerimientos para el desarrollo..... | 42 |
| 4.5 | Diseño Detallado..... | 42 |
| 4.6.1 | Selección De Motor..... | 45 |
| 4.7.1 | Selección del sistema de control Autopiloto..... | 47 |
| 4.7.4 | Telemetría 3DR..... | 50 |
| 4.7.5 | Selección de baterías | 51 |
| 4.7.9 | Análisis de Sistema de Reconocimiento del UAV Mini..... | 53 |
| 4.7.10 | Análisis FODA del Sistema de Reconocimiento Aéreo..... | 55 |
| 4.8.1 | Configuración del autopiloto..... | 56 |
| 4.8.2 | Configuración Radio Control en Mision Planer | 62 |
| 4.8.3 | Adquisición y visualización de imágenes de video..... | 64 |
| 4.8.4 | Control de Cámara | 64 |
| 4.8.5 | Diagramas y Arquitecturas del Sistema UAV Mini..... | 65 |
| 4.3 | Implementación..... | 70 |
| 4.9.1 | Pruebas y Análisis | 70 |
| 4.4.2 | Prueba 2: Funcionamiento autónomo y obtención de datos por telemetría | 72 |
| 4.4.3 | Prueba 3: Funcionamiento del sistema de reconocimiento | 74 |
| 4.4.4 | Cálculo de tiempo de vuelo del UAV Mini..... | 76 |
| 4.4.5 | Análisis Económico del Sistema de Reconocimiento..... | 78 |
| | CAPÍTULO V | 81 |
| | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 81 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 84 |
| | ANEXOS | 88 |
| | ANEXO A: Entrevista dirigida al Especialista del Área de Estructuras Aerodinámicas del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana..... | 88 |
| | ANEXO B: Líneas de código de interfaz FPV | 90 |
| | ANEXO C: Manual de Instalación y Uso de la interfaz FPV Colibrí | 95 |
| | ANEXO D: Formulario..... | 102 |
| | ANEXO E: Datos Equipos..... | 104 |
| | ANEXO F: Hoja de especificaciones técnicas de la placa Arduino NANO..... | 118 |

| | |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| ANEXO G :Material fotográfico del desarrollo del proyecto..... | 119 |
| GLOSARIO TÉCNICO DE ACRÓNIMOS | 121 |

ÍNDICE TABLAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 2. 1 Tipo de comunicaciones Inalámbricas | 9 |
| Tabla 2. 2 Clasificación de los UAV por sus capacidades de vuelo | 19 |
| Tabla 2. 3 Tipos de ala por forma plana..... | 21 |
| Tabla 2. 4 Perfiles NACA | 22 |
| Tabla 2. 5 Perfiles Alares Convencionales | 23 |
| Tabla 2. 6 Superficies de Cola | 25 |
| | |
| Tabla 4. 1 Descripción general del peso del sistema | 45 |
| Tabla 4. 2 Especificaciones de motores eléctricos [46] | 46 |
| Tabla 4. 3 Comparación de Autopilotos | 48 |
| Tabla 4. 4 Comparación Tipos de Batería..... | 51 |
| Tabla 4. 5 Consumo de corriente A bordo | 52 |
| Tabla 4. 6 Comparación de equipos de transmisión de video..... | 53 |
| Tabla 4. 7. Comparación técnica entre cámaras de video | 54 |
| Tabla 4. 8 Resumen de comunidades open-source de UAVs más importantes | 57 |
| Tabla 4. 9 Rangos valores de señales..... | 66 |
| Tabla 4. 10 Conexiones eléctricas y electrónicas del prototipo | 70 |
| Tabla 4. 11 Planificación de vuelo | 72 |
| Tabla 4. 12 Resultados prueba de alcance de transmisión de video | 75 |
| Tabla 4. 13 Equipos Facilitados por el CIDFAE | 78 |
| Tabla 4. 14 Análisis del Presupuesto del desarrollo del proyecto | 79 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 2. 1 Elementos de un sistema de radiocomunicaciones | 10 |
| Fig. 2. 2 Giros de un avión en torno a sus ejes..... | 14 |
| Fig. 2. 3 Fuerzas que Actúan en Vuelo [18] | 14 |
| Fig. 2. 4 Perpendicularidad en la sustentación [17] | 15 |
| Fig. 2. 5 Dirección y sentido de peso [18] | 15 |
| Fig. 2. 6 Dirección y sentido del empuje [19]..... | 16 |
| Fig. 2. 7 Dirección y Sentido y Arrastre contra velocidad [19] | 16 |
| Fig. 2. 8 Segmento de Vuelo y Segmento Tierra | 17 |
| Fig. 2. 9 UAV Mini [18] | 20 |
| Fig. 2. 10 Partes del perfil alar. [27] | 22 |
| Fig. 2. 11 Perfil alar FX63-120. [28] | 23 |
| Fig. 2. 12 Ala Rectangular y tipo de perfil utilizado en el UAV Mini CIDFAE. | 24 |
| Fig. 2. 13 Superficie Cola del UAV Mini CIDFAE..... | 25 |
| Fig. 2. 14 Radio transmisor y receptor Futaba del CIDFAE..... | 26 |
| Fig. 2. 15 Estructura funcional de autopiloto de UAV. [35]..... | 31 |
| | |
| Fig. 4. 1 Categorías para el desarrollo del proyecto..... | 43 |
| Fig. 4. 2 Forma del perfil mejorando para reducir peso..... | 44 |
| Fig. 4. 3 Forma recta aumentada su nivel de planeación (configuración del ala)..... | 44 |
| Fig. 4. 4 Forma de la cola en T reducido peso | 45 |
| Fig. 4. 5 Turnigy G25..... | 47 |
| Fig. 4. 6 Pixhawk PX4 [47]..... | 48 |
| Fig. 4. 7 Diagrama Interno de del Pixhawk [48]..... | 49 |
| Fig. 4. 8 Dispositivo GPS 3D Robotics [49]..... | 50 |
| Fig. 4. 9 Dispositivo 3DR - ESC..... | 50 |
| Fig. 4. 10 Dispositivos de Telemetria 3DR..... | 51 |
| Fig. 4. 11 Multi Star 4S-5200 mA-14 | 52 |
| Fig. 4. 12 Sistema de transmisión de video Ts 832 [51]..... | 55 |
| Fig. 4. 13 Decodificador RCA a NTFS | 55 |
| Fig. 4. 14 Análisis FODA | 56 |
| Fig. 4. 15 Ventana de datos de vuelo (Flight data) | 58 |
| Fig. 4. 16 Ventana del plan de vuelo (solo con módulo telemetría). | 59 |
| Fig. 4. 17 Ventana para la configuración Inicial (firmware)..... | 59 |
| Fig. 4. 18 Calibración Brújula..... | 60 |
| Fig. 4. 19 Calibración Acelerómetro..... | 61 |
| Fig. 4. 20 Ventana para la configuración especial (parámetros cámara, unidades, idioma, sensores)..... | 61 |
| Fig. 4. 21 Ventana para la simulación vuelo | 62 |
| Fig. 4. 22 Configuración del radio | 63 |
| Fig. 4. 23 Interfaz desarrollada en Visual Studio Community..... | 64 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 4. 25 Diagrama físico de control de cámara. | 64 |
| Fig. 4. 26 Simulación del transmisor del control de cámara..... | 65 |
| Fig. 4. 27 Simulación del transmisor del control de cámara..... | 65 |
| Fig. 4. 28 Arquitectura de software de UAV | 66 |
| Fig. 4. 29 Diagrama de flujo de funcionamiento del sistema..... | 67 |
| Fig. 4. 30 Diagrama de flujo de la interfaz de adquisición de imágenes | 68 |
| Fig. 4. 31 Arquitectura de hardware estación base parte Visual Studio. | 69 |
| Fig. 4. 32 Arquitectura de la estación base parte Mission Planner. | 69 |
| Fig. 4. 33 Prueba de control de velocidad de motor con receptor RC y ESC | 71 |
| Fig. 4. 34 Control de velocidad de motor a través de señales PWM del autopiloto Pixhawk..... | 71 |
| Fig. 4. 35 Puntos de trayectoria a seguir en la misión en la pista del CIDFAE Ambato | 73 |
| Fig. 4. 36 Prototipo UAV Mini ejecutando la misión..... | 73 |
| Fig. 4. 37 Velocidad en eje x y eje y en visualizador de archivos log APM | 74 |
| Fig. 4. 38 Adquisición de datos en la interfaz gráfica..... | 76 |

RESUMEN

En este trabajo de investigación se presenta la implementación de un sistema de reconocimiento visual utilizando un prototipo de vehículo aéreo no tripulado (UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*) Mini táctico de ala fija de vuelo autónomo en conjunto con una red de sensores con comunicación inalámbrica; con la implementación de tecnología de vista en primera persona (*FPV - First Person View*) se mejoró la autonomía de vuelo de un UAV Mini aprovechando los datos adquiridos para un reconocimiento del área de vuelo que conjuntamente con las características maniobrabilidad y respuesta rápida del piloto autónomo del prototipo pueda ser una herramienta útil para vigilancia o monitoreo de zonas específicas. El control se realiza a través de un controlador de sistema de código abierto (*OSS - Open Source Sistem*) Pixhawk como autopiloto con una respuesta rápida a cualquier eventualidad en corrientes de aire que afecten a la sustentación del ala, considerada una perturbación externa que provoca cambios en la altitud, modificando el comportamiento del controlador reduciendo la frecuencia de la señal PWM (*Pulse Width Modulation – Modulación por ancho de pulso*) enviada al controlador electrónico de velocidad del motor (*ESC - Electronic Speed Contoller*). El prototipo es controlado a través del radio para el despegue y aterrizaje una vez en el aire se lo coloco en modo volver al inicio (*RTL - Return To Launch*) al estabilizar los sensores se activó el modo autónomo e inició en misión; el sistema consta de una interface de visualización en tiempo real desarrollada en CSharp (C#) y de control Mission Planner donde se calibro sensores y programo la ruta de misiones de vuelo; este sistema puede ser aplicado en zonas de riesgo, zonas industriales y en diversas áreas de la actividad humana, con la finalidad de obtener información gráfica en tiempo real de una zona en monitoreo.

Palabras Clave: UAV Mini, FPV, Video tiempo real, Sensores, Ala Fija, Visual Studio CSharp, Mission Planner.

ABSTRAC

This research presents the implementation of a visual recognition system using a prototype of an unmanned aerial vehicle (UAV -Unmanned Aerial Vehicle). A fixed-wing autonomous flight tactical tactic in conjunction with a sensor network with wireless communication; with the implementation of first person view technology (FPV - First Person View) the flight autonomy of a UAV Mini was improved, taking advantage of the acquired data for a reconnaissance of the flight area that together with the maneuverability and quick response characteristics of the autonomous pilot The prototype can be a useful tool for monitoring or monitoring specific areas.

The control is taking out through an open source system controller (OSS - Open Source System) Pixhawk as an autopilot with a rapid response to any eventuality in air currents that affect the lift of the wing, considered an external disturbance that causes changes in the altitude, it modifying the behavior of the controller by reducing the frequency of the PWM signal (Pulse Width Modulation) sent to the electronic motor speed controller (ESC - Electronic Speed Contoller). The prototype is controlled through the radio for take off and landing. Once in the air, it is put on in to start mode (RTL - Return To Launch).

By stabilizing the sensors, the autonomous mode was activated to start on mission; the system consists of a real-time visualization interface developed in CSharp (C #) and Mission Planner control where sensors are calibrating and the route of flight missions be programmed; This system can be applied in risk areas, industrial zones and in various areas of human activities, in order to obtain real-time graphic information of a zone under monitory.

Keywords: *UAV Mini, FPV, Real time video, Sensors, Fixed Wing, Visual Studio CSharp, Mission Planner.*

INTRODUCCIÓN

El uso de los UAV, señales radio frecuencia y telemetría para procesos de reconocimiento constituyen una de las opciones más convenientes para la obtención de datos e imágenes para el monitoreo de zonas de relevancia, zonas de riesgo, zonas industriales o militares. Estos sistemas pueden ser aplicados en diversas áreas de la actividad y seguridad humana como estudios científicos, tácticas de rescate y control de áreas de riesgo, ya que al utilizar un UAV permite realizar misiones de vuelo de piloto automático sin poner en riesgo la integridad del piloto u operador; se obtiene imágenes y datos de sitios donde el personal humano o equipo terrestre no puede acceder. Esta tecnología permite vincular varios módulos de comunicación y control para la transmisión de imágenes y obtención de información cualitativa y cuantitativa del estado real, lo que permite que el tiempo de respuesta sea más rápido que los mecanismos habituales, ayudando a fijar políticas de acción, y mejorar el uso del recurso humano para tratar de controlar y remediar la emergencia.

El presente trabajo de titulación se encuentra estructurado de la siguiente forma:

En el primer capítulo se fijan los objetivos que se alcanzaron y el método de investigación usado para cumplir con los objetivos propuestos.

En el segundo capítulo se expone los trabajos relacionados publicados en revistas científicas, documentos técnicos, acerca de redes de sensores inalámbricos, sistemas de video vigilancia, y sistemas de comunicación. También se realiza una breve conceptualización de los temas que forman parte de este trabajo de titulación para tener una visión más clara de las estructuras que componen el mismo.

En el tercer capítulo se realiza la modalidad de investigación como se recolectara la información necesaria para desarrollar el proyecto.

En el cuarto capítulo se muestra la implementación del sistema y el funcionamiento del hardware y software que lo componen además de las pruebas de laboratorio realizadas durante el proceso de implementación, detallando los resultados obtenidos en cada uno de los procesos efectuados.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas al tomar en cuenta los problemas y dificultades que se han encontrado en el transcurso del trabajo de titulación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema de Investigación

“Integración de un sistema de navegación autónoma y sistema de reconocimiento para una aeronave no tripulada en el centro de investigación y desarrollo de la fuerza aérea ecuatoriana de la ciudad de Ambato”.

1.2 Planteamiento del problema

Los vehículos aéreos no tripulados (*UAV- Unmanned Aerial Vehicle*), más conocidos como drones, no son nada nuevo, debido a su controvertido uso en conflictos como Afganistán y Pakistán ha sido motivo de numerosos debates y comentarios; en los últimos años el desarrollo de nuevos y mejorados sistemas tecnológicos a nivel mundial, ha permitido la aparición de revolucionarios dispositivos como inteligencia artificial, visión artificial, nanotecnología electrónica, comunicaciones satelitales de percepción remota implementando reconocimiento aéreo (inspección desde el aire de determinadas zonas, normalmente requerido en labores de espionaje y de inspección con la adquisición de datos en tiempo real), o el uso de la fotogrametría (técnica para determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales de seres vivos a partir de imágenes fotográficas con software de reconocimiento); existe una amplia variedad de formas, tamaños, configuraciones y características en el diseño de los UAV, a diferencia de sus inicios eran simplemente aviones pilotados remotamente, la fuerza aérea de los EEUU en alianza con la compañía Boeing, transformarán varios cazas F-16 en drones, que son utilizados en

entrenamiento y que posteriormente para defensa nacional en conflictos bélicos para localizar , derribar aviones de combate enemigos como resguardar sus pasos fronterizos a igual que Grecia, Italia, España, Suecia y Suiza. [1]

En América Latina se empieza a despegar la aplicación y desarrollo de los UAV, con gran esperanza, aunque todavía de una manera muy incipiente y primitiva, la necesidad de tecnología obliga a innovar y producir nueva tecnología que se ajuste y compita con la existente a nivel mundial para ello los mandatarios y altas esferas gubernamentales se muestran optimistas y brindan apoyo a esta iniciativa ya que para lograr el objetivo de producir UAV en serie, para alcanzar este fin se necesita una gran inversión en desarrollo tecnológico y capacidad operativa [2].

Según el Consejo de Defensa Suramericano (UNASUR) integrado por los Ministros de la Defensa del continente, manifiestan que en los países latinos existen aproximadamente 450 organizaciones legalmente registradas, entre empresas privadas, sectores gubernamentales y académicos que están involucrados en tareas de investigación y producción de UAV [3], al notar el limitado número de centros especializados en el manejo de esta tecnología hace que los costos de los UAVs sean muy altos, por lo que adquirir estos vehículos es muy complicado en naciones en vías de desarrollo.

El centro del país se caracteriza por albergar a una de las más importantes instituciones a nivel nacional, este es el caso del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE) que es el único centro de investigación en esta área que tiene el país y que en convenio con varias universidades e instituciones públicas y gubernamentales aporta al desarrollo científico y tecnológico de la nación, hasta el momento se han llevado a cabo varios proyectos entre ellos la Plataforma de Gran Altitud (PGA) [4], y la creación de varios prototipos de aviones no tripulados UAV Mini que al ser de menor tamaño y poca carga útil de transporte fueron desarrollados hasta las pruebas aerodinámicas de cabina, forma de ala y cola, debido a sus necesidades los proyectos desarrollados deben cumplir una ruta específica la cual es manipulada desde la estación base, el avión debe desplazarse a una cierta velocidad, debemos considerar que en nuestro país uno de los problemas para las comunicaciones es la topografía del lugar que afecta en la línea de vista que existe entre la estación base y el vehículo aéreo no

tripulado, estas variaciones de la señal producen un retardo y una pérdida de los datos de control del avión esto conlleva a limitar las misiones de larga distancia y evitar accidentes fatales además de una pérdida económica para el Centro de Investigación.

La inexistencia de un sistema que permita a los prototipos realizar misiones de forma autónoma sin necesidad de un control desde estación base conlleva a la falta de información para el control de los parámetros de vuelo como velocidad, variaciones del viento, altitud, dirección; además la falta de un sistema de reconocimiento de la zona de misión que permita verificar la situación de la nave en vuelo como de la ruta que está siguiendo, y envíe información en tiempo real a la estación base en tierra para evitar inestabilidad en la navegación de la aeronave durante las prácticas de prueba.

De allí, nace la necesidad de implementar un sistema autónomo de navegación y reconocimiento del área de misión que permita enviar la información de vuelo a la estación base en tiempo real y de esta manera asegurar la supervivencia de la aeronave y el cumplimiento de la misión en el aire.

1.3 Delimitación

Delimitación De Contenido.

Área Académica de la Carrera: Comunicaciones

Línea de Investigación: Tecnologías de la Información y de la
Comunicación.

Sub línea de Investigación: Comunicaciones Inalámbricas

Delimitación Espacial.

La presente investigación se realizó en la ciudad de Ambato, con la colaboración del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE) de la ciudad de Ambato sector Izamba.

Delimitación Temporal.

La presente investigación se desarrolló en el periodo Septiembre 2017 - Marzo 2018 de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

1.4 Justificación

El Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE) posee una línea base en el diseño y construcción de aeronaves no tripuladas, tienen prototipos de 3 metros de span, que no han continuado con su desarrollo ya que solo contribuyeron para las pruebas de las diferentes líneas de investigación de UAV más robustos.

Al no tener un sistema de navegación autónoma en el prototipo de UAV Mini no se puede tener una administración de rutas de monitoreo, debido a esto se hace evidente la necesidad de integrar un sistema autónomo de reconocimiento que integre las funciones de envío y recepción de datos de velocidad y posicionamiento del vehículo; la creación, almacenamiento y carga de rutas de monitoreo; y el control y visualización de video en tiempo real, para el apoyo en las labores de reconocimiento aéreo en el CIDFAE.

Los beneficios del sistema se analizaron dentro de tres factores: el tecnológico, social y económico; como factor tecnológico se aprecia la mejor integración de funciones en los diferentes prototipos UAV Mini tales como: el reconocimiento mediante una cámara análoga, el control y manejo de rutas de monitoreo y la visualización de datos de posicionamiento y velocidad a través de indicadores gráficos.

Dentro del factor económico se optimiza el uso de recurso humano y tecnológico debido a una mejor distribución de funciones, de esta manera el control de un UAV Mini, será descentralizado y gestionado por varios perfiles de usuarios según la jerarquía establecida. Por último en la presente investigación se realizó con el interés de dar soluciones a la pérdida de los datos de control del avión y evitar accidentes fatales además de una pérdida económica para el centro de investigación por no tener un sistema adecuado de navegación en los prototipos UAV Mini, de esta manera el departamento de producción y operaciones de vuelo, mejorarán a la migración a nuevas tecnologías de navegación para aeronaves de reconocimiento, en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana CIDFAE, el cual fue el beneficiario en la realización de este proyecto.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

Integrar un sistema de navegación autónoma y sistema de reconocimiento para una aeronave no tripulada en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana de la ciudad de Ambato.

1.5.2 Específicos

- Analizar los factores necesarios para el funcionamiento y navegación de una aeronave no tripulada Mini.
- Diseñar un sistema de navegación autónoma y sistema de reconocimiento para una aeronave no tripulada Mini.
- Implementar el sistema de navegación autónoma y sistema de reconocimiento para una aeronave no tripulada Mini.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos

Revisando los repositorios digitales, se encontraron temas de tesis y artículos académicos de diferentes Universidades y Politécnicas, en los siguientes temas.

En la investigación realizada por Joao Sebastián Jácome Aguiño, en el 2012 diseñó el “Sistema electrónico para el control del aterrizaje de emergencia de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) del centro de investigación y desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE) de la ciudad de Ambato”, utilizando el circuito integrado MT8870 que cumple la función de decodificador de tonos DTMF al implementar el sistema garantizo un vuelo más adecuado de los UAV’s, ya que se tiene la plena seguridad de obtener una buena recuperación de la misma, en caso de escenarios críticos de la aeronave. [5]

En el año 2012, Nancy Piedad Rodríguez Sánchez realizó el “Estudio estructural del ala de un vehículo aéreo no tripulado para la optimización de su peso en el centro de investigación y desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana”, describe el desarrollo diseño de la estructura alar del vehículo aéreo no tripulado UAV mediante software, acorde a la misión de la aeronave y parámetros generales de diseño mecánico, la estructura está diseñada en materiales aeronáuticos, en este proyecto se empleó la fibra de carbono y resinas, con el propósito de asegurar la resistencia estructural y el menor peso posible, mediante simulaciones en software *SolidWorks* y *Flow Simulation* la investigación ayudo a reducir el peso en el diseño de ala doble lo ayudo a incrementar la carga útil. [6]

La investigación realizada por David Tarquino Moreta Supe y Gonzalo Paúl Salazar Paredes en el año 2015, los mismos que realizaron el “Diseño e implementación de un sistema electrónico de prevuelo para el autopiloto Pelicano desarrollado en el centro de investigación y desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana CIDFAE ubicada en el sector Izamba de la ciudad de Ambato”, se utilizó radios módems los cuales establecen una comunicación inalámbrica entre la computadora con el UAV-0, para el procesamiento, adquisición, monitoreo, comprobación del estado de las superficies de control de vuelo del UAV se utilizó Visual Studio C#. Para el almacenamiento de los datos de los sensores del UAV-0 se lo realizó con SQL Server, con el desarrollo de éste sistema de prevuelo se garantizará que el UAV-0 Pelicano se encuentre óptimo para las tareas de vuelo programadas, reduciendo considerablemente los riesgos durante el período de vuelo además sistema de prevuelo dispone de un instalador, con esto se consigue que el usuario pueda usarlo fácilmente desde cualquier computador. [7]

En el año 2015, el Ricardo Daniel Fiallos Castillo desarrolló el tema “Proceso de ensamblaje de aviones no tripulados para el centro de investigación y desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE)”, Para la simulación del modelo presentado se utiliza el software Arena, en donde se enfoca en el diseño de una línea de ensamblaje para la fabricación en serie de aviones no tripulados tipo Gavilán III, cuya propuesta mejoro los tiempos en procesos estandarizados para la construcción de este modelo, además del proceso de distribución de planta adecuada para llevar a cabo el proceso productivo. [8]

El trabajo de investigación realizado por Jorge Alberto Pardo Ibarra, en el año 2016, cuyo tema fue “Implementación de un sistema de comunicación inalámbrico entre un UAV/RPA con su estación terrena para la transmisión de imágenes térmicas en tiempo real y su utilización en el control de incendios”, con el software de estación terrena Mission Planner, APM Planner 2, conjuntamente con radio transmisores y receptores de video se obtendrá imágenes tomadas por un UAV en vuelo, con la configuración de paletas WhiteHot, BlackHot, Fusion y GreenHot para la adquisición de imágenes en el espectro visible o infrarrojo en la práctica el límite de distancia para recibir video infrarrojo en tiempo real de forma óptima fue alrededor de los 20 metros, por el resultado obtenido permite abordar en tareas como control

de incendios, inspección, vigilancia o búsqueda que son de interés en múltiples campos. [9]

2.2 Fundamentación Teórica

2.2.1 Telecomunicación.

El termino telecomunicación cubre todas las formas de comunicación a distancia, incluyendo radio, telegrafía, televisión, telefonía, transmisión de datos e interconexión de computadoras a nivel de enlace ya que es toda transmisión, emisión o recepción de señales como: datos, imágenes, voz, sonidos o información de cualquier naturaleza que se efectúa a través de medios ópticos, físicos u otros sistemas electromagnéticos como los sistemas de radio enlace. [10]

2.2.2 Tipos de Telecomunicaciones.

En telecomunicaciones existen diferentes modos de transmitir la información los mismos que se mencionan a continuación.

- **Telecomunicaciones Terrestres:** Son aquellas que utilizan un medio de propagación físico como pueden ser cables de cobre, cable coaxial, fibra óptica, par trenzado, etc.
- **Telecomunicaciones Radioeléctricas:** Son aquellas que utilizan la atmosfera terrestre para transmitir las señales por medio de ondas electromagnéticas, ondas de radio, microondas; esta atmosfera actúa como medio que depende de la frecuencia a la cual se transmite. [7]
- **Telecomunicaciones Satelitales:** Son aquellas comunicaciones que donde las estaciones de transmisión se encuentran fuera de la atmosfera y se pueden comunicar entre estaciones espaciales y entre estaciones terrenas con espaciales. [11]

2.2.3 Redes de Comunicaciones.

Una red de comunicaciones es un conjunto de dispositivos que permiten la comunicación a distancia entre equipos interconectados capaces de intercambiar información, “La información se puede transmitir de forma analógica, digital o mixta, pero en cualquier caso las conversiones, si las hay, siempre se realizan de

forma transparente al usuario, el cual maneja la información de forma analógica exclusivamente”. [12]

2.2.4 Comunicaciones Inalámbricas.

Las comunicaciones inalámbricas hacen uso de las ondas electromagnéticas para enviar señales a través de cortas y largas distancias, estas redes facilitan la operación en lugares donde los dispositivos no pueden permanecer en un solo lugar o son difíciles de acceder mediante medios físicos.[10]

- **Tipos de Redes Inalámbricas**

Las comunicaciones inalámbricas se las puede clasificar de varias formas, en este caso vamos a revisar la clasificación de acuerdo a su alcance que es la distancia máxima a la que pueden situarse las dos partes de la comunicación, emisor-receptor como se muestra en la tabla 2.1.[8]

Tabla 2. 1 Tipo de comunicaciones Inalámbricas

| WPAN <10 METROS | WLAN EDIFICIO- BARRIO | WMAN CIUDAD | CELULAR REGIÓN GLOBAL |
|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Bluetooth | wifi | lmds | 2.5G |
| ZigBee | HomeRF | MMDS | 3G |
| IrDA | HiperLAN | WiMax | 4G |

Elaborado por: El Investigador

- **WPAN** (*Wireless Personal Area Network*): Las redes inalámbricas de área personal cubren distancias inferiores a los 10 metros; por ejemplo la computadora a una impresora por medio de Bluetooth. [13]
- **WLAN** (*Wireless Local Area Network*): Las redes inalámbricas de área local cubren distancias de unos cientos de metros. Se enfocan principalmente para crear un entorno de red local entre computadoras o terminales situados en un mismo edificio o en conjuntos de edificios.[13]
- **WMAN** (*Wireless Metropolitan Area Network*): Las redes inalámbricas de área metropolitana pretenden cubrir el área de una ciudad o entorno metropolitano.[13]

- **Celular:** Las redes globales o celulares tienen la posibilidad de cubrir toda una región (país o grupo de países). Estas redes se basan en la tecnología celular como el caso de las redes 2.5 G y 3 G. [13]

- **Radiofrecuencia**

La radiofrecuencia es la comunicación entre varios puntos de acceso mediante ondas radioeléctricas que se propagan por el espacio sin guía artificial y utiliza una técnica denominada modulación, esta técnica consiste en superponer la información a transmitir sobre una onda electromagnética, denominada portadora, generando de este modo una onda de información. [14]

- **Elementos de un sistema de radiocomunicaciones**

Para poder lograr una comunicación mediante radiofrecuencia debe existir un sistema de radiocomunicaciones el mismo que se encuentra integrado por los siguientes elementos expresados en el siguiente bloque en la Figura 2.1

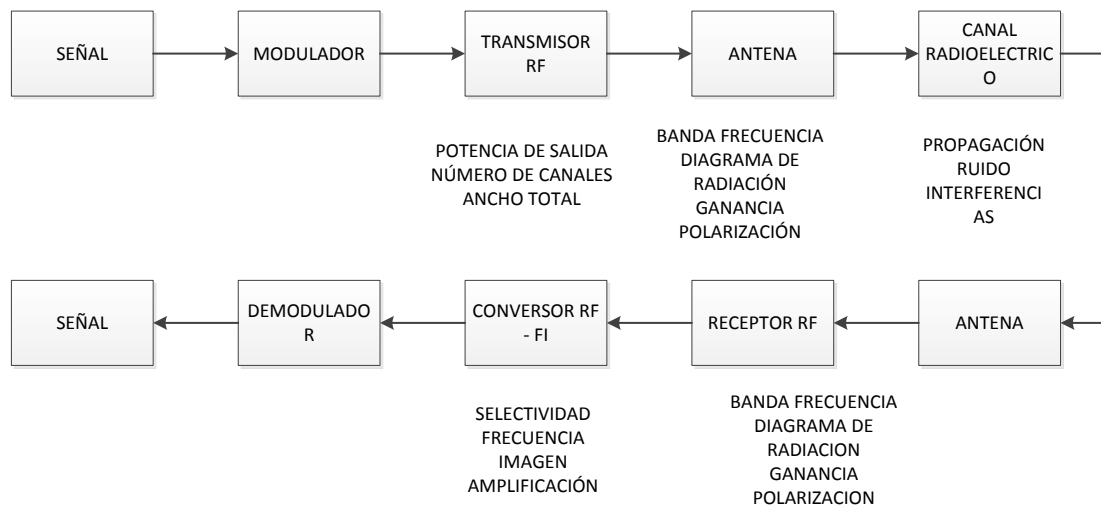


Fig. 2. 1 Elementos de un sistema de radiocomunicaciones
Elaborado por: El Investigador

Las partes principales de un sistema de comunicaciones son, el transmisor, el canal de transmisión y el receptor.

- **Protocolos de comunicación inalámbrica**

Para muchos, Wi-Fi, Bluetooth y Zig-Bee están todas agrupadas en la misma categoría, cuando en realidad representan muy diferentes etapas de desarrollo, evolución de la comunicación inalámbrica y ofrecen varios niveles de funcionalidad.

- **Bluetooth** utiliza la técnica FHSS (*FrequencyHopping Spread Spectrum*) “Espectro expandido por salto de frecuencia”, en la banda de frecuencias de 2.4 GHz. Puede establecer comunicaciones asimétricas, donde la velocidad máxima en una dirección es de 721 Kbps y 57.6 Kbps en la otra, también puede establecer comunicaciones simétricas de 432.6 Kbps en ambas direcciones, se transmiten tanto voz como datos, esta tecnología esta descrita en la especificación IEEE 802.15.1. [15]
- **ZigBee.-** Es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (*Wireless Personal Area Network, WPAN*). La velocidad de transmisión está comprendida entre los 20 y los 250 Kbps IEEE 802.15.4 es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (*Low-Rate Wireless Personal Area Network, LR-WPAN*).
- **Wi-Fi.-** El protocolo IEEE 802.11 o Wi-Fi es un estándar de protocolo de comunicaciones del IEEE que define el uso de los dos niveles de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. En general, los protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local con el estándar original era el IEEE 802.11, tenía velocidades de 1 hasta 2 Mbps y trabajaba en la banda de frecuencia de 2,4 GHz, actualmente existen 4 tipos de conexiones comúnmente empleadas:
 - 802.11b, que emite a 11 Mbps,
 - 802.11g, más rápida, a 54 Mbps,
 - 802.11a, conocida como WiFi 5, por operar en la banda de 5 [GHz], a una velocidad de 54 Mbps.
 - 802.11n, opera simultáneamente

2.2.5 Propagación de ondas

La propagación de ondas se refiere a la propagación de las ondas electromagnéticas como la transmisión de energía a través del espacio pasando por un medio con características particulares con una velocidad específica, una dirección particular y una intensidad que cambiara dependiendo de las condiciones del medio, estos comportamientos también dependen de la dirección inicial de las ondas, de la frecuencia y de la polarización de estas ondas; pero para que las ondas electromagnéticas puedan ser de utilidad es necesario conocer cómo se van a comportar las señales electromagnéticas a través de los medios y debemos considerar lo siguiente [16]

- **Pérdidas de la Señal en el Espacio Libre.** El espacio libre puede ser considerado como vacío y no se considera perdida, cuando las ondas electromagnéticas se encuentran en el vacío, se llegan a dispersar y se reduce la densidad de potencia a lo que es llamado atenuación y se presenta tanto en el espacio libre como en la atmosfera terrestre.[16]
- **Cobertura.** “La cobertura es el alcance necesario de una emisión radioeléctrica que depende tanto de la potencia, calidad y tipo de modulación de los equipos transmisores, como del tipo e intensidad de las perturbaciones del canal radioeléctrico”. [16]

El enlace de comunicación es un elemento clave del sistema de UAV para su control en despegue, vuelo y aterrizaje para estos enlaces varían tanto como los tipos de misiones y diferentes clases de vehículos aéreos no tripulados, los enlaces pueden ser analógicos para enlaces de vídeo de definición estándar, y digitales para los datos de posición de la aeronave, pero un cambio a los sofisticados enlaces digitales está en marcha, impulsado por una serie de factores. [16]

- **Estación transmisora.** La estación transmisora es un conjunto de equipos para el tratamiento y envío de la información, es decir, moduladores, amplificadores, filtros, cables, antenas.[15]
- **Interfaz.** La interfaz es la forma en que un dispositivo entra en contacto con otro dispositivo diferente o puede ser entre una máquina y un humano. En

este caso se trata de la interfaz gráfica que puede ser una aplicación celular en Android o un sistema desarrollado en C#, .net, Python Linux como también en Instrumentos Virtuales que brinda el software de LabVIEW, interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa; Una antena por lo general se utiliza como la interfaz entre un transmisor y el espacio libre o el espacio libre y el receptor acoplando energía de la salida de un transmisor a la atmósfera de la tierra o de la atmósfera de la Tierra a un receptor.[16]

2.2.6 Principios básicos de vuelo

Con el objetivo de conocer los principios básicos de vuelo es necesario conocer las fuerzas que se involucran en su movimiento y su origen como también conocer las superficies de control y entender la forma en que estas guían al avión a través del espacio [17], las superficies de mando y control modifican la aerodinámica del avión provocando un desequilibrio de fuerzas, una o más de ellas cambian de magnitud, este desequilibrio es lo que hace que el avión se mueva sobre uno o más de sus ejes, incrementa la sustentación o aumenta la resistencia. [17]

2.2.7 Ejes de un avión

La orientación de un cuerpo es referida entre los distintos sistema de coordenadas con el fin de obtener el dato del ángulo de rotación, es decir, la orientación, a partir de la velocidad angular en la referencia fija al cuerpo, por lo anterior, se requiere un método de conversión en tres sistemas de referencia para representar correctamente el vector velocidad. La transformación del ángulo de Euler es uno de los métodos que se utilizan frecuentemente en estos casos, porque es simple y confiable aunque da lugar a que ocurran singularidades en la transformación de coordenadas, Euler propuso que cualquier rotación de un marco de referencia con respecto a otro, puede ser visualizada como una secuencia de tres rotaciones simples a alrededor de los vectores base. [17].

La transformación de ángulos de Euler se presenta usando los ángulos, el movimiento rotacional está relacionado con el movimiento de la aeronave alrededor de los tres ejes, dichos ángulos tienen nombres específicos y representan maniobras comunes, su nombre está relacionado en torno al eje que se producen, estos son: los ejes de alabeo (roll), cabeceo (pitch) y guiñada (yaw), como se muestra en la Figura 2.2 [17]

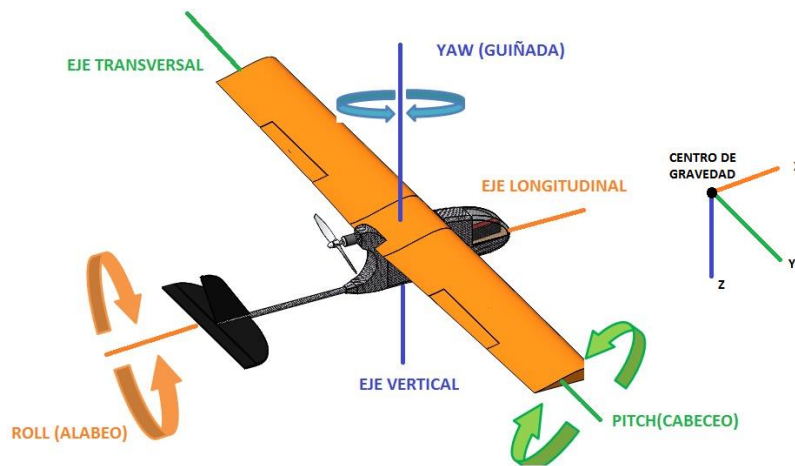


Fig. 2. 2 Giros de un avión en torno a sus ejes.
Elaborado por: El Investigador

2.2.7 Fuerzas que actúan en vuelo

Sobre un vehículo aéreo en vuelo están presentes una serie de fuerzas, las mismas que ayudan en el despegue, aterrizaje, el ascenso y descenso, así como el vuelo crucero, estas fuerzas se las conoce como sustentación, peso, empuje y arrastre las mismas que actúan en pares la sustentación es opuesta al peso, y el empuje al arrastre como se observa en la Figura 2.3.

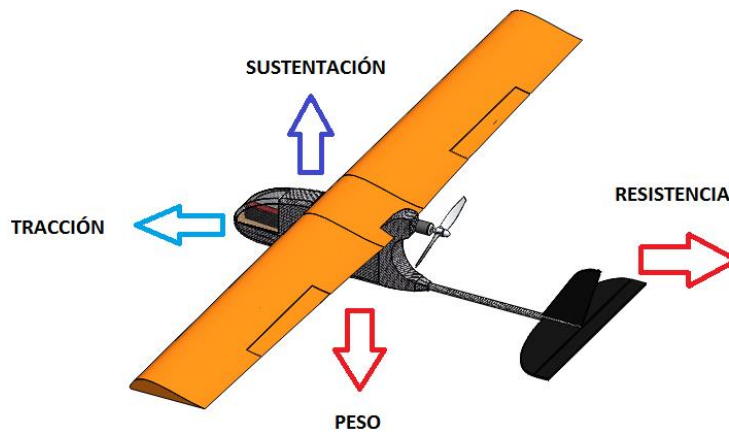


Fig. 2. 3 Fuerzas que Actúan en Vuelo [18]
Elaborado por : El Investigador

- **Sustentación. (Lift)** Es la fuerza desarrollada por un perfil aerodinámico moviéndose en el aire, ejercida de abajo hacia arriba, y cuya dirección es perpendicular al viento relativo y a la envergadura del avión (no necesariamente perpendiculares al horizonte) como se muestra en la Figura 2.4 [17]

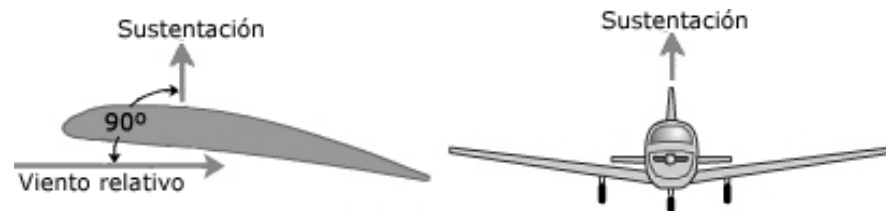


Fig. 2. 4 Perpendicularidad en la sustentación [17]

- **Peso (Weight).** El peso es la fuerza de atracción gravitatoria sobre un cuerpo, siendo su dirección perpendicular a la superficie de la tierra, su sentido hacia abajo, y su intensidad proporcional a la masa de dicho cuerpo. En la figura 2.5 se muestra como esta fuerza es la que atrae al avión hacia la tierra y ha de ser contrarrestada por la fuerza de sustentación para mantener al avión en el aire.[18]



Fig. 2. 5 Dirección y sentido de peso [18]

- **Empuje (Thrust).** Para vencer la inercia del avión en reposo, acelerarlo en la carrera de despegue o en vuelo, mantener una tasa de ascenso adecuada, vencer la resistencia al avance, etc. se necesita una fuerza: el empuje. Esta fuerza se obtiene acelerando una masa de aire a una velocidad mayor que la del aeroplano. La reacción, de igual intensidad pero de sentido opuesto (3ª ley del movimiento de Newton), mueve el avión hacia adelante. En aviones de hélice, la fuerza de propulsión la genera la rotación de la hélice, movida por el motor (convencional o turbina). Esta fuerza se ejerce en la misma dirección a la que apunta el eje del sistema propulsor, que suele ser más o

menos paralela al eje longitudinal del avión, ver Figura 2.6. [11]

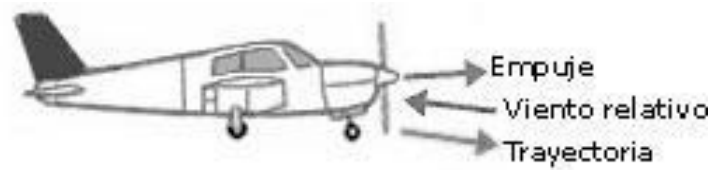


Fig. 2. 6 Dirección y sentido del empuje [19].

A demás de la potencia del motor influyen la forma y tamaño de la hélice y densidad del aire.

- **Arrastre (Drag).** El arrastre es la fuerza que impide o retarda el movimiento de un aeroplano, actúa de forma paralela y en la misma dirección que el viento relativo, aunque también podríamos afirmar que el arrastre es paralela y de dirección opuesta a la trayectoria. En la Figura 2.7 se muestra que el arrastre disminuye con el aumento de velocidad. [11]

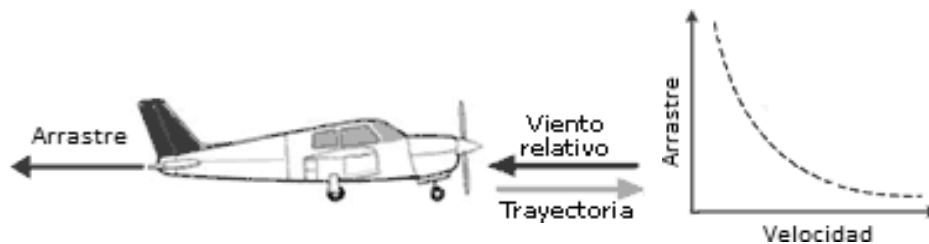


Fig. 2. 7 Dirección y Sentido y Arrastre contra velocidad [19]

2.2.8 Vehículos Aéreos no Tripulados

“Un UAV es un vehículo aéreo, con motor, que no lleva a bordo un operador humano, utiliza las fuerzas aerodinámicas para elevarse, puede volar autónomamente o ser pilotado por control remoto, puede ser recuperado o ser desechable, y puede llevar una carga de pago letal o no letal” [20] A diferencia de las aeronaves convencionales estas son mucho más maniobrables y sus costos de explotación son inferiores, además se evita el riesgo de seres humanos en entornos hostiles, en condiciones de vuelo con escasa visibilidad o, en general, con condiciones climatológicas adversas. Los UAV son vehículos controlados autónomamente o desde tierra utilizando planes de vuelo programados. [21]

Los UAV son empleados no sólo en actividades militares, sino también en labores civiles como estudios topográficos, control del tráfico aéreo, inspección de líneas de

alta tensión, labores de monitoreo y vigilancia en zonas afectadas por catástrofes, acceso a lugares peligrosos o contaminados, agricultura inteligente, entre otros. [22]

En el Ecuador, en el año de 1997 el CIDFAE se encontraba en la ciudad de Latacunga situado en la Base Aérea Cotopaxi, en donde inició el proyecto Rayo, en el cual se construyó el RPV11 “Cotopaxi” paso siguiente hizo línea base de la construcción de aeronaves no tripuladas, el Centro desarrolló el prototipo ‘Gavilán’ que tiene una envergadura de 6,5 metros, una autonomía de 5 horas, un alcance de 150 kilómetros, un peso de 300 libras y una velocidad crucero de 100 km/h. La nave cuenta con sensores infrarrojos, cámara fotográfica, una interfaz intuitiva y amigable con el usuario, 3 módulos de operadores y se monta en un vehículo para el transporte. Se la usa para vigilancia, monitoreo, levantamiento de información de gestión de riesgos, parques nacionales, reservas ecológicas y otros sitios. [23]

2.2.9 Segmentos de Operación Definidos de los UAV.

- **Segmento de Vuelo.** - Constituido por el UAV y los sistemas de recuperación (aterrizaje sobre ruedas o patines, red, cable, paracaídas, etc.)
- **Segmento de Tierra.** - Constituido por la estación de control del piloto remoto (por lo general se encuentra en tierra y recibe la información enviada por el UAV y a su vez le da órdenes) y los sistemas lanzadores (pueden ser neumáticos, hidráulicos, etc.), como se muestra en la Figura 2.8 [5]

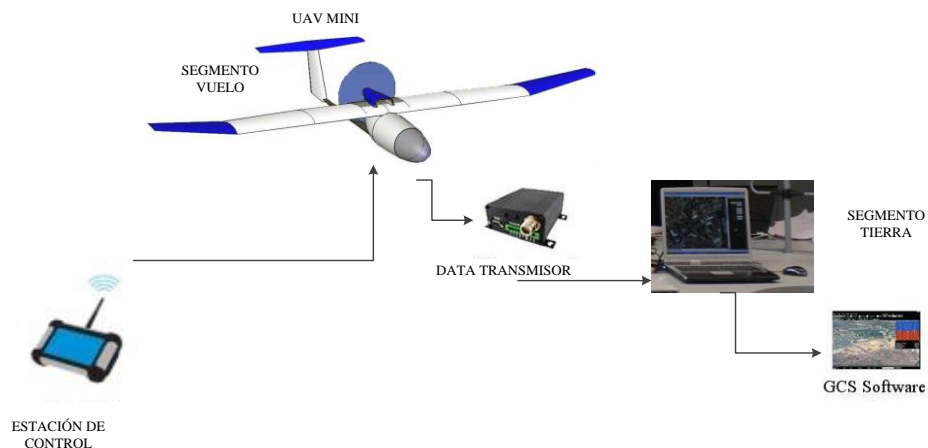


Fig. 2. 8 Segmento de Vuelo y Segmento Tierra
Elaborado por: El investigador

2.2.10 Plataforma de vuelo:

Según el tipo de control del UAV, éstos se clasifican en:

- **Autónomo:** Modo de control del UAV en donde la aeronave realiza su misión dentro del ámbito programado, con sólo el monitoreo desde tierra. El modo de control incluye la operación automática completa, funciones autónomas como el despegue, aterrizaje, evitación de colisiones, y demás operaciones inteligentes.
- **Semi-autónomo:** Modo de control de un UAV donde el operador en tierra realiza cambios y conduce la misión a través de una interfaz de administración del vuelo. Sin esta información el UAV realizará operaciones automáticas pre-programadas. Puede o no incluir algunas funciones completamente autónomas (despegue, aterrizaje, evitación de colisiones, etc.).
- **Remoto:** La totalidad del control del vehículo se realiza remotamente

2.2.11 Partes De Un UAV

Según el Centro de Competencia del Poder Aéreo Conjunto (JAPCC) en su publicación “Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems in NATO” los componentes de un UAV son: [24]

- Plataforma aérea (Unmanned Aircraft Element).
- Carga útil (Payload Element).
- Elemento humano (Human Element).
- Elementos de control (Control Element).
- Sistemas de comunicaciones (CommunicationsElement).
- Equipos de apoyo (Support Equipment Element).

2.2.12 Clasificación UAV

En la tabla 2.2 se detalla la clasificación que tienen los UAV Mini según su altitud y autonomía, tamaño.

Tabla 2. 2 Clasificación de los UAV por sus capacidades de vuelo

| CATEGORIA | ACRÓNIMO | ALCANCE (Km) | ALTITUD (m) | AUTONOMÍA (horas) | CARGA (Kg) | TIPO |
|-----------------------------------|----------|--------------|-----------------------|-------------------|------------|-----------------------------------------|
| MICRO | μ(Micro) | <10 | 250 | 1 | <5 | Helicóptero Aeroplano |
| MINI | Mini | <10 | 150 a 300 | <2 | <30 | Helicóptero /Aeroplano /Parapente |
| ALCANCE CERCANO | CR | 10 a 30 | 3.000 | 2 a 4 | 150 | Helicóptero /Aeroplano /Parapente |
| ALCANCE CORTO | SR | 30 a 70 | 3.000 | 3 a 6 | 200 | Aeroplano |
| ALCANCE MEDIO | MR | 70 a 200 | 5.000 | 6 a 10 | 1.250 | Aeroplano |
| ALTITUD BAJA PENETRACIÓN PROFUNDA | LADP | >250 | 50 a 9.000 | 0,5 a 1 | 350 | Aeroplano |
| AUTONOMÍA MEDIA | MRE | >500 | 8.000 | 10 a 18 | 1.250 | Aeroplano/ helicóptero |
| AUTONOMÍA ALTA ALTITUD BAJA | LALE | >500 | 3.000 | >24 | <30 | Aeroplano |
| AUTONOMÍA ALTA ALTITUD MEDIA | MALE | >500 | 14.000 | 24 a 48 | 1.500 | Aeroplano/ Helicóptero |
| AUTONOMÍA ALTA ALTITUD ALTA | HALE | >2000 | 20.000 | 24 a 48 | 12.000 | Aeroplano |
| COMBATE | UCAV | aprox. 1500 | 10.000 | aprox. 2 | 10.000 | Helicóptero /Aeroplano |
| OFENCIVO | LETH | 300 | 4.000 | 3 a 4 | 250 | Aeroplano |
| SEÑUELO | DEC | 0 a 500 | 5.000 | <4 | 250 | Aeroplano/ Helicóptero |
| ESTRATOSFÉRICO | STRATO | >2000 | entre 20.000 a 30.000 | >48 | ND | Aeroplano |
| EXO-ESTRATOSFÉRICO | EXO | ND | >30.000 | ND | ND | Aeroplano |

Elaborado por: El investigador

2.2.13 Ventajas de los UAV Mini

Las llamadas UAV Mini tienen una dimensión aproximada entre 50 cm y 1 o 2 metros, la mayoría de estas aeronaves utilizan la configuración de un aeroplano de ala fija y requieren de lanzamiento manual hacia el aire como un aerodeslizador por ser de menor tamaño, permiten realizar misiones que no son posibles con sistemas tripulados con la posibilidad de un despliegue inmediato, la inexistencia de personas a bordo elimina el mayor riesgo de la aeronáutica, permitiendo plantear perfiles de misiones que no se cumplirían con aeronaves tripuladas. Como se muestra en la Figura 2.9 [25]

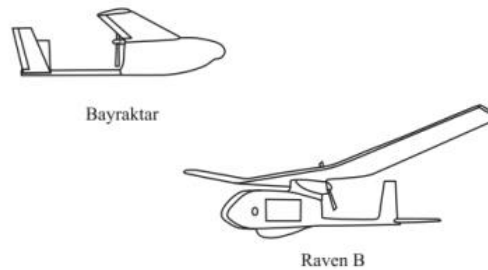


Fig. 2. 9 UAV Mini [18]

Un UAV Mini por ser pequeño, puede ser lanzado con la mano, de un peso aproximado a 2 Kg, posee un tiempo de vuelo de 20 a 60 minutos y un radio de operación de 10 Km. Transporta cámaras de televisión e infrarrojas para el reconocimiento silencioso en tiempo real de objetivos tanto diurnos como nocturnos, la estación de control incorpora un PC de especificaciones estándar con una interfaz gráfica de operación lo que permite, por ejemplo, trabajar georeferenciada mente sobre una carta digital del terreno, que junto con GPS para navegación georeferenciada y automatización de las diferentes fases del vuelo Mediante un data link digital, el autopiloto se comunica con la estación de control, recibiendo los comandos y reportando los parámetros de vuelo al operador. Adicionalmente el autopiloto permite procesar el video de las cámaras diurnas o térmicas insertando información de georeferenciación [26]

2.2.14 Configuración general de un UAV

La configuración general de un UAV consta de la selección inicial de geometría y características globales del ala, así como las superficies de la cola, basándose en requisitos de diseño, aeronavegabilidad, experiencia previa y filosofía dominante del diseño (Borrell, 2016)

- **Características de ala**

a. Posición Longitudinal.- Debe localizarse en el centro de gravedad de la aeronave para evitar que el torque generado por el peso y sustentación no se compense con los estabilizadores de empenaje.

b. Posición Vertical.- En posición vertical debemos considerarlos siguientes tipos:

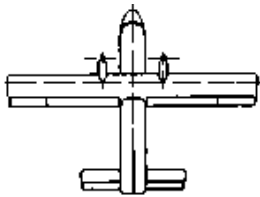
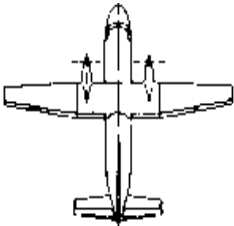
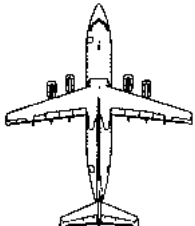
Ala alta: Incrementa el efecto del diedro, mayor estabilidad, fácil instalación en la estructura sustentación más eficiente el inconveniente mayor arrastre inducido debido a su alto coeficiente de sustentación.

Ala media: Ventajas menor arrastre de interferencia, inconveniente estructura más pesada.

Ala baja: Ventaja menor arrastre inducido, más liviano, inconveniente menor sustentación, mayor velocidad de stall.

c. Por su forma Plana.- tenemos que considerar tres modelos que están representados en la Tabla 2.4.

Tabla 2. 3 Tipos de ala por forma plana

| FORMA PLANA | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| RECTANGULAR | RECTANGULAR CON ESTRECHAMIENTO | FECHA CON DOBLE ESTRECHAMIENTO |
| <p>Fabricación sencilla</p> <p>Alta resistencia inducida</p> <p>Alto mo-mento flector. Gran momento de cabeceo</p> | <p>Fabricación complicada</p> <p>Disminuye la resistencia inducida en más de 20%.</p> <p>Requiere refuerzo en las costillas.</p> | <p>Alto costo de fabricación</p> <p>Flecha necesaria para velocidades subsónicas.</p> |
|  |  |  |

Elaborado por: El investigador

d. Perfil Alar.- En aerodinámica, el Número de Reynolds (Re), es una medida de cociente de las fuerzas de inercia y fuerzas viscosas y, por lo tanto, mide la importancia relativa las fuerzas para las condiciones dadas del flujo, una consideración en el diseño aerodinámico es mantener el flujo laminar sobre la mayor parte posible del perfil aerodinámico. El perfil alar es una forma plana que al deslizarse a través del aire, crea a su alrededor una repartición de presiones que origina sustentación. En términos generales los perfiles constan de las siguientes partes como se muestra en la figura 2.10: [23]

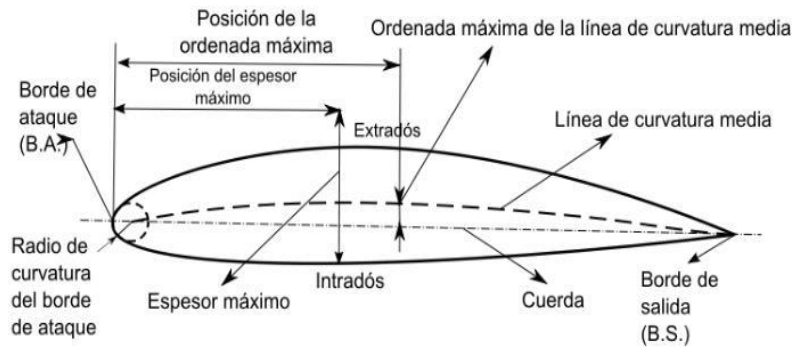


Fig. 2. 10 Partes del perfil alar. [27]

Existe una gran variedad de perfiles alares que fueron desarrollados en su mayoría de manera empírica. En los años 1930, NACA desarrolló una familia de perfiles alares definidos matemáticamente.

Tabla 2. 4 Perfiles NACA

| PERFILES NACA | | | | |
|---------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| SERIE NACA | SUSTENTACIÓN | RESISTENCIA | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
| 4 CIFRAS | Baja | Alta | Amplio rango de velocidad; Bajo efecto de rugosidad | Momento de cabeceo alto |
| 5 CIFRAS | Baja | Alta | Momento de cabeceo bajo | Característica de entrada en pérdida pobre |
| SERIE 1 | relativamente baja | Baja a altas velocidades | No presenta picos de baja presión | Sustentación relativamente baja |
| SERIE 6 | Alta | Razonable | Óptimo para altas velocidades | Alta resistencia fuera de rango |
| SERIE 7 | Media-baja | Baja a altas velocidades | Bajos coeficientes de cabeceo | Sensible a la rugosidad |
| SERIE 8 | Desconocida | Desconocida | Velocidades supercríticas | Desconocidas |

Elaborado por: El investigador

El perfil utilizado para el prototipo UAV Mini es FX63-120 Diseñado para mantener flujo laminar y minimizar la resistencia en condiciones de diseño de operación como se muestra en la figura 2.11

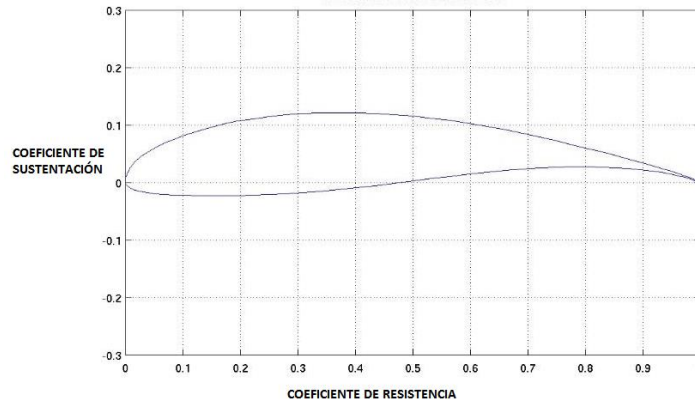


Fig. 2. 11 Perfil alar FX63-120. [28]

En la tabla 2.6 se presenta los tipos de perfiles alares convencionales.

Tabla 2. 5 Perfiles Alares Convencionales

| Perfiles convencionales | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------|
| CURVATURA | FUERZA | VELOCIDAD | SECCIÓN ALAR | ILUSTRACION |
| BAJA | Bajo arrastre | Alta | Delgada | |
| PROFUNDA | alta sustentación | Baja | Gruesa | |
| PROFUNDA | Alta sustentación | Baja | Delgada | |
| PROFUNDA | Baja Sustentación Alto arrastre | Baja | Borde de arrastre reflejado | |

Elaborado por: El investigador

El prototipo UAV Mini desarrollado en el CIDFAE utiliza un tipo de ala rectangular de 1.80 metros de largo de perfil sólido profundo como se muestra en la figura 2.12.



Fig. 2. 12 Ala Rectangular y tipo de perfil utilizado en el UAV Mini CIDFAE.
Elaborado por: El investigador

e. Velocidad De Entrada En Pérdida

La velocidad de entrada en pérdida es la mínima velocidad requerida por la aeronave para levantarla.

$$Velocidad\ stall(mph) = 4.73 * (constante\ de\ costilla) * \sqrt{Carga\ alar\ (oz)} \quad (1)$$

Constantes tipo de costilla:

- 1 = Costilla Clark
- 1.05 = Costilla acrobática
- 1.17 = Costilla de velocidad

Para el cálculo de la Carga alar:

$$Carga\ alar(oz) = \frac{Peso\ del\ avión\ (oz)}{Superficie\ de\ ala\ (ft^2)} \quad (2)$$

sobre carga alar utilizando los nuevos datos remplazamos el peso de la aeronave es 2139gramos y una superficie alar de 2.30 metros; el valor de la carga alar es 734 g/m²; a través de la ecuación (2) se obtiene la velocidad de entrada en pérdida igual a 38.6 km/h

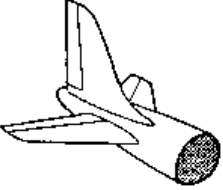
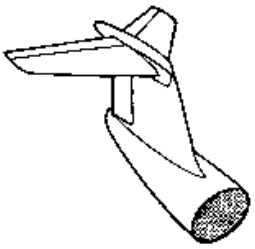
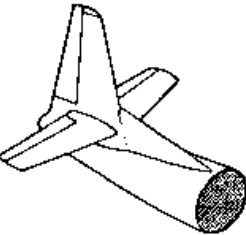
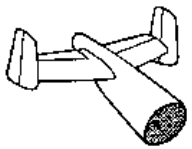
Superficie de Cola.- En superficie de cola tenemos los siguientes tipos más utilizados en la fabricación de UAV como se muestra en la tabla 2.6 de los

cuales la superficie de cola baja es la más utilizada en UAV Mini fue desarrollado con una superficie de cola baja sólida como se muestra en la figura 2.13



Fig. 2. 13 Superficie Cola del UAV Mini CIDFAE
Elaborado por: El investigador

Tabla 2. 6 Superficies de Cola

| SUPERFICIE DE COLA | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| COLA BAJA | EN T | CUNIFORME | VERTICAL DOBLE |
| Los estabilizadores horizontal y vertical se unen estructuralmente de forma separada e independiente. | Demanda un refuerzo estructural del estabilizador vertical. Evita que la estela de ala incida sobre el estabilizador horizontal e incrementa el control de la aeronave a velocidades bajas. | Admite un refuerzo menor del estabilizador vertical. Mantiene el estabilizador horizontal lejos de los motores. | Utilizado en aviones de combate por su maniobrabilidad, y en aviones des-tinados a operar en porta-aviones. |
|  |  |  |  |

Elaborado por: El investigador

2.2.15 Sistema de control de vuelo

Al inicio los UAV se pilotaban mediante control remoto pero a medida que la tecnología de comunicaciones y alcances de éstos se aumentaban, se desarrolló el Sistema de Control de Vuelo o Piloto Automático siendo este su principal

requerimiento para volar el UAV. Suele ser un enlace de comunicaciones radio bidireccional y/o un ordenador a bordo, conectado a un sistema inercial y un GPS, capaz de realizar la navegación. [29]

Hasta mediados de los años 90, los sensores para implementar el piloto automático de los UAV eran grandes y caros. Se utilizaban dos tipos de sensores para mantener el avión controlado utilizando giroscopios y medidores de velocidad mecánicos. [20]

A partir de entonces, apareció un tipo de sensores miniaturizado (*MEMS, Micro Electro Mechanical Sensors*), fabricados con la misma tecnología con la que se fabrican los chips y con capacidades similares a los giroscopios mecánicos y medidores de velocidad. Los sensores MEMS tienen un tamaño milimétrico, están dotados de muy alta fiabilidad y tienen un costo reducido. De este modo, mediante sensores tipo MEMS se han podido diseñar e implementar pilotos automáticos de dimensiones reducidas. [20]

En el CIDFAE para los modelos Mini por el momento solo se cuenta con manejo manual a través de un radio control y su módulo receptor Futaba de 14 canales para realizar los vuelos de prueba de diseño como se muestra en la figura 2.14.



Fig. 2. 14 Radio transmisor y receptor Futaba del CIDFAE
Elaborado por: El investigador

2.2.16 Estación de mando y control en tierra (EMCT) o SHELTER

Las estaciones de mando y control en tierra son un conjunto de software que se ejecuta para tener el monitoreo y control del UAV en tiempo real, desde tierra utilizando telemetría inalámbrica, en donde la información obtenida es la de los

diferentes sensores instalados en la aeronave, que sirven para tener un control exhaustivo de la misma, además este recoge una serie de información telemétrica para conocer paramétricamente el estado del avión en todo momento. [10]

Las estaciones de mando y control pueden ser terrestres (GSC, *Ground Control Station*), marítimas (SCS, *Seal Control Station*), o aéreas (ACS, *Airbone Control Station*), dependiendo de dónde se la establezca para su operación, ya que esta corresponde al lugar donde se coordina y opera la misión, procesando toda la información recibida. [13]

2.2.17 Carga Útil

La carga útil que llevan embarcados los UAV consiste en los medios y equipos necesarios para llevar a cabo la misión. La carga útil puede ser controlada por el piloto automático (misión completamente programada) o por el operador de tierra.

2.2.18 Sistemas De Sensores

Sistemas de sensores más utilizados en la actualidad, en la mayoría de los aviones y en los UAVs Mini son: [30]

- El giroscopio para medir el rumbo del avión para el control servomecanismos en caso de existir desviaciones de ruta
- Sistema de medición de temperatura en el aire y en tierra.
- Medidor de humedad ambiental.
- Medidor de concentración de CO₂
- Tubo Pitot

2.2.19 Sistema de Comunicaciones

Las comunicaciones se utilizan básicamente para la transmisión y recepción de datos:

- **Enlace de telemetría.-** Entre la plataforma de vuelo y la estación de control, los módulos de telemetría permiten obtener datos de la nave en tiempo real en una estación en tierra, operan en el rango de los 433 [MHz] y los 915 [MHz], dependiendo de la reglamentación local. La comunicación con el controlador se realiza a través del protocolo UART. Se utiliza el sistema de comunicaciones inalámbrico para el trabajo de la radio en 2.4 GHz.

- **Enlace de datos .-** Entre la plataforma de vuelo y la estación de monitorización de imágenes, el enlace de telemetría por lo general se lo utiliza en el protocolo de radio inalámbrico de 400 MHz, para mantener el enlace con el autopiloto, que opera en la banda UHF a 2.4 GHz digital. No requiere licencia para su utilización la velocidad de transmisión es variable en función de las especificaciones, siendo el rango operativo de 11-54 Mbps. El alcance varía en función de la potencia de transmisión y el medio de propagación, llegando a ser 5 km. Mediante enlaces punto a punto.

2.2.20 Proyectos de código abierto

Actualmente existen diversas comunidades en línea que trabajan activamente para desarrollar alternativas de código abierto (*open-source*) y gratuitas para el desarrollo de firmware y software con el objetivo de controlar UAVs de todo tipo: multirrotores, helicópteros, aviones, entre otros, los cuales integran diversos módulos (IMU, I/O, compás, entre otros). Dichos controladores, o más comúnmente denominados autopilots, son posibles de adquirir a precios que varían dependiendo del fabricante. [31] Siguiendo indicare las interfaces más conocidas para configurar los autopilots.

- **AEROQUAD.-** Está basada en procesadores Arduino (con procesadores ATmega2560), los cuales son muy populares debido a su bajo costo, aunque algunos controladores contemplan procesadores STM32, el software asociado, AeroQuad Flight Software, está diseñado para soportar ambos tipos de procesadores. Aunque no presenta un manual formal, existen guías que ayudan a la configuración y calibración de las naves. El firmware y software están enfocados en multirrotores, desde 3 hasta 8 hélices. [26] Los precios de los DIY kit (“hágalo-usted-mismo” - contienen todos los componentes electrónicos y mecánicos para ensamblar la nave) rondan entre los USD\$420 y los USD\$540, dependiendo de las opciones. Por otro lado, el precio del controlador es de USD\$150. [32]
- **ARDUPILOTMEGA.-** La comunidad de ArduPilotMega, abreviado APM, trabaja activamente en el desarrollo de vehículos aéreos y terrestres, teniendo 3 diferentes categorías: COPTER, para helicópteros y multirrotores; PLANE, para modelos de aviones; y ROVER, para vehículos terrestres. El hardware principal

es idéntico: el controlador clásico APM se caracteriza por usar microprocesadores ATmega2560, inspirados por Arduino. Por otro lado, se desarrolla firmware diferenciado para cada tipo de configuración, el software característico de esta comunidad es el APM: Mission Planner, este programa se caracteriza por poseer un manual detallado en línea, además de opciones de configuración avanzadas de alto nivel como path-planning. [33] Por otro lado, permite la modificación de parámetros internos de bajo nivel, como las constantes de los controladores, de manera sencilla, mientras que la tienda asociada tiene como nombre 3DRobotics, los precios de los DIY kits rondan los USD\$450 incluyendo módulos GPS, de telemetría y el controlador APM 2.6. Actualmente se está innovando con el nuevo controlador Pixhawk, el cual cambia a microprocesadores STM32, presentando un poder computacional más importante. Su precio es de USD\$200, con opción de agregar módulos extra (GPS, telemetría, entre otros). [34]

- **MULTIWIICOPTER.-** Este proyecto se inició con la idea de utilizar los sensores utilizados por los mandos de la consola Nintendo Wii, específicamente el WiiMotionPlus y el Nunchuk, los cuales poseen acelerómetros y giróscopos. Estos sensores se utilizan en conjunto con chips Arduino o similares. Si bien el desarrollo de software no ha sido del mismo nivel que otras alternativas, sí posee interfaces gráficas programadas en lenguaje Java que permiten configurar parámetros internos y visualizar opciones, sin embargo no poseen una tienda para compra directa de productos. Por otro lado, recomiendan sitios precisos para los componentes, además de proveer descarga de software y firmware propio para su utilización con multi-cópteros de hasta 6 rotores. [35]
- **OPEN PILOT.-** La comunidad OpenPilot nació a fines del 2009 y actualmente ha desarrollado software y firmware capaces de volar multi-cópteros y aviones, con avances en navegación automática por GPS. Sin embargo, la mayoría del Hardware no se encuentra disponible comercialmente para el público ya que las pruebas no han sido completadas en su totalidad, el kit de hardware por USD\$200 que incluye controlador, GPS, telemetría de 433MHz y antenas, pero sin posibilidad de adquirir el resto del equipamiento físico como frame, motores y ESCs, entre otros. [26]

2.2.21 Modos De Vuelo Del Firmware APM:

En general, cada firmware diferente implementa lazos de control de manera independiente, los cuales varían dependiendo del modo de vuelo que se utilice. A continuación se detallan algunos modos de vuelo existentes en el firmware APM: aeroplano especificando las variables que se controlan con las palancas, o sticks, del mando. [31]

1. **Stabilize:** El modo 'Estabilizador' te permite volar el vehículo manualmente, pero autonivela los niveles de 'roll' y 'pitch'. [31]
2. **Altitud Hold.-** El modo de mantenimiento de altitud, el aeroplano mantiene una altitud constante, permitiendo al piloto maniobrar el 'roll', 'pitch' y 'yaw' este modo de retención de altitud o alt-hold es similar al modo estabilizador.
3. **Loiter.-** El modo Merodear automáticamente intenta mantener la misma posición, los grados y la altitud. El piloto debe volar en el modo 'Loiter' como si fuera manual, este modo requiere una buena señal GPS, lo que limita su utilización a aplicaciones al aire libre.
4. **Auto.-** En el modo automático, el aeroplano seguirá una misión de vuelo programada, almacenada en el autopiloto, que está hecha de comandos de navegación siguiendo una ruta puntos y comandos que no afectan la localización del aeroplano, incluyendo el disparador de fotos de la cámara.

2.2.22 Autonomía y toma de decisiones

Un tema de creciente importancia involucrando a los vehículos aéreos no tripulados corresponde a la toma de decisiones que debe realizar un sistema controlador para poder volar de manera autónoma considerando tanto el entorno como los objetivos de la misión en particular. [36]

En la actualidad, el primer enfoque es de asignar tareas sin conflictos existentes, ya que todo el procesamiento de alto nivel es realizado por una unidad central, lo que es ideal para aplicaciones en donde participa una sola nave, sin embargo requiere una conexión estable que procesa la información sobre cambios en el entorno, específicamente objetos, clima, así como en cambios en la misión en particular. [37]

2.2.23 Autopiloto

Un autopiloto es un sistema que se utiliza para guiar de manera automática un vehículo sin la asistencia de un operador humano, actualmente, los sistemas autopiloto utilizan software computacional para el control del equipo y sistemas GPS para determinar la posición. Combinando dichos sistemas, se pueden realizar tareas o misiones más complejas, tales como seguimiento de objetivos o despegue y aterrizaje automático. [38]

El autopiloto de un UAV debe ser capaz de guiar la aeronave entre distintos puntos el sistema de control de vuelo se comunica con la estación en tierra a través de telemetría, además de recibir la señal GPS para una constante actualización de datos de posición y enviar las entradas de control para los motores del UAV; un sistema de control de lazo cerrado que consta de dos partes: el controlador y el observador de estado; el observador de estado es un sistema de medición inercial que incluye sensores giroscópicos, acelerómetro y sensores magnéticos. Las mediciones del sensor y datos del GPS pasan por un filtro que genera estimaciones de la posición actual del vehículo, que posteriormente, a través de la estrategia de control usada, enviará las señales de entrada al controlador. En la figura 2.15 se indica la estructura funcional de un autopiloto para UAV. [39]

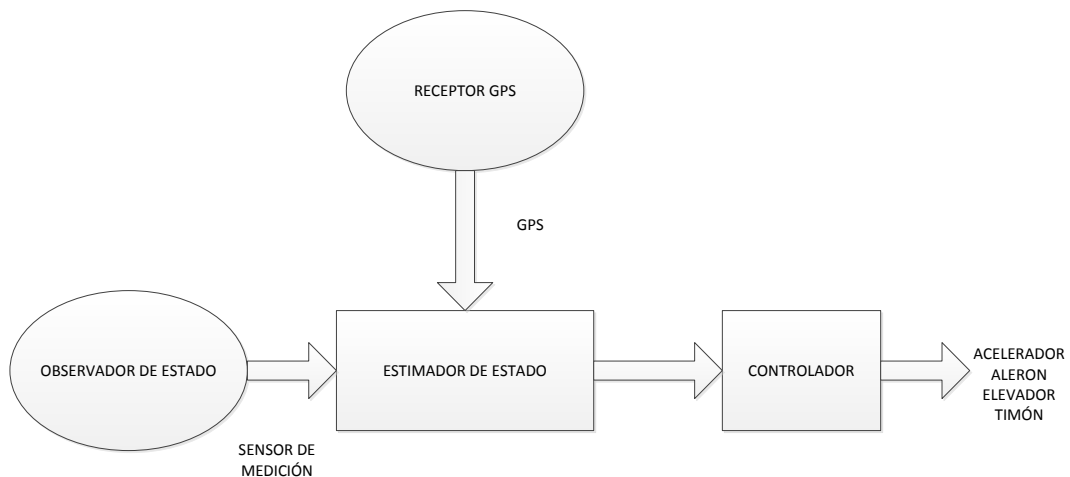


Fig. 2. 15 Estructura funcional de autopiloto de UAV. [35]

2.2.24 Autopilotos en el mercado

1) **UAV Navigation VECTOR.**- Es una unidad de control de vuelo diseñada para drones y UAV de gama alta, desarrollados por *UAV Navigation*; es capaz de realizar despegue, aterrizaje y plan de vuelo automático. Puede controlar varios

tipos de UAV tácticos de ala fija, drones subsónicos de alto nivel, helicópteros y plataformas multirrotor. En su núcleo se encuentra una unidad POLAR AHRS/INS que combina los sensores AHRS (Actitud de cabeceo y sistema de referencia), IMU (Unidad de medición inercial), INS (Sistema de navegación Inercial), ADS (Sistema de datos aéreos) y GPS (Geo posicionamiento global).

- 2) **Micropilot MP2x28 Series.-** Micropilot ofrece una serie de autopilotos de gama media para drones de ala rotatoria pequeños y UAV de ala fija, su principal ventaja de este autopiloto es su tamaño reducido y peso. Cuenta con GPS, giroscopio y acelerómetro de 3 ejes, altímetro y sensor de velocidad de presión que le permiten realizar operaciones de vuelo a altitud y velocidad constante, así como navegación entre puntos soporta despegue y aterrizaje autónomo, así como lanzamiento manual.[35]
- 3) **Ardupilot APM 2.6.-** Es un sistema Open Source basado en una plataforma Arduino, que puede ser usado en drones de ala fija y ala rotatoria, consta de un procesador principal y una unidad de medición inercial (IMU), además de 4 puertos seriales GPS, telemetría inalámbrica y conexión para compás externo, entre sus capacidades está el despegue y aterrizaje autónomo, navegación entre puntos, telemetría y sistema de regreso a punto de lanzamiento cuando la señal de radio se pierde.[34]
- 4) **3DR Pixhawk.-** 3D Robotics (3DR) desarrolló un autopiloto open source (OSS) de altas prestaciones llamado PIXHAWK, disponible para sistemas de ala fija, multirrotor, helicópteros, botes, y en general, plataformas robóticas móviles, combina la funcionalidad de una unidad de manejo de vuelo (PX4FMU) y un módulo de entradas/salidas (PX4IO). Entre sus sensores se encuentran giroscopio de 16 bits, acelerómetro/magnetómetro de 14 bits y barómetro además de un bus I2C aplicación es la comunicación entre circuitos integrados.[36]

2.2.25 Fuentes de energía para UAV

Los UAV se equipan con diferentes tipos de fuentes de energía, la forma más utilizada son las baterías, que pueden estar compuestas por una o más celdas en un arreglo en serie o paralelo sea que la batería sea de Li-Ion o Li-Po tienen un voltaje

estimado por celda entre 3.2 V y 3.7 V. [40]

Baterías de Litio Ion (Li-Ion).- Las baterías de Li-Ion tienen una alta densidad de energía, sin embargo, poseen una tasa de descarga baja, su ventaja es su operación por más de 1000 ciclos de carga, pero son vulnerables a corto circuitos y sobrecargas, cuando una batería de Li-Ion se cortocircuita, se crean altos flujos de electricidad y la temperatura de la batería aumenta a cientos de grados en segundos, calentándose las celdas contiguas y resultando en una reacción de combustión de la batería.[36]

Baterías de Litio Polímero (Li-Po).- Consiste en un paquete plano con un separador de polímero, poseen altas tasas de descarga y baja densidad de energía, las baterías LiPo usa la química de las baterías de Li Ion, sin embargo, los separadores de polímero reducen la capacidad pero permiten más altas tasas de descarga, su vida útil consta de 600 ciclos de descarga.[36]

Las baterías están limitadas a una relación energía/peso de 150-200 Wh/kg, por lo que son considerablemente pesadas, los fabricantes de baterías buscan mejorar la energía específica y potencia, extender la vida útil de la batería y ciclos de uso más eficientes, para la selección correcta de una batería se debe considerar sus características, descritas con los siguientes términos: [36]

- **Celda:** Es un dispositivo electro químicos capaz de proveer energía basado en una reacción química interna.
- **Resistencia serie equivalente (ESR):** Resistencia interna de una celda que limita la corriente de pico que puede transportar.
- **Capacidad en Amperios hora (Ah):** Cantidad de corriente que la batería puede manejar durante una hora antes que el voltaje de la batería llegue al voltaje de corte.
- **Tasa de descarga C:** Valor de corriente medida en amperios que es numéricamente igual a la capacidad de la celda en amperios-hora (Ah).
- **Voltaje de medio punto (MPV):** Voltaje nominal de la celda medido cuando la batería posee el 50% de la carga total.
- **Energía específica:** Es una medida de cuánta energía una batería contiene en

comparación con su peso.

- **Densidad energética:** Medida de cuánta energía posee una batería en comparación a su volumen (Simpson, 2011).
- **Los KV de motor:** En motores brushless el factor "kV" normalmente aparece junto al número de vueltas de bobinado del motor, y lo que nos indica es el número de revoluciones por minuto a las que es capaz de girar el motor por cada Voltio de electricidad que se le aplica. Es decir, que si tenemos por ejemplo un motor brushless de 3000kV, y le aplicamos a sus bornes 10 voltios, la velocidad será de 30000rpm. [41]

Se calcula el factor "KV" con la siguiente fórmula:

$$kV = \frac{\text{velocidad rotacional}(rpm)}{\text{Voltaje}(v)} \quad (3)$$

La velocidad de avance se calcula con:

$$\text{Forward speed} \left(\frac{m}{s}\right) = \frac{1}{60} * \text{velocidad rotacional}(rpm) * \text{paso de la hélice}(m) \quad (4)$$

El factor "KV" recomendado se calcula mediante:

$$\text{Factor KV Recomendado} = \frac{\text{Resultado KV}}{0.65} \quad (5)$$

2.2.26 Señal de video aérea

Reconocimiento aéreo: El reconocimiento aéreo es la inspección desde el aire de determinadas zonas, normalmente requerido en labores de espionaje y de inspección sobre determinadas áreas de terreno en tiempo real ; "El video es la tecnología aplicada para la captación, codificación, grabación, procesamiento y transmisión de una secuencia de imágenes que representan escenas en movimiento por medios electrónicos que puede ser digitales o analógicos" [42] en un vehículo aéreo no tripulado es vital obtener muestras de los lugares y acontecimientos donde opere el UAV a esta transmisión de información se lo conoce como reconocimiento aéreo en tiempo real. [43]

La Fotogrametría: La fotogrametría es una técnica para determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales de seres vivos a partir de imágenes fotográficas. Puede ser de corto o largo alcance. La palabra fotogrametría deriva del vocablo "fotograma" (de "phos","photós", luz, y "gramma", trazado,

dibujo), como algo listo, disponible (una foto), y "metrón", medir. Por lo que resulta que el concepto de fotogrametría es: "medir sobre fotos" al utilizar software de reconocimiento y modelado según las herramientas que utiliza esta puede ser fotogrametría aérea, digital, por rayos laser, por modelado en 3D[40].

En el campo de los sistemas aéreos no tripulados, el reconocimiento en tiempo real es una parte importante para la navegación y el control, y en ella se basan numerosas aplicaciones tanto en vigilancia como en monitoreo.

Equipo De Vuelo.- El equipo de vuelo es aquel que se encuentra en el UAV Mini, está conformado por la cámara, un equipo transmisor de video (Tx), una antena para el transmisor de video, batería para alimentar la cámara, opcionalmente se realizan monturas con servomotores que permiten mover la cámara, telemetría que también es un componente opcional y un módem inalámbrico.

2.2.27 Análisis Mundial del Estado de las Regulaciones Aplicables a los UAV'S

Actualmente existen tres países en el mundo, Australia, EUA y Reino Unido, que integran el Civil Aviation Safety Regulations para clasificarlos en temas de certificación se encarga Federal Aviation Regulations para los operadores, *USICO (UAV Safety Issues for Civil Operations EU Research Project)*, cuyo objetivo es el estudio de dos cuestiones clave: la certificación de la navegabilidad encargada de la fiabilidad en el diseño del UAV y las reglas operacionales que aseguran que el UAV pueda funcionar en el espacio aéreo compartido. [44]

En el caso del Ecuador la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) según la resolución 251-2015 resuelve aprobar las disposiciones que normen las operaciones de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia como son la prohibición de operaciones en cercanías de aeródromos, altura máxima de operaciones (122m), horario de operación, responsabilidades del operador, seguros, limitaciones expuesta en septiembre del 2015 [45]

2.3 Propuesta de Solución

La integración de un sistema de navegación autónoma que trabaja conjuntamente con el sistema reconocimiento aéreo que soporta señales de video y control desde y hacia la aeronave no tripulada (UAV), para cumplir misiones optimizó la funcionalidad de prototipos UAV Mini Tácticos existentes en el CIDFAE.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Modalidad de Investigación

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizó investigación aplicada, ya que se puso en práctica los conocimientos adquiridos para poder definir un prototipo de sistema de navegación aeronáutica autónoma para un vehículo aéreo no tripulado (UAV).

Investigación bibliográfica, para el desenvolvimiento de las variables del tema de estudio propuesto, se realizó las distintas consultas en libros de electrónica, sitios y publicaciones de internet referentes a la programación de tarjetas de control electrónicas.

En la investigación de campo, se realizó un estudio sistemático de los hechos en el lugar en que se produce los acontecimientos. Con esta modalidad se tuvo contacto en forma directa con la realidad, se obtuvo información de acuerdo con los objetivos del proyecto.

3.2 Recolección de Información

La información necesaria para el desarrollo del proyecto de investigación se la adquirió de las fuentes bibliográficas consultadas determinando cuales son las tecnologías factibles para definir un adecuado sistema para la autonomía en vuelo y reconocimiento, se realizó una verificación de los sistemas instalados en el UAV Mini, además se realizó una entrevista para determinar los requerimientos y limitaciones , también fue de mucha ayuda la observación del comportamiento de la aeronave cuando se encuentra en vuelo en las instalaciones del CIDFAE.

3.3 Procesamiento y Análisis de Datos

El plan para el procesamiento y análisis de datos será el siguiente:

- Revisión crítica de la información recolectada.
- Depuración en caso de información errónea o no verídica.
- Presentación en informe técnico.

3.4 Desarrollo del Proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se realizó los siguientes aspectos:

Se determinó las limitaciones que tiene un UAV Mini construido en el CIDFAE, a su vez se estableció las variables que serán monitoreadas de acuerdo a las limitaciones determinadas.

1. Análisis de los modelos aéreos no tripulados que se están desarrollando en el Centro de Investigación y desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana y como se están llevando a cabo la navegación de los mismos.
2. Detección de las limitaciones que tiene un UAV Mini construido en el CIDFAE.
3. Establecer las variables que serán monitoreadas de acuerdo a las limitaciones determinadas.
4. Seleccionar los componentes adecuados, a utilizarse para la elaboración del sistema de navegación.
5. Desarrollo FODA del sistema de reconocimiento aéreo a implementar en el UAV Mini.
6. Definición de un Sistema de Navegación Autónoma para el funcionamiento adecuado de un UAV Mini.
7. Esquematización del Sistema de Reconocimiento para un UAV Mini.
8. Planteamiento del diagrama de flujo a utilizarse en la interfaz de visualización.
9. Elaboración el Prototipo del Sistema de Navegación Autónoma y del Sistema de Reconocimiento para un UAV Mini
10. Desarrollar las pruebas en el prototipo del sistema de navegación y de reconocimiento aéreo.
11. Realizar el informe final.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE PROPUESTA

4.1 Introducción

Los sistemas aéreos no tripulados en un principio no contaban con sistema autónomo que permita controlar, visualizar en tiempo real los niveles de señal que existían en cada vuelo del prototipo; Razón por la cual el sistema autónomo de vuelo es mucha importancia para el funcionamiento y mejoramiento del desempeño de la aeronave.

En el trabajo de investigación se determinó que era necesario realizar una encuesta que a partir de realizar un conjunto de preguntas normalizadas dirigidas al técnico aeronáutico encargado de desarrollar los prototipos de UAV Mini del área de Estructuras Aeronáuticas del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana y de esta manera poder determinar los requerimientos necesarios para la integración de un sistema automático de vuelo.

4.2 Análisis de la entrevista

Gracias a la entrevista realizada al especialista del departamento de estructuras aeronáuticas del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE) Sargento Primero Eduardo Carrillo, mediante la utilización del formato presentado en el anexo A se obtuvieron los siguientes resultados:

- **¿Usted como Especialista Investigador, como califica el desarrollo de los proyectos en el CIDFAE?**

Como Especialista del CIDFAE existe un alto desarrollo de los proyectos aeronáuticos los mismos que son beneficiosos para el CIDFAE en primera instancia y para el país entero, ya que con el correcto desarrollo de los proyectos el Ecuador está avanzando tecnológicamente y así poder llevar a cabo la el desarrollo de software y hardware nacionales, dejando de depender de equipos extranjeros.

- **¿Los Vehículos Aéreos No Tripulados Mini tienen algún sistema de control autónomo?**

Actualmente para el desarrollo de pruebas de diseño de los UAV Mini se utiliza como sistema de control manual mediante un radio de radio frecuencia (RF) con su respectivo receptor, ya que no se cuenta con un sistema de autonomía eficiente que pueda ser instalado, debido a ser un sistema manual no se cumplen todas las necesidades requeridas por el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

- **¿Cómo califica la implementación de nuevas tecnologías de control en los UAV Mini del CIDFAE?**

Con la implementación de nuevas tecnologías de control se podrá tener grandes prestaciones para el correcto funcionamiento de los UAV Mini y gracias al sistema de autónomo se mejorara la información de telemetría ya que es primordial tener los datos en tiempo real del vuelo del avión y poder considerar de mejor manera el accionamiento en las misiones, previniendo así las etapas críticas de vuelo del avión.

- **¿Es el personal de aerotécnicos capacitado para realizar proyectos de largo alcance en UAV Mini?**

El personal del Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE de la ciudad de Ambato, tanto militar como civil, tienen la gran oportunidad de recibir capacitaciones en el país como en el extranjero, salen del país a prepararse y reforzar conocimientos en áreas específicas; pero se debe considerar que muchas veces ingresa nuevo personal proveniente de otras bases militares, así como también personal civil como pasantes e ingenieros en diferentes áreas de especialización que no tienen conocimiento sobre el manejo de UAV.

- **¿En el caso de escenarios críticos de una aeronave, es decir en el caso de un estrellamiento, que porcentaje de recuperación tiene la misma?**

Es claro que si un UAV tiene escenarios críticos de vuelo de los cuales no se puede recuperar tanto en modo automático como en manual, y que el mismo no tenga un sistema autónomo de vuelo para ayudar su recuperación ante algún efecto natural repentino, el avión seguramente entra en un estado de estrellamiento inminente, al ocurrir dicha colisión se puede recuperar en un 25%, que es muy bajo debido al gran impacto dado, por el aumento de los parámetros de vuelo en estos casos.

- **¿Existen los suficientes materiales y herramientas para implementar sistemas electrónicos y aeronáuticos de control autónomo como de reconocimiento aéreo en el CIDFAE?**

En algunos casos los trabajos realizados en el CIDFAE son entregados a tiempo, ya que existen las herramientas y materiales robustos de mayor tamaño específicos para trabajo en UAV de alcance medio (MR) como UAV táctico Fénix que trabaja a una altitud máxima de 5000 metros.

Pero hay labores que necesitan de herramientas especiales y necesarias para un UAV Mini ya que su mayor problema es la carga útil de su diseño, debido a este inconveniente los prototipos solo llegan a pruebas aerodinámicas de diseño en distancias que pueda ser maniobrados por el especialista en tierra ya que este necesita tener una línea de vista clara del prototipo en aire, provocando un estancamiento en esta clase de UAV ya que los proyectos deben seguir avanzando.

- **¿Sabe usted si existe algún software que pueda almacenar la información de video en tiempo real del enlace al momento que el UAV Mini se encuentra en operación?**

Para los prototipos Mini no existe un software que facilite el almacenamiento de transmisión en tiempo real o que pueda almacenar la información completa del estado de enlace.

- **¿Considera usted qué sería necesario almacenar los datos de video adquiridos del enlace de comunicaciones?**

Es sumamente necesario almacenar la información de video como de telemetría completa adquirida del enlace de comunicaciones como un sistema de respaldo de misiones.

4.3 Interpretación de los resultados de la entrevista

Debido a que este centro desde sus inicios se dedicado a la investigación y desarrollo de los diversos prototipos aeronáuticos no tripulados, no se han establecido estándares de fabricación y ensamble para los mismos, ya que continuamente se ha venido realizando innovaciones en el modelos que en su gran mayoría se dan por la adquisición de nuevos accesorios tecnológicos que formarán parte de los UAV, además cada una de estas aeronaves poseen características únicas que las diferencian unas de otras.

Se puede concluir que no existe un sistema de comunicación autónoma y de reconocimiento aéreo mediante la transmisión de video en tiempo real que son herramientas fundamentales para la adquisición de datos que aportan a la eficiencia de los sistemas de la aeronave en la ejecución de rutas que deba cumplir el UAV Mini, además de mejora los enlaces de comunicaciones.

Se recomienda que cada persona que se encuentre vinculada con el área estructuras aerodinámicas y de comunicaciones del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana tenga conocimiento del manejo y funcionamiento de cada uno de los equipos de comunicaciones instalados en los sistemas aéreos no tripulado, para evitar fallas al momento de intercambiar información entre la estación terrena y el UAVMini, para ello se debe simular la ruta de cada misión con los datos reales existentes en el entorno donde los UAV Mini vayan a operar, considerando la información que exista en los Datasheet de los equipos.

Por último de acuerdo a la entrevista realizada se puede indicar que el personal requiere de capacitación continua para efectuar su trabajo sea por el ingreso de personal nuevo o temporal.

4.4 Requerimientos para el desarrollo

De acuerdo a la entrevista realizada los sistemas de aeronave no tripula UAV Mini requieren de un sistema de control de vuelo para una navegación autónoma que permita el envío y recepción de datos de telemetría, posición, altura de vuelo y velocidad.

Al ser un modelo pequeño no tiene un tren de despegue ni aterrizaje por lo cual va ser asistido por el personal especialista en tierra el mismo que controlara de manera manual con el radio control (RF) el despegue hasta alcanzar una altura estable, ya en el aire el personal activara modo de vuelo vuelta al lugar de lanzamiento(RTL).

Para la activación del modo de vuelo autónomo requiere de un sistema de posicionamiento GPS para poder dirigir la ruta establecida en el controlador de vuelo el cual será activado inmediatamente cuando la aeronave se estabilice luego del despegue, y el autopiloto se encargara de la velocidad y control de serbos para los giros y mantenimiento de la altura establecida hasta culminar la ruta de misión.

Por último requiere de un sistema de reconocimiento aéreo mediante el uso de una cámara análoga permita visualizar en tiempo real la trayectoria tomada por la aeronave y obtener un respaldo visual de las trayectorias en misiones destinadas a UAV Mini en el centro de investigación CIDFAE.

4.5 Diseño Detallado

Para la implementación de un sistema de control de vuelo autónomo en una aeronave no tripula UAV Mini, la información que se manipula son los parámetros de Guiado,

navegación, y control de la aeronave desde la estación terrena y para la transmisión de video se lo realiza mediante un transmisor de video analógico debido a que para este tipo de aplicaciones es más rápida la velocidad de transmisión, y se considera que para su desarrollo el UAV Mini consta de cuatro categorías principales que están detalladas en la figura 4.1, en las que se enmarcarán los componentes que forman parte del prototipo:

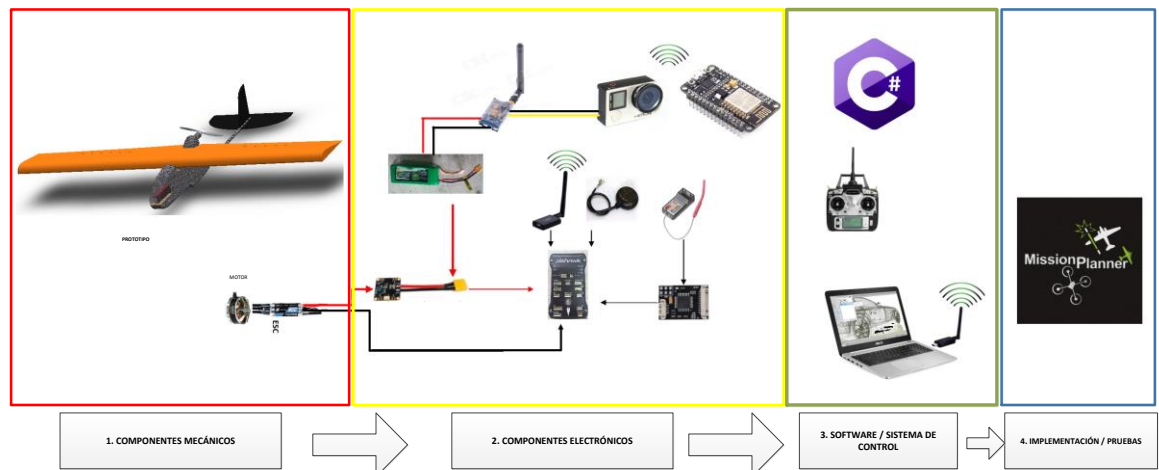


Fig. 4. 1 Categorías para el desarrollo del proyecto
Elaborado por: El Investigador.

4.6 Componentes mecánicos:

Consta de varias etapas el diseño del perfil aerodinámico, desarrollados por el departamento de desarrollo del CIDFAE como diseño de la estructura del fuselaje y y de la cola, diseño de la estructura del motor; para su implementación se utilizó materiales resistentes y livianos; los materiales indicados para este tipo de estructuras son el ácido poliláctico (PLA), balsa, fibra de carbono y fibra de vidrio, adicionalmente se utiliza poliuretano de alta densidad o recubrimiento.

Posterior al análisis y desarrollo del concepto, se prueba el sistema en un simulador de vuelos; en caso de obtener resultados positivos, se procede con la implementación de las partes físicamente.

El prototipo UAV Mini fue desarrollado con un perfil alar que le permita velocidad de vuelo subsónica, alta sustentación, bajo arrastre; que en función a los requerimientos, considerando la experiencia de expertos en aeromodelismo, se decidió un perfil alar similar más actual, FX63-120 como se muestra en la figura 2.11 del marco teórico, para mejorar la autonomía se conserva el mismo perfil alar

pero se realiza cortes internos para alivianar la estructura de la ala como se muestra en la figura 4.2



Fig. 4. 2 Forma del perfil mejorando para reducir peso
Fuente: Investigador.

Para aumentar el grado de planeación al ser un ala recta lo que permite al UAV Mini realizar vuelos cortos con alta sustentación a velocidades bajas, alta resistencia de arrastre se realiza un aumento de tamaño a 2.30 metros de longitud como se muestra en la figura 4.3.



Fig. 4. 3 Forma recta aumentada su nivel de planeación (configuración del ala)
Fuente: Investigador.

De la misma manera para poder aumentar la autonomía del prototipo a la cola se le realiza perforaciones para alivianarla estructura de la forma en T, que ofrecen alta estabilidad y control, y ligereza. Se elige, además, esta configuración por el ángulo de incidencia necesario en el estabilizador horizontal para mantener el empenaje paralelo a la cuerda del ala como se muestra en la figura 4.4.



Fig. 4. 4 Forma de la cola en T reducido peso
Fuente: Investigador.

4.6.1 Selección De Motor

De acuerdo al peso de la nueva configuración del sistema, se realiza el dimensionamiento del motor y hélices que ofrezcan el empuje necesario para levantar la estructura mecánica y hardware a bordo. En la tabla 4.1 se muestra el peso total del sistema.

Tabla 4. 1 Descripción general del peso del sistema

| ITEM | ELEMENTO | PESO (gramos) |
|------|---------------------|---------------|
| 1 | ESTRUCTURA MECÁNICA | 900 |
| 2 | MOTOR Y ELEICE | 369 |
| 3 | HARDWARE A BORDO | 650 |
| 4 | CARGA (APROX) | 220 |
| | TOTAL | 2139 |

Elaborado por: El investigador

Utilizando la formula (2) del literal e capítulo 2 sobre carga alar utilizando los nuevos datos remplazamos el peso de la aeronave es 2139gramos y una superficie alar de 2.30 metros; el valor de la carga alar es 734 g/m^2 ; a través de la ecuación (2) se obtiene la velocidad de entrada en pérdida igual a 38.6 km/h

La velocidad requerida es 10.73 m/s en vuelo hacia adelante, por lo que es necesario calcular la revoluciones por minuto por voltio de los motores para ello necesitaremos la ecuación (3) del literal del capítulo 2.2.25

En el Mercado, el paso medio de la hélice 2 palas de 0.1m; La velocidad rotacional requerida es 6438 rpm con una hélice de 2 palas de paso. Para un mejor desempeño del motor, se recomienda que la velocidad deseada sea alcanzada al 65% de aceleración. Las revoluciones por minuto por voltio (kV) calculados son 435 rpm/voltio pero se recomienda usar un motor de 670 rpm/voltio; En la tabla 4.2 se describe las características de los motores eléctricos sin escobillas que se pueden usar en nuestro proyecto.

Tabla 4. 2 Especificaciones de motores eléctricos [46]

| ITEM | G25 TURNIGY 870 | 710kv Turnigy G25 sin escobillas Outrunner | AX1306- 2200kv |
|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| SKU | G25-870 | GS25-710 | AX1306- 2200kv |
| PESO | 269.00 | 268 | 31 |
| ANCHURA | 46 | 45 | 40 |
| KV(rpm/v) | 870 | 710 | 2200 |
| PUEDE LONGITUD(mm) | 38 | 35 | 50 |
| EJE A (mm) | 4 | 5 | 1.50 |
| DIÁMETRO (mm) | 35 | 35 | 16 |
| RESISTENCIA (mili homios) | 40 | 45 | 1 |
| CORRIENTE MAX(A) | 32 | 44 | 6 |
| VOLTAJE MAX (Voltios) | 15 | 15 | 7 |
| LONGITUD TOTAL(mm) | 78 | 78 | 20 |
| POTENCIA (Watt) | 470 | 600 | 35 |

Elaborado por: Investigador.

Por su potencia de consumo medio lo cual permite mayor autonomía en tiempo de vuelo con revoluciones por minuto por voltio suficientes para la velocidad de

despegue se opta por un motor de Turnigy G25 Brushless Outrunner 870kv, como se muestra en la figura 4.5.



Fig. 4. 5 Turnigy G25
Fuente: Investigador.

4.7 Componentes electrónicos/eléctricos:

Para la selección de los dispositivos electrónicos hay que tomar en cuenta el tipo de controlador (autopiloto), el sistema de radio control, el dimensionamiento del rotor así como su respectivo ESC, los sensores externos y el sistema de radio telemetría. Cada componente se seleccionará en función ciertas características físicas, tensión máxima, capacidad, peso y tensión nominal.

4.7.1 Selección del sistema de control Autopiloto

El controlador de vuelo es el encargado del funcionamiento del aeroplano y sus diferentes sistemas y componentes, el controlador de vuelo deberá contar con las siguientes funciones:

- Auto estabilización del aeroplano en el aire.
- Control manual y automático del movimiento del aeroplano.
- Control automático de la altura del aeroplano.
- Respuesta automática ante algunas situaciones de emergencia.
- Envío constante de datos telemétricos a la estación de control en tierra.

La tabla 4.3 muestra una comparativa entre las características técnicas de los autopilotos considerados, tales como sensores, peso, consumo energético, es decir a la información que se manipula.

Tabla 4. 3 Comparación de Autopilotos

| COMPARACION DE AUTOPILOTOS | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------|----------|
| AUTOPILOTO | CONSUMO (W) | SENSORES | NAVEGACIÓN | CPU | SISTEMA OPERATIVO | COSTO (USD) | PESO (g) |
| VECTOR | 2.5 | AHRS/IMU/INS/ADS/MAGNETÓMETRO | GNSS/GPS/GLON ASS/ DGPS | DUAL 850 MIPS | WINDOWS | 10000 | 180 |
| MP2028 | 0.91 | Sensor de veocidad/ altímetro /Ggiroscopio/ Acelerómetro | GPS/DGPS | 3 MIPS | WINDOWS | 1500-8000 | 28 |
| APM 2.6 | 0.5 | Giroscopio/ Acelerómetro/ Altímetro/ Magnetómetro/ Barómetro | GPS | 32 MIPS | Win/Linux/Mac | 40 | 31 |
| PIXHAWK | 1.5 | Giroscopio/ Acelerómetro/ Barómetro/ Magnetómetro | GPS | 252 MIPS/ 168 MHz CORTEX M4F/US B/I2C | Win/Linux/Mac | 110 | 38 |

Elaborado por: El investigador

Se selecciona el autopiloto 3DR Pixhawk (figura4.6), por ser un sistema de piloto automático completo de código abierto basado en un Arduino mega 2560 lo que permite optimizar el sistema dependiendo de los requerimientos finales, permite al usuario convertir a vehículos no tripulados completamente autónomos capaces de realizar misiones en base al GPS programados con *waypoint*.



Fig. 4. 6 Pixhawk PX4 [47]

En la figura 4.7 se muestra la entradas y salidas de control que ofrece el pixhawk para conectar el modulo receptor de radio frecuencia, como las salidas de control de alerones, timón, elevador, motor



Fig. 4. 7 Diagrama Interno de del Pixhawk [48]
Fuente: Investigador.

El dispositivo de control de vuelo pixhawk de 3D Robotics en su kit de instalación incluye un regulador de voltaje para las baterías 3celdas a 5 celdas con una salida de 5V, dispositivos de posicionamiento (GPS), brújula, control de velocidad de motor (ESC) telemetría, que son adaptables a los requerimientos que se necesite.

4.7.2 Módulo GPS

Este sensor también es distribuido por la empresa 3DR y lo catalogan como un GPS de gran precisión y alto rendimiento que con brinda muchas características en la placa, entre ellas la inclusión de un magnetómetro digital alejado de las interferencias magnéticas del vehículo para un mejor desempeño, el dispositivo se actualiza a la frecuencia de 5 Hz y es configurable por medio de la estación, por lo que contiene una EEPROM para guardar configuración, además el módulo GPS (u-blox NEO-7) posee una precisión de ± 2 m y el magnetómetro (HMC5883L) con una precisión de $\pm 1^\circ$; En cuanto a la conexión de este sensor requiere 2 protocolos, para conectar el GPS necesita un puerto de 6 pines Serie Transmisor Receptor Asíncrono Universal (UART), y en cuanto al magnetómetro se comunica por un bus de 4 pines del circuito interintegrado (I2C)[49]. Además cuenta con varios filtros y un regulador de 3.3 V, todo se encuentra en un estuche protector tal como se observa en la figura 4.8.



Fig. 4. 8 Dispositivo GPS 3D Robotics [49]

4.7.3 ESC (Control electrónico de velocidad)

En resumen es una especie de driver para los motores Brushless. Se utiliza con el fin de variar la velocidad del motor, su dirección y posiblemente también para actuar como un freno dinámico. Por medio de una señal PWM, consiste básicamente en proporcionar una fuente de tensión trifásica de baja tensión de energía eléctrica para el motor, generada electrónicamente. Para más información consultar el su representación se puede observar en la Figura 4.9.



Fig. 4. 9 Dispositivo 3DR - ESC
Fuente: Investigador.

4.7.4 Telemetría 3DR

La función de estos dispositivos es crear el enlace de datos en tiempo real entre la estación y la plataforma de piloto automático, la frecuencia de operación es de 915 MHz. Entre las características de este sistema de comunicación se puede mencionar que son ajustables en varios parámetros como la potencia máxima de salida, ciclo de trabajo, su conexión de fuente es por medio de USB (3.7 – 6 VDC) en el caso de la

estación, y en el caso de la plataforma de piloto automático tiene un puerto de 6 pines Serie (UART, 3.3 V) [40]. La figura 4.10 muestra los radios a utilizar.



Fig. 4. 10 Dispositivos de Telemetria 3DR
Fuente: Investigador

4.7.5 Selección de baterías

Como se mencionó en el marco en el capítulo 2 sección 2.2.25 existen varios tipos de fuentes en la tabla 4.4 muestra una comparativa entre los distintos tipos de baterías existentes en el mercado que pueden ser aplicables para un UAV de mini

Tabla 4. 4 Comparación Tipos de Batería

| BATERIA | DENSIDAD ENERGETICA (Wh/L) | VOLTAJE/CELDAS (V) | CAPACIDAD/CELDAS (Ah) | ENERGÍA ESPECÍFICA (Wh/kg) | TASA DE DESCARGA CONTINUA (C) | CICLOS DE DESCARGA | COSTO | COMENTARIO |
|---------|----------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------|------------|----------------|
| Ni-MH | 140-300 | 1.2 | 0.8-2.9 | 100 | 0.5-2 | 500-2000 | Bajo | Efecto memoria |
| Ni-Cd | 50-150 | 1.2 | <3 | 40-60 | 1-3 | 2000 | Bajo | Efecto memoria |
| LiCoO2 | 400 | 3.7 | <3 | 200 | 25 | 400 | Alto | — |
| LiFePO4 | 220 | 3.2 | 1-20 | 90-110 | 30 | 2000-7000 | Alto | No Tóxica |
| LiPo | 300 | 3.7 | <8 | 130-200 | 60 | 1000 | Medio | Inflamable |
| LiIon | 200-500 | 3.7 | <4 | 75-200 | 2-6 | 400-1200 | Medio-Alto | Inflamable |

Elaborado por: El investigador

En la tabla 4.5 se especifica los requerimientos en consumo de corriente del UAV Mini.

Tabla 4. 5 Consumo de corriente A bordo

| CONSUMO DE CORRIENTE DE ELEMENTOS A BORDO | | | |
|--------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| ELEMENTO | CANTIDAD | CORRIENTE UNITARIA (Amperios) | CORRIENTE TOTAL(Amperios) |
| MOTOR | 1 | 2.4 | 2.4 |
| AUTOPILOTO+GPS | 1 | 0.25 | 0.25 |
| ESC(CONTROLADOR DE VELOCIDAD) | 1 | 0.20 | 0.20 |
| TELEMETRIA | 1 | 0.3 | 0.3 |
| RECEPTOR | 1 | 0.20 | 0.20 |
| PPM ENCODER | 1 | 0.25 | 0.25 |
| | | TOTAL | 3.6 |

Elaborado por: El investigador

Según las características de las baterías que hay en el mercado y las necesidades de consumo se optó por usar una batería de son la baterías de polímero de litio (LiPo), por permitir grandes capacidades de descarga, y por el motor y controlador tendremos el número de celdas máxima a poder utilizar; utilizando la fórmula 3 del Anexo (d) para un periodo de vuelo de 30 minutos necesitamos una batería que nos facilite mínimo 1000mAh Considerando el peso y la cantidad de consumo requerido, se seleccionó las baterías Multi Star 4S-5200 mA-14 v que se muestra en la figura 4.11.



Fig. 4. 11 Multi Star 4S-5200 mA-14

Fuente: Investigador.

La unidad C representa a la carga y descarga máxima que tiene una batería en una hora, por ello la batería seleccionada tiene una tasa de descarga 10C quiere decir que va a tener una descarga 52 A/h , una descarga máxima de 20 C que equivale 104 A/h

en 10 segundos. [50]

4.7.9 Análisis de Sistema de Reconocimiento del UAV Mini

El centro de Desarrollo e Investigación CIDFAE actualmente no posee un sistema para el reconocimiento para sus prototipos tácticos de menor escala como son la serie Mini, por ello hasta el momento el desarrollo de este tipo de prototipos se ha desarrollado para la prueba de nuevos fuselajes y su capacidad de romper la barrera de viento en despegue.

Como está expuesto en el marco teórico en la sección 2.2.26 un sistema de reconocimiento aéreo es la transmisión de datos de video en tiempo real de un área determinada aclarado esto para la transmisión de video se lo realiza mediante un transmisor de video analógico debido a que, para este tipo de aplicaciones es más rápida la velocidad de transmisión que la de video digital, para ello se utiliza un formato de video NTSC (formato aplicado en América).

En la tabla 4. Se muestran los distintos tipos de transmisores de video análogos en el mercado.

Tabla 4. 6 Comparación de equipos de transmisión de video



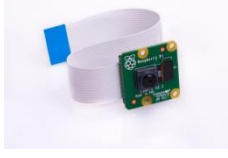
| | TS5823 5.8GHz | KP-A5 TX | TS 832 5.8 GHz |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| FRECUENCIA | 5.8 GHz/32 canales | 1.2 GHz/ 4 canales | 5.8GHz / 40 canales |
| POTENCIA DE TRANSMISION (vatios) | 200mW | 5W | 600mW |
| ALIMENTACION | 12v a 24v | 12V | DC 12V (11.1V 3S Li-Po) |
| CONSUMO | 190mA | 310 mA | 220mA |
| PESO | 8 gramos | 388 gramos | 22 gramos |
| VIDEO | PAL / NTSC | PAL / NTSC | PAL / NTSC |
| ALCANCE | 500metros | 5~10KM | 1 km |
| PRECIO | 30 dólares | 461 dólares | 80 dólares |

Elaborado por: El investigador

Por sus característica se optó por usar el transmisor Ts832 ya que trabaja a una frecuencia de 5.8Ghz lo cual no interferirá con la frecuencia del radio control futaba que trabaja a 1.2Ghz, además que tiene por su consumo bajo y tiene una distancia de transmisión aceptable en comparación a su precio que viene incluido el receptor de tierra los mismos que se muestran en la figura 4.12

En la tabla 4.7 se realiza la comparación para la elección de cámara para la transmisión de video en tiempo real.

Tabla 4. 7. Comparación técnica entre cámaras de video

| | CAMERA WITH 1-INCH 20MP SENSOR | Cámara Extrema H3 | Raspberry modulo V2 |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Distintivo |  |  |  |
| Resolución | 20Mpx | 12Mpx | 8Mpx |
| Soporte de video | 4K, video processing supports H.264 4K videos at 60fps or H.265 4K at 30fps, both with a 100Mbps 1280 x 720 | 1080p30, 720p60 y 640x480p90 en 1080píxeles-30fps, 720p-60fps, 960p-30fps y las tasas de resolución WVGA-60 para grabar vídeo, NTSC | 1080p30, 720p60 y 640x480p90 |
| Consumo de memoria RAM en video | 2GB | 512MB | No especificado |
| Sensor | System 1'' CMOS Effective pixels: 20 M | Sensor de 11 MPx y vídeo a 1080p@30, Reconocimiento facial, estabilizador de imagen | Sony IMX219 |
| Conectividad | Lightbridge | Mini usb, micro sd, wifi, hdmi | CSI interfaz serie al conector S5 de placa raspberry pi |
| Sistemas operativo destinados | Windows 7, 8, 10 o superior macOS 10.10 o superior, linux | Windows 7, 8, 10 o superior macOS 10.10 o superior, linux | Raspberry pi en cualquier distribución |
| Frecuencia máxima de la imagen | 10fps,20fps,30fps,60fp | 12fps,25fps,30fps,60fps. | 30fps |
| Formato de video | H.264H.264 / H.265 | códec h.264 y el tipo de archivo MP4 | raw h.264 |
| Distancia focal | optimized F2.8 wide-angle lens with a 24mm | 1cm en adelante | 1m en adelante |
| Resistente al agua y polvo e impactos | Si | Si, sumergible hasta 10 m en agua | No |
| Voltaje de operación | 5-12[v] | 5[v] | 5[v] |
| Costo dólares | \$4900 | \$130 | \$55 |

Elaborado por: El investigador

Para la realización del proyecto se toma la decisión de usar la GoPro 3, por el uso del sensor óptico utilizado es la cámara para deportes extremos su estructura anti golpes y estabilizador de imagen que ayudara en la toma de imágenes en el reconocimiento de una zona determinada.



Fig. 4. 12 Sistema de transmisión de video Ts 832 [51]

Como accesorio de la cámara GoPro viene incluido el decodificador de señal RCA *EasierCAP UTV007* que se muestra en la figura 4.13, el cual permite la captura de video y audio, decodificando el formato *NTSC* (*National Television System Committee*), que es el sistema de vídeo estándar utilizado en América del norte y la mayor parte de América del sur: Para después ser reproducido en algún otro dispositivo receptor. En esta ocasión una PC.



Fig. 4. 13 Decodificador RCA a NTFS
Fuente: Investigador.

4.7.10 Análisis FODA del Sistema de Reconocimiento Aéreo

Después de realizar la selección de los componentes que van hacer utilizados en el sistema de reconocimiento aéreo procedemos al análisis de fortalezas,

oportunidades, debilidades, amenazas que se muestran en la siguiente figura 4.14.

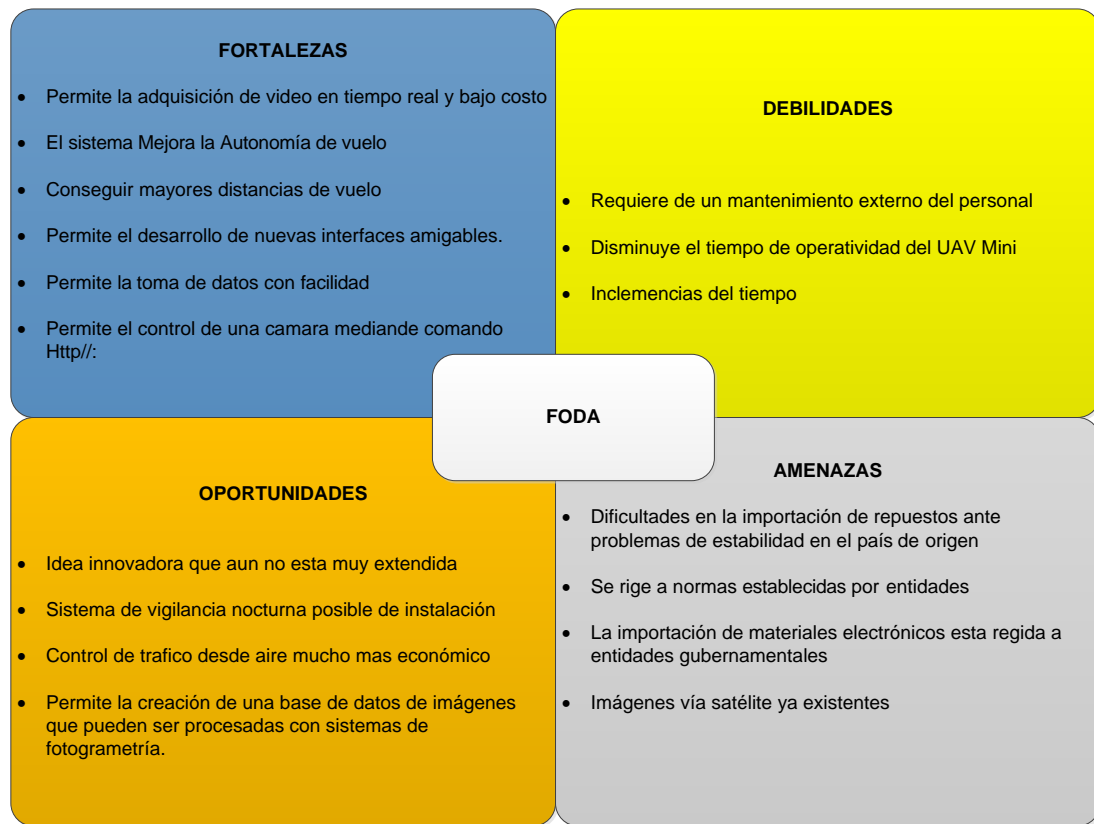


Fig. 4. 14 Análisis FODA
Elaborado por: El investigador

Un sistema de reconocimiento electrónico, que permita el monitoreo adecuado de una zona mediante imágenes en tiempo real, permitirá al centro de investigación tener un aliado mucho más económico en mantenimiento como en operatividad.

4.8 Componentes del sistema de control

El control de la aeronave se realiza por medio de software y hardware mediante el envío de señales permite regular la velocidad del rotor y controlar el vuelo del UAV; para ello se debe realizar las siguientes configuraciones de control.

4.8.1 Configuración del autopiloto

Antes de realizar la configuración del sistema de control debemos elegir un programa de fuente libre de la lista que se encuentra en la tabla Tabla 4.8.

Tabla 4. 8 Resumen de comunidades open-source de UAVs más importantes

| PROYECTO | CONTROLADOR PRINCIPAL | DISEÑOS HARDWARE DISPONIBLES | SENSORES CONSIDERADOS | CONFIGURACION |
|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| AEROQUAD | Arduino ProUno/Mega/Mini/STM32 | Esquemáticos, PCBs | Gyro, Acc,Gps,Mag, Alt | Tri, Quad, Hexa, Octo |
| APM Copter (EX ArduPilot) | APM: Atmega2560, Pixhawk:STM32 | Esquemáticos, PCBs | Gyro, Acc,Gps,Mag, Alt, temp | Tri, Quad, Hexa, Octo |
| MultiWiiCopter | Arduino Pro Mini / Mega | Esquemáticos | Gyro, Acc,Gps,Mag, Alt | Tri, Quad, Hexa |
| OpenPilot | STM32 | Esquemáticos, PCBs | Gyro, Acc,Gps,Mag, Alt, temp | Tri, Quad, Hexa, Octo > Octo |
| UAVP | ATMEGA644 | Esquemáticos | Gyro, Acc,Gps,Mag, Alt, temp | Tri, Quad, Hexa, Octo > Octo |

Elaborado por: El investigador

Según nuestros requerimientos de nuestra tarjeta controladora Pixhawk PX4 se elige el sistema APM Copter o conocido como Missio Planer que fue creado por Michael Osborne, hace mucho más que planificar misiones, estas son algunas de las características de este software:

- Point and click entrada waypoint, usando Google Maps.
- Seleccionar los comandos de la misión de menús desplegables
- Descargar archivos de registro de la misión y analizarlos
- Configurar las opciones de administración avanzada de energía (APM) para su fuselaje
- Interfaz con un simulador de vuelo de computadora para crear un completo simulador de un vehiculo aéreo no tripulado (UAV).

El control del dispositivo está dado por la teleoperación, es decir, esta teledirigido por un usuario el cual se encarga de gestionar todas las operaciones de control desde la base en tierra. El entorno de manejo del sistema de control es amigable para el usuario el mismo que cuenta con los siguientes elementos.

a. Flight Data.- La ventana de datos de vuelo compuesto de tres partes:

- Primero la información sobre la dirección posición geográfica.
- Segunda parte no muestra los niveles de altitud, nivel de batería.

- Tercero dirección de vuelo, datos de conexión mediante telemetría, enfocándose primordialmente en la altitud y ubicación del dispositivo en vuelo o en tierra para su configuración; posee tres ventanas en las cuales se puede visualizar el estado del dispositivo y sus sensores como se muestra en la figura 4.15.



Fig. 4.15 Ventana de datos de vuelo (Flight data)

Fuente: Investigador.

b. Flight Planner.- El Programador de vuelo permite planificar el vuelo del dispositivo y otras acciones de secuencias de comandos, proporciona información del dispositivo proporcionada por el GPS sobre la Latitud, Longitud, altitud y la distancia desde un punto a otro.

Muy útil para planificar misiones autónomas y de fácil programación, la ventana principal nos permite ubicar en el mapa al dispositivo mediante la utilización del GPS y el punto o los puntos georeferenciales a los cuales se puede programar alguna tarea de reconocimiento no disponible sin el equipamiento de telemetría como se muestra en la figura 4.16.

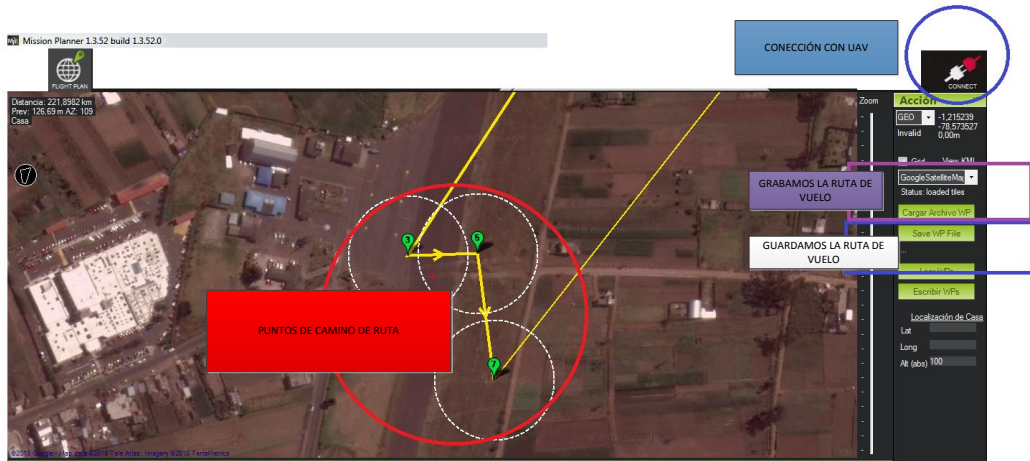


Fig. 4. 16 Ventana del plan de vuelo (solo con módulo telemetría).
Fuente: Investigador.

c. Configuración Firmware

La ventana de configuración inicial nos proporciona herramientas necesarias para la instalación del firmware para cargar el código necesario según sea el caso de nuestro dispositivo como se muestra en la figura 4.17, el asistente de configuración le guiará para hacer los ajustes necesarios en la instalación, calibración de sensores críticos para el buen funcionamiento del dispositivo.

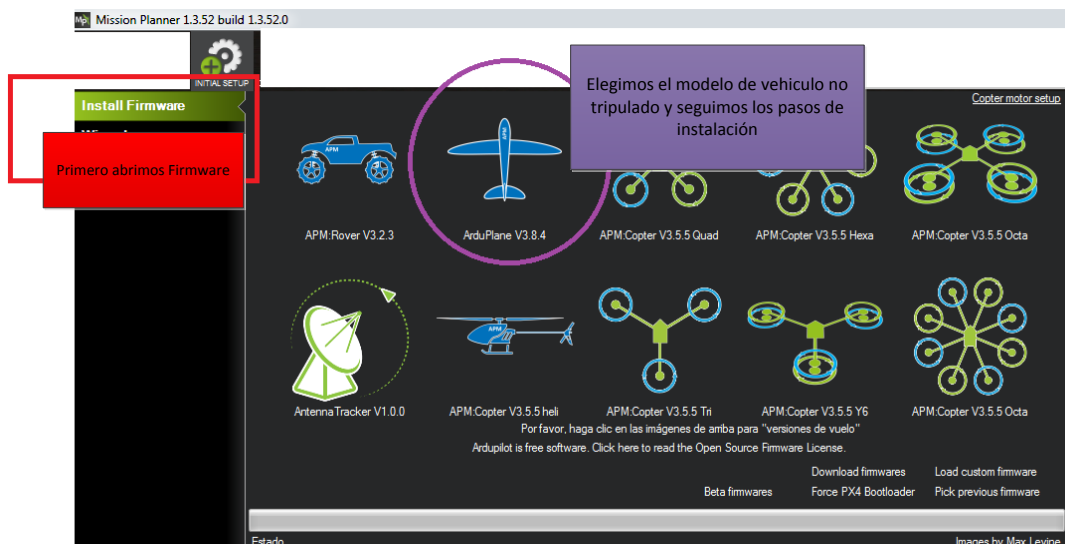


Fig. 4. 17 Ventana para la configuración Inicial (firmware)
Fuente: Investigador.

d. Calibrar brújula

Para realizar la calibración básica brújula que se encuentra integrada en el GPS se deberá realizar lo siguiente como se muestra en la figura 4.18:

1. En configuración inicial abrimos la opción **Compass** seleccione la orientación correcta para su configuración.
2. Asegúrese de que el **Habilitar** y **AutoDec** casillas de verificación se comprueban
3. Haga clic en el botón "Calibración en vivo"
4. A continuación, seleccione la configuración del piloto automático.



Fig. 4. 18 Calibración Brujula
Fuente: Investigador.

e. Calibrar acelerómetro

Bajo Configuración inicial, seleccione Accel Calibración en el menú del lado izquierdo si está utilizando firmware 3.0, asegúrese de comprobar que el cuadro de AC 3.0 pero si está utilizando 2.9.1b o anterior, deje la casilla sin marcar, este proceso requiere que usted coloque su aeronave en la posición de nivel es el más importante, para hacerlo bien ya que esta será la actitud de que su controlador considera nivel durante el vuelo.

Cuando esté listo para realizar la calibración, seleccione *Calibrar Accel* como se muestra en la figura 4.19

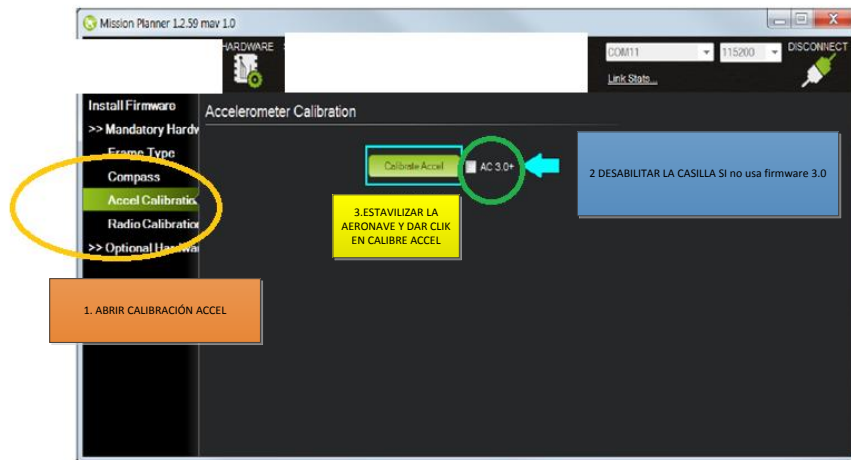


Fig. 4. 19 Calibración Acelerómetro
Fuente: Investigador.

f. Configuración Inicial

La configuración proporciona las herramientas necesarias para la configuración del radio control, personaliza el controlador proporcional integral derivativo (PIDS) y otros entornos críticos, como la activación y desactivación de hardware.

Es posible que todas las características del software no estén disponibles al no estar sincronizados el hardware con el software, permitiendo además la manipulación de ciertos parámetros de la cámara a bordo que se utiliza, cabe destacar que todas estas características estarán activadas si se posee un módulo de telemetría a bordo sincronizado con la cámara como se muestra en la figura 4.20.

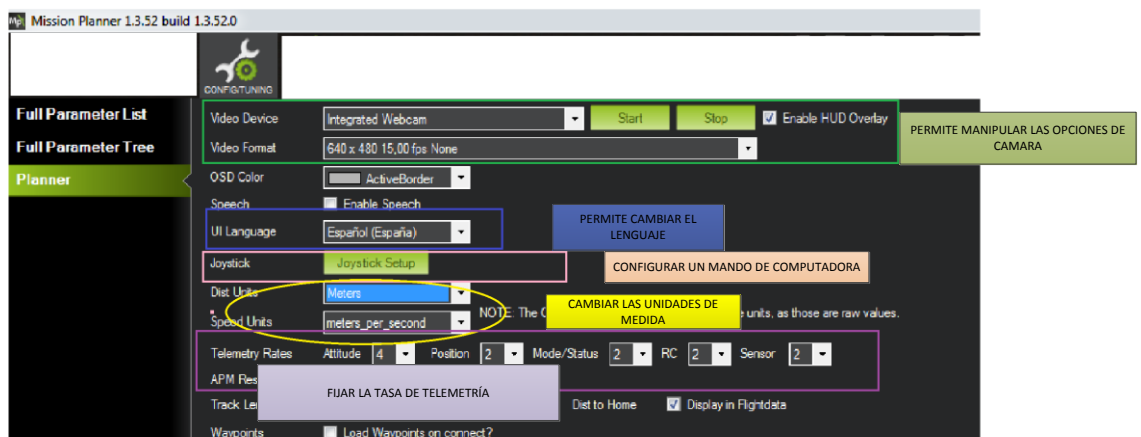


Fig. 4. 20 Ventana para la configuración especial (parámetros cámara, unidades, idioma, sensores)
Fuente: Investigador

g. Simulación

El modulo que provee Mission Planner proporciona la mejor herramienta para la simulación de vuelo para familiarizarse con los controles y la conducción o manipulación de la aeronave en uso, solamente habrá que configurar cierto valores previos e inicializar el simulador como se observa en la figura 4.21

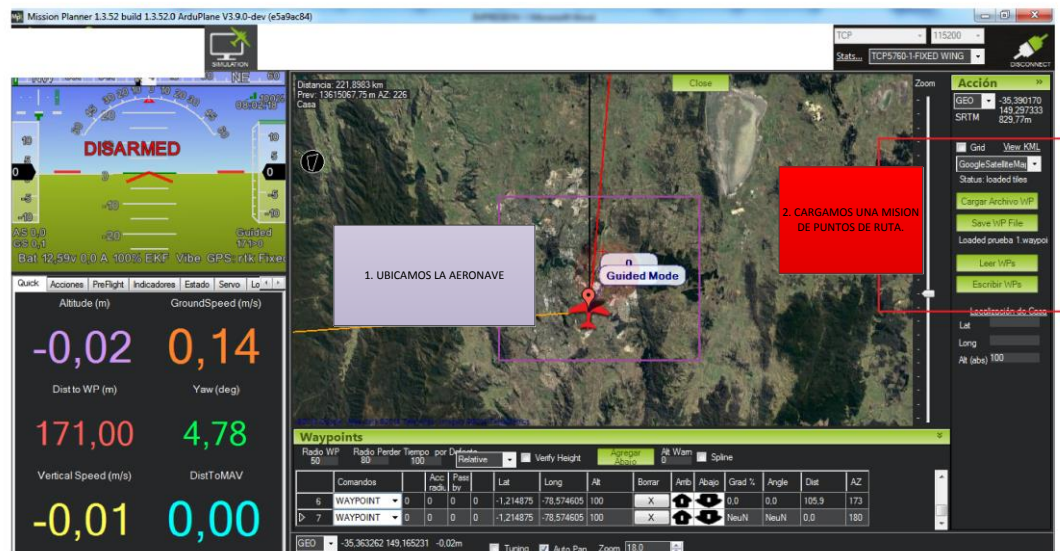


Fig. 4. 21 Ventana para la simulación vuelo
Fuente: Investigador

4.8.2 Configuración Radio Control en Mision Planer

Encienda el transmisor. Compruebe que el transmisor está en modo Avión (APM necesita el modo avión, independientemente del tipo de plataforma en fase piloto) y todos los adornos están centradas, el transmisor se puede configurar de dos maneras:

- **Modo 1**, el palo izquierdo controlará cabeceo y guiñada, el palo derecho controlará acelerador and roll.
- **Modo 2**, el palo izquierdo controlará acelerador y guiñada; el palo derecho controlará cabeceo y balanceo.

Para cualquier tipo de transmisor, interruptor de tres posiciones del transmisor debe ser conectado al canal 5 y controlará los modos de vuelo.

Opcionalmente perilla de sintonización del transmisor debe controlar el canal 6 para el ajuste durante el vuelo. Canal 7 y Canal 8 interruptores se pueden utilizar para controlar las funciones auxiliares, en Mission Planner, haga clic en el botón verde "Calibrar Radio" en la parte inferior derecha de la ventana. Mission

Planner llamará a una ventana de diálogo para asegurar que el equipo de control de radio está encendido, la batería no está conectada, y la hélice tampoco como se muestra en la figura 4.22.

Seleccione Aceptar; mover las palancas de control y los interruptores de palanca en su transmisor a sus límites de desplazamiento y observar los resultados en las barras de calibración de radio. Líneas rojas aparecerán a través de las barras de calibración para indicar valores máximos y mínimos. Mueva el Ch 5 y 6 interruptores de palanca a través de su gama de posiciones (Ch 7 y 8 no se utilizan para operaciones básicas).

Su transmisor causo los siguientes cambios de control:

Canal 1: baja = rollo de la izquierda, alta = rollo de la derecha.

Canal 2: baja = paso hacia delante, alta = paso atrás.

Canal 3: baja = acelerador hacia abajo (off), alta = acelerador hacia arriba.

Canal 4: baja = guiñada a la izquierda, alta = guiñada derecha.

Cuando las barras rojas de roll., acelerador, guiñada, y radio 5 (radio y opcionalmente 6, 7 y 8) se han fijado en las posiciones mínima y máxima, seleccione (Hecho); Mission Planner mostrará un resumen de los datos de calibración, los valores normales son alrededor de 1100 para los mínimos y máximos para el 1900; Si las barras en la dirección opuesta a la dirección en la que está moviendo los palos, eso significa que el canal se invierte en el lado del transmisor RC, utilice canal inverso de su transmisor RC funcionar para revertirlo en el transmisor como se muestra en la figura 4.22

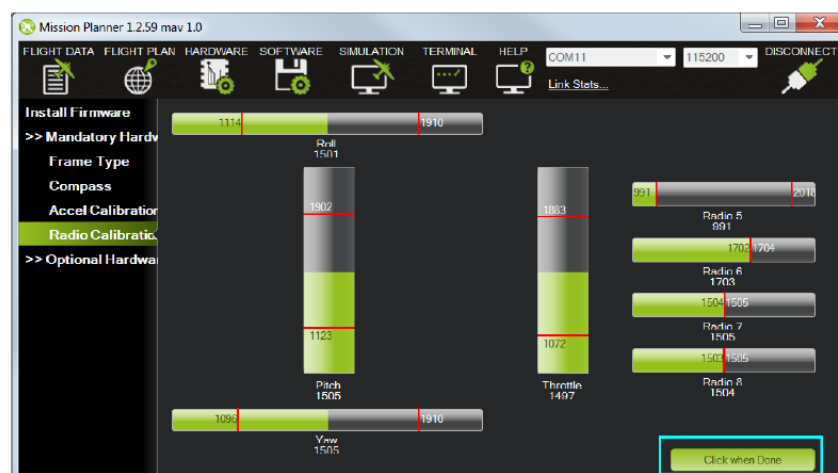


Fig. 4. 22 Configuración del radio

Fuente: Investigador

4.8.3 Adquisición y visualización de imágenes de video.

En la Figura 4.23 se observa el funcionamiento de la interfaz de recepción de imagen desarrollada en Visual Studio community que es un Software no licenciado y de descarga libre, estos bloques generan una interfaz entre el transmisor de imagen montado en el dron conectado a la cámara de acción y el receptor o cualquier dispositivo de adquisición de imágenes que se encuentre conectado a la PC, en este caso se configura este bloque con el módulo USB Video-Capture, que convierte una salida analógica de audio, video de conexión USB, se dirige a la salida del receptor de video analógica de 5.8 GHz que recibe la señal de video obtenida por el UAV Mini para monitorear la zona que se haya levantado una trayectoria de misión y programado con anterioridad en el controlador pixhawk .



Fig. 4. 23 Interfaz desarrollada en Visual Studio Community
Fuente: Investigador

4.8.4 Control de Cámara

Para realizar un sistema que me permita manipular funciones de la cámara elegida GoPro Hero 3, me base en la tarjeta controladora de vuelo que es compatible con arduino de tal manera que para realizar el control remoto de la cámara utilice los siguientes elementos que se muestran en la siguiente figura 4.24



Fig. 4. 24 Diagrama físico de control de cámara.

Se procede a realizar la simulación del circuito transmisor que se encuentra en tierra como se muestra en la figura 4.

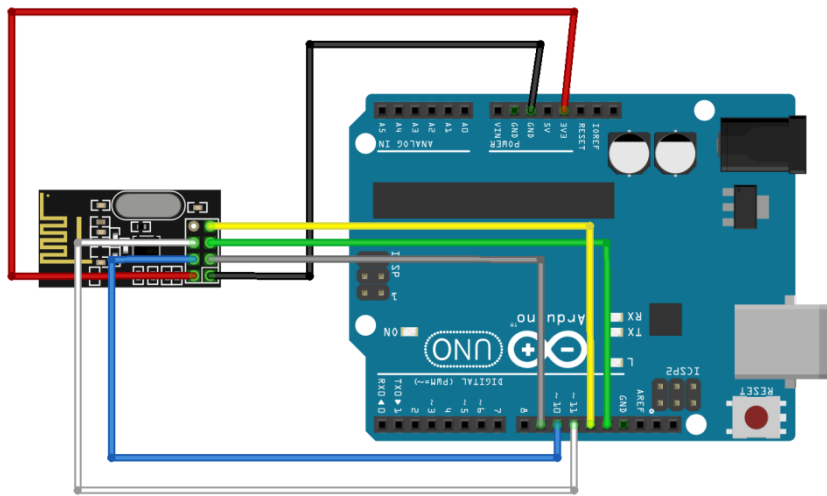


Fig. 4. 25 Simulación del transmisor del control de cámara
Elaborado por: El Investigador

Del mismo modo se realiza la simulación del receptor que se encuentra dentro del UAV Mini como se muestra en la figura 4.26

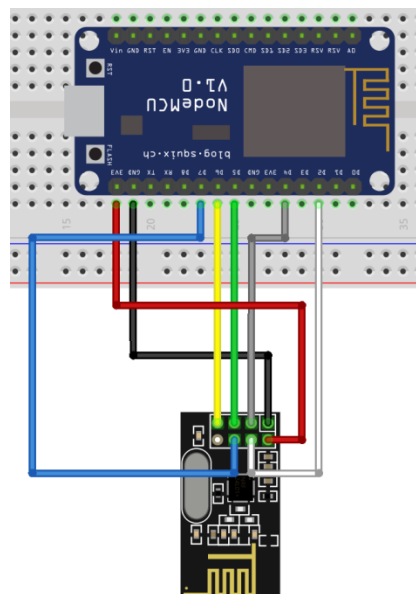


Fig. 4. 26 Simulación del transmisor del control de cámara
Elaborado por: El Investigador

4.8.5 Diagramas y Arquitecturas del Sistema UAV Mini

La arquitectura de software que rige el comportamiento del prototipo en modo autónomo se describe en la figura 4.27

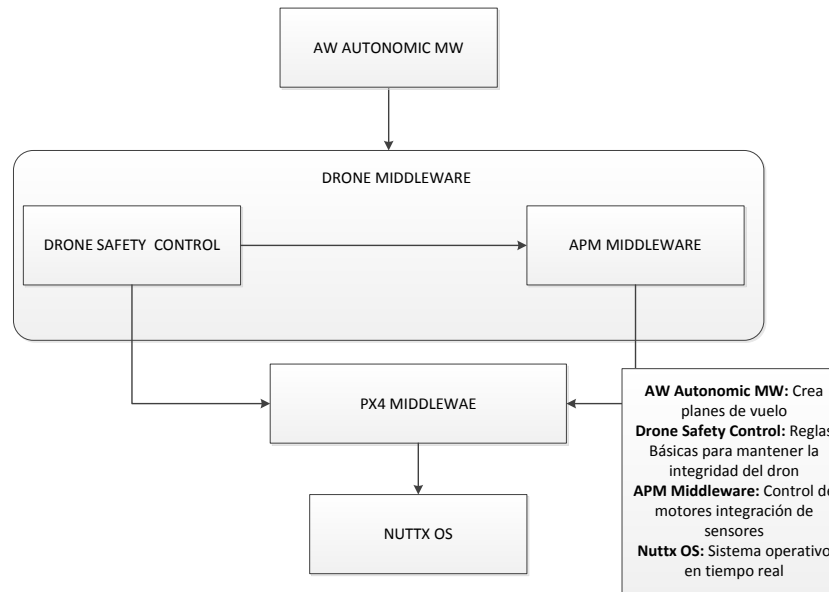


Fig. 4. 27 Arquitectura de software de UAV
Elaborado por: El investigador

En cuanto al funcionamiento del sistema, se adjunta un diagrama de flujo descriptivo en la figura 4.28. Los rangos de valores de las señales que intervienen en el proceso se explican en la tabla 4.9.

Tabla 4. 9 Rangos valores de señales

| ITEM | SEÑAL | TIPO | UNIDAD | RANGO |
|------|---------------------|----------------|---------------|-----------|
| 1 | SEÑAL RC | ANCHO DE PULSO | MILISEGUNDOS | 1 A 2 |
| 2 | PITCH, ROLL, YAW | ANGULO | GRADOS | 0 A 35 |
| 3 | PWM,ESC | ANCHO DE PULSO | MICROSEGUNDOS | 1175-1900 |
| 4 | CORRIENTE A MOTORES | CORRIENTE | AMPERIOS | 0.8-9 |

Elaborado por: El investigador

En la figura 4.28 se detalla el diagrama de flujo que realiza el sistema autónomo para realizar una misión.

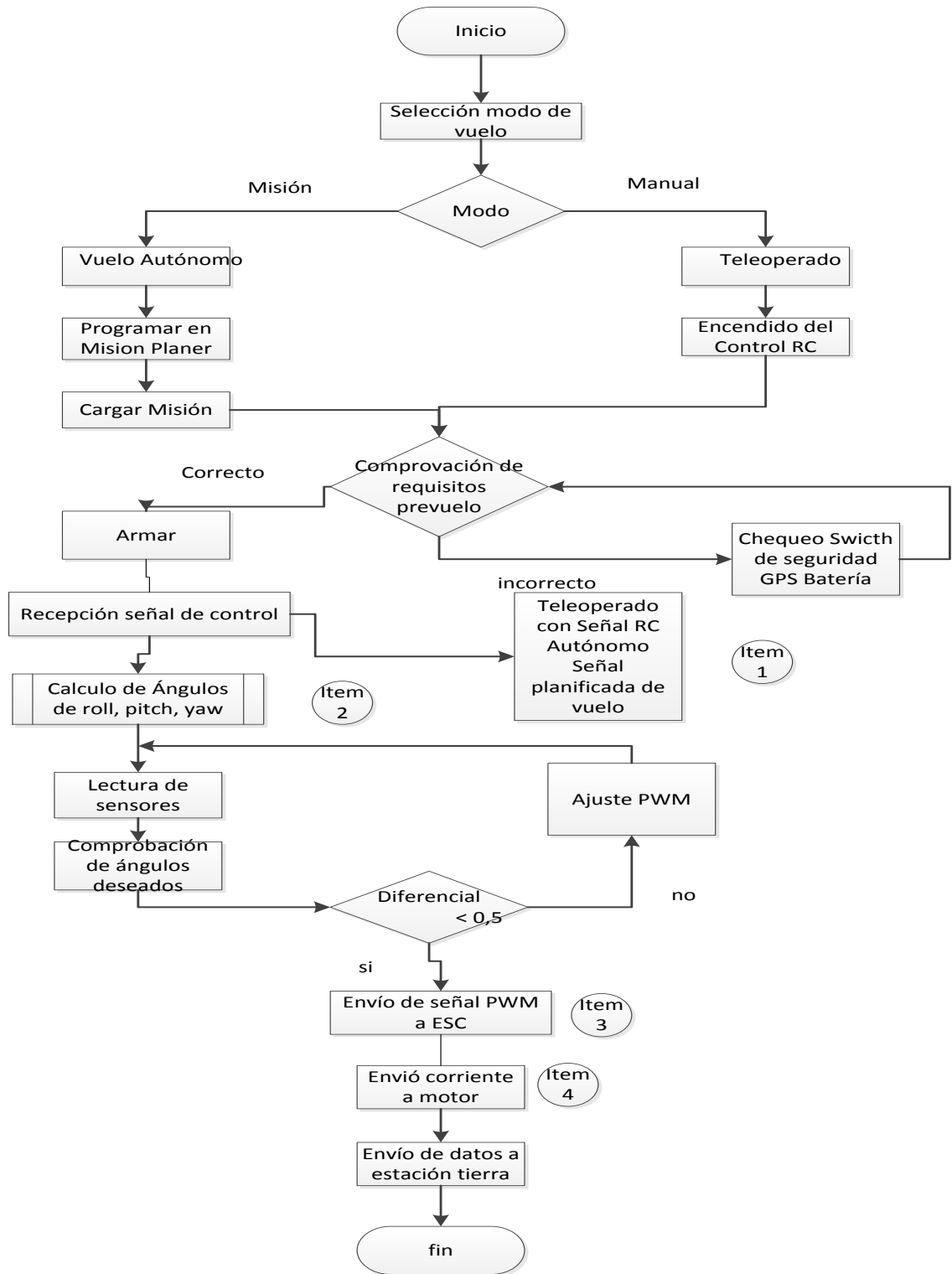


Fig. 4. 28 Diagrama de flujo de funcionamiento del sistema

Elaborado por: El investigador

En la figura 4.29 se muestra el diagrama de flujo que se utilizó para desarrollar la adquisición de la imagen del UAV Mini

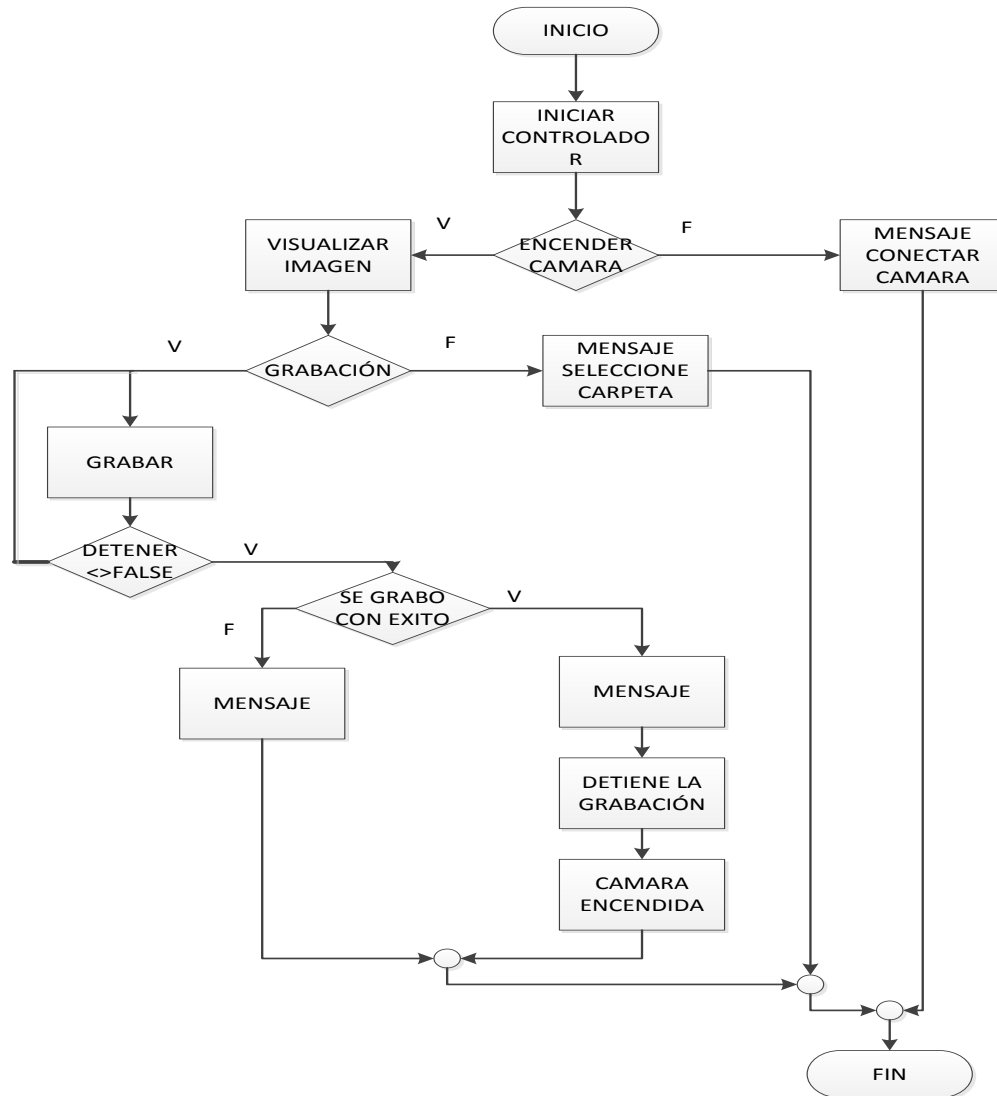


Fig. 4. 29 Diagrama de flujo de la interfaz de adquisición de imágenes
Fuente: Investigador

La estación base se divide en dos secciones para una mejor comprensión, en la figura 4.30 se encuentra detallada toda la arquitectura de hardware que es usada en la plataforma Visual Studio para la adquisición de imágenes, el procesamiento de los datos, y la recepción de video en tiempo real transmitido por el UAV Mini.

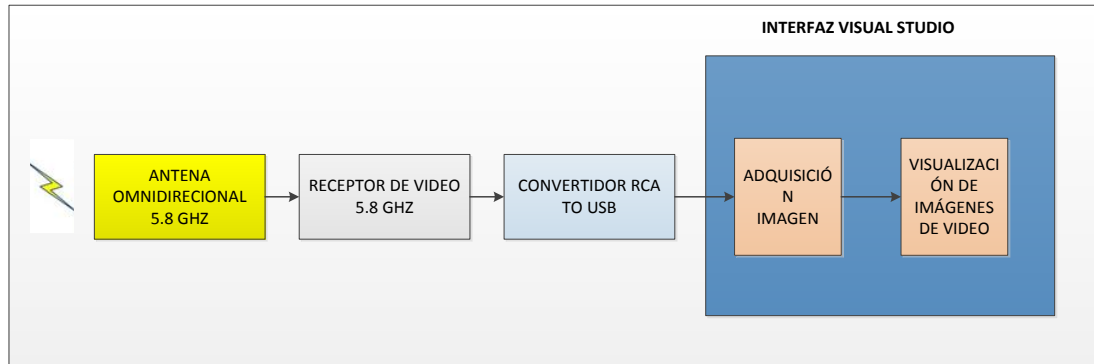


Fig. 4. 30 Arquitectura de hardware estación base parte Visual Studio.
Elaborado por: El investigador

En la figura 4.24 se observan los componentes de hardware destinados al control del UAV Mini desde la interfaz de Mission Planner, en donde se visualizan todos los datos que intervienen en el vuelo del UAV Mini, así como su posición, nivel de batería y consumo de corriente, desde esta interfaz se establecen los puntos para las misiones de piloto automático, donde la trayectoria se obtiene automáticamente una vez establecida la altura y velocidad deseada para el vuelo del VANT y así este procede a su vuelo autónomo al punto designado.

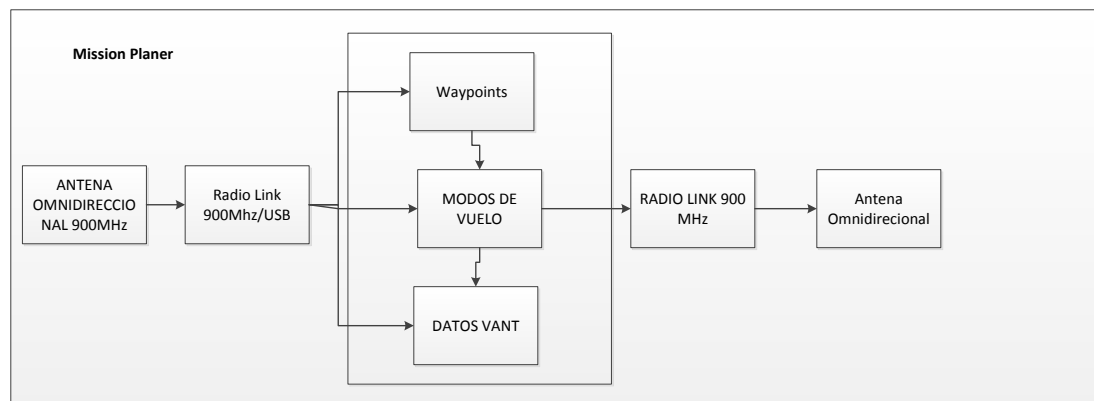


Fig. 4. 31 Arquitectura de la estación base parte Mission Planner.
Elaborado por: El investigador

4.9 Implementación, análisis y pruebas:

Se usan diversos software de diseño mecánico, así como también software de simulación de vuelo y programación para controladoras autopiloto OpenSource.

Las especificaciones para cableado y conectores utilizados en el sistema a bordo se muestran en la tabla 4.10.

Tabla 4. 10 Conexiones eléctricas y electrónicas del prototipo

| CONEXIONES ELECTRICAS | | | | | |
|------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------|-----------------|
| ITEM | ELEMENTO 1 | ELEMENTO 2 | CONEXIÓN | CABLE | CONECTOR |
| 1 | BATERIAS | POWER MODULE | UNIDIRECCIONAL | AWG14 | XT60 |
| 2 | POWER MODULE | ESC | UNIDIRECCIONAL | AWG18 | |
| 3 | ESC | MOTOR | UNIDIRECCIONAL | AWG18 | XT60 |
| 4 | RX RC | PPM ENCODER | UNIDIRECCIONAL | Cu 2.5mm | JUMPER |
| 5 | PPM ENCODER | PIXHAWK | UNIDIRECCIONAL | Cu 2.5mm | MICRO JST |
| 6 | GPS | PIXHAWK | UNIDIRECCIONAL | Cu 2.5mm | MICRO JST |
| 7 | PIXHAWK | TELEMETRIA TX | BIDIRECCIONAL | Cu 2.5mm | MICRO JST |
| 8 | ESC | PIXHAWK | UNIDIRECCIONAL | Cu 2.5mm | MICRO JST |

Elaborado por: El investigador

4.9.1 Pruebas y Análisis

La primera prueba consiste en realizar la conexión de los elementos electrónicos siguiendo el diagrama antes descrito, además de realizar una configuración inicial del sistema con los parámetros generales, tales como el tipo de firmware, configuración del RC, y dejando los demás valores por default.

En primera instancia, la conexión de señales de control se realizó utilizando las salidas receptor radio control a la entrada de señales de los ESC, con lo que se comprobó el correcto funcionamiento de motores, receptor y transmisor RC; con la debida seguridad ya que el motor tiene instalado una hélice, como se muestra en la figura 4.32.



Fig. 4. 32 Prueba de control de velocidad de motor con receptor RC y ESC
Fuente: Investigador

El siguiente paso consistió en codificar la señal del receptor RC a través del PPM Encoder, las cuales se conectan al puerto “RC” del autopiloto y realizar el control de velocidad del motor conectando las salidas PWM del autopiloto Pixhawk a las entradas de señal de los ESC como se muestra en la figura 4.33; estas pruebas se las realiza en suelo y sin hélices por seguridad del fuselaje.



Fig. 4. 33 Control de velocidad de motor a través de señales PWM del autopiloto Pixhawk
Fuente: Investigador

4.4.2 Prueba 2: Funcionamiento autónomo y obtención de datos por telemetría

El funcionamiento del sistema para vuelo autónomo se realiza a través de misiones planificadas a través de Mision Planer, que se ejecutan en la aeronave cuando se activa el modo MISSION.

La prueba realizada considera una misión con una trayectoria cuadrada, con una velocidad de crucero x/y de 10m/s, velocidad de despegue de 1.5 ms/s y velocidad de aterrizaje de 0.5 m/s, planificada como se indica en la tabla 4.10

Tabla 4. 11. Planificación de vuelo

| SÍMBOLO | NOMBRE | ALTITUD(m) | DISTANCIA PUNTO PREVIO (m) |
|---------|-----------|------------|----------------------------|
| H | AUTO HOME | 0 | 0 |
| T | TAKE OFF | 5 | 1.62 |
| 2 | WAYPOINT | 0 | 22.9 |
| 3 | WAYPOINT | 0 | 16.97 |
| 4 | WAYPOINT | 0 | 22.9 |
| L | LANDING | -5 | 15.30 |

Elaborado por: El investigador

La misión se realiza en la pista de la FAE Ambato un área abierta donde se evita daños a terceros si llegara a fallar algo en lo estructural o en la programación de la misión; en la figura 4.34 se indica los puntos de la trayectoria a seguir. En la figura 4.35 se muestra al prototipo ejecutando la misión.

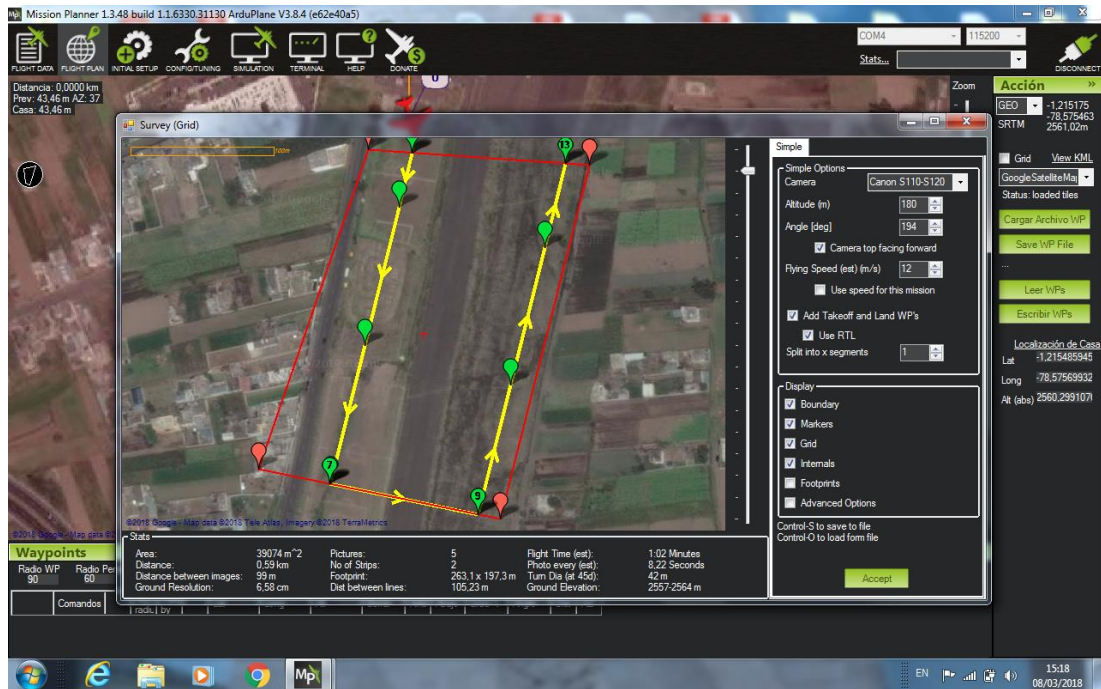


Fig. 4. 34 Puntos de trayectoria a seguir en la misión en la pista del CIDFAE Ambato
Fuente: Investigador



Fig. 4. 35 Prototipo UAV Mini ejecutando la misión
Fuente: Investigador

Mediante el protocolo de comunicación MAVLink se obtienen los datos se obtienen a través de la telemetría y se almacenan en el equipo como archivos .mavlink, compatibles con software de análisis de telemetry log (APM Planner). En la figura 4.36 se muestran los valores de velocidad en eje x y, obtenidos durante la misión.

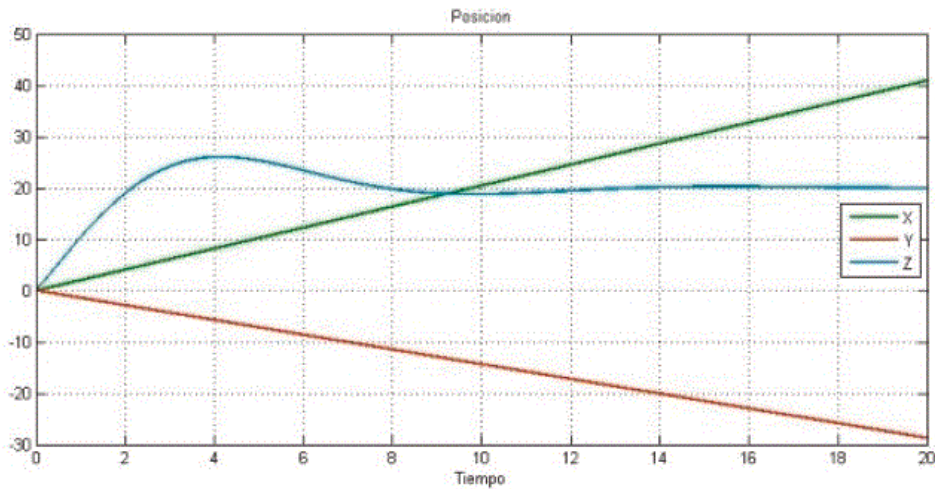


Fig. 4.36 Velocidad en eje x y eje y en visualizador de archivos log APM
Fuente: Investigador

4.4.3 Prueba 3: Funcionamiento del sistema de reconocimiento

Pruebas de alcance de transmisión y recepción del video del UAV Mini.

Se realiza la prueba utilizando el transmisor de video ts5828 con los siguientes parámetros:

- Potencia transmisión: 600 mW
- Canal: 5860 MHz
- Ganancia de antena: 5 dBi

Y un receptor con las siguientes características:

- Sensibilidad de recepción: -90 dBm
- Ganancia de antena: 3 dBi

Se toman puntos de referencia a 100, 200, 300 m del punto donde se ubica el UAV Mini, en cada uno de los puntos verificamos si la comunicación es viable.

Además se realizó el análisis teórico para calcular el nivel de señal existente en el

enlace a partir de las pérdidas por espacio libre utilizando la formula (6) del anexo d.

$$Lfs = 92.5 + 20 \log(f) + 20\log(d) \quad (6)$$

Lfs = pérdida básica de transmisión en el espacio libre (dB)

F= Frecuencia (GHz)

D= distancia (km)

Calculo de pérdidas por espacio libre a 300 metros.

$$Lfs = 92.5 + 20 \log(5.8) + 20\log(0.3) \quad (7)$$

$$Lfs = 97.32 \text{ (dB)} \quad (8)$$

Balance de potencias con la formula (7) del anexo d.

$$PT = PTx - PcTx + GTx - PcRx + GRx - Lfs \quad (9)$$

PTx= Potencia de Transmisión (dBm)

PcTx= Pérdidas por cables y conectores Tx (dB)

GTx= Ganancia de antena Tx (dB)

GRx= Ganancia de antena Rx (dB)

PcRx= Pérdida por cables y conectores Rx (dB)

$$PT = 27.8 \text{ dBm} - 0.5 \text{ dB} + 5 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} + 3 \text{ dBi} - 97.32 \text{ dB} \quad (10)$$

$$PT = -62.51 \text{ dBm} \quad (11)$$

En la tabla 4.12 se ven los resultados obtenidos a distintas distancias en la transmisión de video en tiempo real.

Tabla 4. 12. Resultados prueba de alcance de transmisión de video

| | Nivel de señal (cálculo teórico) |
|-------|-------------------------------------|
| 50 m | -46.94 dBm |
| 100 m | -52.97 dBm |
| 200 m | -58.99 dBm |
| 300 m | -62.51 dBm |

Elaborado por: El investigador

Pruebas de recepción de datos en la interfaz de Visual Studio

Se realizó la prueba de recepción de datos en la interfaz desarrollada en Visual Studio 2015 Community, como se puede observar en la Figura 4.30, los datos tanto de telemetría que es visualizado en la aplicación Mision Planer son recibidos y separados por variables y presentados individualmente en cada uno de los indicadores, en este caso se puede observar los niveles de batería de cada uno de los sensores; mientras tanto en la pantalla de recepción de imagen se logra visualizar la transmisión en tiempo real.



Fig. 4.37 Adquisición de datos en la interfaz gráfica
Fuente: Investigador

4.4.4 Cálculo de tiempo de vuelo del UAV Mini.

Se realiza el cálculo teórico del tiempo de vuelo tomando en consideración todas las características físicas y eléctricas del sistema.

Primero se calcula la energía total proporcionada por la batería, en este caso se utiliza una batería Lipo Multistar de 5200 mAh de 4 S es decir 14.8 V utilizando la formula (8) del anexo d.

$$E = P * t \quad (11)$$

E= energía total proporcionada por la batería.

P= potencia de salida

t= tiempo de referencia.

$$E = (5.2A * 14.8v) * 1h = 76.96Wh \quad (12)$$

Ahora se calcula la densidad de energía proporcionada por dicha batería utilizando la fórmula (9) del anexo d.

$$D = \frac{E}{P} \quad (13)$$

D= densidad de energía proporcionada por la batería.

$$D = \frac{76.96Wh}{0.475Kg} = 162.02 Wh/Kg \quad (14)$$

$$TE = 4.4g/W \quad (15)$$

TE= Empuje del motor por watio

El empuje generado por el motor es de 2200 g a máxima potencia, ya que el sistema es de ala fija de 1 motor que generara el empuje antes descrito, se realiza el cálculo del empuje total del sistema conservando un 20 % de margen para la ejecución de maniobras del vehículo aéreo mediante la fórmula (10) del anexo d.

$$TT = T * 1 * 80\% \quad (16)$$

T= Empuje individual de cada motor

TT= Empuje total

$$TT = 2200 * 1 * 80\% = 1760 g \quad (17)$$

$$Pb = Pe = Pc$$

Pe= Peso Total UAV Mini

Pc= Peso carga útil

Pb= Peso neto del UAV Mini

$$Pb = 1760 - 900 = 860 g \quad (18)$$

$$Pw = \frac{1760}{4.4} = 400W \quad (19)$$

Pw= Potencia requerida para mantener a UAV Mini en el aire mediante la fórmula (12) del anexo d.

$$Et = Pw * tv \quad (20)$$

Tv=Tiempo de vuelo requerido

Et= Energía consumida por sistema en 40 min.

$$Et = 400w * 0.66h = 264Wh/Kg \quad (21)$$

Densidad de energía para autonomía de 40 min

$$D = \frac{264}{860} = 307Wh/Kg \quad (22)$$

Considerando la densidad que proporciona la batería se obtiene:

$$D = \frac{162}{307*0.66h} = 47 \text{ min} \quad (23)$$

La autonomía de vuelo es de 47 min.

4.4.5 Análisis Económico del Sistema de Reconocimiento.

El presente proyecto de titulación requiere del uso de equipos detallados en la tabla 4.12 pertenecientes al del Centro de Investigación y Desarrollo de La Fuerza Aérea Ecuatoriana.

Tabla 4. 13. Equipos Facilitados por el CIDFAE

| | DETALLE | UNIDAD | CANTIDAD |
|---|-------------------------------------------|--------|----------|
| 1 | ESTRUCTURA FISICA DE UAV FIBRA DE CARBONO | C/U | 1 |
| 2 | CÁMARA GOPRO | C/U | 1 |
| 3 | RADIO | C/U | 1 |
| 4 | MOTOR | C/U | 1 |

Elaborado por: El investigador

Los gastos del proyecto de investigación se financio en su totalidad por el investigador el mismo que esta detallada en la Tabla 4.13.

Tabla 4. 14. Análisis del Presupuesto del desarrollo del proyecto

| ITEM | DETALLE | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | COSTO DE ENVIO | IMPUESTO SENA | VALOR TOTAL |
|------|------------------------------------------------------|--------|----------|----------------|----------------|---------------|-------------|
| 1 | USO DE INTERNET | HORAS | 100 | \$ 0,80 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 80,00 |
| 2 | RESMA DE PAPEL | C/U | 2 | \$ 5,50 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 11,00 |
| 3 | ANILLADOS | C/U | 4 | \$ 1,50 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 6,00 |
| 4 | CARPETAS | C/U | 2 | \$ 0,50 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 1,00 |
| 5 | IMPRESIONES | C/U | 400 | \$ 0,15 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 60,00 |
| 6 | COPIAS | C/U | 300 | \$ 0,02 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 6,00 |
| 7 | CD'S | C/U | 2 | \$ 0,50 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 1,00 |
| 8 | MEMORY FLASH | C/U | 1 | \$ 10,00 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 10,00 |
| 9 | ESFEROGRÁFICOS | C/U | 2 | \$ 0,50 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 1,00 |
| 10 | TRANSPORTE | C/U | 100 | \$ 0,30 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 30,00 |
| 11 | TRANSPORTE | C/U | 100 | \$ 0,50 | \$ 0,00 | \$ 0,00 | \$ 50,00 |
| 12 | Auto piloto PIXHAWK 4X | C/U | 1 | \$ 100,00 | \$ 40,00 | \$ 3,80 | \$ 143,80 |
| 13 | Sensores de Telemetría 3DR | C/U | 1 | \$ 50,00 | \$ 40,00 | \$ 3,80 | \$ 93,80 |
| 14 | Cableado y conectores de sensores y módulos de vuelo | C/U | 1 | \$ 30,00 | \$ 0,00 | \$ 3,80 | \$ 33,80 |
| 15 | ESC DE ENERGIA | C/U | 1 | \$ 40,00 | \$ 0,00 | \$ 3,80 | \$ 43,80 |
| 16 | Radios transmisores y receptores de video TS-RS 832 | C/U | 1 | \$ 150,00 | \$ 40,00 | \$ 3,80 | \$ 193,80 |

| | | | | | | | |
|----------------|----------------------------------------------------------------|-----|---|----------|----------|---------|-----------|
| 17 | Pixhawk PX4 Air Speedometer | C/U | 1 | \$ 80,00 | \$ 40,00 | \$ 3,80 | \$ 123,80 |
| 18 | USB CAPTURA VUIDEO | C/U | 1 | \$ 25,00 | \$ 40,00 | \$ 3,80 | \$ 68,80 |
| 19 | Controlador de velocidad sin escobillas SBEC TURNIGY TRUST 45A | C/U | 1 | \$ 20,00 | \$ 0,00 | \$ 3,80 | \$ 23,80 |
| 20 | Usmile NEO-M8N GPS | C/U | 1 | \$ 40,00 | \$ 40,00 | \$ 3,80 | \$ 83,80 |
| 21 | Multistar de alta capacidad de 5200mAh | C/U | 1 | \$ 80,00 | \$ 40,00 | \$ 3,80 | \$ 123,80 |
| SUBTOTAL | | | | | | | 1189,00 |
| IMPREVISTOS 5% | | | | | | | 59,45 |
| TOTAL | | | | | | | 1248,45 |

Se debe tomar en cuenta que los valores pueden variar ya que los equipos que fuerón importados tienen un costo de envío y al entrar al país tienen un periodo de nacionalización de 25 días laborables y un costo estimado de 3,80 dólares impuesta por la SENA, si el paquete no supera los 1000 gramos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se indican las conclusiones y recomendaciones y se indican propuestas de trabajos futuros asociados a la presente investigación.

5.1. Conclusiones

Se logró comprender de manera general el funcionamiento de las aeronaves no tripuladas, y de manera más específica tanto las leyes y restricciones que la DAC impuso para el uso de aeronaves no tripuladas en el Ecuador que rigen el comportamiento de los prototipos de ala fija desarrollados en el CIDFAE, así como los diferentes tipos de pilotos automáticos que pueden ser instalados para controlar su comportamiento.

Se integró un sistema autónomo de vuelo para un prototipo UAV Mini monomotor de mini escala capaz de aprovechar las ventajas aerodinámicas de sustentación como de planeación por ser un modelo de ala fija aumentando el tiempo de vuelo en un 10.55% con respecto a una configuración de cuadricóptero estándar, debido al consumo reducido de potencia del motor y el menor voltaje de corte permitido por las baterías de Li-Ion de 2.5V por celda.

Se analizó el controlador Pixhawk, por su compatibilidad con sistemas operativos abiertos permite la modificación de los parámetros asociados con el control de una aeronave, permitiendo mantener la estabilidad del prototipo con los cambios realizados en su estructura.

Se determinó los como factores importantes la velocidad de corrección de desvío del compás, memoria de ruta, alarmas ajustables, interconexión con otro instrumentos de abordaje como parámetros para elegir un adecuado controlador para el correcto funcionamiento de una aeronave de ala fija, identificando que el tiempo de respuesta del sistema de control debe ser más alto, ya que la estabilidad lateral del controlador se ve complementada por las superficies del estabilizador de cola.

La automatización de estos vehículos mejoran su utilidad en el centro de desarrollo de la Fuerza Aérea, gracias a este proyecto se logra adquirirlas desde un prototipo UAV mini ala fija, con un alcance de vuelo de 300 metros radiales en campo abierto, imagen que es captada en el computador y se deja dispuesta a cualquier tipo de tratamiento digital, la adquisición es asistida por una cámara GoPro 3 por su resistencia a impactos y altas prestaciones de ser manejada a través de protocolos http y sus estabilidad de lente en filmación en tiempo real.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda impermeabilizar el área de ensamblaje del controlador ya que se encuentran dispositivos sensibles al contacto del agua y así evitar percances que dañen seriamente el controlador de vuelo.

La adquisición de imágenes abre puertas a herramientas como el procesamiento digital de imágenes y se plantea implementar en el prototipo sistemas de visión artificial para generación de mapas en entornos abiertos.

Para el desarrollo de trabajos futuros se puede implementar superficies de control en el ala o estabilizador de cola del prototipo con el fin de realizar una conmutación en el modo de vuelo, permitiendo que para trayectorias amplias se utilice control únicamente de ala fija.

Para poder implementar el vuelo autónomo programado con Mission Planner es necesario contar con equipos que sean compatibles con el controlador de vuelo tales como GPS, acelerómetro, telemetría para un correcto funcionamiento en aire y así

tener un sistema de monitoreo desde tierra con datos precisos de la aeronave en misión.

Controlar el peso del vehículo debido a que es un factor muy importante que se debe cuidar, manteniendo su peso dentro del rango de 2 a 3 kg incluido la carga útil del diseño de UAV Mini existente en el CIDFAE, para que no sea muy pesado y que el motor pueda levantar el vehículo aéreo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. A. J. Sebastián, 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/2475>.
- [2] N. P. R. Sánchez, 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/3758>.
- [3] S. P. G. P. Moreta Supe David Tarquino, FEBRERO 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9307>.
- [4] R. D. Fiallos Castillo, DICIEMBRE 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/19383>.
- [5] J. A. P. Ibarra, 2016. [En línea]. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12152>.
- [6] M. P. R. V. Carlos Telmo Andrade Villacís, MAYO 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3095/1/000110158.pdf>.
- [7] L. R. Gutiérrez, 2003. [En línea]. Available: <http://biblioteca.ucm.es/tesis/cee/ucm-t27108.pdf>.
- [8] L. A. M. C. A, «REDES DE COMUNICACIÓN,» MARZO 2016. [En línea]. Available: <http://adi.unefm.edu.ve/index.php/redes-de-comunicacion-2>.
- [9] D. D. Roman Osorio, « Universidad Nacional Autónoma de México UNAM,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1127/Tesis.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 15 1 2018].
- [10] D. ROLDÁN MARTÍNEZ, COMUNICACIONES INALÁMBRICAS. UN ENFOQUE APLICADO, RA-MA EDITORIAL, 2004.
- [11] GIGATRONIC, «GIGATRONIC COMPONENTES E INSTRUMENTOS DE RADIO FRECUENCIA Y MICROONDAS,» 6 MARZO 2013. [En línea]. Available: <http://www.gigatronic.es/curso-deradiocomunicaciones/introduccion-terminos-y-definiciones>. [Último acceso: 10 12 2017].
- [12] J. Olenewa, Manual de laboratorio para acompañar a la Guía # inalámbrica para comunicaciones inalámbricas 2E, Toledo EEUU: Publicado por Thomson Course Technology, 2007.

- [13] I. O. R. Ing. Osvaldo Marianetti, SEPTIEMBRE 2007. [En línea]. Available: <http://www.um.edu.ar/es/imagenes-contenido/UM-MTI-InzirilloR.pdf>.
- [14] M. Estrada Arcos, «repositorio unam,» 2014. [En línea]. Available: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/7102>. [Último acceso: 5 12 2017].
- [15] F. González, «ING. AERONAUTICA,» ING. AERONAUTICA , 30 noviembre 2010. [En línea]. Available: <https://ingaeronautica.wordpress.com/2010/11/30/fuerzas-que-actuan-en-el-vuelo/>. [Último acceso: 8 11 2017].
- [16] M. FERNANDO, «ANTENADIGITAL,» ANTENADIGITAL, 4 4 2010. [En línea]. [Último acceso: 25 11 2017].
- [17] G. S. E. B. ALEX ISRAEL CAMPAÑA GUZMÁN, «REPOSITORIO ESPE,» ABRIL 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8189>. [Último acceso: 4 ENERO 2018].
- [18] C. C. F. A. C. A. C. PAUL, ENERO 2015. [En línea]. Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9304>.
- [19] C. D. I. Y. D. F. -. CIDFAE, «DETECCIÓN, OBSERVACIÓN, COMUNICACIÓN,» defensa.gob.ec, AMBATO, 2014-2015.
- [20] R. A. Herrera, «REPOSITORIO UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA,» MARZO 2011. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/94385/TRAH1de1.pdf>. [Último acceso: MARZO 2011].
- [21] L. Á. S. PADILLA, «REPOSITORIO UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO,» MAYO 2014. [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3724/TESIS.pdf?sequence=1>. [Último acceso: MAYO 2014].
- [22] G. C. Castex, «47 AÑOS DE UAV EN LA ARMADA DE CHILE,» REVISMAR, n° <https://revistamarina.cl/revistas/2013/2/covacevich.pdf>, p. 8, 2013.
- [23] L. Fernández-Peña Mollá, «Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos,» 4 2012. [En línea]. Available: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/15280>. [Último acceso: 1 2 2018].
- [24] J. T. O. J. D. R. Moposita Estrella, «repositorio ESPE,» 30 mayo 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13238>. [Último acceso: 25 1

2018].

- [25] S. M. Aranda, JULIO 2015. [En línea]. Available: <http://drones.uv.es/aplicaciones-para-drones-en-la-agricultura/>.
- [26] F. F. GUTIÉRREZ, «Repositorio Universidad de Chile,» 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/132321/Diseno-e-implementacion-de-un-sistema-de-control-asistido-para-plataforma...pdf?sequence=1>. [Último acceso: 28 11 2017].
- [27] 3. Robotics, «3d Robotics,» 3d Robotics, 2013. [En línea]. Available: <https://3dr.com/>. [Último acceso: 15 12 2017].
- [28] A. M. Planner., «ardupilot.org,» Copyright 2016, ArduPilot Dev Team., 2016. [En línea]. Available: <http://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-features.html>. [Último acceso: 2 1 2018].
- [29] C. Anderson, «DIY Drones,» DIY Drones, 2014. [En línea]. Available: <https://diydrones.com/>. [Último acceso: 13 12 2017].
- [30] M. M. Forum, MultiWii. MultiWii Forum, 2014. [En línea]. Available: <http://www.multiwii.com/forum/>. [Último acceso: 14 12 2017].
- [31] L. Thall, «ArduCopter 2.9 PID Loops for STABILIZE,» enero 2013. [En línea]. Available: <https://diydrones.com/profiles/blogs/arducopter-2-9-pid-loops-for-stabilize-acro-and-alt-hold>. [Último acceso: 20 12 2017].
- [32] J. How, «Increasing autonomy of UAVs,» Robotics & Automation Magazine,, vol. 16.2, n° 43-51, 2009.
- [33] C. S. a. K. P. B Pattipati, «"System identification and Estimation Framework for pivotal automotive battery management system characteristics,"» IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. vol. 41, n° 6, pp. 869-884, 2011.
- [34] D. L. Figueiredo, «Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal,» 11 2014. [En línea]. Available: https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/566729524649659/DuarteFigueiredo_ExtendedAbstract.pdf. [Último acceso: 30 1 2018].
- [35] Y. C. a. Y. C. HaiYang Chao, «Autopilots for small unmanned aerial vehicles: A survey,» Revista Internacional de Control, Automatización y Sistemas, vol. 8, n° 1, pp. 36-44, 2010.

- [36] J. M. KraWczyK y T. S. a. W. S. aNNa M. Mazur, «pdfs.semanticscholar.org,» 2014. [En línea]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/1e1d/aa22c9e850071dc1c0daa0c8a4843e581dbe.pdf>. [Último acceso: 24 1 2018].
- [37] I. L. A. B. Acosta, «INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA,» 2010. [En línea]. Available: http://www.iiap.org.pe/Archivos/publicaciones/Publicacion_1533.pdf. [Último acceso: 20 1 2018].
- [38] J. & M. S. Gausemeier, «New Guideline VDA Flexible Procedure Model for Specific Requirements to the Design of Mechatronic Systems,» de nternational Conference on Engineering Design Iced 03 Stockholm,, Stojadinovic, Enrico Zio, Wolfgang Kröger, Luca Podofillini, Bruno Sudret, Bozida, 2003.
- [39] M. H. Sadraey, «Wing Design. Aircraft Design,» de Diseño de aviones: un enfoque de ingeniería de sistemas, wiley, 2012, p. 808.
- [40] T. G. B. O. 870kv, «hobbyking,» [En línea]. Available: https://hobbyking.com/en_us/turnigy-g25-brushless-outrunner-870kv.html?__store=en_us. [Último acceso: 12 2 2018].
- [41] «Ardumanía,» [En línea]. Available: <http://www.ardumania.es/apendice-del-ejercicio-3-senales-de-control-rc/>. [Último acceso: 18 1 2018].
- [42] «pixhawk.org,» PX4 Autopilot, [En línea]. Available: <https://pixhawk.org/modules/pixhawk>. [Último acceso: 20 12 2017].
- [43] F. A. a. H. E. Dennis Casazola, «Dennis Casazola, Fabio Arnez and Huascar Espinoza,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.adronika.com/es/noticias/arquitectura-interna-de-los-drones-de-adronika>. [Último acceso: 15 1 2018].
- [44] D. F. A. PARRA, 2007. [En línea]. Available: https://www.uazuay.edu.ec/geomatica/source/web/links/arcpad/tutorial_de_practic as_ArcPad.pdf.
- [45] E. P. L. Guangasi, ENERO 2011. [En línea]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/70/1/t610e.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: Entrevista dirigida al Especialista del Área de Estructuras Aerodinámicas del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL (FISEI)

Entrevista dirigida al Especialista del Área de Estructuras Aerodinámicas del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana CIDFAE con el propósito de recoger la información necesaria acerca de los sistemas de control de los UAV Mini

Sírvase contestar de la manera más honesta las preguntas que constan en este instrumento, la información obtenida se utilizará para solucionar uno de los problemas de la empresa, por lo tanto es confidencial y de uso exclusivamente técnico, por lo que agradezco la colaboración prestada.

Fecha:.....

Pregunta 1

¿Usted como Especialista Investigador, como califica el desarrollo de los proyectos en el CIDFAE?

Pregunta 2

¿Los Vehículos Aéreos No Tripulados Mini tienen algún sistema de control autónomo?

Pregunta 3

¿Cómo califica la implementación de nuevas tecnologías de control en los UAV Mini del CIDFAE?

Pregunta 4

¿Es el personal de aerotécnicos capacitado para realizar proyectos de largo alcance en UAV Mini?

Pregunta 5

¿En el caso de escenarios críticos de una aeronave, es decir en el caso de un estrellamiento, que porcentaje de recuperación tiene la misma?

Pregunta 6

¿Existen los suficientes materiales y herramientas para implementar sistemas electrónicos y aeronáuticos de control autónomo como de reconocimiento aéreo en el CIDFAE?

Pregunta 7

¿Sabe usted si existe algún software que pueda almacenar la información de video en tiempo real del enlace al momento que el UAV Mini se encuentra en operación?

Pregunta 8

¿Considera usted qué sería necesario almacenar los datos de video adquiridos del enlace de comunicaciones?

¡AGRADESCO SU COLABORACIÓN!

ANEXO B: Líneas de código de interfaz FPV

La interfaz se desarrolló en Visual Studio Community, ya que es una versión no licenciada y que permite desarrollo de aplicaciones para computadora como dispositivos móviles.

```
using System;
using System.Windows.Forms;

namespace Camara
{
    public partial class FrmPrincipal : Form
    {
        public FrmPrincipal()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void mnuCamaraUSB_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            ///Llamar ventana para cámara
            FrmCamaraUSB forma = new FrmCamaraUSB();
            forma.MdiParent = this;
            forma.Show();
        }

        private void mnuSalir_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            this.Close();
        }

        private void FrmPrincipal_FormClosed(object sender, FormClosedEventArgs e)
        {
            Application.Exit();
        }

        private void FrmPrincipal_FormClosing(object sender, FormClosingEventArgs e)
        {
            this.Dispose();
        }

        private void FrmPrincipal_Load(object sender, EventArgs e)
        {
        }
    }
}

///Librerías de componentes y sistema
using System;
using System.Drawing;
using System.Windows.Forms;
using System.IO;
using System.Drawing.Imaging;
using AForge.Video;
using AForge.Video.DirectShow;
using DirectX.Capture;

namespace Camara
{
    public partial class FrmCamaraUSB : Form
    {
```

```

private FilterInfoCollection VideoCaptureDevices;
private VideoCaptureDevice FinalVideo;
private VideoCaptureDevice CapturaImagen;
private Capture capture = null;
private Filters filters = new Filters();

public FrmCamaraUSB()
{
    InitializeComponent();
}

private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
    this.Top = 0;
    this.Left = 0;
    VideoCaptureDevices = new FilterInfoCollection(FilterCategory.VideoInputDevice);
    foreach (FilterInfo VideoCaptureDevice in VideoCaptureDevices)
    {
        cmbDispositivo.Items.Add(VideoCaptureDevice.Name);
    }
    cmbDispositivo.SelectedIndex = 0;

    FinalVideo = new VideoCaptureDevice();
    CapturaImagen = new VideoCaptureDevice();
}

private void FinalVideo_NewFrame(object sender, NewFrameEventArgs eventArgs)
{
    Bitmap video = (Bitmap)eventArgs.Frame.Clone();
    pcbVideo.Image = video;
}

private void mnuEncender_Click(object sender, EventArgs e)
{
    #if DEBUG
        capture = new Capture(filters.VideoInputDevices[cmbDispositivo.SelectedIndex],
        filters.AudioInputDevices[cmbDispositivo.SelectedIndex]);
    #endif

    if (FinalVideo.IsRunning == true)
    {
        FinalVideo.Stop();
    }
    if (capture.Cued)
    {
        capture.Stop();
    }

    FinalVideo = new
VideoCaptureDevice(VideoCaptureDevices[cmbDispositivo.SelectedIndex].MonikerString);
    FinalVideo.NewFrame += new NewFrameEventHandler(FinalVideo_NewFrame);
    FinalVideo.Start();
    mnuEncender.Enabled = false;
    mnuApagar.Enabled = true;
    mnuGrabar.Enabled = true;
    mnuCapturar.Enabled = true;
    FinalVideo.Stop();
    try
    {
        if (capture.PreviewWindow == null)

```

```

        {
            capture.PreviewWindow = pcbVideo;
        }
    }
}
catch (Exception ex)
{
    MessageBox.Show(ex.Message + "\n\n" + ex.ToString(), "Error al Encender el dispositivo");
}
}

private void mnuApagar_Click(object sender, EventArgs e)
{
    mnuEncender.Enabled = true;
    capture.Dispose();
    capture.Stop();
    mnuApagar.Enabled = false;
    mnuGrabar.Enabled = false;
    mnuCapturar.Enabled = false;
}

private void FrmCamaraUSB_FormClosed(object sender, FormClosedEventArgs e)
{
    FinalVideo.Stop();
    capture.Stop();
    capture.PreviewWindow = null;
}

private void mnuGrabar_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (capture.PreviewWindow != null)
    {
        DateTime fecha = DateTime.Now;
        string strFecha = fecha.ToString();
        strFecha = strFecha.Replace(":", "");
        strFecha = strFecha.Replace("/", "_");
        strFecha = strFecha.Replace(" ", "-");
        try
        {
            string nombreRuta = txtUbicacion.Text;

            if (!Directory.Exists(nombreRuta))
            {
                Directory.CreateDirectory(nombreRuta);
            }

            nombreRuta = nombreRuta + @"\Video " + strFecha.ToString() + ".avi";
            if (capture == null)
                throw new ApplicationException("Por favor seleccione un dispositivo.");
            if (!capture.Cued)
                capture.Filename = nombreRuta;
            capture.Start();
            mnuGrabar.Enabled = false;
            mnuDetener.Enabled = true;

            mnuApagar.Enabled = false;
        }
        catch (Exception ex)
        {
            MessageBox.Show(ex.Message + "\n\n" + ex.ToString(), "Grabar");
        }
    }
    else
    {

```

```

        MessageBox.Show("No se ha podido iniciar a grabar, el dispositivo no esta encendido", "Grabar",
        MessageBoxButtons.OK);
    }
}

private void mnuDetener_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        if (capture == null)
            throw new ApplicationException("Por favor seleccione un dispositivo");
        capture.Stop();
        MessageBox.Show("Se ha grabado con éxito: " + capture.FileName, "Archivo Guardado",
        MessageBoxButtons.OK);
        mnuGrabar.Enabled = true;
        mnuDetener.Enabled = false;

        mnuApagar.Enabled = true;
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message + "\n\n" + ex.ToString());
    }
}

private void FrmCamaraUSB_FormClosing(object sender, FormClosingEventArgs e)
{
    FinalVideo.Stop();
    if (capture != null)
    {
        capture.Stop();
        capture.PreviewWindow = null;
        capture.Dispose();
    }

    this.Dispose();
}

private void btnAbrirUbicacion_Click(object sender, EventArgs e)
{
    FolderBrowserDialog open = new FolderBrowserDialog();
    if (open.ShowDialog() == DialogResult.OK)
    {
        txtUbicacion.Text = open.SelectedPath;
    }
    open.Dispose();
}

private Bitmap CapturarImagen(Control control)
{
    Size s = control.Size;
    Bitmap memoryImage;
    using (Graphics myGraphics = CreateGraphics())
    {
        memoryImage = new Bitmap(s.Width, s.Height, myGraphics);
    }
    using (Graphics memoryGraphics = Graphics.FromImage(memoryImage))
    {
        Point screenPoint = PointToScreen(control.Location);
        memoryGraphics.CopyFromScreen(screenPoint.X, screenPoint.Y, 0, 0, s);
    }
    return memoryImage;
}

```

```

private void mnuCapturar_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        DateTime fecha = DateTime.Now;
        string strFecha = fecha.ToString();
        strFecha = strFecha.Replace(":", "");
        strFecha = strFecha.Replace("/", "_");
        strFecha = strFecha.Replace(" ", "-");

        string nombreRuta = txtUbicacion.Text;

        if (!Directory.Exists(nombreRuta))
        {
            Directory.CreateDirectory(nombreRuta);
        }

        nombreRuta = nombreRuta + @"\Imagen " + strFecha.ToString() + ".png";

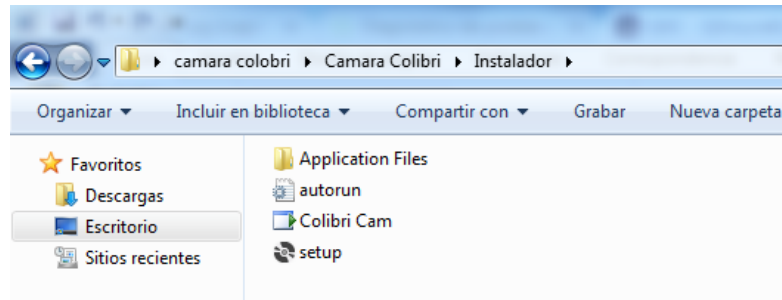
        string nombreArchivo = nombreRuta;
        using (Bitmap bmp = CapturarImagen(pcbVideo))
        {
            bmp.Save(nombreArchivo, ImageFormat.Png);
        }
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message + "\n\n" + ex.ToString());
    }
}
}
}

```

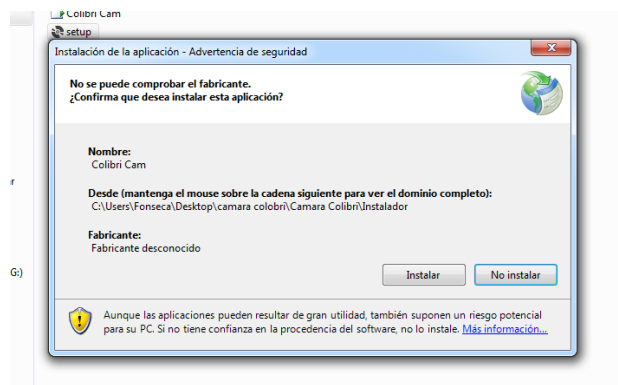

ANEXO C: Manual de Instalación y Uso de la interfaz FPV Colibrí

Guía de Instalación

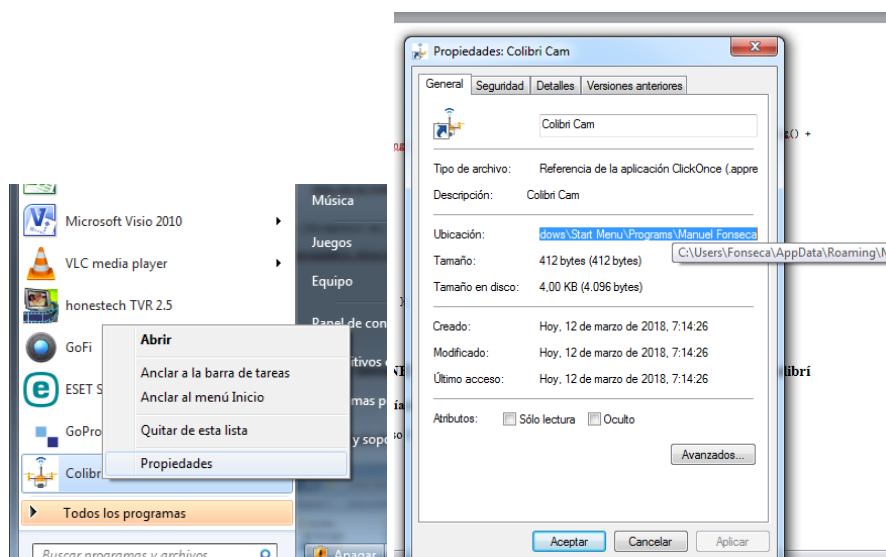
Paso 1: Abrir la carpeta Instalador y dar click en Setup.



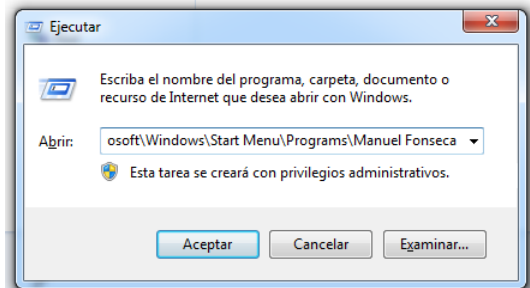
Paso 2: Dar click en instalar



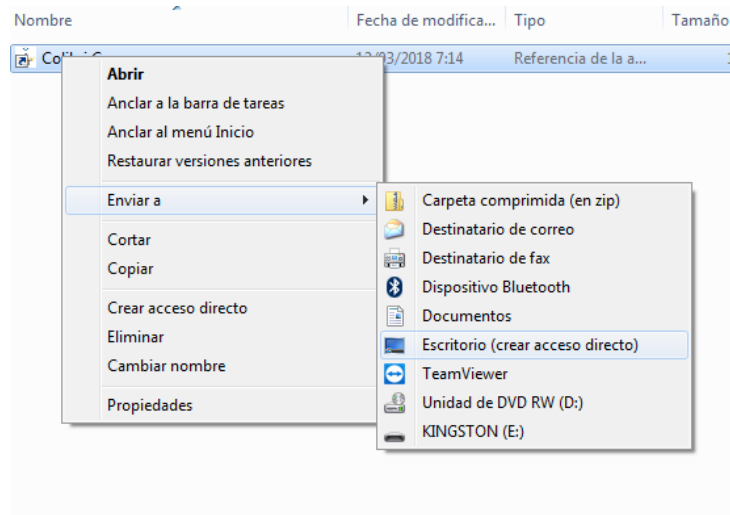
Paso 3: Ir a inicio dar click derecho sobre el icono de Colibri Cam abrir propiedades y copiar la ruta de instalación.



Paso 4: Abrir ejecutar e ingresamos la ruta de instalación generada dar clic en aceptar para que se abra la ruta de instalación.



Paso5: Dar click derecho sobre el icono y enviar al escritorio con acceso directo.



Guía de manejo de Colibrí Cam

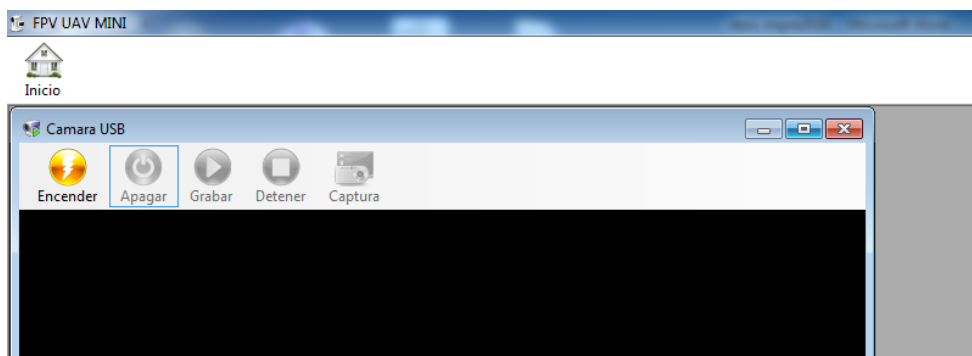
Paso1: Abrir la interfaz con doble click sobre el icono de colibrí cam



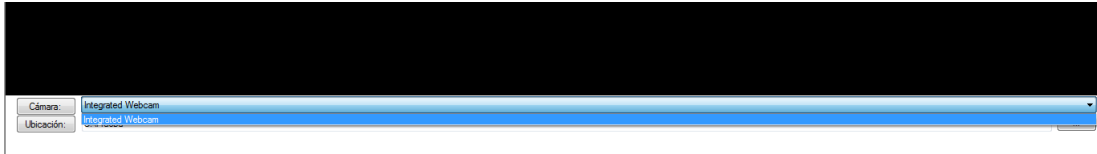
Paso2: Abrir el menú inicio y elegir la opción cámara.



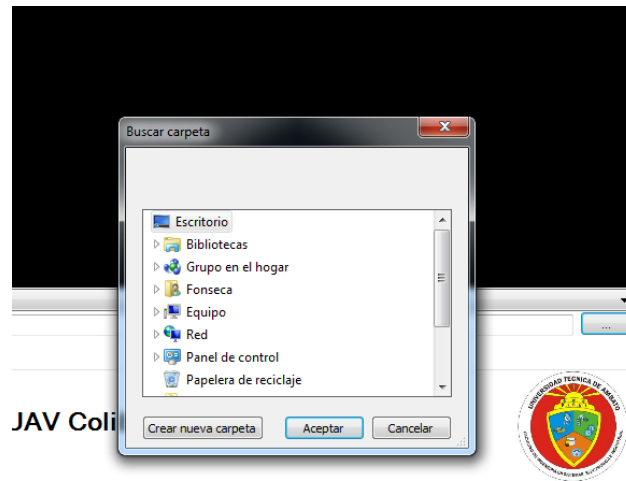
Paso3: Maximizar la ventana CámaraUSB hasta que ocupe la pantalla restante de la interfaz FPV UAV MINI.



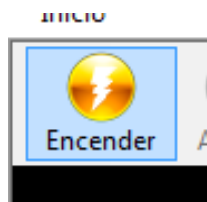
Paso 4: Seleccionar el tipo de cámara a utilizar en la parte inferior del submenú cámara.



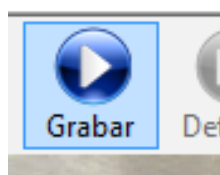
Paso 5: Seleccionar la ruta donde el usuario desea guardar las grabaciones y fotografías en su computadora dando click en el botón de ruta.



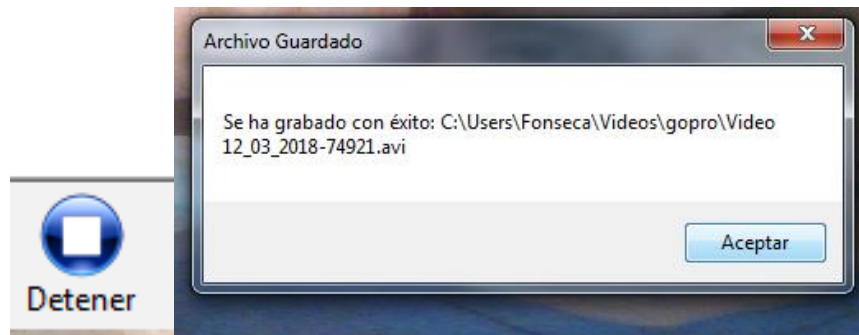
Paso 6: Para iniciar con la interfaz de cámara dar click en encender.



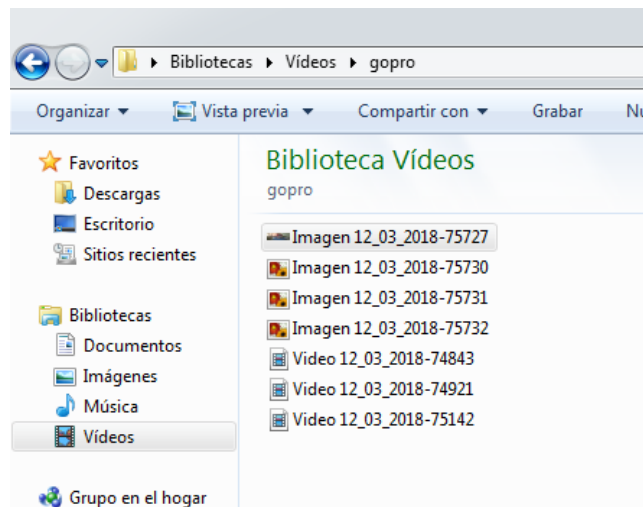
Paso 7: Para iniciar la grabación dar click en grabar



Paso 8: Para detener la grabación dar clic en Detener , donde aparecerá un mensaje de su video ha sido guardado con éxito dar click en aceptar y automáticamente el video se guardara en la carpeta seleccionada en el paso 5.



Las filmaciones son almacenadas con el formato de fecha, hora que fueron creados en formato de video avi.



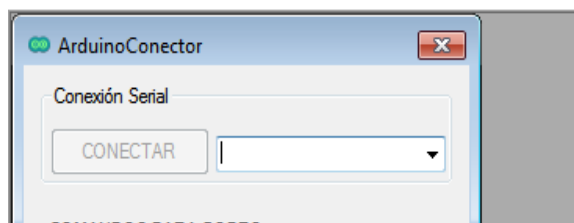
Paso 9: Para usar la captura de fotografía se la puede usar una vez este realizado los pasos 4,5,6; además el botón de fotografía lo puede usar mientras se está realizando la grabación del video al dar click en el botón Captura y automáticamente se guardara en la carpeta seleccionada en el paso 5 con el formato fecha, hora en extensión png .



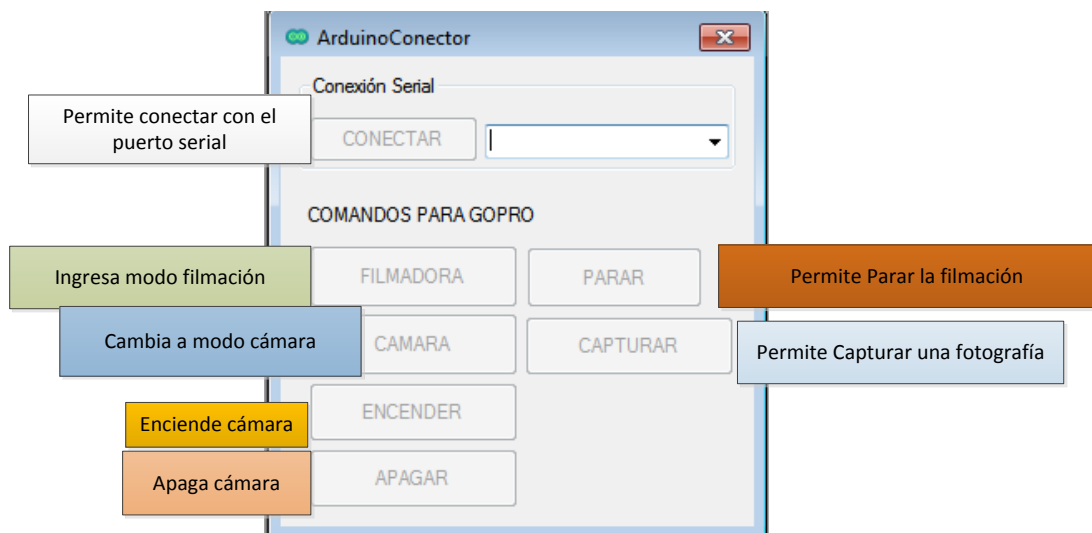
Paso 10: Para realizar el control de cámara abrir del menu la opción Control



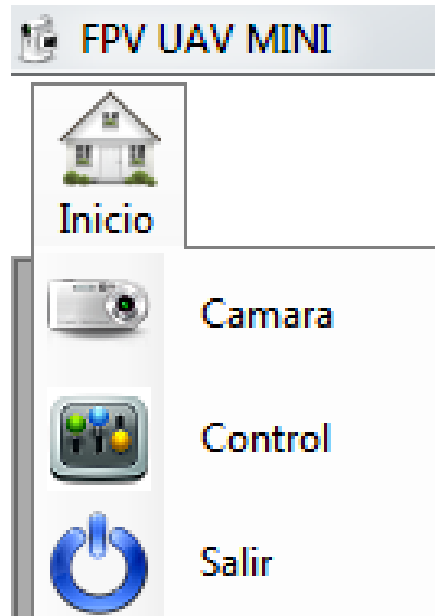
Paso 11: conectarse con el puerto serial.



Paso 12: utilizar los modos de control cámara.



Paso 13: Para finalizar la interfaz vamos al menú inicio y elegimos la opción salir



ANEXO D: Formulario

| FORMULARIO | | | |
|------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FORMULA | QUE CALCULO | DATOS A USAR | FORMULA |
| 1 | CALCULO ERROR PITCH | Acelerómetro y Giroscopio | $error\ Pitch = \text{ángulo deseado pitch} - \text{ángulo actual pitch}$ |
| 2 | CALCULO ERROR ROLL | Acelerómetro y Giroscopio | $error\ Pitch = \text{ángulo deseado roll} - \text{ángulo actual roll}$ |
| 3 | Capacidad de Almacenamiento Batería (mAh). | <p>t_{vuelo} = Tiempo de vuelo en horas. I_{max} = Consumo máximo del motor en amperios por hora. $\#mot$ = Cantidad de motores usados. Ah = Capacidad de almacenamiento de la batería. V_{minimo} = Voltaje mínimo de las baterías.</p> | $t_{vuelo} = \frac{Ah}{I_{max} * \#mot}$ $t_{vuelo} = \frac{Ah}{\frac{P}{V_{minimo}} * \#mot}$ |
| 4 | Capacidad de descarga (C). | <p>C = Capacidad de descarga por batería. I_{max} = Consumo máximo del motor en amperios por hora. $\#mot$ = Cantidad de motores usados. $\#bat$ = Cantidad de baterías en paralelo usadas. Ah = Capacidad de almacenamiento de la batería.</p> | $C > \frac{I_{max} * \#mot}{\#bat * Ah}$ |
| 5 | altura (PID) | Barómetro | $error\ Altura = \text{Atura deseada} - \text{Altura Actual}$ |
| 6 | Perdida en el espacio libre | <p>Lfs = perdida básica de transmisión en el espacio libre (dB) F= Frecuencia (GHz) D= distancia (km)</p> | $Lfs = 92.5 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$ |

| | | | |
|----|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 7 | Balance de potencias | <p>PTx= Potencia de Transmisión (dBm) PcTx= Pérdidas por cables y conectores Tx (dB) GTx= Ganancia de antena Tx (dB) GRx= Ganancia de antena Rx (dB) PcRx= Pérdida por cables y conectores Rx (dB)</p> | $PT = PTx - PcTx + GTx - PcRx + GRx - Lfs$ |
| 8 | energía total | <p>E= energía total proporcionada por la batería. P= potencia de salida t= tiempo de referencia.</p> | $E = P * T$ |
| 9 | DENSIDAD DE ENERGIA DE LA BATERIA | <p>E= energía total proporcionada por la batería. P= potencia de salida</p> | $D = E/P$ |
| 10 | EMPUJE TOTAL | <p>T= Empuje individual de cada motor TT= Empuje total</p> | $TT = T * 1 * 80\%$ |
| 11 | PESO NETO | <p>Pe= Peso Total UAV Mini Pc= Peso carga útil</p> | $Pb = Pe * Pc$ |
| 12 | potencia Requerida | <p>I= Corriente (amperios)/ V=Voltaje(voltios)</p> | $P = I * V$ |

ANEXO E: Datos Equipos

TELEMETRIA



3DR RADIO V2 QUICK START GUIDE

GETTING STARTED

3DR Radios provide an air-to-ground data link between the autopilot and your ground station laptop or tablet. Follow this guide to install the radios on your plane, copter, or rover. 3DR Radios arrive ready to use. Just mount and connect to view real-time data from your drone.

PARTS



Two 3DR Radios in 915 or 433 mHz

Attach the antennas, and use either radio as an air or ground module.



Android adapter cable



Micro-USB cable







6-wire Pixhawk connector cable



6-to-5-position APM and PX4 connector cable

LED MEANINGS

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|  | Blinking green Searching for paired radio |  | Blinking red Transmitting data |
|  | Solid green Link established with paired radio |  | Solid red Firmware update mode |

RADIO DESCRIPTION



SPECIFICATIONS

Processing

100 mW maximum output power (adjustable)
-117 dBm receive sensitivity
Based on HopeRF's HM-TRP module
RP-SMA connector
2-way full-duplex communication through adaptive TDM
UART interface
Transparent serial link
MAVLink protocol framing
Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
Configurable duty cycle
Error correction corrects up to 25% of bit errors
Open-source SIK firmware
Configurable through Mission Planner & APM Planner

Features

Interchangeable air and ground modules
915 or 433 mHz
Micro-USB port
6-position DF13 connector

Dimensions

26.7 cm x 55.5 cm x 13.3 cm
(without antenna)

Power

Supply voltage: 3.7-6 VDC (from USB or DF13)
Transmit current: 100 mA at 30 dBm
Receive current: 25 mA
Serial interface: 3.3 V UART

SUPPORT

For more information about mission planner applications and APM firmware, visit ardupilot.com. For online documentation of 3DR Radios, visit goo.gl/Tsrksf.

For customer support, contact us at help@3drobotics.com or call our support line at +1 (858) 225-1414.

MOTOR

TURNIGY Manual for Brushless Motor Speed Controller

Thank you for purchasing our Electronic Speed Controller (ESC). High power systems for RC model can be very dangerous; we strongly suggest you read this manual carefully. We have no control over the correct use, installation, application, or maintenance of our products, no liability shall be assumed nor accepted for any damages, losses or costs resulting from the use of the product. Any claims arising from the operating, failure or malfunctioning etc. will be denied. We assume no liability for personal injury, property damage or consequential loss resulting from our product or our workmanship. As far as is legally permitted, the obligation to compensation is limited to the invoice amount of the affected product.

Features:

- Extreme low output resistance, super current endurance.
- Multiple protection features: Low voltage cut-off protection / over-heat protection / throttle signal loss protection.
- 3 start modes: Normal / Soft / Super-Soft, compatible with fixed-wing aircraft and helicopter.
- Throttle range can be configured to be compatible with all transmitters currently available on market.
- Smooth, linear and precise throttle response.
- Separate voltage regulator IC for microprocessor (except Plush-6A and Plush-10A) with good anti-jamming capability.
- Supported motor speed (Maximum): 210000 RPM (2 poles), 70000 RPM (6 poles), 35000 RPM (12 poles).
- The pocket-sized **Program Card** can be purchased separately for easily programming the ESC at flying field.
- With a program card, user can activate the music playing function of the ESC, and totally there are 15 songs can be selected.

Specifications:

| PLUSH Series | | | | | | | | | | |
|--------------|----------------|---------------|----------------------|----------|------------|----------------|-----------|-------------------|--------|------------|
| Class | Model | Cont. Current | Burst Current (>10s) | BEC Mode | BEC Output | Battery Cell | | User Programmable | Weight | Size L*W*H |
| | | | | | | Li-ion Li-poly | NiMH NiCd | | | |
| 6A | PLUSH-6A | 6A | 8A | Linear | 5V/0.8A | 2 | 5-6 | Available | 6g | 32*12*4.5 |
| 10A | PLUSH-10A | 10A | 12A | Linear | 5V/2A | 2-4 | 5-12 | Available | 9g | 38*18*6 |
| 12A | PLUSH-12EA | 12A | 15A | Linear | 5V/2A | 2-4 | 5-12 | Available | 10g | 38*18*7 |
| 18A | PLUSH-18A | 18A | 22A | Linear | 5V/2A | 2-4 | 5-12 | Available | 21g | 55*25*6 |
| 25A | PLUSH-25A | 25A | 35A | Linear | 5V/2A | 2-4 | 5-12 | Available | 25g | 55*25*9 |
| 30A | PLUSH-30A | 30A | 40A | Linear | 5V/2A | 2-4 | 5-12 | Available | 25g | 55*25*9 |
| 40A | PLUSH-40A | 40A | 55A | Switch | 5V/3A | 2-6 | 5-18 | Available | 39g | 60*24*15 |
| | PLUSH-40A-OPTO | 40A | 55A | N/A | N/A | 2-6 | 5-18 | Available | 35g | 60*28*12 |
| 60A | PLUSH-60A | 60A | 80A | Switch | 5V/3A | 2-6 | 5-18 | Available | 63g | 83*31*16 |
| | PLUSH-60A-OPTO | 60A | 80A | N/A | N/A | 2-6 | 5-18 | Available | 60g | 83*31*14 |
| 80A | PLUSH-80A | 80A | 100A | Switch | 5V/3A | 2-6 | 5-18 | Available | 72g | 83*31*16 |
| | PLUSH-80A-OPTO | 80A | 100A | N/A | N/A | 2-6 | 5-18 | Available | 69g | 83*31*14 |

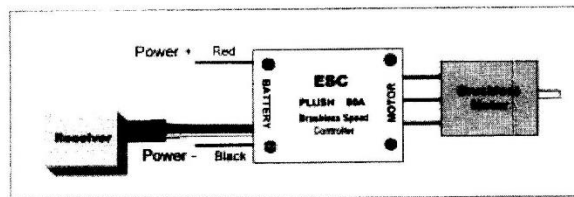
| BASIC Series | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------|---------------|----------------------|----------|------------|----------------|-----------|-------------------|--------|------------|
| Class | Model | Cont. Current | Burst Current (>10s) | BEC Mode | BEC Output | Battery Cell | | User Programmable | Weight | Size L*W*H |
| | | | | | | Li-ion Li-poly | NiMH NiCd | | | |
| 18A | BASIC-18A | 18A | 22A | Linear | 5V/2A | 2-4 | 5-12 | Available | 21g | 55*25*6 |
| 25A | BASIC-25A | 25A | 35A | Linear | 5V/2A | 2-4 | 5-12 | Available | 25g | 55*25*9 |

| BEC Output Capability | Linear Mode BEC(5V/2A) | | | | Switch Mode BEC(5V/3A) | |
|-----------------------------|------------------------|------------|------------|------------|------------------------|------------|
| | 2S Li-Poly | 3S Li-Poly | 4S Li-Poly | 5S Li-Poly | 2S — 4S Li-Poly | 5S Li-Poly |
| Standard micro servos(Max.) | 5 | 4 | 3 | 2 | 5 | 4 |

Note1: BEC means the "Battery Elimination Circuit". It is a DC-DC voltage regulator to supply the receiver and other equipments from the main battery pack. With the built-in BEC, the receiver needn't be supplied with an additional battery pack.

IMPORTANT! The ESC named "xxx-xxx-OPTO" hasn't a built-in BEC, so an UBEC (Ultimate-BEC) or an individual battery pack should be used to power the receiver. And an individual battery pack is needed to power the program card when setting the programmable value of ESC, please read the user manual of program card for reference.

Wiring Diagram:



CONTROLADOR DE VELOCIDAD



Thank you for purchasing Hobbyking Brushless Electronic Speed Controller(ESC).

High power systems for RC model can be very dangerous and we strongly suggest that you read this manual carefully. Hobbyking Model have no control over the use, installation, application, or maintenance of these products, thus no liability shall be assumed nor accepted for any damages, losses of costs resulting from the use of this item. Any claims arising from the operating, failure or malfunctioning etc. will be denied. We assume no liability for personal injury, property damage or consequential damages resulting from our product or our workmanship. As far as is legally permitted, the obligation for compensation is limited to the invoice amount of the product in question.

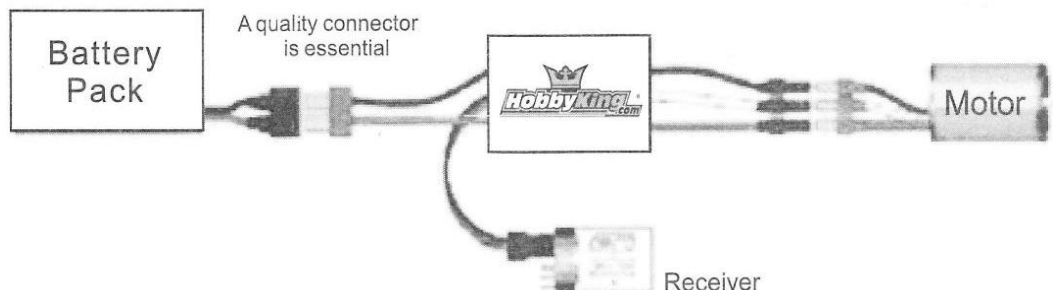
The Hobbyking ESC's high power BEC has been specifically designed for extreme aerobatics and therefore has the capability to support the higher momentary peak demand loads to eliminate the possibility of unwanted shutdowns, and is also capable of supporting continuous simultaneous multiple servo operations typically found in CCPM equipped hardcore 3D E-helicopters.

Wires Connection:

The speed controller can be connected to the motor by soldering directly or with high quality connectors. Always use new connectors, which should be soldered carefully to the cables and insulated with heat shrink tube. The maximum length of the battery pack wires shall be within 6 inches.

- Solder controller to the motor wires.
- Solder appropriate connectors to the battery wires.
- Insulate all solder connectors with heat shrink tubes.
- Plug the "JR" connector into the receiver throttle channel.
- Controller Red and Black wires connects to battery pack Red and Black wires respectively.

Brushless Speed Controller



Specification:

| Type | Cont. Current(A) | Burst Current (A) 10 sec | Battery cell NiXX/Lipo | Weight (g) | BEC Output | Size(mm) W*L*H | User Program |
|----------|------------------|--------------------------|------------------------|------------|------------|----------------|--------------|
| 12A BEC | 12A | 16A | 5-12NC \ 2-4 Lipo | 8 | 5.0V / 1A | 21 x 22 x 4 | yes |
| 20A BEC | 20A | 30A | 5-12NC \ 2-4 Lipo | 18 | 5.0V / 2A | 23 x 33 x 6 | yes |
| 30A BEC | 30A | 40A | 5-12NC \ 2-4 Lipo | 28 | 5.0V / 3A | 23 x 43 x 6 | yes |
| 40A SBEC | 40A | 60A | 5-18NC \ 2-6 Lipo | 32 | 5.5V / 4A | 23 x 52 x 7 | yes |
| 50A SBEC | 50A | 70A | 5-18NC \ 2-6 Lipo | 45 | 5.5V / 4A | 31 x 58 x 11 | yes |
| 60A SBEC | 60A | 80A | 5-18NC \ 2-6 Lipo | 45 | 5.5V / 4A | 31 x 58 x 11 | yes |
| 70A SBEC | 70A | 90A | 5-18NC \ 2-6 Lipo | 53 | 5.5V / 5A | 31 x 57 x 12 | yes |
| 85A SBEC | 85A | 100A | 5-18NC \ 2-6 Lipo | 62 | 5.5V / 5A | 36 x 62 x 16 | yes |

Features:

- ◆ Extremely low internal resistance
- ◆ Super smooth and accurate throttle linearity
- ◆ Safety thermal over-load protection
- ◆ Auto throttle shut down in signal lose situation
- ◆ Supports high RPM motors
- ◆ Power arming protection (prevents the motor from accidentally running when switched ON)
- ◆ New Advanced programming software

Our ESC allows you to program all functions to fit your specific needs,which makes it very efficient and user friendly:

- 1.User programmable brake setting (we recommend using brake for only folding props applications)
- 2.User programmable battery type(LiPo or NiCd/NiMH)
- 3.User programmable low voltage cutoff setting
- 4.User programmable factory default setup restore
- 5.User programmable timing settings (to enhance ESC efficiency and smoothness)
- 6.User programmable soft acceleration start ups (for delicate gearbox and helicopter applications)
- 7.User programmable governor mode(for helicopter applications)
- 8.User programmable motor rotation(clockwise\counterclockwise)
- 9.User programmable switching frequency
- 10.User programmable low voltage cutoff type (power reduction or immediate shutdown)

RC832

Instruction Manual

Specification:

1. Technical specification

| | | |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------|
| RC832 5.8GWireless receiver | Sensitivity | ≤-90dBm |
| | Working Frequency | ISM 5.8GHz |
| | Available Channel | 32CH |
| | Power supply | DC 12V |
| | Consumption Current | 200mA, Max. |
| | Antenna Input Impedance | 50ohm Typ. |
| | Antenna Connector | SMA |
| | Antenna Gain | 2dBi |
| | Video Output Level | 1.0Vp-p Typ, 75Ω |
| | Audio Output Level | 1.0Vp-p Typ, 10KΩ |
| | Audio Carrier | 6.5MHz |
| | Type Standard | NTSC/PAL |
| | Dimension (L x W x H) | 80x65x15 mm |
| | Weight | 85 g |

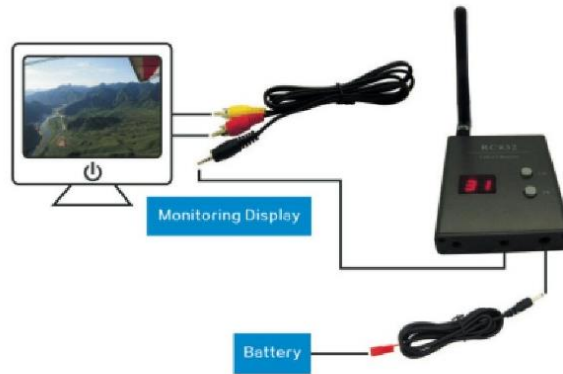
2. Features:

- **32 channels:** Cover A, B, E bands and F band (Airwave band), 4 bands and all frequencies compatible;
- **Two switching buttons:** CH button for frequencies channels switching, FR button for frequencies bands switching;
- **Two digital display:** one for CH and the other for FR, real-time positioning which frequency band and which channel received;
- **Power off memory:** Replay the very last frequency band and channel
- **Independent video and audio signal outputs**

3. Operation Instructions:

A. Pin Description:

B. Application example



C. Channel and Digital tube display

Power on, press the "CH" button to change channel, "CH" digital display will change synchronously, "CH" digital display changes cyclically from 1 to 8.

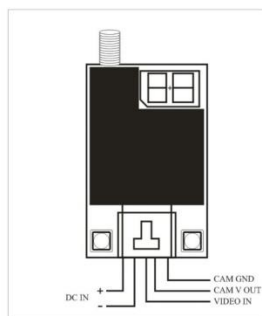
D. Frequent and Digital tube display

Power on, press the "FR" button to change frequency band, "FR" digital display will change synchronously, "FR" digital display changes cyclically from 1 to 4.

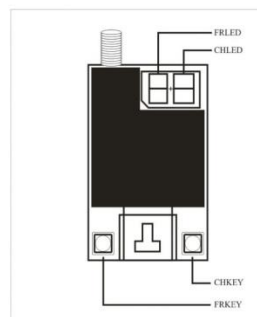
FR1 for A band, FR2 for B band, FR3 for E band, FR4 for F band(Airwave band).



Connect:



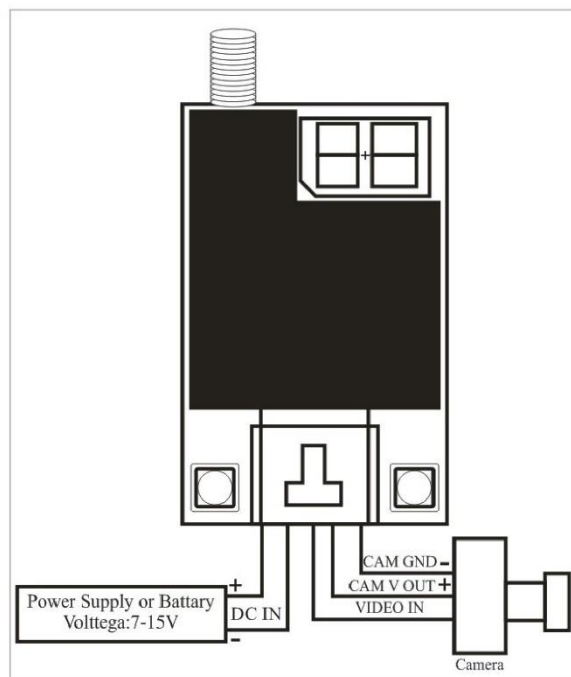
Channel Switch



Frequency and channel frequency table

| FR \ CH | | CH | | | | | | | |
|---------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | CH7 | CH8 |
| FR | FR1 | 5865M | 5845M | 5825M | 5805M | 5785M | 5765M | 5745M | 5725M |
| | FR2 | 5733M | 5752M | 5771M | 5790M | 5809M | 5828M | 5847M | 5866M |
| | FR3 | 5705M | 5685M | 5665M | 5645M | 5885M | 5905M | 5925M | 5945M |
| | FR4 | 5740M | 5760M | 5780M | 5800M | 5820M | 5840M | 5860M | 5880M |

Application examples





1.4 Block diagram

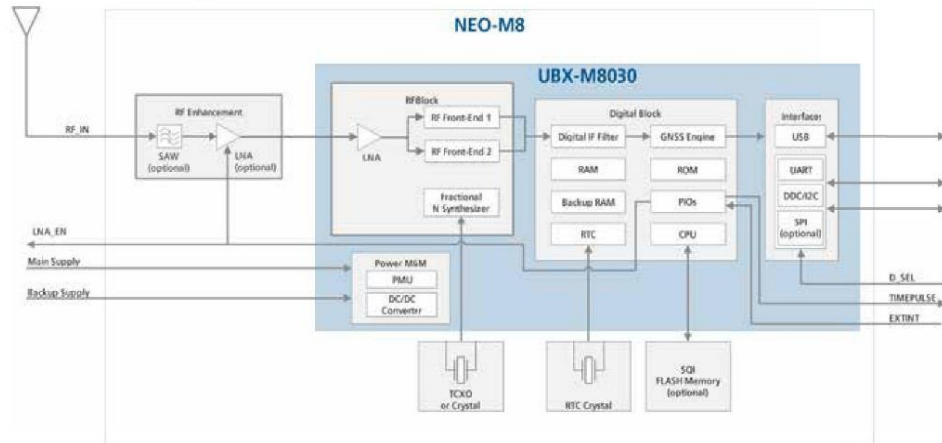


Figure 1: NEO-M8 block diagram

1.5 Supported GNSS Constellations

The NEO-M8 GNSS modules are concurrent GNSS receivers which can receive and track multiple GNSS systems: GPS, Galileo, GLONASS and BeiDou. Owing to the dual-frequency RF front-end architecture, either GLONASS or BeiDou can be processed concurrently with GPS and Galileo signals providing reception of three GNSS systems. By default the M8 receivers are configured for concurrent GPS and GLONASS, including SBAS and QZSS reception. If power consumption is a key factor, then the receiver should be configured for a single GNSS operation using GPS, Galileo, GLONASS or BeiDou and disabling QZSS and SBAS. The module can be configured to receive any single GNSS constellation or within the set of permissible combinations shown below.

| GPS | Galileo | GLONASS | BeiDou |
|-----|---------|---------|--------|
| • | • | – | – |
| • | • | • | – |
| • | • | – | • |
| • | – | • | – |
| • | – | – | • |
| – | • | • | – |
| – | • | – | • |
| – | – | • | • |

Table 2 Permissible GNSS combinations (• = enabled)



The augmentation systems: SBAS and QZSS can be enabled only if GPS operation is configured. Galileo is not enabled as the default configuration.

1.5.1 GPS

The NEO-M8 positioning modules are designed to receive and track the L1C/A signals provided at 1575.42 MHz by the Global Positioning System (GPS).

CONTROLADOR DE VUELO

pixhawk

AUTOPILOT



QUICK START GUIDE



PARTS



- 1 Pixhawk
- 2 Buzzer
- 3 Safety switch
- 4 Micro-SD card and adapter
- 5 Micro-USB cable
- 6 Six-wire cable x2

- 7 Power module
- 8 I²C splitter module
- 9 Four-position I²C splitter cable
- 10 Three-wire servo cable
- 11 Mounting foam

GETTING STARTED

With the help of APM firmware, Pixhawk turns any RC plane, copter, or rover into a full-featured personal drone. Once you have a fully-assembled frame, follow this guide to install Pixhawk.

- 1 Mount
- 2 Connect
- 3 Load firmware
- 4 Calibrate

1 MOUNT

Use the provided foam to mount Pixhawk as close as possible to your vehicle's center of gravity. Make sure to orient the board with the arrow pointing forward.



Attach the foam squares to the corners of the board.



←
Vehicle front

LOAD SD CARD INTO PIXHAWK

If the SD card is not preloaded into Pixhawk, insert the micro-SD card into the slot at the bottom end of the board.



CONNECT RADIO CONTROL

FOR PPM RC RECEIVERS AND FUTABA S.BUS RECEIVERS



Connect the ground (-), power (+), and signal (S) wires to the RC pins using the provided 3-wire servo cable.

FOR SPEKTRUM SATELLITE RECEIVERS



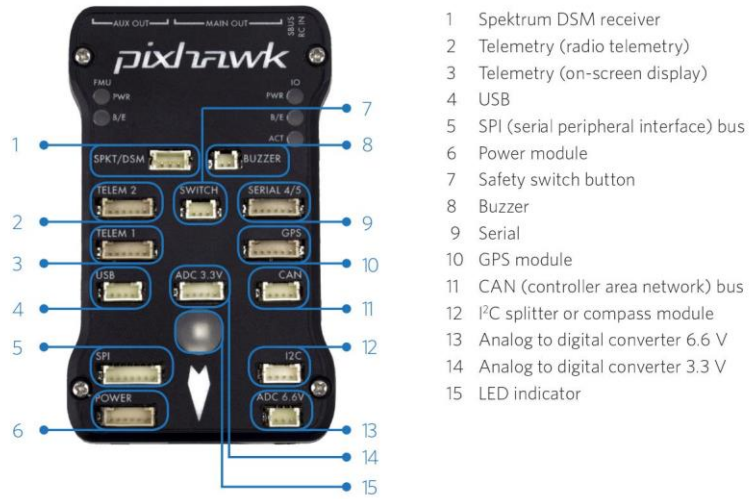
For a Spektrum DSM, DSM2, or DSM-X Satellite RC receiver, connect to the SPKT/DSM port.

For a complete list of RC systems compatible with Pixhawk, [visit the APM wiki page here](#).

FOR PWM RECEIVERS

Purchase a PPM Encoder module to connect a PWM RC receiver to Pixhawk at [store.3dr.com](#).

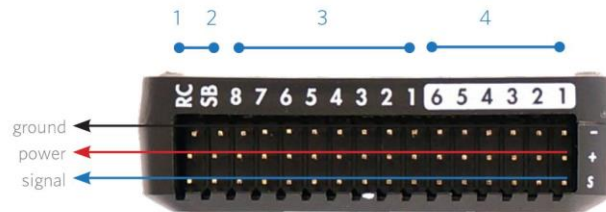
PORTS



- 1 Spektrum DSM receiver
- 2 Telemetry (radio telemetry)
- 3 Telemetry (on-screen display)
- 4 USB
- 5 SPI (serial peripheral interface) bus
- 6 Power module
- 7 Safety switch button
- 8 Buzzer
- 9 Serial
- 10 GPS module
- 11 CAN (controller area network) bus
- 12 I²C splitter or compass module
- 13 Analog to digital converter 6.6 V
- 14 Analog to digital converter 3.3 V
- 15 LED indicator



- 1 Input/output reset button
- 2 SD card
- 3 Flight management reset button
- 4 Micro-USB port



- 1 Radio control receiver input
- 2 S.Bus output
- 3 Main outputs
- 4 Auxiliary outputs

RECEPTOR DE RADIO CONTROL FUTABA



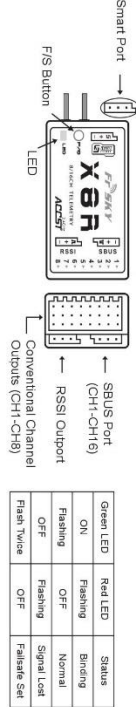
FSky 2.4GHz ACCST X8R Manual

www.fsky-rc.com

Introduction

Thank you for purchasing FSKY X8R 8/16ch full duplex telemetry receiver. In order to fully enjoy the benefits of this system, please read the instruction manual carefully and set up the device as described below.

Overview



Specifications

Dimension: 46.47*26.78*14.12mm (L × W × H)

Weight: 16.6g

Number of Channels: 16CH (1~8ch from conventional channel outputs, 1~16ch from SBUS port or combine two X8R to become a 16 channels receiver)

With RSSI PWM output (0~3.3V)

Operating Voltage Range: 4.0~10V

Operating Current: 100mA@5V

Operating Range: full range (>1.5km)

Firmware Upgradable

Compatibility: FSKY DFD/DJTD/DJTDH-TU in D mode

FSKY Taranis X9D Plus/XJT in DB mode

FSKY Taranis X9D Plus/XJT in D16 mode

X8R-EU version only works with FSKY Taranis X9D Plus-EU version/XJT-EU version in D16-EU mode.

What's New!

- More number of channels: 1~8ch from conventional channel outputs, 1~16ch from SBUS port, or combine two X8R to become a 16 channels receiver.
- Parallel two X8R to become a 16 channel receiver.
- With RSSI PWM output (0~3.3V)
- Smart Port enabled, realizing two-way full duplex transmission.



Smart Port (S-Port) is a signal wire full duplex digital transmission interface developed by FSKY Electronic Co., Ltd. All products enabled with Smart Port (including XJT module, X8R receiver, new hub-less sensors, new Smart Dashboard etc), serial port user data and other user input/output devices can be connected without limitations for numbers or sequences at a high transmission speed.

Binding Procedure

Binding is the process of uniquely associating a particular receiver to a transmitter module. A transmitter module can be bound to multiple receivers (not to be used simultaneously). A receiver can only be bound to one transmitter module.

Follow the steps below to finish the binding procedure.

1. Turn on the transmitter while holding the F/S button on the module (please refer to the module instruction manual for switch positions). Release the button. The RED LED on the XJT module will flash, indicating the transmitter is ready to bind to the receiver.
2. Set X8R receiver in bind mode (see below chart for details). The RED LED on the receiver will flash, indicating the binding process is completed.
3. Turn off both the transmitter and the receiver.
4. Turn on the transmitter and connect the battery. The GREEN LED on the receiver indicates the receiver is receiving commands from the transmitter. The receiver/transmitter module binding will not have to be repeated, unless one of the two is replaced.

Website: www.fsky-rc.com

FSKY Electronic Co., Ltd

Technical Support: sales@fskyrc@gmail.com



FSky 2.4GHz ACCST X8R Manual

www.fsky-rc.com

Note: After binding procedure is completed, recycle the power and check if the receiver is really under control by linked transmitter.

Receiver Mode and Binding Operation:

① Please be attention that the Smart Port Protocol is only running in D16 mode.

| Mode of X8R | Telemetry | Channel Output | Receiver Mode select & Bind Operation (Signal pins) | F/S Button |
|-------------|-----------|----------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mode 1(D9) | √ | CH1~CH8 | CH7&CH8 | connect the battery to any available channel output (no need to hold the F/S button on X8R) |
| Mode 2(D16) | x | CH1~CH8 | CH3&CH4 | connect the battery to any available channel output, while holding the F/S button on X8R |
| Mode 3(D16) | x | CH9~CH16 | CH16&CH2 | |
| Mode 4(D16) | √ | CH9~CH16 | CH1&CH2, CH3&CH4 | |
| Mode 5(D16) | √ | CH1~CH8 | No jumper | |

When combine two X8R to become a 16ch receiver, you need to disable telemetry on either one of the two X8R's as above chart.

X8R-EU version only works with FSKY Taranis X9D Plus-EU version/XJT-EU version in D16-EU mode.

Range Check

A pre-flight range check should be done before each flying session. Reflections from nearby metal fences, concrete buildings or trees can cause loss of signal both during range check and during the flight. Follow the steps below to perform the range check.

1. Place the model at least 50cm (two feet) above non-metal contaminated ground (e.g. on a wooden bench).
2. The receiver antenna should be separated in the model, and do not touch the ground.
3. The module antenna should be in a vertical position.
4. Turn on the transmitter and the receiver, press the F/S button on the XJT module for 4 seconds to enter range check mode. The RED LED will be off, GREEN LED will flash rapidly. The effective distance will be decreased to 1/20 (at least 30m).
5. Walk away from the model while simultaneously operating the controls on the transmitter to confirm all controls' normal operation.
6. Press the F/S button on the XJT module for 1~2 seconds to exit range check mode. RED LED will be back on, indicating normal operation is back.

Failsafe

Failsafe is a useful feature in which all controls move to a preset position whenever the control signal is lost for a period of time. X8R supports failsafe function for all channels. Follow the steps below to set failsafe positions for each channel:

1. Bind the receiver first and turn on both the transmitter and the receiver.
 2. Move the controls to the desired failsafe position for all channels.
 3. Press briefly the F/S button on the receiver (less than 1 second). The Green LED will flash twice, indicating the failsafe position has been set in the receiver.
- To disable the failsafe function, re-bind the receiver. Failsafe is recommended to set when system is firstly used, or receiver has been re-bound. Follow steps below to set failsafe.
- Option-1: How to set failsafe to a user-determined state on lost signal:
- 1) Bind the receiver to the transmitter module first and turn on both the transmitter and the receiver.
 - 2) Move the controls to desired failsafe position for all channels.
 - 3) Press briefly the F/S button on the receiver and you are done.
- Option-2: How to set failsafe for no pulses on lost signal:
- 1) Turn off the transmitter, power on the receiver, and then press briefly the F/S button on the receiver.

Note: If failsafe is not set, failsafe default will hold last position before signal is lost. In this case, there exists risk that your model will fly away or cause injury.



For more details, please check the complete manual for X8R from www.fsky-rc.com. Download Manual. Should you have other questions, please send e-mails to FSKY technical support sales@fskyrc@gmail.com.

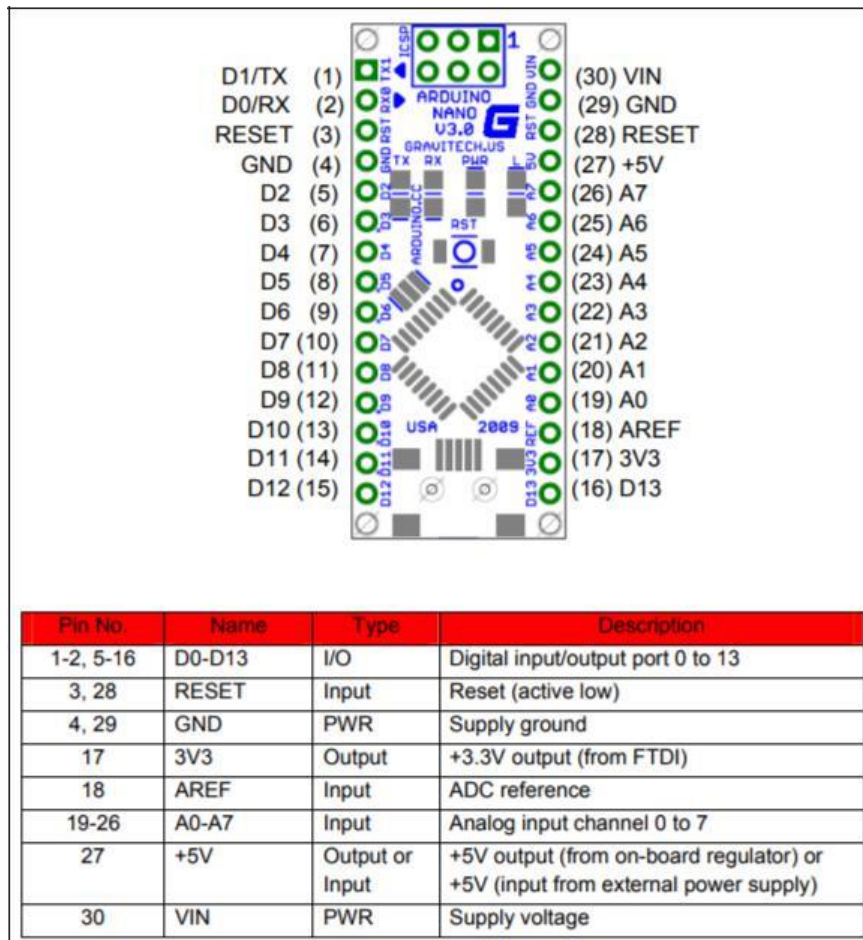
Website: www.fsky-rc.com

FSKY Electronic Co., Ltd

Technical Support: sales@fskyrc@gmail.com

ANEXO F: Hoja de especificaciones técnicas de la placa Arduino NANO

|  Technical Specification  | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Summary | |
| Microcontroller | Atmel ATmega168 or ATmega328 |
| Operating Voltage (logic level) | 5 V |
| Input Voltage (recommended) | 7-12 V |
| Input Voltage (limits) | 6-20 V |
| Digital I/O Pins | 14 (of which 6 provide PWM output) |
| Analog Input Pins | 8 |
| DC Current per I/O Pin | 40 mA |
| Flash Memory | 16 KB (ATmega168) or 32 KB (ATmega328) of which 2 KB used by bootloader |
| SRAM | 1 KB (ATmega168) or 2 KB (ATmega328) |
| EEPROM | 512 bytes (ATmega168) or 1 KB (ATmega328) |
| Clock Speed | 16 MHz |
| Dimensions | 0.73" x 1.70" |



ANEXO G :Material fotográfico del desarrollo del proyecto.

| PROCESO DE DESARROLLO DE UAV COLIBRI | |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| UAV MINI EXISTENTES EN EL CIDFAE |  |
| ENSAMBLE DE COLA UAV COLIBRI |  |
| FABRICACIÓN DE PERFIL ALAR |  |
| TERMINACION DE ALA FIJA |  |
| ENSAMBLE DEL MOTOR |  |

| | |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>ENSAMBLE DE TELEMETRIA</p> |  |
| <p>ARMADO DE CONTROLADOR VELOCIDAD</p> |  |
| <p>ARMADO DEL CONTROLADOR DE VUELO</p> |  |
| <p>CONFIGURACION DEL AUTOPILOTO</p> |  |
| <p>PRUEBA DE CONTROLES</p> |  |
| <p>MISION</p> |  |

GLOSARIO TÉCNICO DE ACRÓNIMOS

| SIGLAS | SIGNIFICADO | TRADUCCIÓN |
|---------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| AMQP | <i>Advanced Message Queuing Protocol.</i> | Protocolo de cola de mensajes avanzado. |
| API | <i>Application Programming Interface.</i> | Interfaz de programación de aplicaciones. |
| APM | <i>ArduPilot Mega.</i> | ArduPilot Mega. |
| ARM | <i>Advanced RISC Machine.</i> | Máquina RISC avanzada. |
| AUVSI | <i>Association for Unmanned Vehicle Systems International.</i> | Asociación para los sistemas de vehículos no tripulados internacional. |
| BEC | <i>Battery Elimination Circuit</i> | Circuito de eliminación de la batería |
| CEP | <i>Complex Event Processing.</i> | Procesamiento complejo de eventos. |
| CGS | <i>Control Ground Station.</i> | Controlar la estación de tierra. |
| CPU | <i>Central Processing Unit.</i> | Unidad Central de procesamiento. |
| CSI | <i>Camera Serial Interface.</i> | Interfaz serie de la cámara. |
| DSI | <i>Display Serial Interface.</i> | Mostrar interfaz serie. |
| DSL | <i>Domain Specific Language.</i> | Lenguaje específico del dominio. |
| DSP | <i>Digital Signal Processing.</i> | Procesamiento de señales digitales. |
| DVD | <i>Digital Versatile Disc.</i> | Disco digital Versatil. |
| EEPROM | <i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory.</i> | Eléctricamente programable y borrrable memoria de sólo lectura. |
| ESB | <i>Enterprise Service Bus.</i> | Bus de servicios empresariales. |
| ESC | <i>Electronic Speed Control</i> | Control electrónico de velocidad |
| fps | <i>frames por segundo.</i> | marcos por segundo. |
| GPS | <i>Global Positioning System. GPIO</i> | Sistema de Posicionamiento Global. GPIO |
| GPIO | <i>General-Purpose Input/Output. GPU</i> | Entrada / Salida de Propósito General. GPU |
| GPU | <i>Graphics Processing Unit.</i> | Unidad de procesamiento gráfico. |
| HDMI | <i>High-Definition Multimedia Interface.</i> | Multimedia de interfaces en alta definicion. |
| HTTP | <i>Hypertext Transfer Protocol.</i> | Protocolo de Transferencia de Hipertexto. |
| IBM | <i>International Business Machines.</i> | Máquinas de negocios internacionales. |
| IDE | <i>Integrated Development Environment.</i> | Entorno de desarrollo integrado. |
| IoT | <i>Internet of Things.</i> | Internet de las Cosas. |

| | | |
|---------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| IMU | <i>Inertial Measurement Unit</i> | Unidad de medida Inercial |
| IP | <i>Internet Protocol.</i> | Protocolo de Internet. |
| ISO | <i>International Organization for Standardization.</i> | Organización Internacional de Normalización. |
| JDBC | <i>Java Database Connectivity</i> | Conectividad de base de datos Java |
| JMS | <i>Java Message Service.</i> | Servicio de mensajes Java. |
| JVM | <i>Java Virtual Machine.</i> | Máquina virtual de Java. |
| LCD | <i>Liquid-Crystal Display.</i> | Pantalla de cristal líquido. |
| LED | <i>Light-Emitting Diode.</i> | Diodo emisor de luz. |
| LGPL | <i>Lesser General Public License.</i> | Menor licencia pública general. |
| Li-Po | <i>Lithium-Polymer.</i> | Polímero de litio. |
| M2M | <i>Machine-to-Machine.</i> | Máquina a máquina. |
| mAh | <i>miliamperio-hora.</i> | miliamperio-hora. |
| MAVLink | <i>Micro Air Vehicle Link.</i> | Micro Air Vehicle Link. |
| MicroSD | <i>Micro Secure Digital.</i> | Micro Secure Digital. |
| MIPI | <i>Mobile Industry Processor Interface.</i> | Interfaz del procesador de la industria móvil. |
| MIT | <i>Massachusetts Institute of Technology.</i> | Instituto de Tecnología de Massachusetts. |
| MQTT | <i>Message Queue Telemetry Transport.</i> | Message Queue Telemetry Transport. |
| NTSC | <i>National Television System Committee.</i> | Comité Nacional del Sistema de Televisión. |
| OSS | <i>Open Source Sistem</i> | Sistema de Código Abierto |
| PAL | <i>Phase Alternating Line.</i> | Fase Alternando la Línea. |
| PLA | <i>Programmable Logic Array</i> | Arreglos lógicos programables |
| R/C | <i>Radiocontrol.</i> | Radio control. |
| RAM | <i>Random Access Memory.</i> | Memoria de acceso aleatorio. |
| RCA | <i>Radio Corporation of America.</i> | Radio Corporation of America. |
| RJ-45 | <i>Registered Jack 45.</i> | Jack registrado 45. |
| RPA | <i>Remotely Piloted Aircraft.</i> | Avión pilotado a distancia. |
| RPF | <i>Raspberry Pi Foundation.</i> | Fundación Raspberry Pi. |
| RSMB | <i>Really Small Message Broker.</i> | Really Small Message Broker |
| Stall | <i>Stall</i> | Pérdida de sustentación o insuficiencia de potencia del motor |
| SDRAM | <i>Synchronous Dynamic Random Access Memory.</i> | Memoria de acceso aleatorio dinámica síncrona. |
| SITL | <i>Software In The Loop.</i> | Software en el Loop. |
| SOA | <i>Service-Oriented Architecture.</i> | Arquitectura orientada a Servicios. |
| SoC | <i>System on Chip.</i> | Sistema en Chip. |
| SRAM | <i>Static Random Access Memory.</i> | Memoria de acceso aleatorio estático. |
| TCP | <i>Transmission Control Protocol.</i> | Protocolo de Control de |

| | | |
|------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| TFG | <i>Trabajo de Fin de Grado.</i> | Transmisión. |
| UAV | <i>Unmanned Aerial Vehicle.</i> | Trabajo de Fin de Grado. |
| | | Vehículo aéreo no tripulado. |
| UCAV | <i>Unmanned Combat Aerial Vehicle.</i> | Vehículo aéreo de combate no tripulado. |
| UEx | <i>Universidad de Extremadura.</i> | Universidad de Extremadura. |
| USB | <i>Universal Serial Bus.</i> | Universal Serial Bus. |
| UV | <i>Ultravioleta.</i> | Ultravioleta. |
| VANT | <i>Vehículo Aéreo No Tripulado.</i> | Vehículo Aéreo No Tripulado. |
| WQM | <i>Websphere Message Queue.</i> | Cola de mensajes de Websphere. |
| XML | <i>eXtensible Markup Language</i> | Lenguaje de marcado extensible |