



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
COMUNICACIONES**

Tema:

**CENTRO DE MANDO Y CONTROL PORTÁTIL PARA
AVIONES TÁCTICOS UAVS COLIBRÍ PARA EL CENTRO DE
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FAE**

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

LINEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de Comunicación

AUTORES: Luis Ricardo Sánchez Zúñiga

Diego Armando Tipanluisa Mise

TUTOR: Ing. Julio Enrique Cují Rodríguez, Mg

AMBATO – ECUADOR

marzo - 2022

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor de Trabajo de Titulación con el tema: CENTRO DE MANDO Y CONTROL PORTÁTIL PARA AVIONES TÁCTICOS UAVS COLIBRÍ PARA EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FAE, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por los señores Luis Ricardo Sánchez Zúñiga y Diego Armando Tipanluisa Mise, estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que los estudiantes han sido tutorados durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

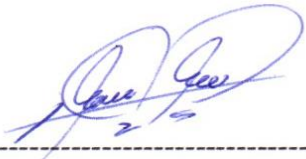
Ambato, marzo 2022

Ing. Julio Enrique Cují Rodríguez, Mg
TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado CENTRO DE MANDO Y CONTROL PORTÁTIL PARA AVIONES TÁCTICOS UAVS COLIBRÍ PARA EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FAE, es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Ambato, marzo 2022



Luis Ricardo Sánchez Zúñiga
CC: 1804788782
AUTOR



Diego Armando Tipanluisa Mise
CC: 0504348186
AUTOR

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por los señores Luis Ricardo Sánchez Zúñiga y Diego Armando Tipanluisa Mise, estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado CENTRO DE MANDO Y CONTROL PORTÁTIL PARA AVIONES TÁCTICOS UAVS COLIBRÍ PARA EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FAE, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, marzo 2022

Ing. Pilar Urrutia, Mg
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos Gordon, PhD
PROFESOR CALIFICADOR

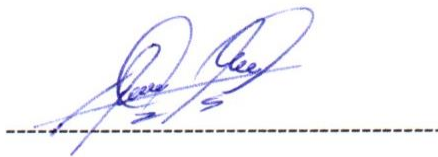
Ing. Paulina Ayala, Mg
PROFESORA CALIFICADORA

DERECHOS DE AUTOR

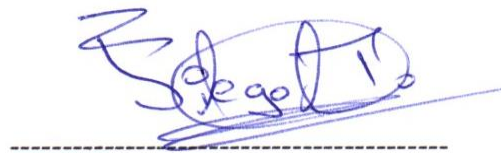
Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

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

Ambato, marzo 2022



Luis Ricardo Sánchez Zúñiga
CC: 1804788782
AUTOR



Diego Armando Tipanluisa Mise
CC: 0504348186
AUTOR

DIDICATORIA

A Dios por la vida, por bendecirme y brindarme la fuerza, la salud y la inteligencia para cumplir cada una de mis metas y anhelos.

A mis Padres por apoyarme incondicionalmente en todo momento, por todos los valores inculcados durante este largo camino, por la motivación para cada día superarme y ser una persona de bien, por sus consejos y lo más especial su amor y confianza.

A mis hermanos, por todo el cariño recibido, por todos los momentos de felicidad y tristeza compartidos de los cuales hemos salido juntos, por los ejemplos de superación y ánimos para salir adelante.

A mi novia, por ser la persona quien está siempre en las buenas y en las malas, brindándome su apoyo, comprensión y amor incondicional, y motivándome cada día a cumplir mis sueños.

Luis Ricardo Sánchez Zúñiga

DEDICATORIA

A Dios al forjador de mi camino, mi padre celestial, el que me acompaña y siempre me levanta de mis continuos tropiezos.

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. A mi madre por su esfuerzo, confianza y paciencia que me tuvo durante el tiempo que duro mi preparación. A mi padre por sus constantes sacrificios que hizo para darme lo necesario para poder realizar mis estudios y finalmente a mi hermana Anahí que siempre estuvo apoyándome de una u otra forma.

A mis familiares y amigos, que siempre estuvieron apoyándome para seguir adelante, aprendiendo un poco de cada uno de ellos para poder realizar este sueño y cumplir mí meta que lo he venido perseverando.

Diego Armando Tipanluisa Mise

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser la fortaleza en cada día de mi vida y permitirme llegar a cumplir este tan anhelado sueño.

A mi familia por toda su paciencia y amor, por no dejarme desmayar y acompañarme durante toda mi formación profesional.

A mis maestros por brindarme los mejores conocimientos, por forjar ese anhelo de llegar a ser Ingeniero.

A mi tutor Ing. Julio Cují Mg. por su ayuda permanente durante el desarrollo de la tesis, por la paciencia y por el cumplimiento de su trabajo.

Al CIDFAE, por confiar en nosotros y brindarnos la oportunidad de realizar el proyecto de tesis, poniendo un granito de arena para servicio del País, en especial al Sargento Eduardo C. y Capitán Alex P.

A mi compañero de trabajo, por brindarme su amistad, conocimiento y experiencias, fuimos un buen equipo.

Luis Ricardo Sánchez Zúñiga

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas mis familiares y amigos quienes me apoyaron y confiaron en mi en este proceso de formación, en especial a mis padres quienes fueron mi apoyo y mi pilar fundamental para poder conseguir esta meta.

Agradezco a mis docentes quienes me impartieron todos sus conocimientos los cuales me han servido hoy en día para poder ejercerme como profesional.

A CIDFAE, en especial al Sargento Carrillo quien nos orientó en el desarrollo del presente proyecto.

A mi compañero de equipo Luis S. gracias por la confianza que me brindo para realizar este proyecto. Grandes momentos y experiencias compartidas a lo largo de nuestra formación como profesionales.

A mis amigos, quienes me brindaron sus consejos y me compartieron todos sus conocimientos que me ayudaron siempre a seguir adelante y nunca a darme por vencido a pesar de las dificultades que se nos presentaba en nuestra preparación.

Diego Armando Tipanluisa Mise

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	x
INDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
CAPÍTULO I	3
MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes Investigativos.....	3
1.1.1 Contextualización del Problema	5
1.1.2 Fundamentación Teórica	7
UAV Unmanned Aerial Vehicle – Vehículos Aéreos No Tripulados.....	7
Aplicaciones de los UAV	8
Partes de un UAV	8
Subsistemas de un UAV.....	9
• Sistema de control	9
• Sistema de navegación	9
• Sistema de alimentación.....	10
• Carga útil.....	10
Clasificación de un UAV	11
a. Según su uso.....	11
UAV Militares.....	11
UAV Civiles.....	11
b. Según el tipo de alas que emplean	12
Alas Fijas	12
Móviles o rotóricas.....	12
c. Según el método de control	13
Modo manual	13
Modo automático	13
UAVS Colibrí desarrollados en el CIDFAE	13
Descripción de la Aeronave	14
• Estructura Física.....	14
• Alas	15
• Empenaje.....	15
• Especificaciones Mecánicas	16

• Equipamiento de control	16
• Equipamiento de Comunicación.....	17
Segmentos de un Sistema UAV	17
a. Segmento de Comunicaciones.....	18
Subsistema de telemetría.....	20
• Frecuencias para Telemetría.....	20
• Protocolo MAVLink (Micro Air Vehicle Link)	23
• Modos de Vuelo.....	24
Subsistema de Video.....	25
• Frecuencias para Transmisión de Video.....	25
• FPV (First Person View).....	26
b. Segmento Tierra.....	27
Subsistema de Monitoreo.....	27
• QGround Control.....	27
• Mission Planner.....	28
• DJI Ground Station.....	28
• UGCS.....	28
Subsistema de Mando y Control.....	28
• Sistema de control de vuelo.....	28
• Estación de mando y control en tierra (EMCT).....	29
• Software de planificación, control y seguimiento de misiones	31
Subsistema de Alimentación	31
Subsistema de Refrigeración.....	33
1.2. Objetivos	35
CAPÍTULO II.....	36
METODOLOGÍA.....	36
2.1. Materiales.....	36
2.2. Métodos.....	36
2.2.1. Modalidad de la Investigación.....	36
2.2.2. Recolección de Información	37
2.2.3. Procesamiento y Análisis de Datos.....	37
2.2.4. Desarrollo del Proyecto	38
CAPÍTULO III.....	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.1. Análisis y Discusión de Resultados.....	39

3.1.1.	Introducción.....	39
3.1.2.	Resultados de la Entrevista al Personal Técnico – Militar	39
3.1.3.	Esquema de componentes del Centro de mando y Control	40
	Segmento Tierra.....	41
	Comunicaciones	42
3.1.4.	Selección de Materiales	43
	Equipos de Visualización	44
	• Pantalla LCD.....	44
	Equipos de Alimentación.....	45
	• Alimentación para ventilación.....	46
	• Alimentación para Video.....	48
	Equipos de Ventilación	49
	• Sensor de temperatura	49
	• Microcontrolador.....	50
	• Ventilador.....	51
	Equipos de Telemetría.....	52
	• Transmisor y Receptor de Telemetría.....	52
	• Antenas	53
	Equipos de Video	57
	• Transmisor y Receptor de video	57
	Equipos de Hardware	61
3.1.5.	Diseño de la estructura del centro de mando y control.....	66
3.1.6.	Identificación del tipo de material óptimo para elaboración del centro de mando y control	66
3.1.7.	Configuración y Programación de los equipos en el centro de mando y control.....	67
	• Elaboración y programación del sistema de refrigeración	68
	• Configuración del Micropiloto	72
3.1.8.	Instalación de Equipos electrónicos y comunicación en el centro de mando y control	81
	• Posicionamiento Equipos de Hardware y puertos de entrada.....	81
	• Posicionamiento Equipos de refrigeración	82
	• Posicionamiento Switch de Energización y Baterías	84
	• Posicionamiento Equipos de Visualización	85
	• Posicionamiento Equipos de Video	85
	• Posicionamiento Equipos de Telemetría.....	86

3.1.9. Verificación de Funcionamiento del equipo de Hardware y sistema de refrigeración.	86
3.1.10. Análisis de Resultados	88
CAPÍTULO IV	118
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
4.1. Conclusiones	119
4.2. Recomendaciones.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121
BIBLIOGRAFÍA	121
Anexo 1: Entrevista al personal Técnico – Militar	127
Anexo 2: Planos de Diseño del Centro de Mando y Control	130
Anexo 3: Programación del sistema de refrigeración en Arduino	136
Anexo 4: Datasheets	137
Anexo 5: Instalación de Software	143
Anexo 6: Presupuesto.....	147

INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 UAV de ala fija.	12
Ilustración 2 UAV Multirrotor.	12
Ilustración 3 Componentes del frame del UAV [1].	14
Ilustración 4 Forma de costilla del ala [1].	15
Ilustración 5 UAV empleado en el proyecto.	15
Ilustración 6 Unmanned Aircraft System [18].	17
Ilustración 7 Subsistemas de un UAS.	18
Ilustración 8 Sistema de Comunicación para UAV [22].	19
Ilustración 9 Rango de frecuencias libres UHF – SHF y sus principales aplicaciones para UAS [25].	22
Ilustración 10 Trama de Protocolo MAVLink [28].	24
Ilustración 11 Diagrama de la clasificación de modos de vuelo [1].	25
Ilustración 12 Radio transmisor y receptor Futaba del CIDFAE.	29
Ilustración 13 Partes de un Arduino.	34
Ilustración 14 Esquema general del Centro de mando y control.	41
Ilustración 15 Elementos del segmento Tierra.	42
Ilustración 16 Elementos de Comunicaciones.	43

Ilustración 17 Distribución para selección de equipos.....	44
Ilustración 18 Pantalla LCD.....	45
Ilustración 19 Batería de ventilación.....	47
Ilustración 20 Batería de video.....	49
Ilustración 21 Termocupla tipo K.....	50
Ilustración 22 Microcontrolador.....	51
Ilustración 23 Ventilador.....	52
Ilustración 24 Equipos Telemetría.....	53
Ilustración 25 Distancia vs Margen de enlace.....	57
Ilustración 26 Equipos de Video.....	58
Ilustración 27 Distancia vs Margen de enlace.....	61
Ilustración 28 Ordenador.....	63
Ilustración 29 Mission Planner.....	64
Ilustración 30 Proceso de configuración y programación de equipos en el centro de mando y control.....	68
Ilustración 31 Sistema de refrigeración Proteus (ISIS).....	69
Ilustración 32 Sistema de refrigeración Proteus (ARES).....	70
Ilustración 33 Sistema de refrigeración Proteus (VISUALIZACIÓN 3D).....	70
Ilustración 34 Placa de baquelita.....	71
Ilustración 35 Perforaciones placa de baquelita.....	71
Ilustración 36 Circuito de refrigeración con los componentes montados en la placa.....	72
Ilustración 37 Versión de software Mission Planner.....	72
Ilustración 38 Configuración de parámetros módulos RFD 900x.....	74
Ilustración 39 Establecimiento de comunicación inalámbrica Mavlink.....	75
Ilustración 40 Instalación de Firmware para UAV ala fija.....	76
Ilustración 41 Elementos sistema de video.....	77
Ilustración 42 Emparejamiento equipos de video.....	78
Ilustración 43 Configuración de video para visualización en Controlador.....	80
Ilustración 44 Diagrama de configuración para visualización de video.....	80
Ilustración 45 Configuración software VLC en PC.....	81
Ilustración 46 Ubicación del Hardware en el interior del centro de mando.....	81
Ilustración 47 Ubicación de los puertos externos de entrada.....	82
Ilustración 48 Ubicación equipo de refrigeración focalizada.....	82
Ilustración 49 Ubicación de equipos de refrigeración.....	83
Ilustración 50 Conexiones del sistema de refrigeración.....	83
Ilustración 51 Ubicación de switch de Energización.....	84

Ilustración 52 Ubicación de la batería.	84
Ilustración 53 Ubicación de equipo de visualización telemetría y video.	85
Ilustración 54 Ubicación equipo de video.	85
Ilustración 55 Ubicación módulo de telemetría.	86
Ilustración 56 Funcionamiento de quipos de hardware instalados en centro de mando y control.	87
Ilustración 57 Visualización de temperatura censada.	87
Ilustración 58 Funcionamiento de los ventiladores.	88
Ilustración 59 Verificación de conexiones UAV.	89
Ilustración 60 Verificación de conexiones Centro de mando y control.	89
Ilustración 61 Verificación de peso y balance.	90
Ilustración 62 Equipos Prueba de vuelo 1.	91
Ilustración 63 Resumen prueba de vuelo 1.	91
Ilustración 64 Despegue y aterrizaje Prueba de vuelo 1.	92
Ilustración 65 Resumen de vuelo Prueba 1.	92
Ilustración 66 Programación de WayPoints Prueba 1.	93
Ilustración 67 Velocidad vs tiempo prueba de Vuelo 1.	94
Ilustración 68 Altura vs Tiempo.	95
Ilustración 69 Error porcentual en función de la velocidad.	96
Ilustración 70 Equipos Prueba de vuelo 2.	97
Ilustración 71 Resumen prueba de vuelo 2.	98
Ilustración 72 Despegue y aterrizaje Prueba de vuelo 2.	98
Ilustración 73 Resumen de vuelo Prueba 2.	99
Ilustración 74 Visualización de datos en el centro de mando y control.	99
Ilustración 75 Ubicación de las antenas de telemetría.	100
Ilustración 76 Resultados Generales prueba de vuelo 3.	101
Ilustración 77 Telemetría y video Prueba de vuelo 3.	102
Ilustración 78 Resumen de vuelo Prueba 3.	102
Ilustración 79 Programación de WayPoints Prueba 3.	103
Ilustración 80 Recorrido Programado Vuelo 3.	104
Ilustración 81 Resultados Generales prueba de vuelo 4.	105
Ilustración 82 Telemetría y video Prueba de vuelo 4.	106
Ilustración 83 Resumen de vuelo Prueba 4.	106
Ilustración 84 Consumo energético mAh vs Tiempo en Prueba 4.	107
Ilustración 85 Descarga Voltaje vs Tiempo en Prueba 4.	107
Ilustración 86 Nivel de Señal Telemetría.	108

Ilustración 87 Distancia vs Porcentaje de señal Prueba 1.	109
Ilustración 88 Distancia vs Porcentaje de señal Prueba 2.	110
Ilustración 89 Distancia vs Porcentaje de señal Prueba 3.	111
Ilustración 90 Distancia vs Porcentaje de señal Prueba 4.	111
Ilustración 91 Plano diseño Base.	130
Ilustración 92 Plano diseño Tapa superior.	131
Ilustración 93 Plano diseño Cuadro de aluminio Base.	132
Ilustración 94 Plano diseño Cuadro de aluminio Tapa.	133
Ilustración 95 Plano diseño Chapa.	134
Ilustración 96 Plano diseño Manilla.	135
Ilustración 97 Página Mission Planner.	143
Ilustración 98 Link de descarga de Mission Planner.	143
Ilustración 99 Inicio de instalación del software.	144
Ilustración 100 Selección de términos y condiciones del programa.	144
Ilustración 101 Escoger ubicación del software.	145
Ilustración 102 Presionar Instalar para iniciar el proceso.	145
Ilustración 103 Instalación de los drivers del software.	146
Ilustración 104 Ejecución del software Mission Planner.	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especificaciones Técnicas De Uav Colibri V3.0 De Cidfae [1]	14
Tabla 2 Especificaciones Mecánicas Del Uav Del Proyecto [1].....	16
Tabla 3 Espectro Radioeléctrico [1].....	21
Tabla 4 Análisis Comparativo Entre Frecuencias Para Telemetría [25].....	22
Tabla 5 Comparacion Tipos De Baterias [42]	32
Tabla 6 Componentes Del Segmento Tierra.....	41
Tabla 7 Componentes De Comunicaciones	42
Tabla 8 Comparativa Pantallas Lcd.....	44
Tabla 9 Velocidades Claves En El Funcionamiento Del Uav. [1]	45
Tabla 10 Comparativa De Batería Para Ventilacion	47
Tabla 11 Comparativa Alimentación Para Video.	48
Tabla 12 Comparativa Sensores De Temperatura	49
Tabla 13 Comparativa De Microcontroladores	50
Tabla 14 Comparativa De Ventiladores	51
Tabla 15 Comparativa De Equipos De Telemetría	52

Tabla 16 Balance De Potencias Enlace De Telemetria.....	54
Tabla 17 Calculo Para Distintas Distancias.....	56
Tabla 18 Comparativa Equipos De Video.....	58
Tabla 19 Balance De Potencias Enlace De Video.....	59
Tabla 20 Calculo Para Distintas Distancias.....	60
Tabla 21 Comparativa De Ordenadores.....	62
Tabla 22 Comparativa Softwares De Planificación De Vuelo [1].....	65
Tabla 23 Comparativa De Case Para La Estación Terrestre.....	67
Tabla 24 Calculos Eficiencia De Transmision De Datos.....	95
Tabla 25 Analisis Datos De Telemetria.....	109
Tabla 26 Analisis Datos De Telemetria.....	110
Tabla 27 Analisis Datos De Video Prueba 1 Y 2.....	112
Tabla 28 Analisis Datos De Video Prueba 3 Y 4.....	115
Tabla 29 Análisis De Niveles De Señal De Video Pruebas 1 Y 2.....	117
Tabla 30 Análisis De Niveles De Señal De Video Pruebas 3 Y 4.....	118

RESUMEN EJECUTIVO

El trabajo de investigación consiste en la implementación de un Centro de mando y control portátil para mejorar la visualización de la información en tierra y que permita incrementar la cobertura para la transrecepción de datos y video, de esta manera asegurar la supervivencia de la aeronave durante las misiones de vuelo de un UAV del CIDFAE.

Para ello se inició con un análisis de las condiciones actuales de control y monitoreo con las que cuentan las aeronaves del centro en las operaciones de vuelo, para así determinar las falencias y los requerimientos que permitan mejorar las operaciones antes mencionadas. Esto permitió dimensionar los componentes necesarios para que el centro de mando y control funcione adecuadamente, para lo cual se establecieron características de selección como costo, dimensiones, especificaciones técnicas tomando en cuenta la estructura del centro de mando y control.

Luego que se adquirieron los equipos se realizó el diseño del centro de mando y control portátil tanto exterior como interior, se realizó la impresión y cortes a laser del mismo en un material adecuado y se procedió a instalar cada uno de los componentes en el interior del centro, seguidamente se realizó las conexiones necesarias y se configuró mediante un software aeronáutico para verificar su funcionamiento.

Finalmente, se procedió a la elaboración de un conjunto de pruebas dentro de la base del Centro de Investigación, para evaluar el funcionamiento del centro de mando y control y la eficiente visualización del video y todas las variables de vuelo durante su operación.

Todo este procedimiento dio como resultado obtener un Centro de mando y control portátil que se encuentra sirviendo de apoyo en las misiones militares de control y monitoreo que presta el CIDFAE en diferentes lugares del país.

Palabras clave: UAV, telemetría, video tiempo real, monitoreo.

ABSTRACT

The research work consists of the implementation of a portable command and control center to improve the visualization of information on the ground and to increase the coverage for the transreception of data and video, thus ensuring the survival of the aircraft during the flight missions of a UAV of the CIDFAE.

To do so, we started with an analysis of the current control and monitoring conditions of the center's aircraft in flight operations, in order to determine the shortcomings and requirements to improve the aforementioned operations. This allowed sizing the components necessary for the command and control center to function properly, for which selection characteristics were established, such as cost, dimensions, technical specifications, taking into account the structure of the command and control center.

After acquiring the equipment, the design of the portable command and control center, both exterior and interior, was made, the printing and laser cutting of the same in a suitable material and proceeded to install each of the components inside the center, then the necessary connections were made and configured by means of aeronautical software to verify its operation.

Finally, a set of tests were carried out inside the base of the Research Center to evaluate the operation of the command and control center and the efficient visualization of the video and all the flight variables during its operation.

All this procedure resulted in obtaining a portable command and control center that is serving as support in the military missions of control and monitoring provided by the CIDFAE in different parts of the country.

Keywords: UAV, telemetry, real time video, monitoring.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

En base a la investigación realizada en la biblioteca virtual de la Universidad Técnica de Ambato y posterior a ello revisar las bases de datos de las diferentes Universidades, Escuelas Politécnicas, y además en Internet, se logró recabar la información relacionada al tema de investigación de las cuales se encontró los siguientes documentos:

María Elena Moscoso Acosta y Estefanía Verónica Yáñez Arcos en su investigación “Sistema de telemetría y video vigilancia para el control y monitoreo de misiones a larga distancia para el Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE” en Ambato – Ecuador en el año 2020, desarrollan un UAV que se encuentra sirviendo de apoyo en las misiones militares de monitoreo que presta el CIDFAE en diferentes lugares del país, debido a que la aeronave es considerada de alta confiabilidad por la validación de los datos de vuelo generados durante las pruebas. Al realizar las pruebas determinan que para puntos cercanos existe una demora de 1:24min y para puntos lejanos es de 2:27min en transferir los datos. [1]

Santiago Olmedo Cayo Guamushig en su investigación “Integración y automatización de un sistema de seguimiento de un UAV para establecer un enlace de comunicación con una estación de monitoreo en tierra” en Quito – Ecuador en el año 2018, desarrolla un prototipo el cual integra un sistema de seguimiento automático por geolocalización que, en acción conjunta con antenas direccionales, permita incrementar el rango actual de comunicación (telemetría) entre los drones y su estación de monitoreo. El sistema de seguimiento se controla a través de un autopiloto Pixhawk en el cual se ingresan los parámetros de un controlador tipo PID diseñado en base al método de síntesis directa. Adicional se implementa un enlace de video desde el dron hacia la estación de monitoreo en tierra, el cual resultaría útil para un sistema

de vigilancia. El tiempo de autonomía de la aeronave con el nuevo sistema de comunicaciones se ha visto reducido en apenas 5,9 minutos que representa el 9,5% del tiempo de vuelo. [2]

Carlos Fustillo desarrolló el trabajo de investigación titulado “Implementación de un Sistema de Control Remoto Automatizado de un U.A.V. para Aplicaciones de Monitoreo de Condiciones Climatológicas” en Quito – Ecuador en el año 2018, el cual consiste en la implementación de un sistema automatizado que permite guiar remotamente a un dron en base a coordenadas geográficas e información de altura, desde un punto en tierra con el uso de tarjetas Raspberry Pi, mediante comunicación inalámbrica y módulo GPS. Como conclusiones determina el uso de la Raspberry Pi como una herramienta muy versátil en el desarrollo de este tipo de proyectos, ya que utiliza un sistema operativo de software libre el cual permite encontrar las librerías necesarias para programar los scripts. A su vez integran una aplicación móvil en donde pueden monitorear las condiciones de vuelo, así como también el estado de batería. Este equipo tiene un vuelo de 25 minutos controlado por un radio control a distancias pequeñas. [3]

Trejo Medina Lidia Esther, Cabrera José María y Aguasca Ricardo en su investigación “Diseño de un centro de mando y control terrestre para UAVS utilizando AMFE” en Palmira – Colombia en el año 2018, desarrollan un centro de mando y control remoto para UAVs, basado en la mejora de distintos tipos de estaciones terrenas para el control remoto de UAVs mediante técnicas de análisis de modo de fallos y efectos, AMFE y diagramas de Ishikawa. Al realizar el análisis AMFE de un centro de mando y control robusto y fiable el centro permite el control de los UAVs remotamente en modo NLOS (Non Line Of Sight) así como la transmisión y la recepción de las señales de datos y vídeo procedente de una estación terrena local que controla el UAV en modo LOS (Line Of Sight). [4]

H. Liu, J. Zhang, Y. Pan, G. Shuai, X. Zhu y S. Zhu en su investigación “Un

enfoque eficiente basado en imágenes ortográficas de UAV para mapear arrozales con apoyo de la altura del dosel a nivel de campo a partir de datos de nubes de puntos” en Huwan – China en el año 2018, realizan un estudio basándose en la tecnología de vehículos aéreos no tripulados que es capaz de adquirir imágenes ortográficas a nivel de centímetros que proporciona una forma prometedora de cartografiar la extensión de los arrozales. Sin embargo, la mezcla espectral de cultivos sigue siendo la principal que limita el rendimiento de la identificación del arroz con cáscara cuando se utiliza solo la información espectral. Los resultados mostraron que la precisión de clasificación de clase completa de OSCHF fue la más alta con una precisión general del 94.04% y Kappa de 0.91, que fue significativamente mayor que el resultado con OSF, y la precisión de PSF fue la peor. [5]

1.1.1 Contextualización del Problema

En la actualidad los sistemas de aeronaves no tripuladas (UAV) son un nuevo componente del sistema aeronáutico, de los Estados y la industria aeroespacial se proponen comprender, definir y, en última instancia, integrar. Estos sistemas se basan en novedades tecnológicas aeroespaciales de última generación, que ofrecen avances que pueden abrir nuevas y mejores aplicaciones comerciales o civiles, así como mejoras de la seguridad operacional y eficiencia de toda la aviación civil. [6]

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. [7]

En Ecuador la perspectiva de acuerdo al uso de este tipo de aeronaves arrancó en el 2009 debido al excesivo contrabando de combustible y minería ilegal que

se encontraba afrontando el país, en efecto se adquirieron dos modelos de aeronaves no tripuladas (Heron y Searcher) a Israel Aerospace Industries con una inversión de 22 millones de dólares, mismas que solo sirvieron para ciertas actividades militares y no permitieron seguir avanzando en investigación. A finales del 2010 el gobierno nacional apoyó al Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE) para el diseño y fabricación de UAVS. [1]

El 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), y la creación de varios prototipos de aviones no tripulados UAV 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, se debe 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. [8]

Para el año 2018 este centro de investigación ha desarrollado tres versiones de una aeronave táctica denominada COLIBRI, la inexistencia de un centro de mando portátil que permita la operación de los prototipos dentro de las misiones en diferentes lugares para tener un mejor control de los parámetros de vuelo como velocidad, altitud, dirección; además optimizar el reconocimiento de la zona de misión que permita verificar la situación de la nave en vuelo como de la ruta que está siguiendo e obtener información en tiempo real en 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 Centro de mando y control portátil para aviones tácticos UAVs Colibrí que permita incrementar la cobertura en un estimado en el rango de 5 a 9 km para la transrecepción de datos y video en tiempo real, y de esta manera asegurar la supervivencia de la aeronave obteniendo el cumplimiento de la misión en el aire para optimizar las misiones militares en la frontera norte de país.

La Factibilidad de la propuesta, es avalada por el personal técnico militar del CIDFAE ya que se encuentran interesados en hacer uso de tecnología avanzada, para obtener un centro de control y monitoreo de mayor alcance y así desempeñar sus misiones de forma eficiente a través de un UAV. En efecto, los principales beneficiarios del proyecto serán las tropas militares de frontera, el centro de investigación y la seguridad del territorio ecuatoriano.

Con respecto al aspecto económico se pretende trabajar con hardware y software libre, estableciendo una relación costo beneficio y que permita que el desarrollo del proyecto sea viable.

1.1.2 Fundamentación Teórica

UAV Unmanned Aerial Vehicle – Vehículos Aéreos No Tripulados

Los vehículos aéreos no tripulados, son aeronaves que vuelan sin tripulación humana a bordo, capaz de mantener un nivel de vuelo controlado y sostenido, son propulsados por motores eléctricos o de combustión [9]. Cabe destacar que el término no tripulado no excluye la participación de un piloto, controlador de misión u otro tipo de operarios, que pueden controlar la aeronave desde tierra. Cuando este concepto de vehículo es extendido a sistema, se engloba a una estación en tierra encargada de la adquisición, control y procesamiento de la información proveniente de la aeronave. [10]

Este tipo de aeronaves son la más reciente innovación de los vehículos aéreos convencionales y los satélites, mismos que han sido utilizados para la

recopilación de información visual sobrevolada de manera remota. En la actualidad se desarrolla una amplia gama de este tipo de aeronaves debido a que se permitió su uso en aplicaciones civiles, por lo que, según la aplicación estos poseen la capacidad de realizar misiones con cierto grado de autonomía. [10]

La amplia gama y la semiautónoma ha dificultado definir exactamente si un sistema responde o no al concepto de UAV. Existen casos como es el de los globos aerostáticos, que son empleados para fines meteorológicos mismos que no son considerados como UAV, puesto a que no poseen autonomía a pesar de no contar con tripulación, por otro lado, las Aeronaves Radiocontroladas o R/C si son consideradas en el concepto, a pesar de ser controladas de forma remota y no poder efectuar un despegue o aterrizaje autónomo. Por ello el término UAV a continuación se refiere a toda aeronave que no cuenta con tripulación y que pueden ser total o parcialmente controlada desde la estación de tierra [10], [11].

Aplicaciones de los UAV

La construcción de UAV se ha convertido en un verdadero fenómeno tecnológico. La gran versatilidad y amplia gama de aplicaciones que ostentan actualmente estas aeronaves, ha ido de la mano con el desarrollo de microprocesadores, sensores y actuadores. El origen de este tipo de aeronaves surgió en centros militares con el fin de realizar patrullajes, así como también para el combate aéreo. Sin embargo, no todos los UAV están equipados con armamento, también son empleados por las fuerzas armadas de los países para misiones de reconocimiento, seguridad, como blancos aéreos, entre otros, por ello según la aplicación integran cierta tipo de tecnología. [12] [13]

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 (Communications Element).
- Equipos de apoyo (Support Equipment Element).

Subsistemas de un UAV

- **Sistema de control**

El sistema de control lo constituyen el controlador, los actuadores y los sensores necesarios para manejar el sistema. El controlador corresponde al procesador principal de la aeronave, es decir, al dispositivo capaz de adquirir los datos de todos los sensores integrados al vehículo a fin de determinar las señales de control más adecuadas hacia los actuadores para mantener estable al dron, ya sea en un vuelo autónomo o en una operación controlada continuamente desde un piloto en tierra. [2]

Otra parte importante del sistema de control son los actuadores, los cuales son elementos encargados de producir los movimientos físicos que permiten sustentar y mantener en vuelo al vehículo aéreo. Estos actuadores corresponden a motores eléctricos o de combustión interna los cuales son acoplados a hélices que permiten generar el empuje necesario para elevar y sustentar a la aeronave. [2]

- **Sistema de navegación**

Este sistema es necesario para conocer en todo momento la localización del vehículo aéreo. A su vez este sistema representa la referencia principal que la aeronave toma para cumplir con misiones preprogramadas. Generalmente este sistema integra una unidad de medición inercial (IMU) y un sistema de geo localización (GPS). [2]

En lo que respecta a la unidad de medición inercial, esta constituye un dispositivo eléctrico capaz de medir orientación, velocidad y fuerzas gravitacionales a través del uso de acelerómetros, giroscopios y magnetómetros. El sistema de control recibe toda la información capturada por la IMU y calcula la posición del dron en base a datos de velocidad y tiempo. Es así que, gracias a este sensor el sistema de control conoce la orientación de la nave en todo momento. [2]

Por otra parte, el sistema de geolocalización se basa en la información satelital para determinar la ubicación de la aeronave utilizando el centro del planeta tierra como punto de referencia, dicha información es recopilada y actualizada continuamente a través de un receptor GPS ubicado en la aeronave. [2]

- **Sistema de alimentación**

Sin duda los actuadores son los dispositivos que mayor energía demandan, es así que, la fuente de energía principal de un UAV dependerá de los tipos de actuadores que este disponga. Para actuadores eléctricos se optan por usar baterías como fuente principal de alimentación, estas son muy prácticas y de fácil uso. La desventaja que presentan es que pueden llegar a ser muy pesadas lo cual repercute negativamente en la autonomía de vuelo del UAV. En el caso de actuadores mecánicos como lo son los motores de combustión interna, la gasolina es su principal fuente de alimentación, a través de esta se puede obtener autonomías de vuelo mayores, no obstante, el control de este tipo de motores puede resultar más complejo. [2]

Adicionalmente, se debe contar con una fuente de energía destinada para los sistemas de control, comunicaciones y dispositivos auxiliares. Esta es de tipo eléctrico y su único requerimiento es que permanezca lo suficientemente estable durante toda la operación del vehículo. [2]

- **Carga útil**

Corresponde al fin principal para el cual los vehículos aéreos están destinados, esta dependerá del tipo de aplicación y de la capacidad de carga que pueda ofrecer el dron. Aplicaciones para las cuales en este caso el Centro de

Investigaciones y Desarrollo FAE destina sus vehículos aéreos, en el presente caso el UAV (colibrí) es usado para diferentes misiones como principal tenemos en las tropas militares de la frontera. [2]

Clasificación de un UAV

a. Según su uso

Una clasificación de forma general de los vehículos aéreos no tripulados se denota según su uso, estos pueden ser: UAV militares y UAV civiles.

UAV Militares: El origen de este tipo de aeronaves surgió en centros militares con el fin de realizar patrullajes, así como también para el combate aéreo. Sin embargo, no todos los UAV están equipados con armamento, también son empleados por las Fuerzas Armadas de los países para misiones de reconocimiento, seguridad, como blancos aéreos, entre otros. Por lo que a cada aeronave se la equipa con la tecnología según su aplicación. [14]

Estas aeronaves han sido adquiridas por varios países para control fronterizo y seguridad nacional debido a la gran precisión que han desarrollado, menor coste al no tener que contener personal a bordo, transportar mayor carga útil y no lamentar en casos extremos la pérdida del piloto o de su tripulación. Por todo ello, los ejércitos se han enfocado en el desarrollo y producción nacional de este tipo de naves para a corto o mediano plazo sustituir los aviones tripulados de combate aéreo. [15]

UAV Civiles: En la actualidad los UAV empleados para uso militar representan menos del 15% total del mercado frente a los adquiridos para uso civil, debido a las múltiples aplicaciones y tecnologías que están desarrollando. [14]

Existe una gran diferencia entre las aeronaves adquiridas para uso comercial y las adquiridas por aficionados. Las dedicadas a uso comercial demandan una notable inversión, ya que necesitan contar con características o instrumentos especiales según la aplicación, con el fin de ser capaces de dar un servicio profesional. Por otro lado las dedicadas a aficionados cuentan con

características limitadas y existen una gran variedad en el mercado a precios totalmente asequibles y para sus uso existe gran cantidad de apps destinadas al ocio, que ofrecen la posibilidad de grabar videos, capturar fotos con patrones de vuelos preprogramados o el Airdoog capaz de grabar al usuario mientras está realizando alguna actividad física o recreativa [14], [15].

b. Según el tipo de alas que emplean

Otra de las posibles clasificaciones de los VANT es en función de sus alas, distinguiendo así entre fijas y móviles o rotatorias. [16]

Alas Fijas: La aeronave es propulsada por un motor con una hélice situada en un plano horizontal al suelo. Las alas se encuentran adosadas en los laterales de la aeronave, las cuales no poseen movimiento propio, para comandarlas se usan servomotores. Estas son ampliamente usadas para aplicaciones de espacios abiertos o que no se requiera de movimientos grotescos, ya que permiten planear apagando su motor. [16]



Ilustración 1 UAV de ala fija.

Móviles o rotóricas: Generalmente se los conoce como cuadricópteros, debido a que son propulsados por cuatro motores con hélices situadas en un eje vertical al suelo. Los motores giran dos en sentido horario y los otros dos en sentido antihorario, creando así la fuerza de empuje necesaria para mover a la aeronave hacia arriba o hacia abajo. [16]



Ilustración 2 UAV Multirrotor.

c. Según el método de control

Existen varios métodos para el control de los UAV y combinaciones entre ellos. Los principales son control manual y automático. [9]

Modo manual: En este modo, el piloto remoto es el único responsable del movimiento de la aeronave, éste actúa sobre la emisora radiocontrol, añadiendo mayor o menor potencia a los motores, controlando los diferentes sensores y dispositivos o dirigiendo hacia el lado que desee el UAV, dentro del radio de radiofrecuencia. Los UAV que operan con este modo suelen ser de baja gama, generalmente su coste es reducido en comparación con el resto de modos [9], [10].

Modo automático: El plan de vuelo es establecido previamente por el piloto con la aeronave en tierra, es decir, el piloto realiza un recorrido punto a punto previo al vuelo, por los que debe pasar la aeronave. El UAV cuenta con un autopiloto que ejecuta paso a paso el plan previsto, realizando de forma automática las acciones requeridas en cada momento. Con la opción de que el operador tiene la posibilidad de tomar el control en todo momento, pudiendo modificar alguno de los puntos o todo el recorrido durante el vuelo, para poder efectuar maniobras concretas. Este modo permite al piloto remoto cambiar en cualquier instante al modo anteriormente citado [9], [10].

UAVS Colibrí desarrollados en el CIDFAE

Los UAVs desarrollados en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, son diseñados para aplicaciones militares, tanto para monitoreo (patrullaje) como para entrenamiento. Estas aeronaves son de tipo de ala fija, brindan grandes beneficios como son: el bajo consumo y mayor alcance de vuelo, lo que se traduce en una buena autonomía. [1]

El Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana actualmente cuenta con una sola versión operativa UAV de la serie Colibrí, que es la versión 3.0, es una aeronave pequeña, debido a su envergadura no supera los 5 metros, según sus capacidades de vuelo pertenecen a la categoría micro y cuenta con las siguientes características. [1]

TABLA 1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE UAV COLIBRI V3.0 DE CIDFAE [1]

Prototipo	UAV Colibrí V3.0
Especificaciones	
Tipo de Ala	Fija
Envergadura (m)	2.3
Peso (kg)	2.5
Carga Útil (kg)	0.5
Alcance de vuelo en auto sin monitoreo (km)	3
Altura de vuelo (m)	--
Autonomía (h)	20 a 25 minutos
Alcance de Monitoreo (m)	Datos: 4 km Video: 3 km
Método de Control	Manual y Automático
Método de Despegue	Lanzamiento Manual
Método de Aterrizaje	Recogimiento Manual

Descripción de la Aeronave

El proyecto fue implementado en una tercera versión del prototipo Colibrí y su principal característica es la de ser una estructura desmontable. Este tipo de UAV supera las limitaciones de los enlaces de telemetría y video, así como la optimización de su autonomía con un adecuado dimensionamiento de su carga útil y sistema de alimentación. A continuación, se detallan cada una de sus características. [1]

- **Estructura Física**

El esqueleto o frame de la aeronave se componen de tres partes fuselaje, alas y empenaje, cuyos materiales son fibra de carbono y balsa. El ala tiene la capacidad de ser montada y desmontada del fuselaje, mientras que el empenaje se encuentra fijamente acoplado al mismo como se observa en la Fig.11 a continuación. [1]



Ilustración 3 Componentes del frame del UAV [1].

- **Alas**

El ala de la aeronave es de tipo fija con una forma rectangular de 2.3 m de envergadura, cuyo perfil alar posee una costilla como el de la Fig.12, el cual permite principalmente tener una baja velocidad con el fin capturar de mejor manera el video. [1]

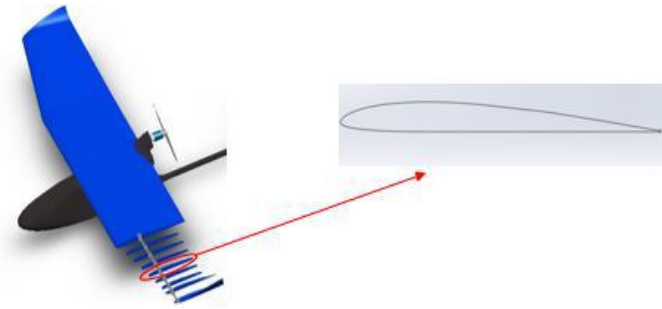


Ilustración 4 Forma de costilla del ala [1].

El ala se une al fuselaje de forma cantiléver es decir sin vigas de soporte lo que permite menor peso y en la parte alta del fuselaje. Su flecha es neutra y el diedro positivo permitiéndole conseguir una mayor estabilidad. [1]

- **Empenaje**

Posee una forma típica en T. A su vez las superficies de control con las que cuenta la nave son un alerón en cada extremo del ala, un ruder en el estabilizador vertical y un elevador para el estabilizador horizontal, todas las superficies mencionadas son controladas por servomotores. En la Fig.13 se puede observar la estructura real del UAV del proyecto ensamblada. [1]

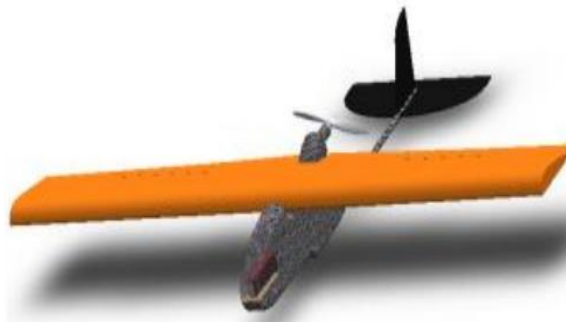


Ilustración 5 UAV empleado en el proyecto.

- **Especificaciones Mecánicas**

A través de la Tabla 5 se detallan cada una de las características mecánicas con las que ha sido diseñada y construida la aeronave. Dichas características son de gran importancia ya que a partir de ellas se procede a dimensionar la electrónica de la nave. [1]

TABLA 2 ESPECIFICACIONES MECÁNICAS DEL UAV DEL PROYECTO [1]

Especificación	Característica
Envergadura (m)	2.3
Peso (kg)	1.7
Velocidad stall (m/s)	9.29
Método de Despegue	Lanzamiento manual
Método de Aterrizaje	Recogimiento manual
Carga útil (Kg)	1.5

- **Equipamiento de control**

La aeronave que más resalta dentro de este grupo de clasificación es la nave Colibrí, puesto que es dotada de última tecnología tanto para datos como video siendo la única que se encuentra operativa actualmente. Sus misiones son llevadas a cabo de forma manual a través de un Radio Control Futaba y su respectivo Receptor; y de forma automática con un controlador de vuelo o micropiloto Pixhawk 1 y toda su instrumentación necesaria (GPS, tubo pilot y medidor de batería). Para su propulsión emplea un motor brushless y, servomotores para las superficies de control. [1]

Para su fuente de alimentación, tiene un sistema implementado dividido en una sección donde los elementos de datos, propulsión y control se alimenten con una batería y otra cuyos elementos de video se alimenten con otra batería totalmente independiente a la primera, esto con el fin de precautelar los datos sobre el video. Cabe destacar que las misiones realizadas por esta aeronave no son almacenadas para un análisis posterior, todo el control y monitoreo se lo lleva a cabo en tiempo real. [1]

- **Equipamiento de Comunicación**

Telemetría

La aeronave cuenta con un sistema de telemetría que tiene un enlace confiable y robusto de largo alcance con el módulo FRD900 a un rango de frecuencia de operación de 902 – 928 MHz y es compatible con los puertos de telemetría que posee el controlador de vuelo, así como las antenas de transmisión son de media onda y tienen una ganancia 6 dBi trabajando a 900 MHz, teniendo una operación alrededor de los 4 km. [1]

Video

La aeronave cuenta con un sistema que es capaz de transmitir video de alta calidad, el Herelink que es un transmisor de video digital en el cual se puede observar durante la misión el video transmitido. [1]

Segmentos de un Sistema UAV

Para que un vehículo aéreo no tripulado realice de forma óptima una misión, por más sencilla que esta sea, no basta con que esté debidamente instrumentado, pues se requiere de todo un sistema que le permita la toma de decisiones. Incluso en los casos en los que las aeronaves son autónomas, siempre es necesario mantener un constante monitoreo de la misma. Para ello el término de vehículo se extiende a sistema, denominado como UAS, cuyas siglas en inglés son Sistema de Aviones No Tripulados [17]. Este sistema además de englobar a la aeronave como segmento aire y a una estación de control denominado segmento tierra o estación terrena, incluye interfaces de comunicación para que administren y ejecuten la transferencia de información entre los segmentos mencionados.

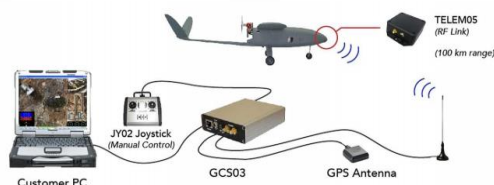


Ilustración 6 Unmanned Aircraft System [18].

Se debe mencionar que cada segmento posee subsistemas según la forma en la que interactúan cada uno de sus elementos. Dependiendo de su aplicación las aeronaves son dotadas de mayor o menor tecnología [19] , a continuación, en la Fig.7 se detalla cada subsistema.

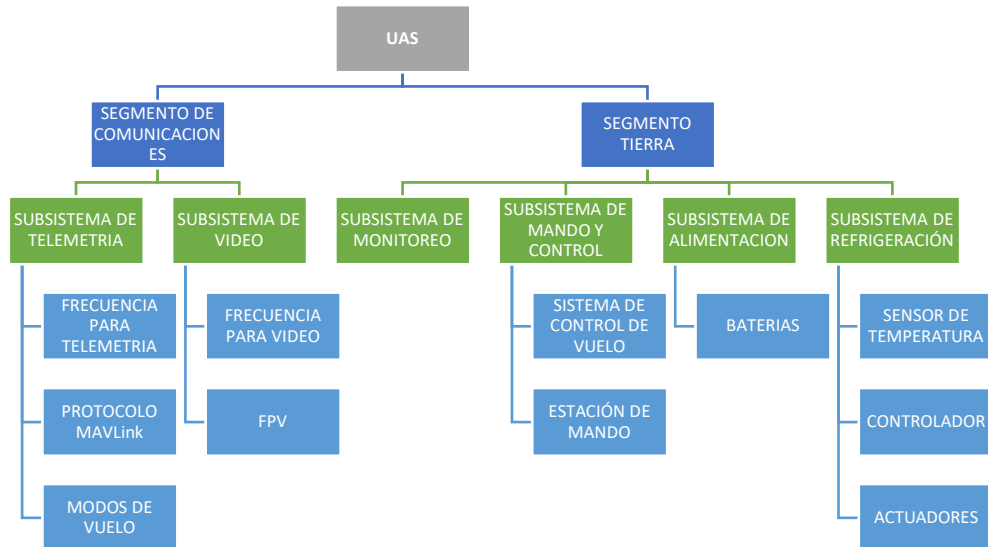


Ilustración 7 Subsistemas de un UAS.

a. Segmento de Comunicaciones

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

El sistema de comunicación para los UAV corresponde a todos los equipos que permiten establecer una comunicación efectiva entre el segmento aire y el segmento tierra, a través de canales de radiofrecuencia especialmente para el control manual y otros para telemetría. Este segmento tiene suma importancia pues permite el control, monitoreo y navegación de la aeronave a largas distancias, ya que sin la transmisión de estos parámetros el sistema se reduciría a técnicas de pilotaje de Aviones RC [20], [21].

El enlace que existe entre la estación de control y la aeronave consiste en un enlace ascendente: desde los pilotos al UAV, y un enlace descendente: devuelve los datos del UAV como estado de sensores, las imágenes capturadas e información del controlador de la aeronave hacia la estación terrena o

cualquier otra estación que forme parte del enlace, pudiendo ser otra aeronave u otra estación la cual estaría enlazada mediante comunicación satelital.

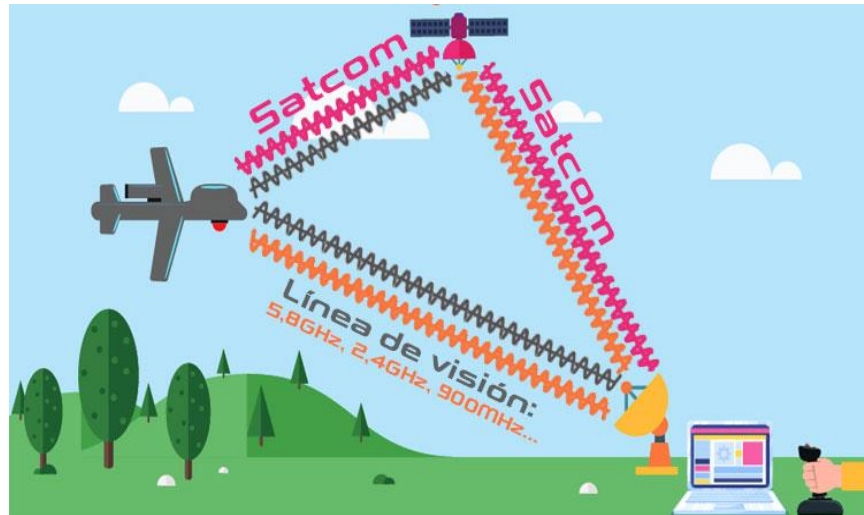


Ilustración 8 Sistema de Comunicación para UAV [22].

A su vez se conoce que los sistemas de comunicación están asociados con problemas como la flexibilidad, adaptabilidad, seguridad, ancho de banda, frecuencia, flujos de información y datos, por lo cual es importante llevar un estudio previo de las condiciones en donde la nave será puesta a prueba y definir las distancias de transmisión para que el enlace de comunicación sea eficaz. [23]

Se debe tener en cuenta las causas por las que se puede tener pérdidas de comunicación [23]:

- Fallo de todo o parte del sistema debido a la falta de fiabilidad.
- Pérdida de la línea de vista debido a características geográficas que bloquean las señales.
- Debilitamiento de la potencia recibida debido a que la distancia desde el UAV a la estación de control es demasiado grande.

A los enlaces de comunicación para aeronaves no tripulados se los puede subdividir de acuerdo a la línea de vista entre la estación tierra y la nave, estos son [24]:

Enlace de comunicación con línea de vista (Visual Line of Sight – VLOS)

Un enlace posee línea de vista directa cuando el camino las antenas transmisoras y receptoras es totalmente limpio y no existe interferencias que lo corten o destruyan. Para este tipo de enlace se emplea enlaces de comunicación analógico o digital que operen en las bandas UHF, VHF, y tecnologías WiFi y Bluetooth.

Enlace de comunicación más allá de línea de vista (Beyond visual line of sight - BVLOS)

Se refiere a todo tipo de enlace que supere los 500 metros de distancia horizontal y hasta los 120 metros de distancia vertical entre la nave y la estación terrena. Se puede conseguir este tipo de enlaces gracias a la implementación de tecnologías que garantizan la cobertura de comunicación más allá de la línea de vista como es el caso de GSM, UTMS, LTE, WIMAX, SATCOM.

Subsistema 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.

- **Frecuencias para Telemetría**

Los enlaces de comunicación inalámbricos típicamente empleados para aplicaciones de UAVs son en base a señales de radiofrecuencia, debido a la versatilidad de tamaño y peso en los que se puede adquirir cada uno de sus componentes (radios y antenas). La radio frecuencia es un conjunto de rangos entre 3 Hz a 300 GHz de ondas electromagnéticas, las cuales son capaces de ser portadoras de información, en la Tabla 9 se detallan cada una de estas frecuencias.

TABLA 3 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO [1]

BANDA	NOMBRE	ABREVIACIÓN	FRECUENCIA
1	Extremely Low Frequency	ELF	3 – 30 Hz
2	Super Low Frequency	SLF	30 – 300 Hz
3	Ultra Low Frequency	ULF	300 – 3000 Hz
4	Very Low Frequency	VLF	3 – 30 kHz
5	Low Frequency	LF	30 – 300 kHz
6	Medium Frequency	MF	300 – 3000 kHz
7	High Frequency	HF	3 – 30 MHz
8	Very High Frequency	VHF	30 – 300 MHz
9	Ultra High Frequency	UHF	300 – 3000 MHz
10	Super High Frequency	SHF	3 – 300 GHz
11	Extremely High Frequency	EHF	30 – 300 GHz

Elaborado por: Investigadores.

Se debe tener en cuenta que las frecuencias de rangos bajos tienen una propagación confiable y que llega a largas distancias, pero su capacidad de velocidad de datos es reducida, mientras que las frecuencias de rangos superiores transportan información de alta velocidad, pero su propagación en distancias largas suele cortarse y surge la necesidad de repetidores.

La banda de frecuencia a emplear es determinada en base a la distancia, velocidad, tamaño y disponibilidad de equipos en el mercado para la presente aplicación, así como elegir una banda de uso libre según la regulación del ARCOTEL que no interfieran en operaciones de terceros, esto último con el fin de desarrollar aeronaves de bajo costo y facilidad de operación. Según el Plan Nacional de Frecuencias define que las frecuencias no licenciadas se encuentran en los rangos de UHF y parte de SHF como se observa en la Fig. 3.5, donde a su vez se puede identificar las aplicaciones para UAS. [25]

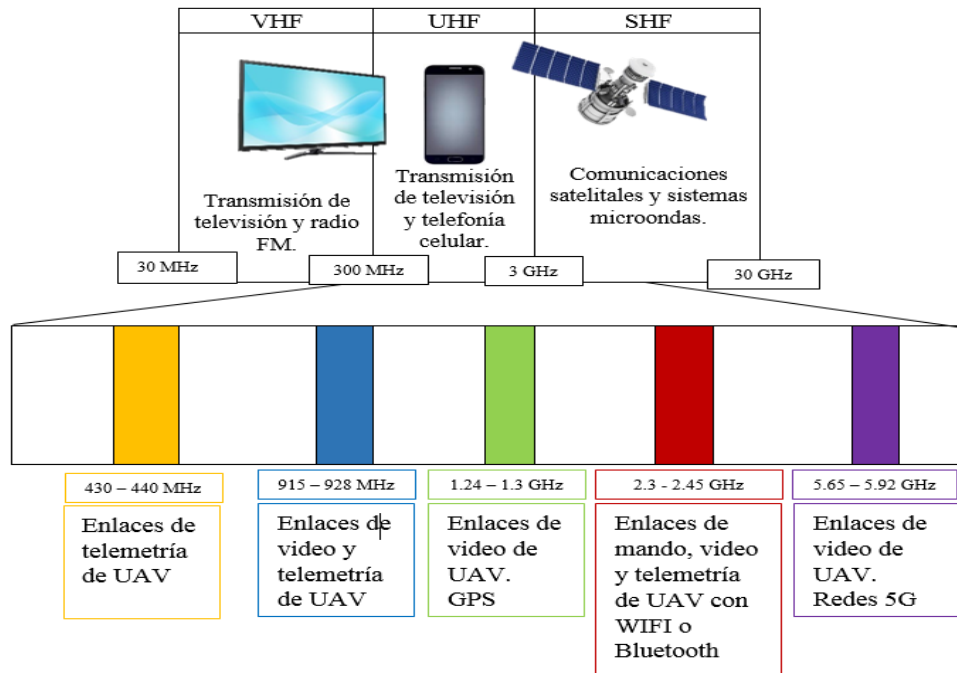


Ilustración 9 Rango de frecuencias libres UHF – SHF y sus principales aplicaciones para UAS [25].

En la Tabla 4 se analizan las ventajas y desventajas de las frecuencias óptimas para trabajar en enlaces de telemetría de larga distancia y especialmente en ambientes húmedos extraídos de la Fig. 6.

TABLA 4 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE FRECUENCIAS PARA TELEMETRÍA [25]

FRECUENCIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
433 MHz	Rango y penetración excelentes.	Equipos muy grandes y de escasa disponibilidad en el mercado.
915 MHz	Rango muy bueno. Excelente penetración a través de obstáculos.	Equipos de tamaño moderado. Ampliamente disponible en el mercado.
1.2 GHz	Rango y penetración buenos. Ancho de banda bueno para transmitir video.	Equipos de tamaño moderado. Video con calidad limitada. Produce gran interferencia con 915 MHz y 2.4GHz.
2.4 GHz	Rangos moderados. Tamaño de equipos pequeños. No le afecta las condiciones climáticas. Ancho de banda muy bueno para video.	En zonas de alta densidad poblacional puede causar interferencias.

Debido a que el enlace de telemetría es el principal en el UAS se debe elegir una frecuencia que no interfiera con otros dispositivos, caso contrario la aeronave estará en peligro sin poder controlarla. Por ello para este enlace se busca una frecuencia pequeña con el objetivo de conseguir mayor distancia o rango de comunicación y un ancho de banda pequeño puesto que los datos de las variables de vuelo no contienen gran cantidad de información. Con esto se puede deducir que la frecuencia que más se asemeja a lo requerido es la de 915 MHz, al ser de gran alcance, apta para climas húmedos con alta vegetación, con una amplia gama de radios disponibles en el mercado, aptos para colocar en el UAV y libre de interferir con otros dispositivos. Las frecuencias entre 1.2 y 2.4 GHz también son recomendadas para este tipo de aplicaciones sin embargo se observa que la primera posee alta interferencia y la segunda de igual forma puede interferir con los radios de los controles manuales que tradicionalmente emplean para manejar este tipo de naves. [1]

Este enlace para efectuar una comunicación rápida emplea un protocolo denominado MAVLink creado específicamente para comunicación de UAS para el intercambio de información. [1]

- **Protocolo MAVLink (Micro Air Vehicle Link)**

Es protocolo de mensajería ligero para sistemas UAV que permite la comunicación bidireccional entre la estación terrena y el vehículo [51]. Hay 18 tipos de mensajes en el protocolo MAVLink los cuales establecen parámetros de codificación como los tipos de arquitectura, los ajustes de configuración y el tipo de mensaje de comando (por ejemplo, hardware del piloto automático, tipo de vehículo, comando para servo, etc.) designado por el ID del mensaje, por lo que el dispositivo receptor podrá decodificar correctamente la carga útil del mensaje. [26]

La trama del protocolo está conformada por el encabezado, ID del sistema, la ID del mensaje, payload, suma de verificación y una firma opcional como se puede apreciar en la Fig. 3.6. El encabezado se utiliza para clasificar el mensaje como un paquete MAVLink. La ID del sistema identifica el sistema que envía el mensaje, mientras que la ID del mensaje identifica el tipo de mensaje que se

envía. El payload es el contenido que se envía y puede contener campos el cómo tipo de vehículo, modo de vuelo, datos de posicionamiento o comandos para ejecutar [27]. La cola consiste en un bloque de suma de verificación de errores CRC y una firma opcional. [28]

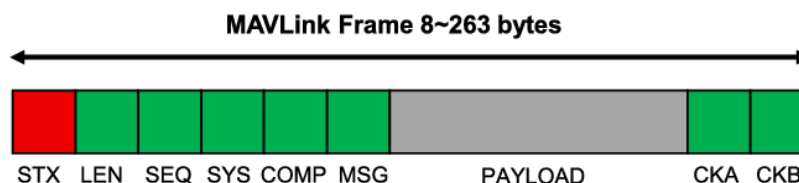


Ilustración 10 Trama de Protocolo MAVLink [28].

El protocolo puede tener una longitud mínima de 8 bytes como por ejemplo al enviar el acuse de recibido (ACK) sin carga o una longitud máxima de 273 bytes cuando su payload está totalmente completo.

Este protocolo cuenta con subprotocolos o microservicios que ayudan a la transmisión de datos (parámetros, misiones, trayectorias, imágenes, etc.) que pueden llegar a ser mucho más grandes que el mensaje definiendo la manera de cómo se dividen y se vuelven a ensamblar, y garantizando que se vuelvan a transmitir los datos perdidos; también son capaces de proporcionar reconocimiento de comandos e informe de errores. Estos microservicios utilizan el patrón Cliente: Estación terrena – Servidor: UAV, de modo que el cliente inicia una solicitud y el servidor responde con datos. [29]

Los microservicios nombrados en el manual oficial del protocolo son: Protocolo de conexión, misión, parámetros, comando, cámara, gimbal, autorización de armado, transmisión de imagen, transferencia de archivos (FTP), destino de aterrizaje, ping, planificación de ruta (interfaz de trayectoria), batería inteligente, protocolo de túnel.

- **Modos de Vuelo**

Este enlace es dedicado al control de la aeronave cuando se encuentra en el mando manual o también para seleccionar el modo de vuelo en la aeronave. En este tipo de enlaces se suelen utilizar dos medios, por radio frecuencia o por láser.

Los modos de vuelo consisten en un control importante dentro del UAS, ya que establece la manera en que el avión debe interactuar según las necesidades que requieran las misiones de operación y el grado de autonomía que presente el prototipo [30]. Estos modos son seleccionados por el piloto a través de interruptores o botones del transmisor de radio o comandos desde la estación terrena [31].

Estos modos pueden se clasifican según el grado de interacción del Piloto con la aeronave, tal como se puede observar en la Fig.7.

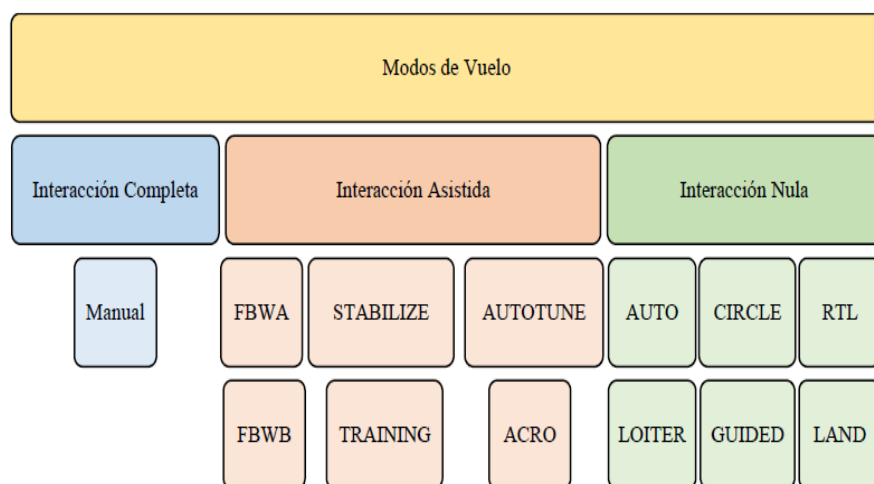


Ilustración 11 Diagrama de la clasificación de modos de vuelo [1].

Subsistema de Video

Entre la plataforma de vuelo y la estación de monitorización de imágenes, es la transmisión en directo y en largas distancias, las imágenes tomadas desde un grabador en muchos de los casos digitales, estos sistemas se componen también de un disco duro donde se guardan las grabaciones y las cámaras necesarias para vigilar el lugar deseado. El grabador se conecta a un router ADSL y permite ver la imagen de las cámaras desde cualquier lugar [32].

- **Frecuencias para Transmisión de Video**

Como se analizó en el subsistema de telemetría en la Fig.9, también existe un conjunto de frecuencias aptas para desarrollar aplicaciones de video en UAS

dentro de las bandas de operación sin licencia, de las cuales se ha extraído la Tabla que permite identificar las ventajas y desventajas de cada una de ellas con el fin de seleccionar las óptimas para la aplicación de video vigilancia que se requiere para el proyecto. A partir de la banda de frecuencia de 1.2 GHz se considera apta para la transmisión de video sin embargo no se la analiza por su cercanía a la banda de 915MHz ya en uso en el proyecto y puede causar notables interferencias, así como también por el tamaño de sus equipos mismos que no son aptos para la estructura mecánica de la nave. [1]

A través de un análisis se puede determinar que la mejor frecuencia de operación para la aplicación de videovigilancia es la de 2.4GHz debido a sus capacidades de operación en zonas con alta vegetación, así como la amplia gama, ergonomía y reducido tamaño con los que se puede conseguir los equipos en el mercado. Otro factor a destacar en el uso de esta un adecuado ancho de banda para manejar video de alta definición. Por otro lado, las frecuencias de 5.8 GHz de igual forma presentan altas capacidades para manejo de video, incluso con un mayor ancho de banda que el de 2.4, sin embargo, no son aptas para la zona de trabajo debido a que el objetivo es alcanzar mayor distancia con una calidad de imagen de alta definición. [1]

- **FPV (First Person View)**

Es una tecnología de transmisión de video a alta resolución, que permite al operador crear una realidad virtual del vuelo, es decir como si lo estuviera piloteando dentro del avión. En el video agregan los datos de telemetría para que el piloto tenga conocimiento de las condiciones de vuelo. La señal de video es receptada en la estación de tierra y con la ayuda de un computador o gafas FPV los operadores rastrearán objetivos existentes en el transcurso de la misión. Uno de los mayores riesgos de esta tecnología es que al ser un sistema conjunto no existe la independencia entre datos y video, con lo cual las baterías a bordo tendrán una descarga rápida, dejando a la aeronave en peligro por no poseer control sobre esta [33].

b. Segmento Tierra

Corresponde a una estación de control ubicada en tierra encargada de complementar la instrumentación a bordo y capacidades de la aeronave, con el software, hardware y el personal capacitado se define la misión que debe cumplir el UAV y supervisión de la misma, a su vez es la encargada de gestionar las funciones de navegación manual. Cabe destacar que existen otro tipo de acciones, especialmente de control que pueden ser ejecutadas tanto en el segmento aire como en tierra, estas pueden ser replanificación de rutas, ejecución de maniobras o la regulación de lazos de control que modifican el vuelo de la aeronave, siempre y cuando existan una buena comunicación entre los segmentos [17].

Subsistema de Monitoreo

Este sistema corresponde al software de monitoreo y planificación de misiones el cual permite definir la ruta de interés a través de puntos geográficos en un mapa virtual definiendo la velocidad y la altura que se desea tomar. Esta interfaz también se la denomina de control en la estación terrena ya que muestra los datos de telemetría enviados desde la aeronave y permite configurar el vuelo cargando comandos de misión y modificando parámetros. Es por esto que los software de este tipo se los conoce comúnmente como Estación de Control en Tierra – GCS (por sus siglas en inglés Ground Control Station) [34].

En el mercado existen varias aplicaciones que permiten la planificación y control de UAVs, los más utilizados son los enlistados a continuación:

- **QGround Control**

Es una aplicación multiplataforma de código abierto disponible para el monitoreo y programación de vuelos de aeronaves no tripuladas. Es de fácil uso, siendo compatible con principiantes y al mismo tiempo ofrece soporte de funciones para usuarios experimentados [35].

- **Mission Planner**

Es la aplicación de estación de tierra de código abierto más utilizada debido a sus capacidades para la programación, control, monitoreo y futuro análisis de misiones en varios tipos de controladores de vuelo. Es compatible para varios sistemas operativos y no tiene una versión para dispositivos móviles [34].

- **DJI Ground Station**

Es un software desarrollado para el monitoreo y control de aeronaves DJI. Permite la programación y análisis de vuelos cuyos datos cuentan con una copia de seguridad en la nube enviada a cada miembro de la estación. Tiene una versión para computadores y otra para dispositivos móviles iOS [36].

- **UGCS**

Es una estación de control terrestre universal y de fácil uso desarrollada para principiantes y expertos, cuenta con la colaboración de varios proveedores de mapas, y logra la visualización en misiones en 3D, teniendo esto un especial uso para el análisis de alturas en una misión, además es capaz de comunicarse con varias aeronaves a la vez. Es un software de licencia pagada disponible para computadores [37].

Subsistema de Mando y Control

- **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.

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. [38]

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. [38]

En el CIDFAE para los modelos Mini se cuenta con manejo automático y 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 12. [38]



Ilustración 12 Radio transmisor y receptor Futaba del CIDFAE.

- **Estación de mando y control en tierra (EMCT)**

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. [39]

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. [40]

La estación de tierra incluye paquetes software para la planificación, control y monitorización de misiones, sistemas de comunicaciones y enlaces de datos necesarios para acceder a la plataforma y a los sistemas embarcados en las aeronaves. En ella a parte de los elementos anteriormente mencionados están ubicados también los operadores humanos que dirigen y controlan la misión. La estación de control en tierra puede estar situada en un emplazamiento fijo o en una unidad móvil. [19]

De todos los elementos que componen la estación de control, el software de planificación, control y monitorización de misiones es sin duda el corazón de la misma. [19]

- **Funciones de la Estación de Control**

La Estación de Control no sólo está conectada al UAV, sino que también permite:

- ✓ Obtener datos meteorológicos.
- ✓ Transmitir y recibir datos hacia y desde otros sistemas conectados a la red de comunicaciones.
- ✓ Recibir órdenes de una autoridad superior.
- ✓ Transmitir información a las autoridades que competan.

La estación de control varía de forma considerable dependiendo del tamaño y misiones del UAV, de modo que puede ser tan pequeña como un transmisor/receptor de mano o tan grande como una instalación completa fija o transportable con múltiples estaciones de trabajo. Los UAV militares de gran tamaño requieren de estaciones de control con varias personas que operan, además del piloto que lo hace con la aeronave, con diferentes sistemas como los de armas. [41]

- **Software de planificación, control y seguimiento de misiones**

El software de planificación, control y seguimiento de misiones es el corazón de la estación de control en tierra, ya que ofrece al operador todas las herramientas necesarias para llevar a cabo la planificación offline de las misiones de vuelo y a su vez es el encargado de gestionar todo el entramado de comunicaciones entre la estación de control y las aeronaves. [19]

La gran mayoría de fabricantes de UAVs ofrecen un paquete software propietario para la planificación y control de misiones. Sin embargo, también existe una gran variedad de soluciones software de código abierto, que poseen la mayoría de funcionalidades que ofrecen los paquetes propietarios y a su vez, permiten al operador crear nuevas funcionalidades mediante la modificación del código fuente. [19]

Subsistema de Alimentación

Corresponde a la fuente de donde el centro de mando y control extrae la energía necesaria para el control, monitoreo, y refrigeración. En este apartado se analiza a las baterías portadoras de corriente directa, ya que son de especial interés para este trabajo de investigación. [1]

Para obtener una mayor autonomía de los equipos las baterías deben ser de gran potencia, duración y energía, además deben funcionar correctamente bajo las condiciones como son golpes, calor, etc. [1]

Tipos de Baterías

Las baterías se diferencian por los tipos de químicos que se utilizan para su construcción, las baterías mayormente utilizadas para los UAVS son NiCd, NiMH, Li-ion y LiPo a continuación en la Tabla 7 se presenta distintos tipos y se detalla una comparación entre ellas [42].

TABLA 5 COMPARACION TIPOS DE BATERIAS [42]

Batería	Voltaje por celda	Efecto Memoria	Velocidad de Carga	Numero de recargas	Porcentaje de Auto descarga mensual
NiCd	1.3	Si	Rápida	500	20%
NiMH	1.2	Si	Lenta	1000	30%
Li-ionA	3.3	No	Rápida	4000	25%
LiPo	3.7	No	Rápida	5000	10%

Batería LiPo

La Batería de Polímero de Litio en la actualidad son las mayormente utilizadas porque se puede aumentar su voltaje (conexión en serie entre celdas) o su capacidad (conexión en paralelo entre celdas), además su densidad de energía es mayor que cualquier otro tipo de batería y tiene un 10% de auto descarga mensual. Cada una de sus celdas proporciona 3.7V, pero no pueden ser descargadas menos que 3.0V lo que lleva a ser totalmente vulnerable a daños. La velocidad en carga es lenta en comparación a las baterías anteriormente mencionadas [43] .

- **Características de una batería**

Las principales características que presenta una batería son las que se deben analizar al momento de dimensionarlas para ciertas aplicaciones. En el caso de los aviones no tripulados es necesario conocer la capacidad y duración de la batería para así poder estimar el tiempo de vuelo. [1]

- **Capacidad de Batería**

Cantidad de carga eléctrica que se puede almacenar en una batería [44]. Normalmente es un dato marcado en la batería, pero en el caso de no conocerse se lo puede calcular conociendo la capacidad de almacenamiento de energía [45].

- **Tasa de C de Batería**

Describe la velocidad que una batería podría descargarse o cargarse de forma segura, es decir es la cantidad de amperios que puede suministrar en el caso de una descarga y en la carga es la cantidad de amperios máximo soportados [46]. Es un parámetro dado por el fabricante, C para tasa de descarga y c para tasa de carga.

Subsistema de Refrigeración

El sistema de refrigeración tiene la función de eliminar el calor y mantenerlo a la temperatura ideal para que los equipos funcionen de manera adecuada y no se presenten problemas durante la misión de vuelo.

- **Sensor de temperatura**

La temperatura es una de las magnitudes físicas que más se miden. Los sensores de temperatura convierten una magnitud física en una resistencia o tensión eléctrica. [47]

Un sensor de temperatura es un sistema que detecta variaciones en la temperatura del aire o del agua y las transforma en una señal eléctrica que llega hasta un sistema electrónico. Esta señal conlleva determinados cambios en ese sistema electrónico para la regulación de la temperatura. [48]

- **Controlador Arduino**

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un micro controlador re-programable y una serie de pines hembra. Estos permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla. [49]

Partes de un arduino

El arduino como todo componente está conformado por distintas partes como son entradas, salidas, alimentación, comunicación y shields. [50]

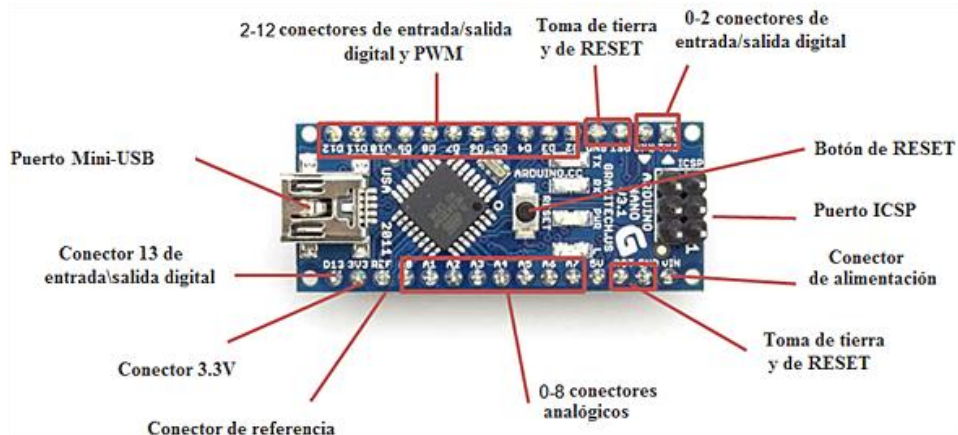


Ilustración 13 Partes de un Arduino.

Características generales de todas las placas Arduino: [50]

- 32 kbytes de memoria Flash
- 1 kbyte de memoria RAM
- 16 MHz
- 13 pins para entradas/salidas digitales (programables)
- 5 pins para entradas analógicas
- 6 pins para salidas analógicas (salidas PWM)
- Completamente autónomo: Una vez programado no necesita estar conectado al PC
- Microcontrolador ATmega328
- Voltaje de operación 5V
- Voltaje de entrada (recomendado) 7-12 V
- Digital I/O Pins 14 (con 6 salidas PWM)
- Entradas analógicas Pins 6
- Memoria Flash 32 KB
- SRAM 1 KB
- EEPROM 512 byte

1.2. Objetivos

El objetivo principal de la investigación consiste en implementar un centro de mando y control portátil para aviones tácticos UAVS Colibrí del centro de Investigación y Desarrollo de la FAE que permita incrementar la cobertura para la transrecepción de datos y video, y de esta manera asegurar la supervivencia de la aeronave obteniendo el cumplimiento de la misión en el aire para optimizar las misiones militares en la frontera norte de país.

Para llevar a cabo este objetivo será necesario realizar las siguientes actividades:

- Analizar las características del control y monitoreo en las operaciones de vuelo que se realizan actualmente en el CIDFAE, para lo cual se realizó una entrevista al personal técnico – militar del centro, en la misma que se conoció sus necesidades y se propuso ideas para la elaboración del centro de mando y control buscando mejorar las tareas de vuelo y la visualización de los datos recibidos por parte del UAV.
- Determinar los equipos y dispositivos de transmisión que permitan incrementar la cobertura para transrecepción de datos y video. Se determinó los componentes necesarios para que el centro de mando y control funcione adecuadamente, para lo cual se estableció características de selección como costo, dimensiones, especificaciones técnicas tomando en cuenta la estructura del centro de mando y control. Se realizó una comparativa de cada uno de los componentes en diferentes marcas existentes en el mercado para su elección y adquisición.
- Construir el sistema de mando y control para los aviones tácticos UAVs colibrí del CIDFAE. Se realizó el diseño del centro de mando y control portátil tanto exterior como interior con sus dimensiones adecuadas mediante el software especializado SOLIDWORK. Luego se realizó la impresión y cortes a laser del mismo en un material adecuado. Finalmente se procedió a instalar cada uno de los componentes electrónicos, equipos

de control y comunicación en el interior del centro, se realizó las conexiones necesarias y se configuro mediante un software aeronáutico para verificar su funcionamiento.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Para llevar a cabo el proyecto se realizó una entrevista al tutor técnico – militar del CIDFAE, enfocada a la identificación de requerimientos.

También se observó los prototipos UAV construidos en el centro y finalmente se buscó la información relacionada al tema de investigación en fuentes bibliográficas de los principales repositorios que ofrece la Universidad Técnica de Ambato.

2.2. Métodos

2.2.1. Modalidad de la Investigación

Para el desarrollo del presente trabajo se empleó una investigación aplicada, para la optimización de recursos en las operaciones de control y monitoreo, para lo cual se desarrolló un centro de mando y control portátil de los aviones tácticos UAVs Colibrí utilizando los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera, además se analizará los diferentes equipos y dispositivos de transmisión para su correcto funcionamiento.

Investigación bibliográfica, debido a que analizan artículos acerca de temas relacionados con el mando y control en las operaciones de vuelo de los UAV, donde se obtendrá información necesaria para fundamentar el trabajo.

También se empleó una investigación experimental, ya que a través de una serie de pruebas se analizó las falencias que puede llegar a tener el centro de

control dentro de las operaciones del UAV, así como el funcionamiento en la transrecepción de datos y video.

Además, se realizó una Investigación de Campo, debido a que es necesario conocer los requerimientos inminentes en el Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE, así como también la situación actual de los prototipos existentes en la serie colibrí y los mecanismos de mando y control empleados.

2.2.2. Recolección de Información

La información necesaria se obtuvo a través de una entrevista a miembros investigadores y personal técnico del CIDFAE que tiene conocimientos sobre el tema y se encuentran asociados al diseño, desarrollo y control de aeronaves no tripuladas con el fin de detectar falencias y limitaciones que posee el centro. Se observó el control existente para los UAVS y se verificó el sistema de transrecepción de datos y video instalado en cada una de las aeronaves de la serie Colibrí. También, se recopiló información necesaria a través de proyectos ya realizados, revistas técnicas, libros y repositorios de documentos especializados en el tema para determinar el tipo de tecnología que permita cumplir con los objetivos planteados.

2.2.3. Procesamiento y Análisis de Datos

Para el procesamiento y análisis de datos se procedió de la siguiente forma:

- Análisis de las entrevistas a los miembros investigadores para verificar necesidades en el ámbito del mando y control de los UAV.
- Análisis y organización de toda la información anteriormente recolectada.
- Estudio de los resultados y las estrategias de solución.
- Planteamiento de la propuesta de solución.

2.2.4. Desarrollo del Proyecto

Para cumplir con cada objetivo del proyecto de investigación se presentan las actividades a realizar:

1. Análisis de los tipos de UAV de la serie Colibrí que se han desarrollado en el CIDFAE y como se realiza el control de los mismos.
2. Identificación de los equipos de control que poseen los UAV existentes en el CIDFAE.
3. Análisis de las limitaciones de la transcripción de datos y video que tienen los UAV del CIDFAE.
4. Especificación de los requerimientos para el control en las operaciones de vuelo.
5. Diseño de la estructura del centro de mando y control en base a dimensiones adecuadas.
6. Identificación del tipo de material óptimo para elaboración del centro de mando y control.
7. Identificación de los componentes electrónicos necesarios para el centro de control óptimo de un UAV.
8. Identificación de los componentes de comunicación necesarios para la transrepcion de datos y video con el centro de control.
9. Investigación de los componentes descritos anteriormente disponibles en el mercado con las características necesarias.
10. Comparación de parámetros técnicos, costos, dimensionamiento de acuerdo a las necesidades del centro de control.
11. Selección de los equipos que cumplan con los requerimientos y permitan obtener un centro de control eficiente.
12. Adquisición de los equipos seleccionados
13. Instalación y configuración de los componentes electrónicos, equipos de control y de comunicación en el centro de mando.
14. Identificación de softwares que permitan la adquisición, visualización y almacenamiento de datos y video.
15. Desarrollo de Interfaz Gráfica que permita la fácil visualización de datos y video en el centro de control.

16. Realizar pruebas de funcionamiento de los equipos de control.
17. Realizar pruebas de funcionamiento de los equipos de comunicación para verificar la transrepcion optima de datos y video.
18. Redacción de un informe en donde se detallen cada uno de los pasos realizados para cumplir con el proyecto.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y Discusión de Resultados

3.1.1. Introducción

En la actualidad en nuestro país se están desarrollando nuevas tecnologías las cuales ayudan en el control de zonas de conflicto teniendo así un adecuado monitoreo, para lo cual el CIDFAE ha creado una serie de prototipos UAVs colibrí y la última versión desmontable el cual permite superar las limitaciones que tienen sus prototipos tácticos en cuanto a su infraestructura. Sin embargo, el control y monitoreo es ineficiente ya que no cuenta con un sistema de visualización y el alcance adecuado para este tipo de misiones.

En el trabajo de investigación se determinó que era necesario realizar una encuesta dirigida al personal técnico encargado de desarrollar los prototipos de UAVs en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana y de esta manera poder identificar los requerimientos necesarios para mejorar así las misiones de vuelo, para lo cual se implementó un Centro de mando y control portátil mejorando la visualización, la cobertura y la transrepcion de datos y video para el prototipo mencionado.

3.1.2. Resultados de la Entrevista al Personal Técnico – Militar

Se realizó el cuestionario presente en el Anexo 1, en el cual se observó los requerimientos y especificaciones técnicas para el desarrollo del presente proyecto. La entrevista se lo realizó al Capitán Alex Pachacama Espinoza

encargado del departamento de Ingeniería y Tecnología en Control e Instrumentación dentro del desarrollo de UAVS.

Con la entrevista realizada a dicho personal se concluye que a través de sus investigaciones han logrado alcanzar un UAV tipo de ala fija con un alcance de línea de vista de 3 km en video y 4 km en recepción de datos aproximadamente, pero cuentan con una limitación en el adecuado procesamiento de información en tierra, verificando así, la factibilidad de implementar un centro de mando y control para mejorar las operaciones dentro de la zona fronteriza.

La versión 03 del UAV colibrí requiere mejorar la cobertura del sistema de comunicación de largo alcance (distancia en el rango de los kilómetros) que permita la navegación de la aeronave tanto en modo manual como automático, así como un procesamiento y visualización de información adecuado en tierra para la recepción de datos de los sensores por el piloto automático a través de telemetría y la video vigilancia de buena calidad que permita identificar posibles pistas clandestinas por parte del UAV y facilitar las tareas de patrullaje.

Finalmente, para que la aeronave sea óptima se requiere de un monitoreo en tiempo de vuelo pertinente, para cubrir un rango estratégico y llegar así a identificar un sector enemigo, esto se puede lograr a través de un sistema de alimentación adecuado en el centro de mando y control.

3.1.3. Esquema de componentes del Centro de mando y Control

Como se revisó en la parte teórica el sistema de un UAV cuenta con varios segmentos, a pesar de que una aeronave se encuentra instrumentada en su totalidad, se requiere de un centro de control en tierra que cuente con las interfaces de comunicación adecuadas para llevar una misión en condiciones óptimas. En la Figura 14 se muestra los segmentos empleados en el desarrollo del proyecto, el segmento de comunicaciones cuenta con los enlaces de video que permiten el monitoreo y la videovigilancia y el enlace de telemetría, en el segmento tierra que se compone de los sistemas de visualización de la misión, la transrepción de datos y video, y la ejecución de procesos de control.

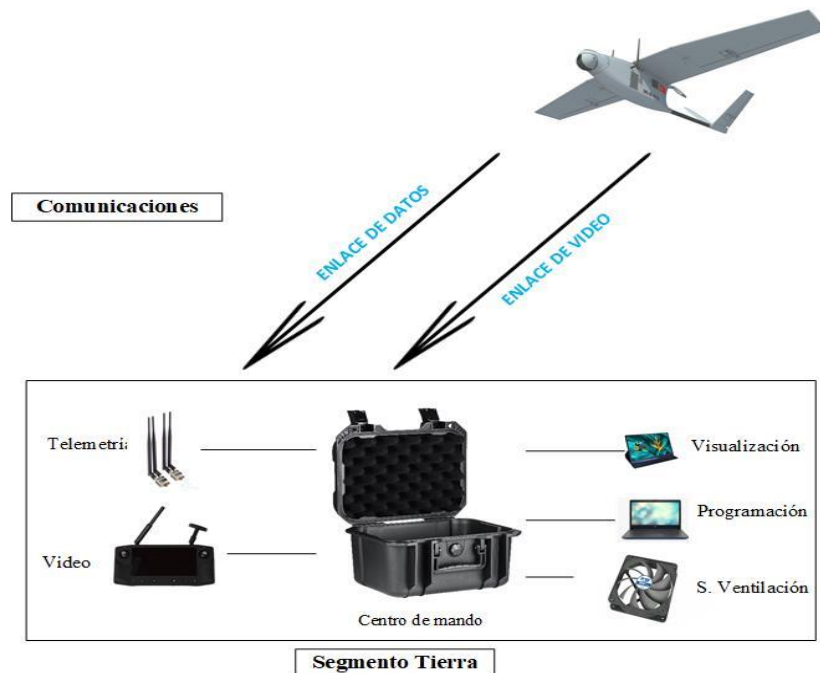


Ilustración 14 Esquema general del Centro de mando y control.

Segmento Tierra

El segmento tierra corresponde al centro de mando y control, el cual dispone de un ordenador personal instalado con una interfaz amigable para realizar el proceso de programación de cada una de las misiones en la tarjeta micropiloto, un sistema de visualización en donde se realiza el monitoreo de la aeronave tanto los datos recibidos de telemetría, así como también el video en tiempo real. Un sistema de ventilación para refrigerar los equipos dentro del centro durante la misión. Y además el control RC que permite tomar el mando manual de la aeronave para realizar en cualquier instante, cierta maniobra o para aterrizar o despegar.

TABLA 6 COMPONENTES DEL SEGMENTO TIERRA

Elemento	Tipo
Visualización	Monitor 16.5" (Telemetría), Pantalla LCD
Hardware	Laptop DELL G3
Programación	Software
Sistema de Ventilación	Ventiladores Sensor de temperatura Controlador Arduino
Alimentación	Baterías ventilación y video

Elaborado por: Investigadores.



Ilustración 15 Elementos del segmento Tierra.

Elaborado por: Investigadores.

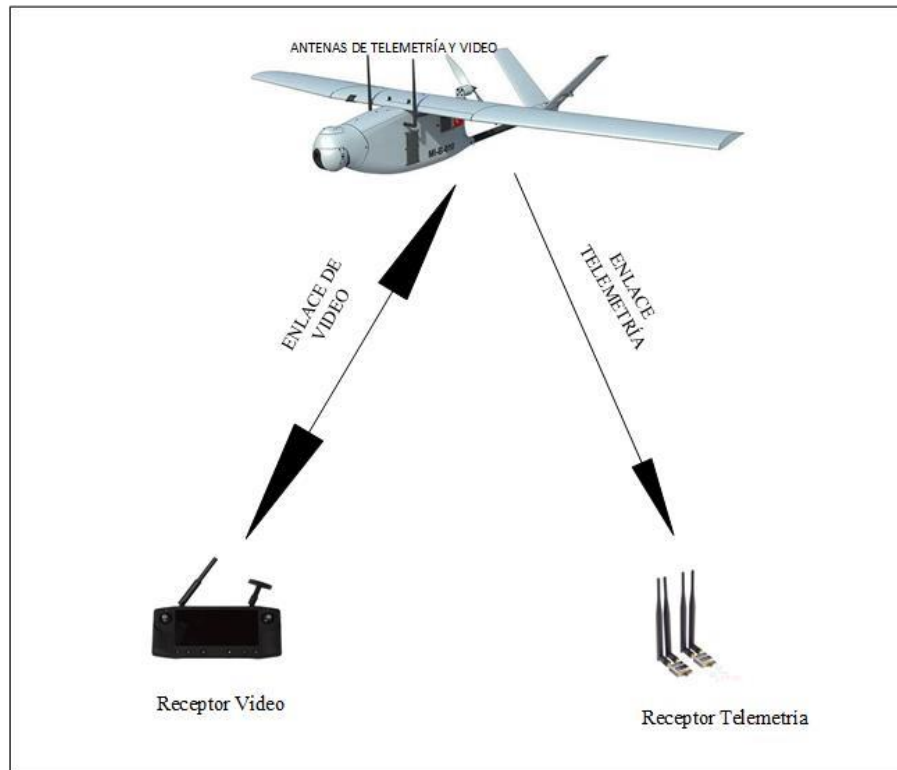
Comunicaciones

Se encarga de la recepción de los datos enviados por parte del controlador de vuelo en el centro de control, y está formado por dos sistemas uno para datos y el otro para video.

TABLA 7 COMPONENTES DE COMUNICACIONES

Elemento	Tipo
Equipos de Telemetría	Receptor de Telemetría
	Antenas de recepción
Equipos de Video	Receptor de video

Elaborado por: Investigadores.



SEGMENTO
COMUNICACIONES

Ilustración 16 Elementos de Comunicaciones.

Elaborado por: Investigadores.

3.1.4. Selección de Materiales

En esta sección se realizó un análisis comparativo para seleccionar los componentes adecuados, para que el centro de mando y control cumpla con las misiones de vuelo.

Para lo cual se procede a detallar la función que debe cumplir cada uno de los equipos dentro del centro de mando y control, luego se realiza una tabla comparativa con los parámetros de interés en distintas marcas existentes en el mercado, se analizan los resultados y finalmente se procede a la selección del equipo más adecuado. El esquema de la Fig.17 se detalla cada uno de los componentes que se utilizan en el centro de mando y control. Al segmento de comunicaciones le corresponde la telemetría y el video, y al segmento tierra le corresponde los equipos de visualización, alimentación, software, hardware y refrigeración.

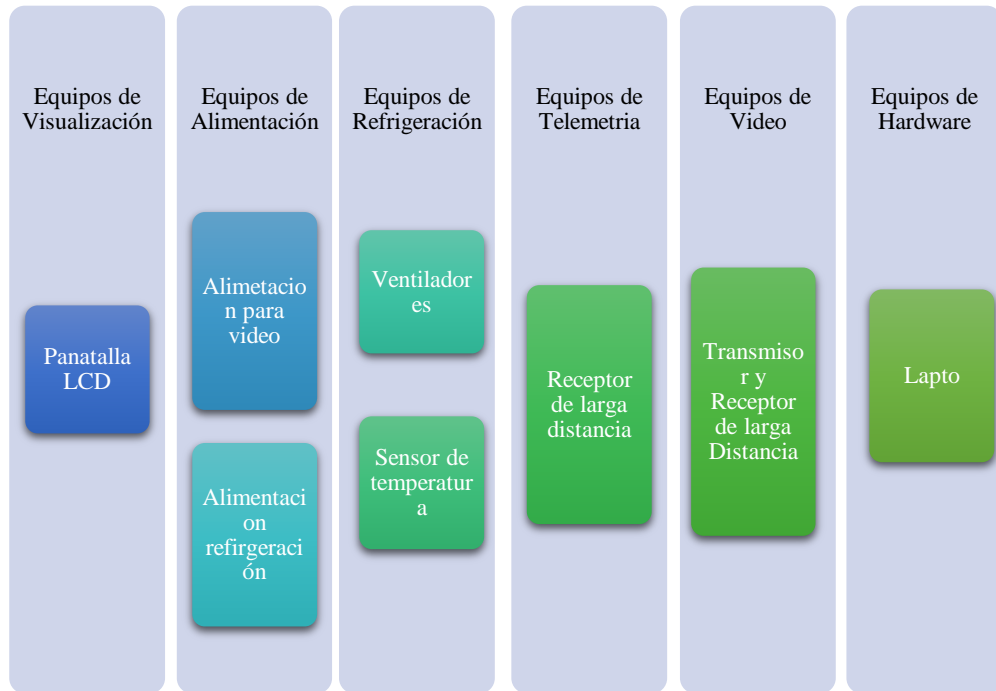


Ilustración 17 Distribución para selección de equipos.

Elaborado por: Investigadores.

Equipos de Visualización

- Pantalla LCD

El sistema de visualización debe ser considerado como una pantalla ideal para proyectos de Arduino ya que este será el microcontrolador a utilizarse.

TABLA 8 COMPARATIVA PANTALLAS LCD

Tipo Parámetros	Pantalla LCD	
	16x2 HD44780 (azul-blanco)	20x4 HD44780 (azul-blanco)
Resolución	Mejor calidad	Mejor calidad
Tiempo de respuesta	Se expresa en ms	Se expresa en ms
Angulo de visión	✓	✓
Brillo	✓	✓
Contraste	✓	✓
Aislación interna	✓	✓
Modo de operación	4 y 8 bits	4 y 8 bits
Voltaje de operación	4.5 – 5.5v	4.5 – 5.5v

Elaborado por: Investigadores

Como se puede apreciar en la tabla 8 se ha realizó una comparación de 2 pantallas LCD y ambas poseen las mismas características, por lo tanto, como solo se utilizará para visualizar la temperatura se adquirió la pantalla 16x2.



Ilustración 18 Pantalla LCD.

Equipos de Alimentación

Las baterías LIPO a escoger en estén proyecto son acorde a los tiempos que el prototipo estará en funcionamiento. Para identificar el tiempo de vuelo se ha tomado en cuenta los valores máximos en lo que tiene que ver con la velocidad que es de 15m/s la velocidad promedio de vuelo de aeronaves de entrenamiento y la distancia que se ha tomado en cuenta la de 10 kilómetros para lo cual el tiempo se lo ha calculado con la ecuación 1, despejamos esta ecuación y se obtiene la ecuación:

Las velocidades a considerar en este proyecto son acorde a los datos generales para el funcionamiento de un UAV de ala fija en los cuales se tiene los valores mostrados en la tabla. [1]

TABLA 9 VELOCIDADES CLAVES EN EL FUNCIONAMIENTO DEL UAV. [1]

Velocidad	Especificación
9.3 m/s	Velocidad promedio de aeronave colibrí
15 m/s	Velocidad máxima para aeronaves tipo entrenado para una transmisión de imagen y video optima
37 m/s	Velocidad necesaria para romper la inercia

Elaborado por: Investigadores

Ecuación para cálculo de la velocidad:

$$v = \frac{e}{t}$$

Ecuación 1 Ecuación de velocidad.

Donde:

e = Espacio

t = Tiempo

$$t = \frac{e}{v}$$

$$t = \frac{10000 \text{ m}}{15 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$t_{ida} = t_{regreso} = 666,66 \text{ seg} = 0.18 \text{ h}$$

$$t_T = 0.36 \text{ h}$$

$$t_T = 22 \text{ minutos}$$

- Alimentación para ventilación

Para la selección de esta batería se debe considerar que únicamente alimentara al sistema de relé. Para calcular la capacidad de la batería de acuerdo al tiempo de vuelo y la corriente que consume de 0.17A se utiliza la siguiente ecuación.

$$Q = t * I (Ah)$$

Donde:

t = Tiempo de vuelo

I = Corriente que consume el equipo

$$Q = t * I (Ah)$$

$$Q = 0.36 * 0.17 (Ah)$$

$$Q = 0.06 (Ah) * 10000$$

$$Q = 612 \text{ (mAh)}$$

De acuerdo con los datos proporcionados en la tabla 10 se toma en cuenta las características del relé seleccionado, para así poder adquirir la batería LiPo el cual, al momento de poner en funcionamiento el mismo sea capaz de tener un óptimo funcionamiento.

TABLA 10 COMPARATIVA DE BATERÍA PARA VENTILACION

Tipo	Gens ACE	AERONNergy	Turning
Parámetros			
Capacidad de descarga	50C	35C	30C
Conector	Dean Plug	T-Dean	Bullet
Peso	571g	435g	528g
output	26v	7.4v	7.4v
Capacidad de batería	10000mAh	1800mAh	700mAh
Tamaño	138x46x50mm	140x46x30mm	139x45x44mm
Precio	\$69,99	\$98	\$60

Elaborado por: Investigadores

De acuerdo a la tabla 10 en la cual se realiza una comparación de las baterías LiPo, ya que este tipo de baterías son las más utilizadas en lo que se refiere a aeromodelismo, la que más se acopla a las características para la alimentación de los ventiladores es el Turning, el cumple con los requisitos tanto en alimentación y capacidad de batería el cual ayudara a cumplir las misiones de vuelo.



Ilustración 19 Batería de ventilación.

- Alimentación para Video

Para la selección de esta batería se debe considerar que únicamente alimentara al sistema de transmisión de video. En el mercado del aeromodelismo existen baterías que son utilizadas para dichas aplicaciones, por lo tanto, se toma en consideración utilizar una batería de 3 celdas según la hoja se datos del equipo.

Para calcular la capacidad de la batería de acuerdo al tiempo de vuelo y la corriente que consume de 0.4A se utiliza la siguiente ecuación.

$$Q = t * I (Ah)$$

$$Q = 0.36 * 0.4 (Ah)$$

$$Q = 0.1320 (Ah) * 10000$$

$$Q = 1320 (mAh)$$

Según estos datos y características, se presenta la Tabla 11 en la cual se comparan diferentes baterías que cumplan con dichos requerimientos.

Tabla 11 COMPARATIVA ALIMENTACIÓN PARA VIDEO.

Tipo	Turnigy	ProtekRC	AERONergy
Parámetros			
Capacidad de descarga	1.5C	70C	35C
Conector	JST	Ninguno	XT60
Peso	139g	212g	127 g
Capacidad de batería	1500mAh	1800mAh	1200mAh
Tamaño	100x33x19mm	34 x111x 26mm	88 x 34 x 19 mm
Precio	\$22.30	\$49.50	\$25

Elaborado por: Investigadores

Para la batería de video se ha visto conveniente seleccionar la Marca Turnigy, ya que tiene una capacidad mayor a la calculada, lo que es favorable para el proyecto; además en comparación con la batería ProteckRC tiene un menor peso que es de interés conseguir y su precio es menor. Se puede observar en la Fig 20 la batería seleccionada.



Ilustración 20 Batería de video.

Equipos de Ventilación

- Sensor de temperatura

Para el sistema de ventilación se requiere del uso de un sensor de temperatura capaz de convertir la señal analógica a digital que sea fácil de termopar a cualquier microcontrolador a través de una interfaz SPI unidireccional.

TABLA 12 COMPARATIVA SENSORES DE TEMPERATURA

Tipo Parámetros	Sensor de temperatura		
	Termocupla tipo k	Lm35	Termistor
Tipo	tipo K	Salida analógica	NTC
Intervalo de temperatura	0 °C a +400 °C	-55 °C hasta 150 °C	-50°C y 150°C
Diámetro del sensor	4.5 mm.	X	2.5mm
Terminales	2 hilos	VCC, V. SALIDA Y GND	2 terminales
Tipo de conector	zapatillas eléctricas	X	X
Aislación interna	Fibra de vidrio.	X	X

Elaborado por: Investigadores

Como se puede apreciar en la tabla 12 se ha realizado una comparación de los sensores que más se asemejan a lo solicitado de acuerdo a las características indicadas la mejor opción para llevar a cabo en el sistema de ventilación es el sensor de temperatura tipo k el cual es ideal para medición de temperatura en ambientes hostiles.



Ilustración 21 Termocupla tipo K.

- Microcontrolador

Para poder realizar la automatización es necesario el uso de un microcontrolador el cual sea programable, compatible y se adapte a los sensores anteriormente seleccionados llegando así a tener un funcionamiento adecuado al sistema de ventilación.

TABLA 13 COMPARATIVA DE MICROCONTROLADORES

Tipo Parámetros	Microcontroladores		
	Arduino UNO	ARDUINO MEGA	ARDUINO NANO
Microcontrolador	ATmega328	ATmega2560	ATmega328
Voltaje Operativo	5v	5v	
Voltaje de Entrada (Recomendado)	7 – 12 v	7 – 12 v	7 -12v
Pines de Entradas/Salidas Digital	14 (De las cuales 6 son salidas PWM)	54 (de los cuales 15 son salida PWM)	11
Pines de Entradas Análogas	6	16	8
Memoria Flash	32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por Bootloader.	256 KB	32 KB de los cuales 2 KB utilizados por bootloader
SRAM	2 KB	8KB	2KB
EEPROM	1KB	4KB	1 KB
Velocidad del Reloj	16 Mhz	16 Mhz	16 Mhz
Costo	\$10	\$16	\$4.50

Elaborado por: Investigadores

Como se puede apreciar en la tabla 13 se realiza la comparación de 3 diferentes microcontroladores en el cual la mejor opción fue el arduino nano, debido al costo, ya que en el circuito o sistema de ventilación se requieren apenas de 2 puertos de salida los cuales se conectarán hacia los actuadores.



Ilustración 22 Microcontrolador.

- Ventilador

Para poder realizar la ventilación y enfriamiento de la estación de mando y control se procede a seleccionar un ventilador el cual ventile en el interior de la caja y mantenga así un lugar fresco.

Como se puede apreciar en la tabla 14 se realiza la comparación de 3 diferentes ventiladores en el cual la mejor opción fue el HATHAI debido a que posee un mejor enfriamiento cuando las hélices del ventilador llegan a funcionar.

TABLA 14 COMPARATIVA DE VENTILADORES

Tipo Parámetros	Ventiladores		
	LUFT	LUFT	Hathai
Voltaje Operativo	5v	5v	7,5V
Dimensiones	50x50x10mm	40x40x20mm	14.16 x 14.16 x 2.4 pulgadas
Tamaño (diámetro)	5cm	5cm	8cm
Corriente de consumo	200mA	100 mA	0.17 A
Puertos de salida	2 hilos	3hilos	2 HILOS
Costo	\$0,50	\$1	\$2.00

Elaborado por: Investigadores



Ilustración 23 Ventilador

Equipos de Telemetría

- Transmisor y Receptor de Telemetría

Tabla 15 COMPARATIVA DE EQUIPOS DE TELEMETRÍA

Marca/Serie	RXD2L	RFD900x
Parámetros		
Rango de Frecuencia de operación	902 - 960 MHz	902 – 928MHz
Distancia máxima de Operación	30 km	30 km
Soporte en diversidad de antenas	x	✓
Tasas de datos de RF admitidas		4, 8, 16, 19, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192 y 250
Potencia de Transmisión	14 dBm	30 dBm
Sensibilidad de Receptor	-108 dBm	-121 dBm
Inmunidad de interferencia	FHSS	FHSS
Amplificador de bajo ruido LNA		>20 dBm
Opciones de antena	--	Yagi, Dipolo ½ Onda, Dipolo ¼ Onda Monopolo
Topologías de red compatibles		Punto, Punto Multipunto
Voltaje	5 V	5 V
Corriente en Transmisor	130 mA	1 A en potencia máxima
Corriente en Receptor		60 mA
Compatibilidad con Pixhawk	✓	✓
Tamaño		30mm x 57mm x 12.8mm
Peso		14.5g
Caja protectora	✓	X
Precio	210	280

Elaborado por: Investigadores

El equipo de telemetría es de vital importancia dentro del proyecto, debido a que es necesario la transmisión y recepción de datos de telemetría en el rango de los kilómetros, y además que los equipos sean de fácil instalación dentro del centro de mando y control.

Una vez que se analizó los dispositivos disponibles en el mercado el equipo con las mejores características, que permite tener un enlace confiable, potencias tanto de transmisión y recepción adecuadas, y la distancia de transmisión es de largo alcance, es el RDF900X.

- Antenas

Mediante el datasheet del equipo seleccionado se pudo analizar que las antenas que prometen una mayor distancia de transmisión son las antenas dipolo de $\frac{1}{2}$ onda, las cuales tienen una ganancia de 6 dBi y trabajan a 900 MHz. [1]



Ilustración 24 Equipos Telemetría.

Luego de la selección del equipo de telemetría es muy importante comprobar la efectividad del mismo para lo cual se realiza un cálculo de balances de potencias, tomando en cuenta los datos del enlace como es la distancia, la frecuencia, las potencias de transmisión, pérdidas y ganancias.

Presupuesto de potencia del enlace de telemetría

Es de suma importancia realizar un presupuesto de potencia del enlace punto a punto en el cual se calcula la potencia de recepción pasando por las pérdidas en

los cables y conectores, ruido y espacio libre como también hay que tomar en cuenta la ganancia de las antenas y la potencia con la que trabajan los equipos. Obteniendo así la distancia máxima de transmisión.

Ecuación para el cálculo:

$$PR_x = PT_x - L_{C1} + GT_x - L_p + GR_x - L_{C2}$$

Ecuación 2 Potencia de recepción.

Donde:

PRx(dBm): potencia de recepción.

PTx(dBm): potencia del transmisor.

Lc1(dB): pérdidas en cables y conectores en la recepción.

GTx(dBi): Ganancia de la antena de transmisión.

Lp(dB): pérdidas de espacio libre entre la transmisión y recepción

GRx(dBi): Ganancia de la antena de recepción.

Lc2(dB): pérdidas en cables y conectores en la transmisión.

Para realizar el presupuesto del radio enlace de telemetría se consideran los equipos utilizados en el proyecto.

TABLA 16 BALANCE DE POTENCIAS ENLACE DE TELEMETRIA.

DATOS PARA EL CALCULO DE POTENCIAS	
PTx(dBm)	30 dBm
PRx(dBm)	-----
Sensibilidad del receptor (dBm)	-121 dBm
Lc1(dB)	0,25 dB
Lc2(dB)	0,25 dB
GRx(dBi)	9 dBi
GTx(dBi)	6 dBi
Frecuencia	900 MHz

Elaborado por: Investigadores

El valor de la atenuación en los cables es despreciable debido a que se conectan las antenas cerca de los equipos, en el caso de los conectores se considera una pérdida de 0,25 dB tanto en la transmisión como en la recepción. Se deben considerar las pérdidas de espacio libre para lo cual usamos la siguiente ecuación.

Se calcula las pérdidas por atenuación por espacio libre siguiendo la recomendación de la UIT-R.

$$lp = 92,4 + 20 \log(F) + 20 \log(D)$$

Ecuación 3 Pérdidas en espacio libre.

Donde:

F es la frecuencia en GHz

D es la distancia en Km

La distancia máxima de transmisión a la cual el CIDFAE realiza operaciones de vuelo es de 4 Km, y la frecuencia con la que trabaja es de 900 Mhz, estos cálculos se lo harán sustituyendo los valores en la ecuación 1 y la ecuación 2 respectivamente.

$$lp = 92,4 + 20 \log(F) + 20 \log(D)$$

$$lp = 92,4 + 20 \log f(0.9) + 20 \log d (4 \text{ km})$$

$$\underline{lp = 103 \text{ dB}}$$

Remplazando en la ecuación 1.

$$PR_x = PT_x - L_{C1} + GT_x - L_p + GR_x - L_{C2}$$

$$PR_x = 30\text{dBm} - 0,25\text{dB} + 6\text{dBi} - 103\text{dB} + 9\text{dBi} - 0,25\text{dB}$$

$$\underline{PR_x = -59\text{dBm}}$$

Dentro del cálculo se debe verificar si el enlace es óptimo o no, con la siguiente ecuación, donde la potencia que llega al centro de control tiene que ser mayor para que el enlace sea viable como:

Presupuesto de potencia del enlace > Sensibilidad del receptor

$$PR_x(\text{dBm}) > S(\text{dBm})$$

$$\underline{-59 (\text{dBm}) > -121 (\text{dBm})}$$

Luego es importante calcular el margen del enlace, para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$M = PR_x - S$$

Donde:

M margen del enlace

S sensibilidad a la que escucha el receptor

$$M = PR_x - S$$

$$M = -59\text{dBm} - (-121 \text{ dBm})$$

$$M = 62 \text{ dBm}$$

$$62 \text{ dBm} > 45 \text{ dBm}$$

Podemos verificar que el presupuesto de potencia es mayor que la sensibilidad del receptor, por lo tanto el enlace de telemetría es viable debido a que el margen de error es mayor al valor mínimo considerado para que en enlace sea óptimo y los datos lleguen al centro de mando y control.

Calculo de las perdidas en espacio libre, potencia de recepción y margen del enlace para distintas distancias.

TABLA 17 CALCULO PARA DISTINTAS DISTANCIAS.

Distancia (Km)	Lp (dB)	PRx (dBm)	M (dBm)
5	105	-60	61
6	107	-62	59
8	109	-64	57
10	111	-66	55
15	115	-70	51
20	117	-72	49
25	119	-74	47
30	121	-76	45

Elaborado por: Investigadores

En la tabla 17 podemos observar los resultados de cálculo obtenido para distintas distancias de transmisión, donde a la distancia de 10 Km existió un margen de enlace de 55 dBm en el cual se tiene una recepción de video de buena calidad, debido a que el mínimo margen de enlace es de 45dBm y se

encuentra en el rango estable para cumplir con el objetivo de mantener la recepción de video a más de 4 Km que es la falencia que tiene el CIDFAE en la trasmisión de datos.

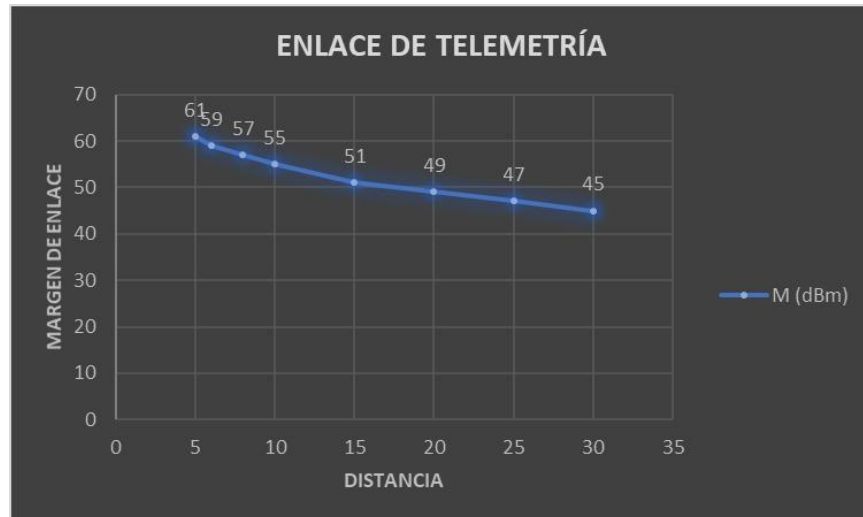


Ilustración 25 Distancia vs Margen de enlace

Elaborado por: Investigadores.

Equipos de Video

- Transmisor y Receptor de video

Los equipos de video son de suma importancia dentro del proyecto debido que se requiere tener una transmisión y recepción de alta calidad y a una distancia considerada. Por lo cual el equipo seleccionado debe transmitir video en alta definición, con un retardo mínimo y a distancias dentro del rango de los kilómetros.

Mediante el desarrollo del proyecto se espera que sea largo el alcance y que el sistema de transmisión y recepción de video investigado tenga rango de operación en kilómetros y este sea capaz de transmitir video en HD.

El equipo seleccionado es el Herelink que es un transmisor de video Digital. También posee una pantalla móvil para que la persona encargada de la misión pueda observar el video transmitido, así como todas las variables de vuelo. Además tiene la capacidad de enviar los datos de telemetría y tiene incorporado el control de mando siendo una característica importante del equipo.



Ilustración 26 Equipos de Video.

Tabla 18 COMPARATIVA EQUIPOS DE VIDEO

Parámetros	Herelink	DVL-C
Rango de Frecuencia de operación	2.4 GHz	5 GHz
Distancia máxima de Operación	20 km	5 km
Tipo de Transmisión de Video	Digital	Dgital
Consumo de energía	< 4W	< 1 W
Sensibilidad de Receptor	-99 dBm	-95 dBm
Resolución	720p a 30fps, 1080p a 30/60fps	1080p a 60 fps
Envío de Telemetría	✓	✓
Tipo de antenas en transmisor	Omnidireccional	Omnidireccional
Tipo de antenas en receptor	Omnidireccional y direccional	Direccional
Número de antenas en transmisor	2	2
Número de antenas en receptor	2	4
Potencia de antenas de transmisor	2 dBi c/u	5 dBi
Voltaje	5 – 12.6 V	12 V
Compatibilidad con Pixhawk	✓	x
Pantalla para visualización	✓	✓
Dimensiones de Transmisor	78.5 x 30 x 15 mm	75.5x54.5x22mm
Precio	\$ 950	\$ 600

Elaborado por: Investigadores

Presupuesto de potencia del enlace de video

Es de suma importancia realizar un presupuesto de potencia del enlace punto a punto del enlace de video, para realizar el presupuesto del radio enlace de video se consideran los equipos utilizados en el proyecto.

TABLA 19 BALANCE DE POTENCIAS ENLACE DE VIDEO.

DATOS PARA EL CALCULO DE POTENCIAS	
PTx(dBm)	25 dBm
PRx(dBm)	-----
Sensibilidad del receptor (dBm)	-99 dBm
Lc1(dB)	0,25 dB
Lc2(dB)	0,25 dB
GRx(dBi)	4, dBi
GTx(dBi)	6,5 dBi
Frecuencia	2,4 GHz

Elaborado por: Investigadores

La distancia máxima de transmisión de video a la cual el CIDFAE mantiene una transmisión de video estable durante el vuelo es de 3,5 Km, y la frecuencia con la que trabaja es de 2,4 GHz, estos cálculos se lo harán sustituyendo los valores en la ecuación 1 y la ecuación 2 respectivamente.

$$lp = 92,4 + 20 \log(F) + 20 \log(D)$$

$$lp = 92,4 + 20 \log f(2,4) + 20 \log d (3,5 \text{ km})$$

$$lp = 110 \text{ dB}$$

Remplazando en la ecuación 1.

$$PR_X = PT_x - L_{C1} + GT_X - L_P + GR_X - L_{C2}$$

$$PR_X = 25\text{dBm} - 0,25\text{dB} + 4\text{dBi} - 113\text{dB} + 6.5\text{dBi} - 0,25\text{dB}$$

$$PR_X = -75\text{dBm}$$

Dentro del cálculo se debe verificar si el enlace es óptimo o no, con la siguiente ecuación, donde la potencia que llega al centro de control tiene que ser mayor para que el enlace sea viable como:

$$\text{Presupuesto de potencia del enlace} > \text{Sensibilidad del receptor}$$

$$PRx(\text{dBm}) > S(\text{dBm})$$

$$\underline{-75 (\text{dBm}) > -99 (\text{dBm})}$$

Luego es importante calcular el margen del enlace, para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$M = PR_x - S$$

Donde:

M margen del enlace

S sensibilidad a la que escucha el receptor

$$M = PR_x - S$$

$$M = -75\text{dBm} - (-99 \text{ dBm})$$

$$\underline{M = 24\text{dBm}}$$

$$\mathbf{24 \text{ dBm} > 8 \text{ dBm}}$$

Podemos verificar que el presupuesto de potencia es mayor que la sensibilidad del receptor, por lo tanto el enlace de video es viable debido a que el margen de error es mayor al valor mínimo considerado para que en enlace sea óptimo y los datos lleguen al centro de mando y control.

Calculo de las pérdidas en espacio libre, potencia de recepción y margen del enlace para distintas distancias.

TABLA 20 CALCULO PARA DISTINTAS DISTANCIAS.

Distancia (Km)	Lp (dB)	PRx (dBm)	M (dBm)
5	113	-78	21
8	118	-83	16
10	120	-85	14
12	121	-86	13
14	122	-87	12
16	123	-88	11
17	124	-89	10
18	125	-90	9
20	126	-91	8

En la tabla 20 podemos observar los resultados de cálculo obtenido para distintas distancias de transmisión, donde a la distancia de 10 Km existió un margen de enlace de 14 dBm en el cual se tiene una recepción de video estable, debido a que el mínimo margen de enlace es de 8dBm y se encuentra en el rango estable para cumplir con el objetivo de mantener la recepción de video a más de 3,5 Km que es la falencia que tiene el CIDFAE en la transmisión de video.

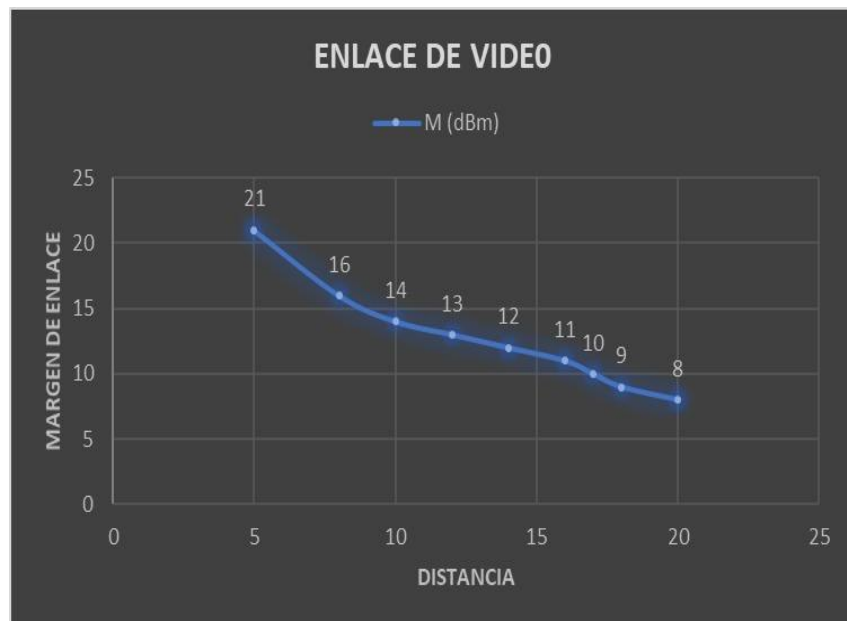


Ilustración 27 Distancia vs Margen de enlace.

Equipos de Hardware

Para la elaboración del centro de mando y control portátil se tomó en cuenta todas las características solicitadas por el tutor encargado de CIDFAE en donde se manifestó que se requería de un ordenador que realice la recopilación de datos en forma rápida y procesamiento de imágenes en HD. A continuación, se muestra una tabla comparativa de varios ordenadores los cuales se asemejan a lo solicitado por el tutor.

Como se puede apreciar en la tabla 16 se ha realizado una comparación de los ordenadores de acuerdo a las características indicadas, la mejor opción para llevar a cabo el proyecto es la **DELL Inspiron G3 3500** la cual cumple con las

características necesarias para la elaboración del centro de mando y control portátil. Adicional el ordenador es mucho más económico y tendría un gran desempeño para las misiones que se planean realizar.

TABLA 21 COMPARATIVA DE ORDENADORES

	Ordenador		
	HP Pavilion Gaming Laptop - 16-a0032dx	HP Pavilion Gaming 15" Micro-EDGE Laptop	DELL Inspiron G3 15 3500
Microprocessor	Intel® Core™ i5-10300H	Intel Core i5-9300H	Intel® Core™ i5-10300H de 10. ^a generación
Memory, standard	8 GB DDR4-2933 SDRAM (2 x 4 GB)	NVIDIA GeForce GTX 1050 (3 GB), 8 GB SDRAM	8 GB, 2 x 4 GB, DDR4, 2933 MHz
Hard drive	512 GB Intel® SSD	256 GB SSD	512 GB Intel® SSD
Optical drive	Optical drive not included	Optical drive not included	Optical drive not included
Display	16.1"	15.6 Pulgadas	15.6" (1920 x 1080), 120 Hz, 250 nits, WVA
Wireless connectivity	Realtek 802.11 b/g/n/ac (2x2) and Bluetooth® 5 combo	Realtek 802.11 b/g/n/ac (2x2) and Bluetooth® 5 combo	Realtek 802.11 b/g/n/ac
Minimum dimensions (W x D x H)	37 x 26.25 x 2.35 cm	35 x 24 x 2.40 cm	21,6 x 365,5 x 254 mm
Weight	2,34kg	2,24kg	2,34 kg
Battery type	3-cell, 52.5 Wh Li-ion	4.96 libras	300g
Network interface	Integrated 10/100/1000 GbE LAN	Integrated 10/100/1000 GbE LAN	Integrated 10/100/1000 GbE LAN
Expansion slots	1 multi-format SD mediacard reader	1 multi-format SD media card reader	1 multi-format SD media card reader
Precio	\$1800	\$1550	\$1300



Ilustración 28 Ordenador.

DDR4 (Doble velocidad de transmisión de datos)

$$f.efectiva = 2933 \text{ Mhz}$$

$$N.ciclos = 10$$

LATENCIA

$$latencia(s) = N.ciclos * \left(\frac{1}{\frac{f.efectiva}{2}}\right)$$

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T = \frac{1}{2933 \text{ Mhz}}$$

$$T = 3,40 \times 10^{-10} \text{ Hz}$$

$$latencia(s) = 10 * \left(\frac{1}{\frac{2933 \text{ Mhz}}{2}}\right)$$

$$latencia(s) = 10 * \left(\frac{1}{1466500 \times 10^3}\right)$$

$$latencia(s) = 10 * (6,818 \times 10^{-10})$$

$$latencia(s) = 10 * (6,818 \times 10^{-10})$$

$$latencia(s) = 6,818 \times 10^{-9} \text{ s}$$

$$\underline{latencia(s) = 6,818 \text{ ns}}$$

Software

El software es uno de los componentes más importantes dentro del centro de mando y control ya que a través de una interfaz se puede monitorear y controlar a la aeronave durante la misión.

Para seleccionar el software adecuado se analizó distintas características, entre la más importante la compatibilidad que debe tener con el micropiloto así como si está disponible para utilizar en varios sistemas operativos.

El análisis se desarrolló en base a una comparativa que fue realizada en 2015 por Benchmark Study Intel, en donde ciertas características se los compara cuantitativamente, siendo 5 la calificación más alta y 1 la más baja.

Por lo complejo que resulta la selección del software debido a que existen muchos parámetros de análisis se ha decidido sumar los valores cuantitativos para seleccionar el más adecuado. Como se puede observar en la tabla 24, entre los puntajes más altos obtenidos es QGround Control con 80 y Mission Planner con 82 respectivamente, ya que se encuentran en un mismo rango el uso de uno de ellos dentro del proyecto sería favorable.

Finalmente, el software utilizado dentro del centro de mando y control será Mission Planner debido a que fue uno de los mejores en el puntaje y el personal del CIDFAE tiene conocimiento del mismo.

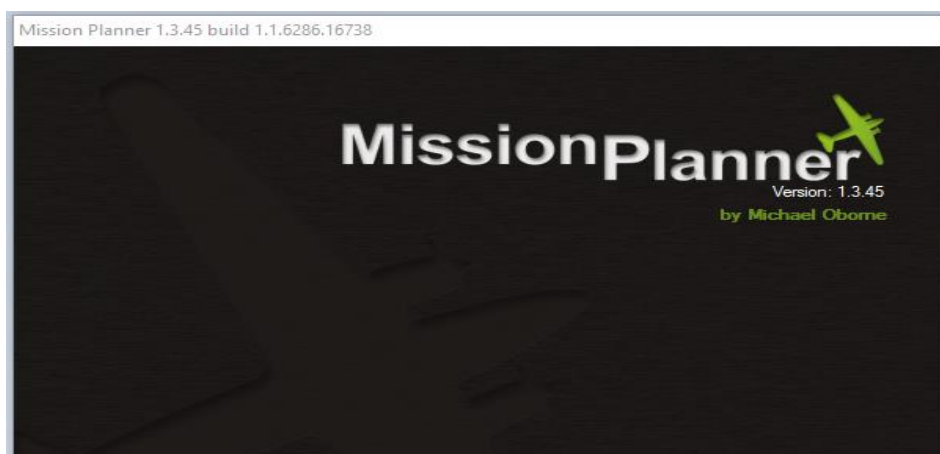


Ilustración 29 Mission Planner.

Tabla 22 COMPARATIVA SOFTWARES DE PLANIFICACIÓN DE VUELO [1]

Marca/Serie Parámetros	QGround Control	UGCS	Mission Planner	DJI Ground Station
Compatible con MAVLink	✓	✓	✓	X
Open Source	✓	X	✓	X
Compatible con Pixhawk	✓	✓	✓	X
Sistema Operativo compatible	Windows Linux MAC OS Android	Windows Linux MAC OS	Windows Linux MAC OS	Windows MAC OS
Tutoriales e Información	3	2	4	1
Actualización de Firmware	4	1	5	1
Calibración de Sensores	4	2	4	2
Configuración a prueba de fallas	2	1	5	1
Configuración de modos de vuelo	4	2	4	3
Chequeo de Pre vuelo	5	2	4	1
SUB-TOTAL	19	8	22	8
Edición de Waypoint	4	4	4	4
Acciones en Waypoint	4	4	4	2
Altura en Waypoint	3	3	5	1
Duración de Vuelo	2	1	4	2
Mapas sin conexión a internet	4	3	4	1
Mapas en 3D	1	4	1	1
SUB-TOTAL	18	19	22	11
Visualización de Horizonte Artificial	4	3	5	3
Visualización de la Ubicación actual	5	4	5	4
Visualización de satélites	4	1	3	2
Estado de Altura y Velocidad	3	2	5	2
Botón de Armado/Desarmado	5	2	4	1
Estado del Enlace	4	3	2	3
Estado de Batería	3	4	4	2
Modo de vuelo actual	5	3	4	2

Visualización de Video	5	2	1	1
Alertas Auditivas	5	2	5	1
SUB-TOTAL	43	26	38	21
Modo de vuelo actual	5	3	4	2
TOTAL	80	53	82	40

Elaborado por: Investigadores

3.1.5. Diseño de la estructura del centro de mando y control

Para el diseño del centro de mando y control se utilizó el software de diseño CAD 3D y planos en 2D SOLIDWORK, el mismo que ofrece soluciones intuitivas para cada fase de diseño, en el cual se modelo cada pieza con sus características y medidas adecuadas, para luego ensamblar en un solo plano en 3D teniendo así un diseño más real. El diseño rectangular hace que el centro de control sea muy compacto, posee un diseño rígido preformado para proteger los equipos, al mismo tiempo el material impermeable y resistente a golpes en el exterior del centro de control absorbe los golpes y los impactos durante el transporte. Dispone de una manilla para el fácil movimiento de un lugar a otro. Cuenta con perfiles de aluminio para la apertura de modo preciso y cómodo para su uso. Diseñado para un almacenamiento adecuado de cada uno de los equipos. En el anexo 2 se detalla cada pieza del centro de mando y control con sus medidas de diseño. Identificación del tipo de material óptimo para elaboración del centro de mando y control.

3.1.6. Identificación del tipo de material óptimo para elaboración del centro de mando y control

Para la elaboración del proyecto se debe de optar por un case simple, compacto, robusto, fácil de trasportar y desplegar. Debe ser resistente a los impactos, al agua y al polvo por lo cual la estructura será elaborada de material plástico debido al uso rudo que se da en diferentes campos para llevar acabo así cada una de las misiones.

TABLA 23 COMPARATIVA DE CASE PARA LA ESTACIÓN TERRESTRE

Tipo y serie	Plástico		
	PW – MT11000	PW – MT11010	PW – MT11050
Parámetros			
Profundidad de textura (pulgadas)	0,0004	0,001	0,0045
Profundidad de textura (metro)	0,01016	0,0254	0,1143
Angulo de inclinación	1	1,5	6,5
Reflectividad	X	X	0
Resistencia de golpe	X	X	7e-005
Acabado de superficie tipo de sombreado	O	X	O
Ancho de textura	0,000134	0,00945	0,00635
Sombreado	Plástico poliestireno	Plástico poliestireno	Plástico poliestireno
Rugosidad	0,1	0,2	0,69

Elaborado por: Investigadores

Como se puede apreciar en la tabla 8 los tipos de case que existen para la plantación o colocación de circuitos y ordenadores, el mejor que se adapta al proyecto y a las condiciones en el cual se trabajara es el case de plástico de la serie *PW – MT11050* ya que gracias a su gran rugosidad y resistencia al golpe que lo diferencian de los demás se podrá proteger a los equipos que se encontraran en el interior del mismo.

3.1.7. Configuración y Programación de los equipos en el centro de mando y control

Luego de la selección y adquisición de los equipos necesarios para el centro de mando y control portátil del UAV, se procede a la configuración, programación e instalación de cada uno de ellos.

En la figura 30 tenemos el proceso de configuración y programación de los equipos en el centro de mando y control.

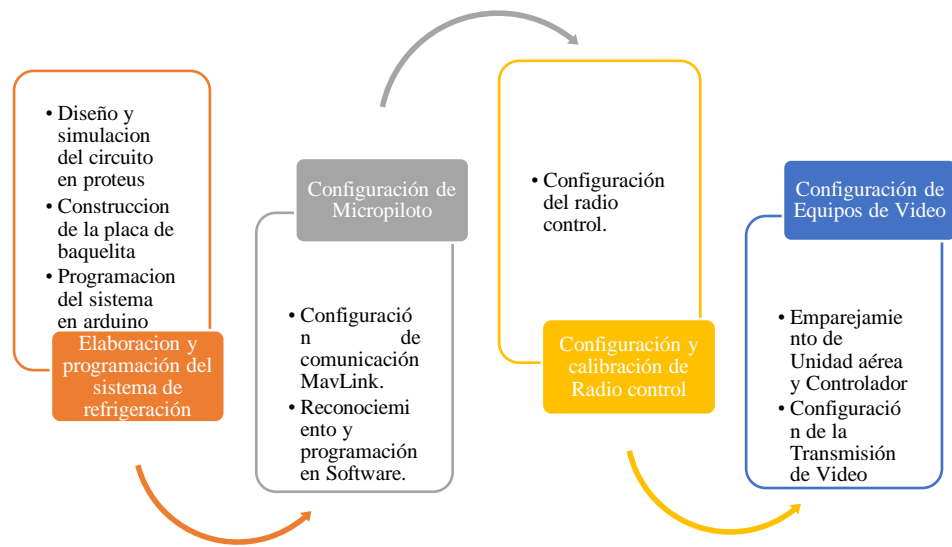


Ilustración 30 Proceso de configuración y programación de equipos en el centro de mando y control.

Elaborado por: Investigadores.

- **Elaboración y programación del sistema de refrigeración**

Circuito electrónico

Se presenta la implementación del prototipo para medir la temperatura y visualizar la misma en un LCD, la función primordial es censar que la temperatura se encuentre en un rango menor a 35°C, si es mayor a esta temperatura se accionan dos actuadores (ventiladores) encargados de refrigerar los dispositivos en el interior del centro ya que cuando estos entran en funcionamiento tienden a emitir calor ocasionando así el deterioro de los dispositivos o su destrucción.

A continuación, se presenta el diseño implementado con el programa proteus del prototipo que se va a utilizar como circuito de refrigeración para el centro de mando y control de los UAVS Colibrí.

En la siguiente figura se detalla el prototipo implementado en donde se ha separado por partes para indicar las diferentes conexiones, se hizo uso de los tblocks para poder indicar los bornes tanto de entrada como de salida de los

componentes que intervienen en el circuito. Además, se ilustran las conexiones hacia una LCD el cual visualizara la temperatura censada de manera llamativa.

Como se muestra en la figura 31 del circuito la tarjeta de Arduino nano presenta conexiones hacia el max6675 el cual receipta la señal del sensor de temperatura y este trasmite esa señal o dato recibido hacia una LCD el cual se encarga de visualizar el valor, además el Arduino nano se encarga de accionar las salidas para que los actuadores entren en funcionamiento y realicen la refrigeración del espacio o lugar.

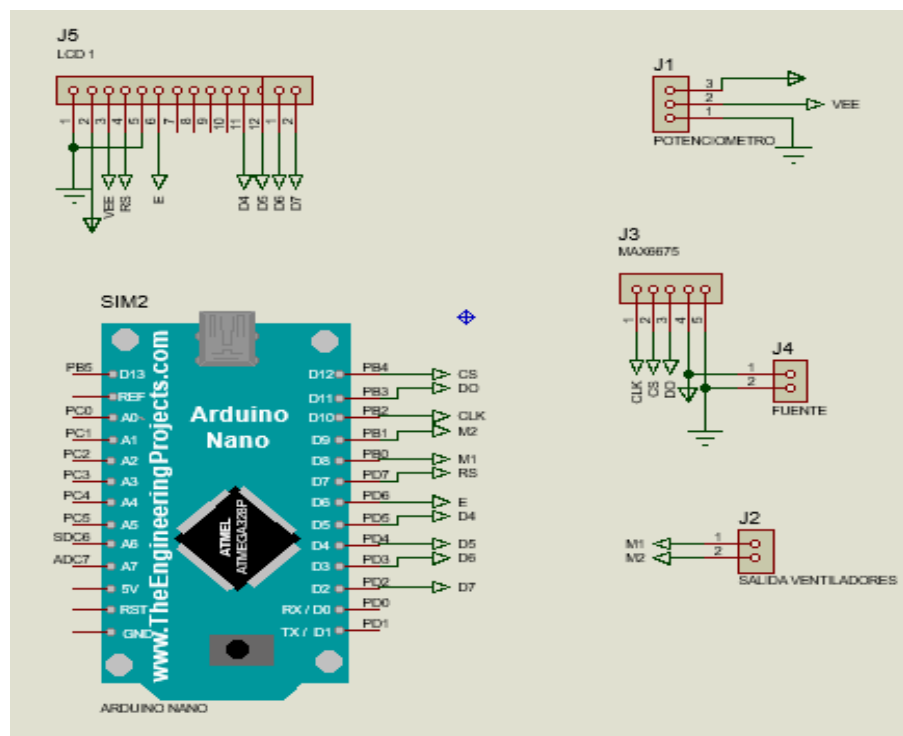


Ilustración 31 Sistema de refrigeración Proteus (ISIS).

Fuente: Investigadores.

Seguidamente se procedió a trasladar el circuito electrónico a ARES para el diseño las conexiones en la placa PCB, se tomó en cuentas la ubicación de cada uno de los componentes que conforman el circuito evitando así que haya puentes o algún tipo de error al momento de la implementación de la placa, las líneas o guías que conectan cada componente se dejó los más grueso posible para que en el momento de quitar el cobre restante las líneas no se vayan a cortar.

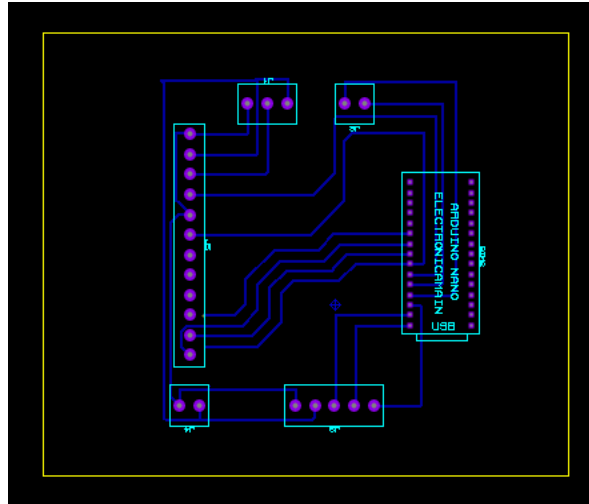


Ilustración 32 Sistema de refrigeración Proteus (ARES).

Fuente: Investigadores.

Se realizó la visualización del circuito en 3D en el cual se observa cómo se montarán cada uno de los componentes en la placa PCB. Esto es de gran ayuda porque se pudo identificar y colocar de manera correcta cada componente con un espacio adecuado para evitar en cruce o choque de los elementos al momento del ensamblaje.

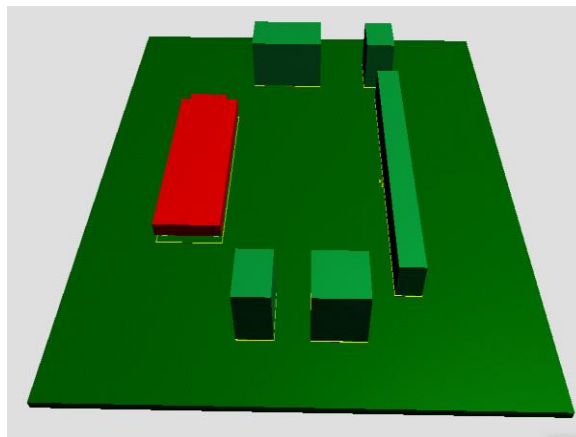


Ilustración 33 Sistema de refrigeración Proteus (VISUALIZACIÓN 3D).

Fuente: Investigadores.

En la figura 34 se muestra la placa de baquelita sin el resto del cobre y con las guías o conexiones previamente diseñadas, para lo cual se tuvo que imprimir el circuito en papel fotográfico, luego traspasar a la placa, con la ayuda de una plancha y finalmente se colocó la placa en un recipiente con agua caliente y el ácido necesario para retirar el cobre restante.

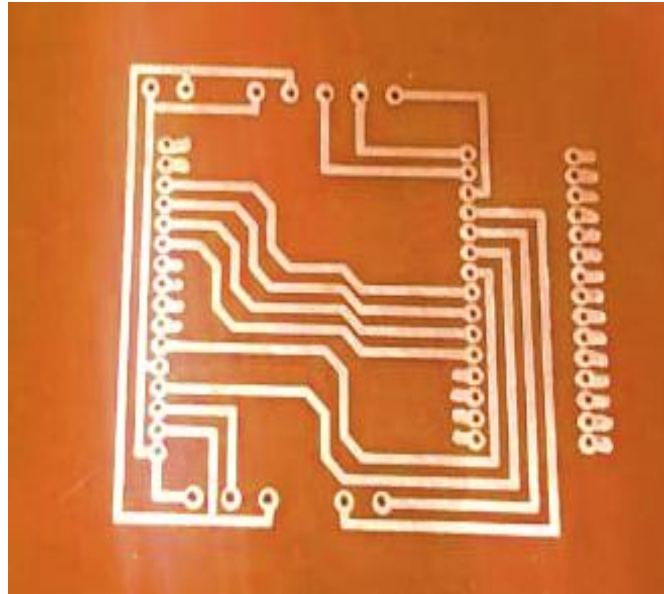


Ilustración 34 Placa de baquelita.

Fuente: Investigadores.

Se procedió a realizar las perforaciones con la ayuda de un taladro en los puntos indicados en el diseño de la placa PCB.

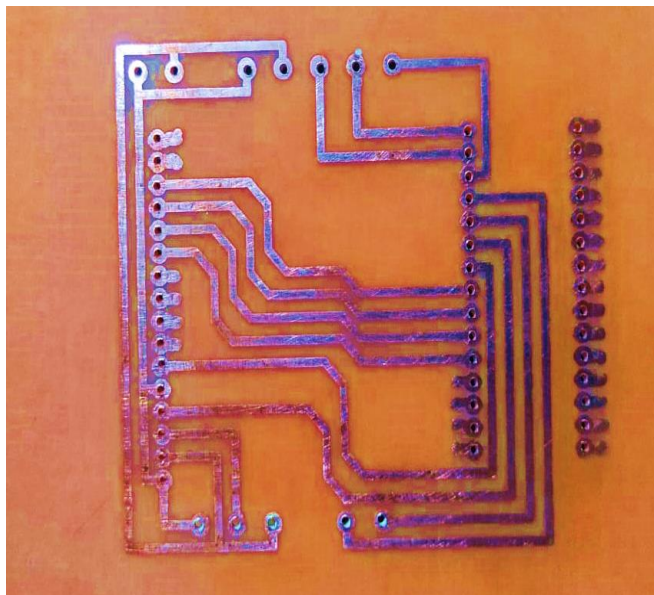


Ilustración 35 Perforaciones placa de baquelita.

Fuente: Investigadores.

Finalmente en la figura 36 se muestra la placa PCB con los componentes montados en la misma y cada uno de ellos soldados en los puertos que fueron asignados, para el max6675 y la pantalla LCD se ha colocado espadines para poder así instalar una extensión al circuito porque el sensor de temperatura y la

pantalla de visualización tienen un lugar más visible en el tablero principal del centro de mando y control portátil.

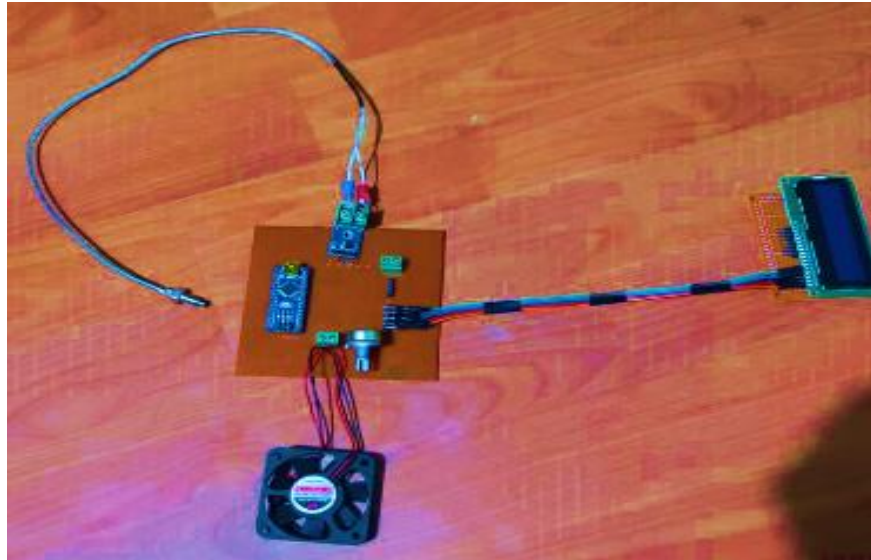


Ilustración 36 Circuito de refrigeración con los componentes montados en la placa.

Fuente: Investigadores.

- **Configuración del Micropiloto**

Una vez instalado el software Mission Planner en el equipo de hardware dentro del centro de mando y control, se identifica la versión que posee con el objetivo de observar la compatibilidad que tiene con las versiones del micropiloto (Pixhawk 2.1). Se trabajara con la versión 1.3.64 para nuestro caso.

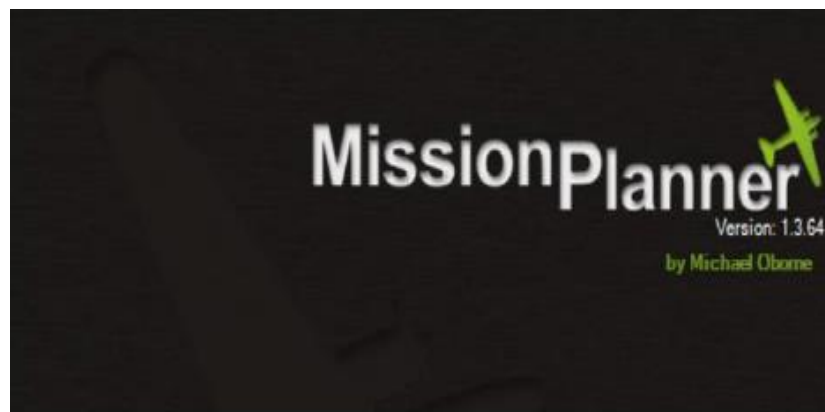


Ilustración 37 Versión de software Mission Planner

Configuración de Comunicación MAVLINK

Se debe utilizar este tipo de comunicación para poder establecer el enlace inalámbrico entre la tarjeta micropiloto y el software. Para lo cual se realizó la configuración de los parámetros de los módulos transmisor y receptor de telemetría RFD900x.

Se debe tener en cuenta que todos los parámetros de configuración deben ser iguales para los módulos de Tx y Rx para poder emparejarlos.

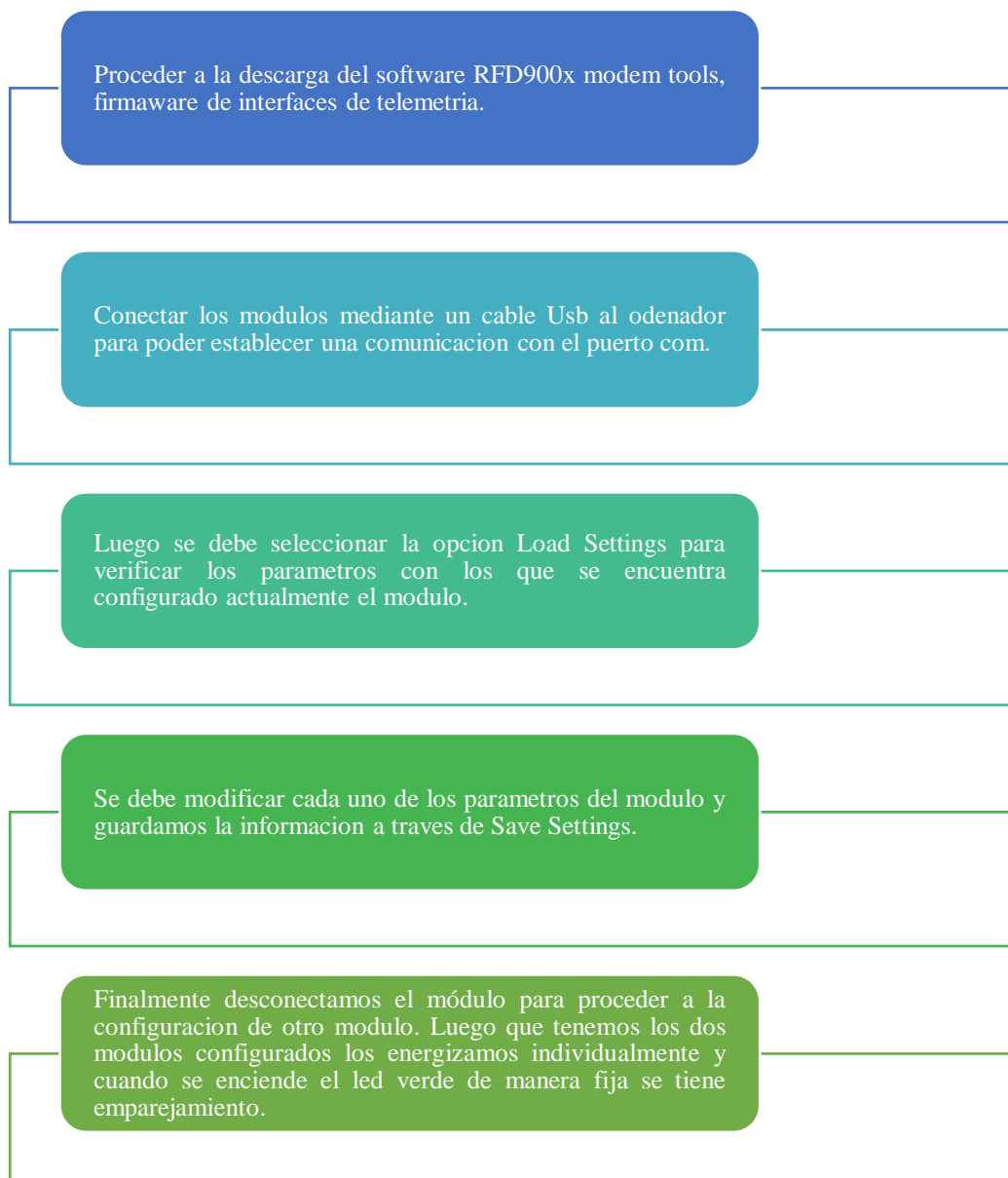


Diagrama 1 Configuración de equipos de Telemetría.

Elaborado por: Investigadores.

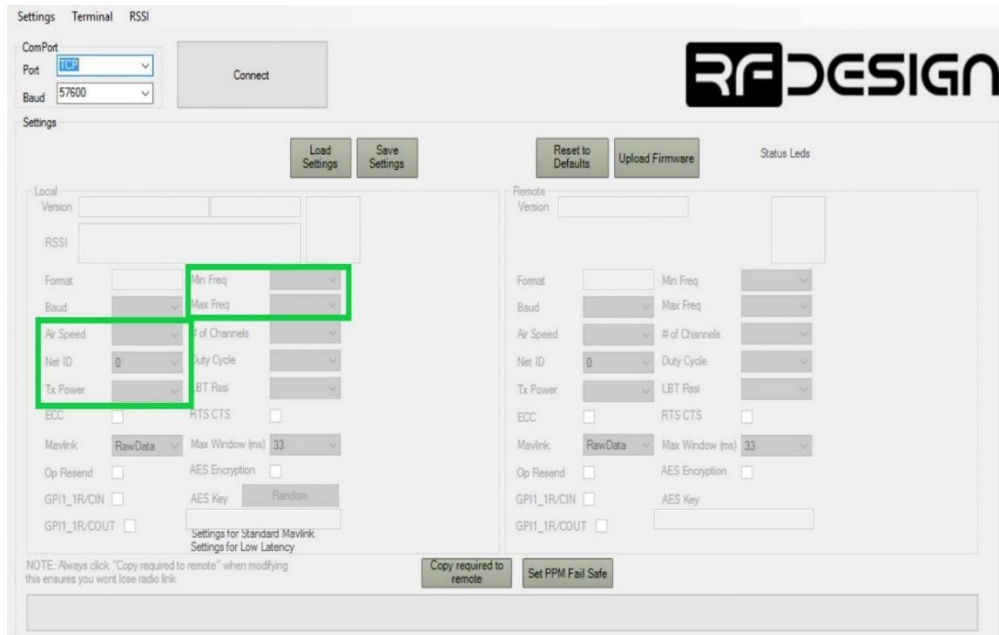


Ilustración 38 Configuración de parámetros módulos RFD 900x.

Fuente: Investigadores.

Luego se realizó el proceso de reconocimiento de cada uno de los módulos configurados anteriormente en el software misión planner para tener una comunicación inalámbrica. Como se observa en el diagrama 2.

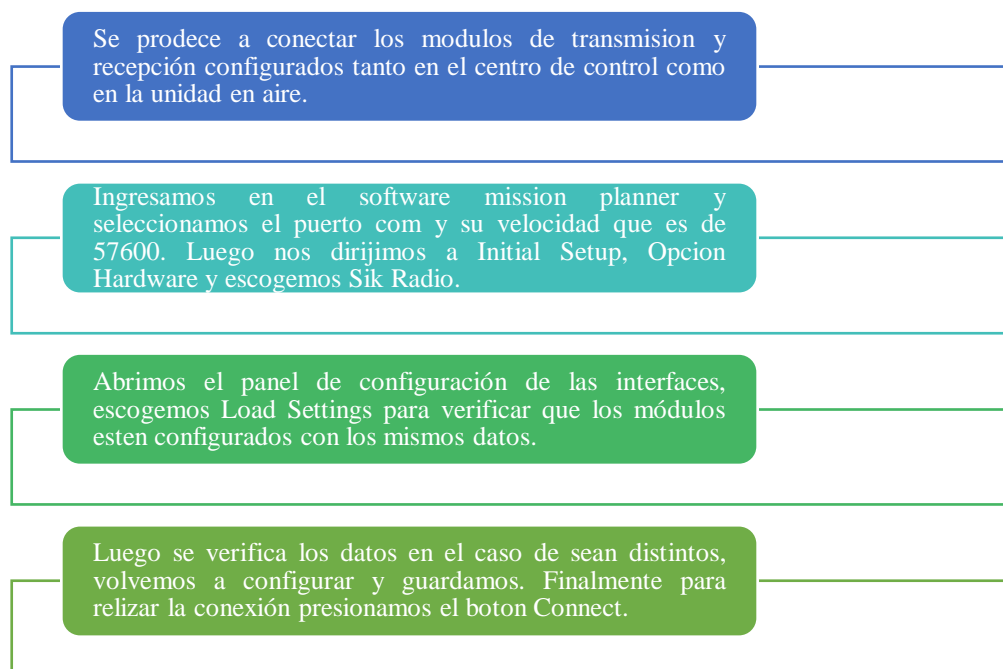


Diagrama 2 Pasos para establecer comunicación MAVLINK

Elaborado por: Investigadores.



Ilustración 39 Establecimiento de comunicación inalámbrica Mavlink.

Fuente: Investigadores.

Reconocimiento de Micropiloto en Software

En el Software Mission Planner se trabaja con distintos tipos de plataforma UAV, por lo cual se requiere la instalación dentro de la tarjeta micropiloto el software para gestionar la información recibida desde el exterior, en este caso para trabajar con una plataforma de tipo ala fija.

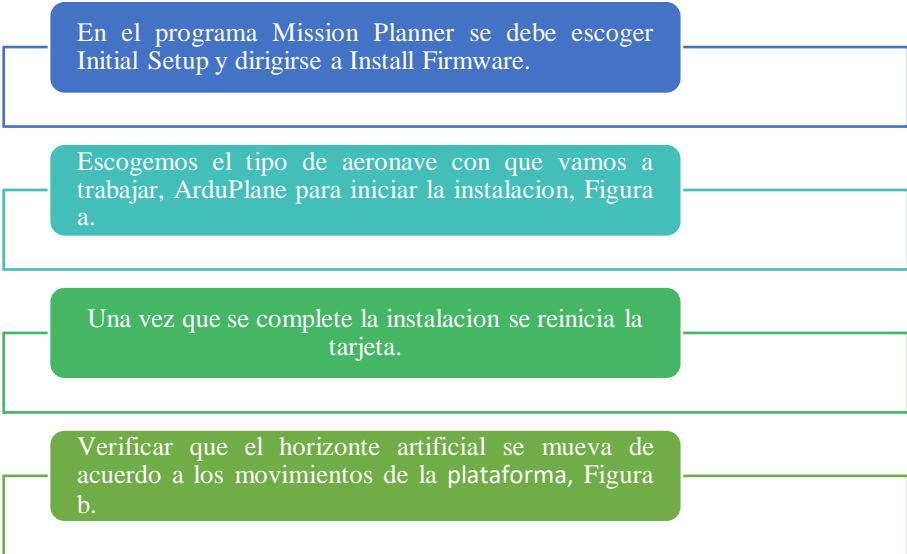
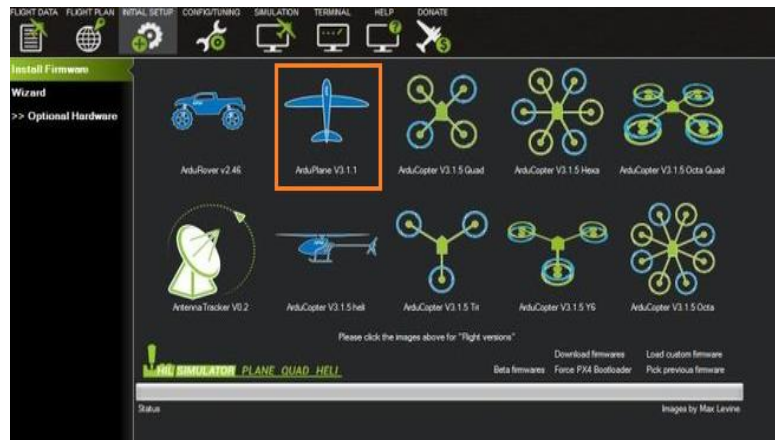


Diagrama 3 Instalación de Firmware para UAV.

Elaborado por: Investigadores.



a. Selección de firmware para el UAV.



b. Movimiento de horizonte artificial.

Ilustración 40 Instalación de Firmware para UAV ala fija.

Fuente: Investigadores.

Configuración de Equipos de Video

El sistema de video está conformado por una unidad terrena y aérea como se muestra en la siguiente ilustración en el cual, la unidad terrena se compone por un controlador el cual posee dos antenas una direccional y la otra omnidireccional ambas de suma importancia para la visualización del video en el ordenador.

Mientras que en la unidad aérea tenemos dos antenas omnidireccionales las cuales hacen frente para el envío de datos hacia el controlador, la misma cuenta con una alimentación independiente al ser de gran importancia para la transmisión de video.



Ilustración 41 Elementos sistema de video

Fuente: Investigadores.

Se debe tener en cuenta que el controlador solamente permite la gestión al software QGROUND control, ya que el mismo solo se puede instalar en el sistema Android.

✓ Emparejamiento de la unidad aérea y terrena

Para llevar a cabo el emparejamiento se debe de tener en cuenta los siguientes pasos:

Se debe de asegurar que las antenas estén bien conectadas tanto como el la unidad terrena como la aérea.

Se procede a prender las dos unidades, en la unidad aérea se debe visualizar un led amarillo el cual indica que no se encuentra emparejado.

Para el emparejamiento se debe primero en la unidad terrena como es el controlador seleccionar el icono Q y la opción D2d info y dar click en calibrate, luego en la unidad aérea tener presionado el botón PAIR/RESET durante 30s hasta que se realice el emparejamiento, una vez realizado el emparejamiento se muestra en la pantalla un mensaje CALIBRACION EXITOSA y a su vez el led cambie a color verde.

Se debe de tener muy en cuenta que el led verde siempre se mantenga fija esto nos indica que el emparejamiento se realizó correctamente.

Diagrama 4 Emparejamiento de unidad aérea y controlador de video.

Elaborado por: Investigadores.

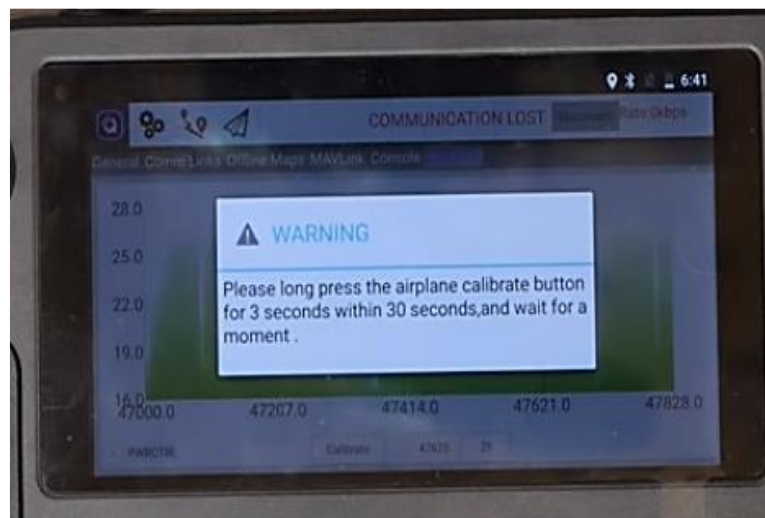


Ilustración 42 Emparejamiento equipos de video.

Fuente: Investigadores.

✓ Configuración de la Transmisión de Video Controlador

Visualización de video en la pantalla del controlador

Para la visualización en la pantalla del controlador se procede a configurar a través de los pasos del Diagrama.

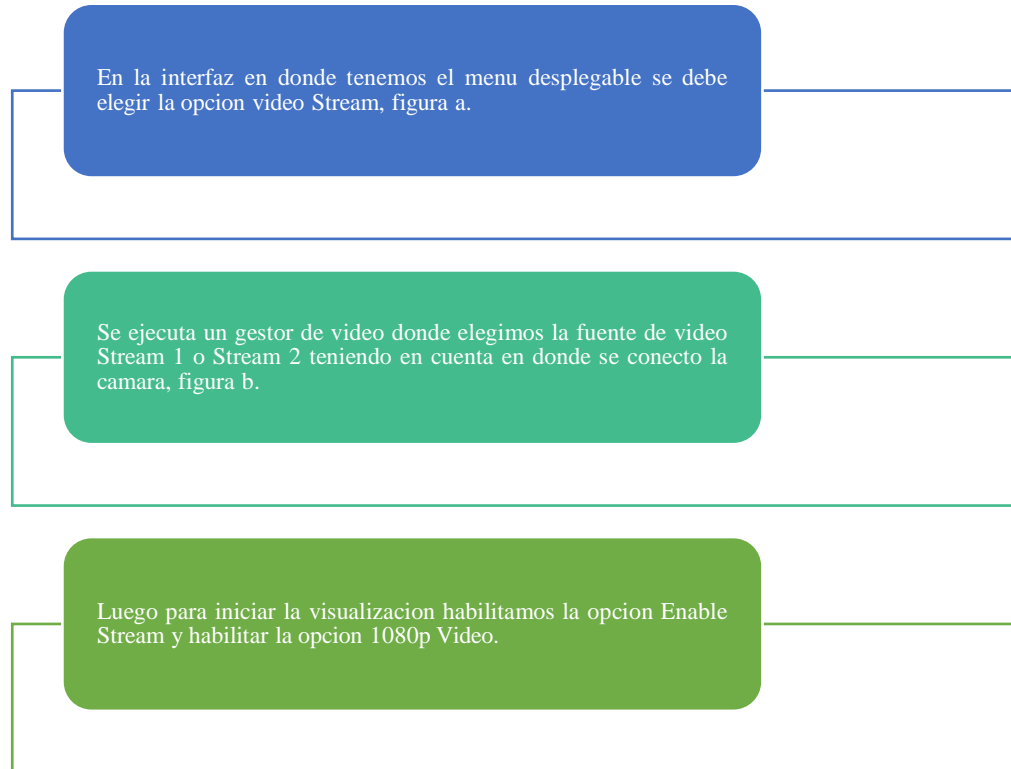
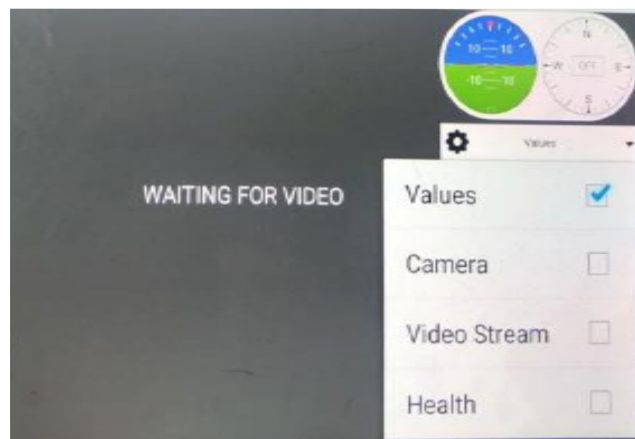


Diagrama 5 Configuración para visualización de video en pantalla de controlador.

Elaborado por: Investigadores.



a. Menú Desplegable



b. Iniciar con la recepción de video.

Ilustración 43 Configuración de video para visualización en Controlador.

Elaborado por: Investigadores.

✓ Configuración de la Transmisión de Video PC

Para la observar el video que transmite el UAV durante la misión de vuelo, se utilizó una pantalla de PC para la visualización la cual se conecta mediante el protocolo RTSP, debido que el controlador crea una red local de 5.8 GHz para que se puedan conectar uno o varios dispositivos.

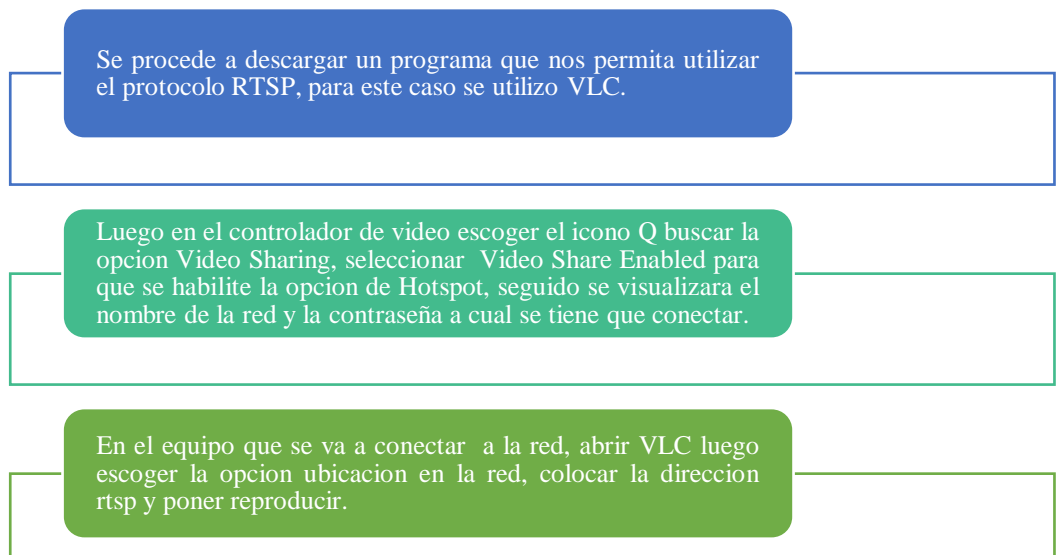


Ilustración 44 Diagrama de configuración para visualización de video.

Elaborado por: Investigadores.

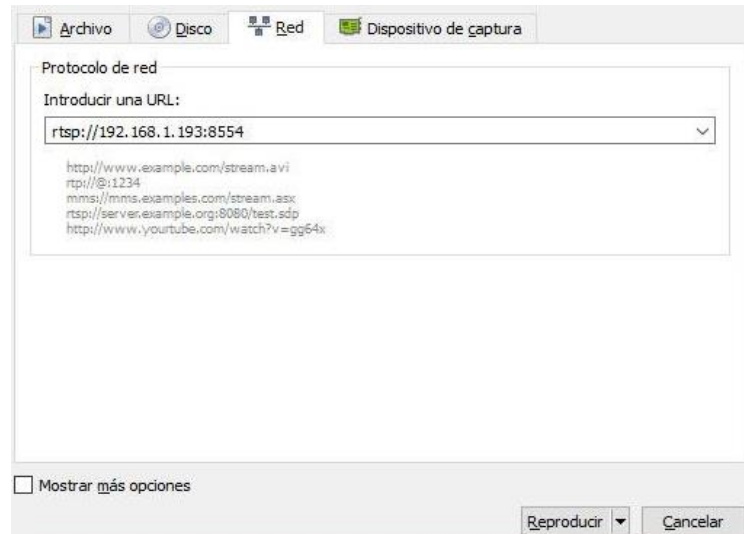


Ilustración 45 Configuración software VLC en PC.

Fuente: Investigadores.

3.1.8. Instalación de Equipos electrónicos y comunicación en el centro de mando y control

- **Posicionamiento Equipos de Hardware y puertos de entrada**

Una vez sujeta toda la estructura al centro de mando y control se procedió a instalar el hardware del ordenador y asegurarlo en el interior del centro como se muestra en la figura 46, para poder así conectar todos componentes que se adhieren al mismo, tomando muy en cuenta los espacios que se diseñaron en el material de acrílico.



Ilustración 46 Ubicación del Hardware en el interior del centro de mando.

Fuente: Investigadores.

Como se muestra en la figura 47 se procedió a colocar los puertos de entrada en el diseño de acrílico tomando en cuenta muy bien el espacio que sea el suficiente para que el ordenador pueda reconocer cada uno de los puertos, tal es el caso de los puertos de USB y HMI. Los cuales se utilizarán para el reconocimiento y lectura de datos mediante pendrives o algún otro elemento de almacenamiento en el cual se hará uso de la entrada de USB y el HMI el cual tomará la función de una proyección hacia otro dispositivo de una alta gama.



Ilustración 47 Ubicación de los puertos externos de entrada.

Fuente: Investigadores.

- **Posicionamiento Equipos de refrigeración**

En la base del interior del centro de mando y control se procedió a colocar el equipo de refrigeración focalizado el cual será accionado mediante un sistema de refrigeración previamente diseñado. Este elemento permitirá al ordenador mantener en un ambiente acondicionado evitando así el recalentamiento del mismo tal como se muestra en la siguiente figura.



Ilustración 48 Ubicación equipo de refrigeración focalizada.

Fuente: Investigadores.

Adicional al equipo de refrigeración focalizado se optó por añadir dos ventiladores en los extremos de la parte inferior del centro de mando y control los mismos que tienen como función principal extraer el aire, cabe recalcar que estos también se encuentran adheridos al sistema de refrigeración.

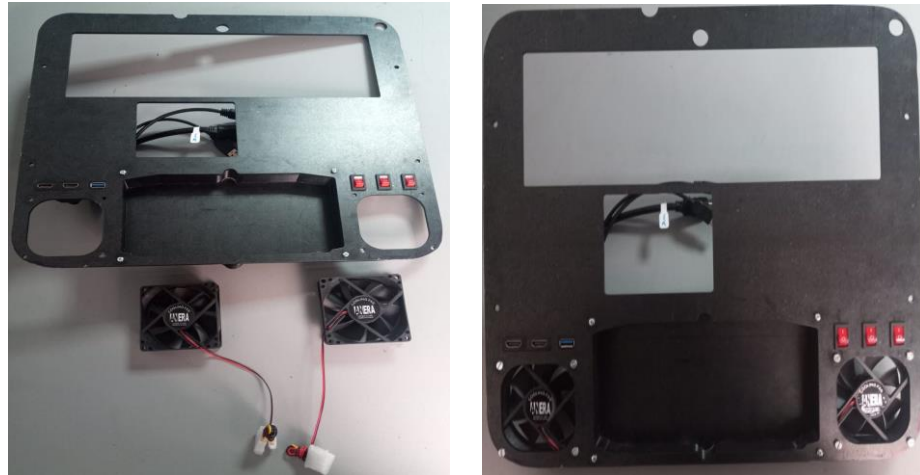


Ilustración 49 Ubicación de equipos de refrigeración.

Fuente: Investigadores.

En la figura 50 se puede observar el circuito del sistema de refrigeración instalado en el interior del centro de mando el cual permitirá el control de temperatura del mismo. Es muy importante mantener una adecuada distribución de los cables para poder manipular los componentes de mejor manera.

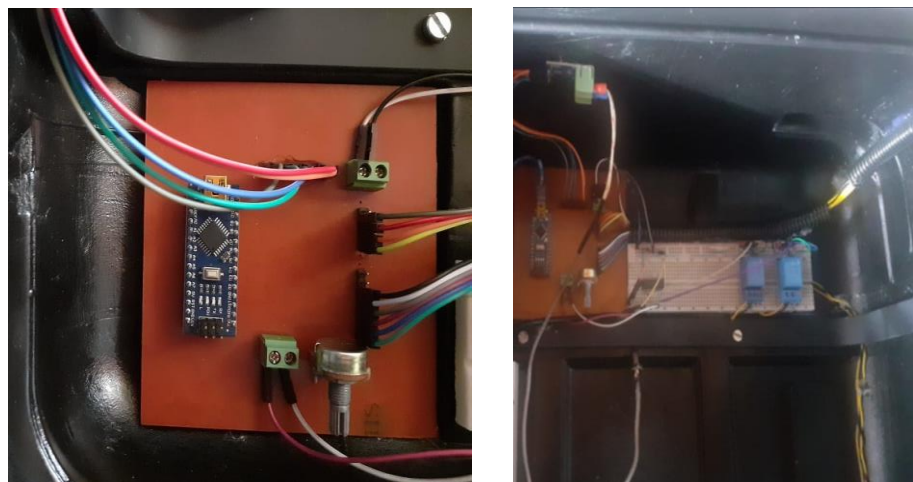


Ilustración 50 Conexiones del sistema de refrigeración.

Fuente: Investigadores.

- **Posicionamiento Switch de Energización y Baterías**

Además de los puertos de entrada se colocaron switch de energización para poder así tener un control del sistema evitando así que las fuentes consuman de manera inapropiada, se ubicó la batería en un lugar cercano a los switch para tener una correcta distribución de los equipos tal como se muestra a continuación.



Ilustración 51 Ubicación de switch de Energización.

Fuente: Investigadores.



Ilustración 52 Ubicación de la batería.

Fuente: Investigadores.

- **Posicionamiento Equipos de Visualización**

En la figura 53 se puede apreciar cómo se colocaron los elementos de visualización en la parte superior del centro tal es el caso de la pantalla en donde se podrá visualizar los datos de video y telemetría durante las misiones de vuelo que se realizarán con el UAV colibrí, así como también la pantalla LCD la cual indicará constantemente la temperatura censada en el interior del centro.



Ilustración 53 Ubicación de equipo de visualización telemetría y video.

Fuente: Investigadores.

- **Posicionamiento Equipos de Video**

Para la correcta ubicación del equipo de video Herelink en el centro de mando y control se consideró el espacio adecuado de acuerdo a sus dimensiones dentro del diseño interior, tomando en cuenta tener una fácil manipulación del equipo durante la misión de vuelo, y la transmisión de la información hacia la pantalla de visualización sea adecuada y rápida. También se consideró la necesidad de adecuar un espacio para las antenas cuando el equipo no esté en uso como se puede observar en la figura 54.



Ilustración 54 Ubicación equipo de video.

- **Posicionamiento Equipos de Telemetría**

El módulo de recepción de telemetría se ubica en un lugar adecuado donde permita tener un abertura de 90° entre las antenas, para obtener una mejor zona de recepción de datos durante el vuelo del UAV.



Ilustración 55 Ubicación módulo de telemetría.

Fuente: Investigadores.

3.1.9. Verificación de Funcionamiento del equipo de Hardware y sistema de refrigeración.

Una vez instalado cada uno de los componentes en el interior del centro de mando y control se procedió a realizar una prueba de funcionamiento del equipo de hardware y pantallas de visualización de datos como podemos observar en la figura 56, teniendo un correcto funcionamiento.

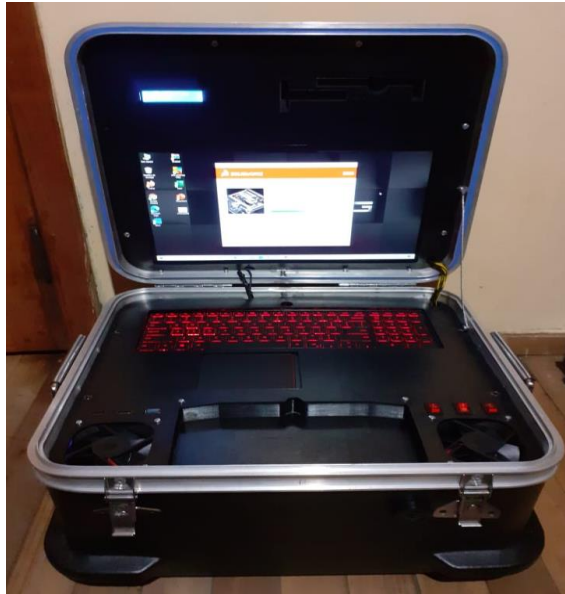


Ilustración 56 Funcionamiento de quipos de hardware instalados en centro de mando y control.

Fuente: Investigadores.

De la misma manera con el sistema de refrigeración se realizó pruebas para verificar su respuesta al incremento y decremento de temperatura en el interior del centro y el funcionamiento de los ventiladores teniendo una respuesta favorable, el mismo que permitirá mantener un acondicionamiento adecuado para el correcto funcionamiento de los equipos.



Ilustración 57 Visualización de temperatura censada.

Fuente: Investigadores.



Ilustración 58 Funcionamiento de los ventiladores.

Fuente: Investigadores.

3.1.10. Análisis de Resultados

En la siguiente sección se procede a detallar las pruebas realizadas con el prototipo final. Para lo cual se elaboraron pruebas de funcionamiento en tierra como son: La respuesta de los actuadores del sistema de refrigeración, la respuesta del sensor a los diferentes cambios de temperatura y su visualización, la transmisión de los enlaces de telemetría y video. Es muy importante realizar pruebas en campo para comprobar el funcionamiento del equipo durante la misión de vuelo del UAV, con el fin de corregir errores y tener un equipo de alta confiabilidad para operaciones de video vigilancia de las fuerzas armadas del país.

Antes de proceder a un vuelo se realiza el siguiente procedimiento para tener el centro de mando y control, y a la aeronave en óptimas condiciones.

Verificación de conexión de equipos y baterías

Se procede a revisar si todos los dispositivos tanto en el centro de mando y control como en la aeronave están bien conectados y con sus respectiva

energización, ya que de este proceso dependerá el buen desempeño de los equipos durante la misión de vuelo.



Ilustración 59 Verificación de conexiones UAV.

Fuente: Investigadores.



Ilustración 60 Verificación de conexiones Centro de mando y control.

Fuente: Investigadores.

Verificación de Peso y balance

Para verificar estos datos se procede a elevar la aeronave para verificar que tenga un peso equilibrado como se observa en la figura 62.



Ilustración 61 Verificación de peso y balance.

Fuente: Investigadores.

Una vez realizado estos procesos los equipos se encuentran en óptimas condiciones para realizar una misión.

Prueba 1: Vuelo Operativo Pillaro

La presente prueba se lleva a cabo el día viernes 12 de noviembre desde la estación CIDFAE - Pillaro.

OPERADORES	FECHA/HORA/LUGAR	DURACION DE VUELO	OBJETIVOS
SGOP.Carrillo E. Piloto Investigador 1 Investigador 2	12/11/2021 15:00 am Estación CIDFAE - Pillaro	Inicio:15:06:20 Fin:15:26:45 Total:0:20:13	Verificar el correcto procesamiento de información en el centro de mando y control. Verificar el funcionamiento de los enlaces de telemetría y video. Comprobar el adecuado funcionamiento de las variables de vuelo en una misión.

Elaborado por: Investigadores.



Ilustración 62 Equipos Prueba de vuelo 1.

Fuente: Investigadores.

- Descripción

En esta prueba de vuelo se desarrolla en los modos Manual, RTL, AUTO con un constante monitoreo a través del software misión planner. El modo manual en la misión es empleado para el despegue y aterrizaje del UAV. En modo AUTO se programó a una velocidad de 15 m/s. Se obtuvo un alcance en un perímetro de 9.87 km altura máxima 450 m. Se activa el protocolo RTSP en el controlador y se habilita la red Hotspot del mismo, el dispositivo a monitorear en la pantalla del centro de mando y control se procede a conectarlo a dicha red y reproducir la visualización del video.

- Resumen del vuelo

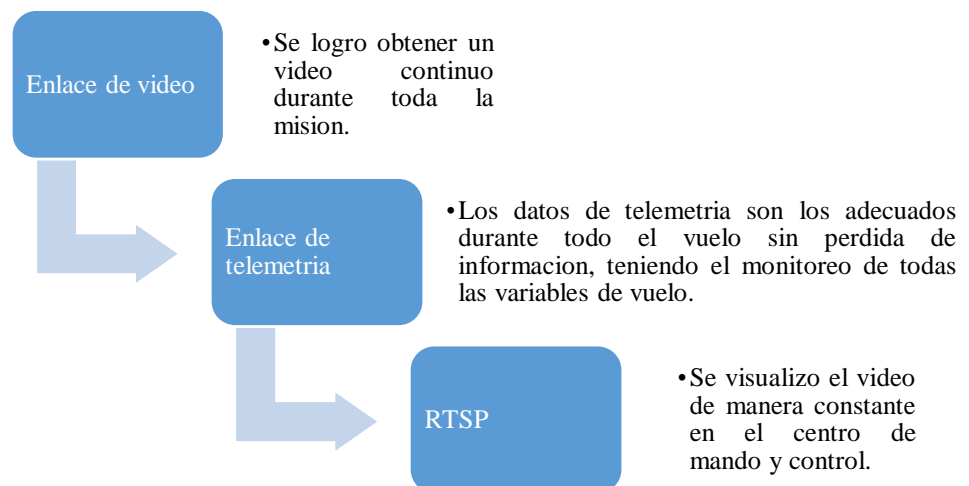


Ilustración 63 Resumen prueba de vuelo 1.

Fuente: Investigadores.



a) Despegue



b) Aterrizaje

Ilustración 64 Despegue y aterrizaje Prueba de vuelo 1.

Elaborado por: Investigadores.

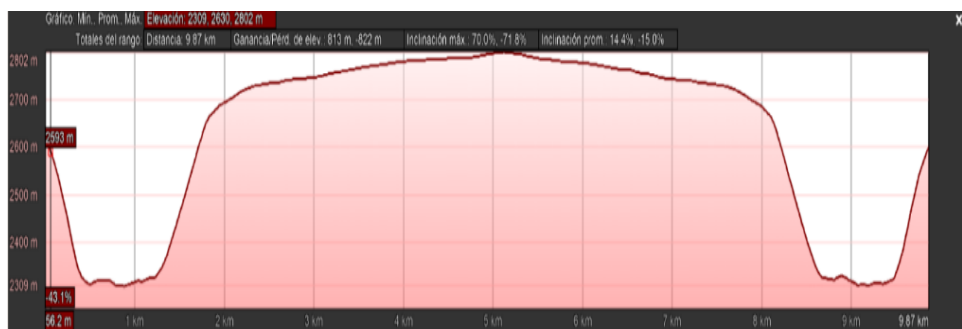


Ilustración 65 Resumen de vuelo Prueba 1.

Fuente: Investigadores.

- Altura

En la mision programa se establecio unos parametros de altura para que la aeronave cumpla con estos valores. Los waypoints se pueden observar en la siguiente figura, donde la aeronave de un altura de 289m en modo manual se cambia a modo AUTO para cumplir con cada uno de los puntos hasta alcanzar el ultimo a una altura de 450m y entrar en modo RTL desendiendo hasta llegar al punto home a una altura de 70m.

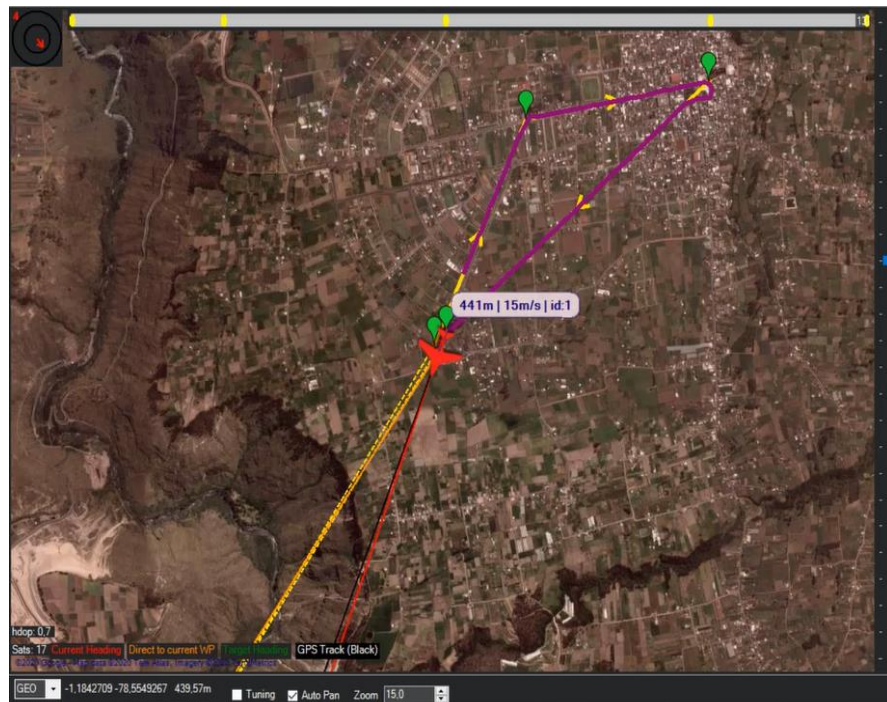


Ilustración 66 Programación de WayPoints Prueba 1.

Fuente: Investigadores.

- Velocidad

De la misma manera que la altura es necesario verificar la respuesta de la velocidad de la aeronave. Se ha definido 15m/s como la velocidad adecuada para que la aeronave capte el video. El mismo valor se ha utilizado para las misiones en modo AUTO, RTL y Loitter. Se puede verificar que durante el vuelo en modo AUTO,RTL y Loitter la velocidad siempre se mantiene estable en 15m/s, a menos en los cambios de altura existe una pequeña aceleración o desaceleración llegando a los 19,12m/s, con lo que podemos decir que la aeronave cumple de manera adecuada el parámetro de velocidad.

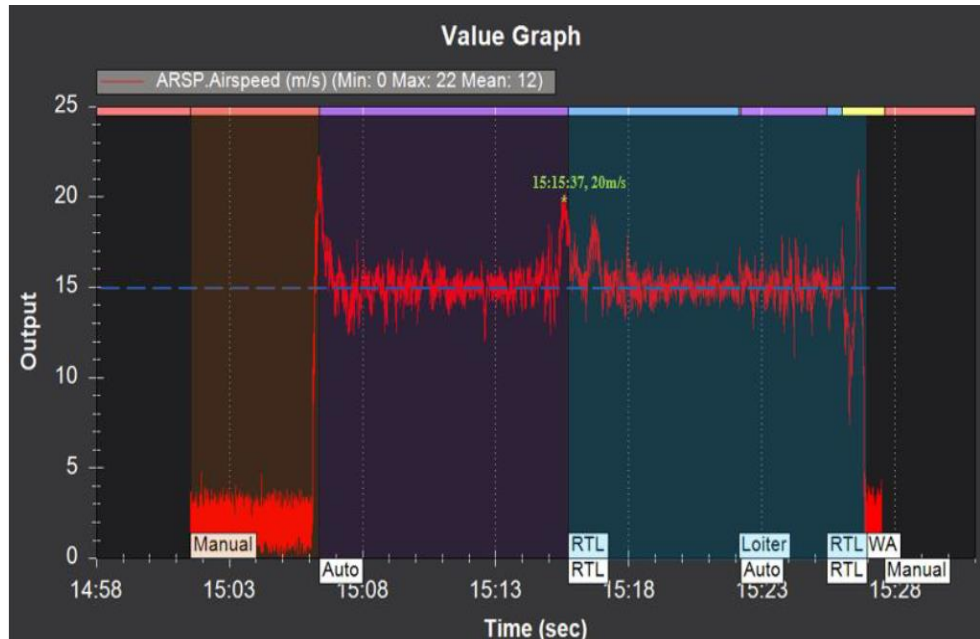


Ilustración 67 Velocidad vs tiempo prueba de Vuelo 1.

Fuente: Investigadores.

Conclusiones

- El enlace de telemetría es adecuado debido a que en esta misión de vuelo en su máxima distancia el nivel de señal fue de un 28% y no se tiene perdidas de información, debido a la correcta ubicación de las antenas tanto de envío como recepción, también se tiene una mayor elevación de la aeronave. La alerta NO RC RECEIVER se tiene a los 2.84 km lo que es aceptable, por lo que a esta distancia no se tiene ya línea de vista directa para poder controlar la aeronave de manera manual.
- En el enlace de video se alcanzó una distancia de 7,5 km en esta prueba, teniendo un poco de pérdida de información debido a factores que se encuentran en la superficie la cual absorbe la potencia de las antenas.

MODO AUTOMATICO

Datos:

$tv = 00:12:35$

$v = 15m/s$

$d = 9,87 km$

Tabla 24 CALCULOS EFICIENCIA DE TRANSMISION DE DATOS

N.	TIEMPO DE VUELO	ALTURA (m)	DISTANCIA (m)	VELOCIDAD (m/s)
1	0h:01min	289,36	225,22	16,12
2	0h:02min	337,57	819,92	13,31
3	0h:03min	385,90	1613,70	13,74
4	0h:04min	439,01	2490,11	13,99
5	0h:05min	448,77	3285,51	13,90
6	0h:06min	449,89	3981,30	15,43
7	0h:07min	449,97	4593,50	19,12
8	0h:08min	448,12	3595,27	17,92
9	0h:09min	428,95	2548,64	17,57
10	0h:10min	309,21	1529,36	16,94
11	0h:11min	187,35	512,17	16,86

Elaborado por: Investigadores.



Ilustración 68 Altura vs Tiempo

ERROR PORCENTUAL EN FUNCION DE LA VELOCIDAD

$$\text{Valor Promedio} = \frac{\sum Mi}{n}$$

$$\text{Valor Promedio} = \frac{16,12+13,31+13,74+13,99+13,90+15,43+19,12+17,92+17,57+16,94+16,86}{11}$$

$$\text{Valor Promedio} = 15,9 \text{ m/s}$$

$$\text{Error Absoluto} = \frac{\sum |Mi - Mprom|}{n}$$

$$\text{error absoluto} = \frac{0,22+2,59+2,16+1,91+2+0,47+3,22+2,02+1,67+1,04+0,96}{11}$$

$$\text{error absoluto} = 1,66 \text{ m/s}$$

$$\text{Error Relativo} = \frac{ea}{Mprom}$$

$$\text{error relativo} = \frac{1,66}{15,9}$$

$$\text{error relativo} = 0,1$$

$$\text{Error Porcentual} = er * 100$$

$$\text{error porcentual} = 0,1 + 100\%$$

$$\text{error porcentual} = 10\%$$

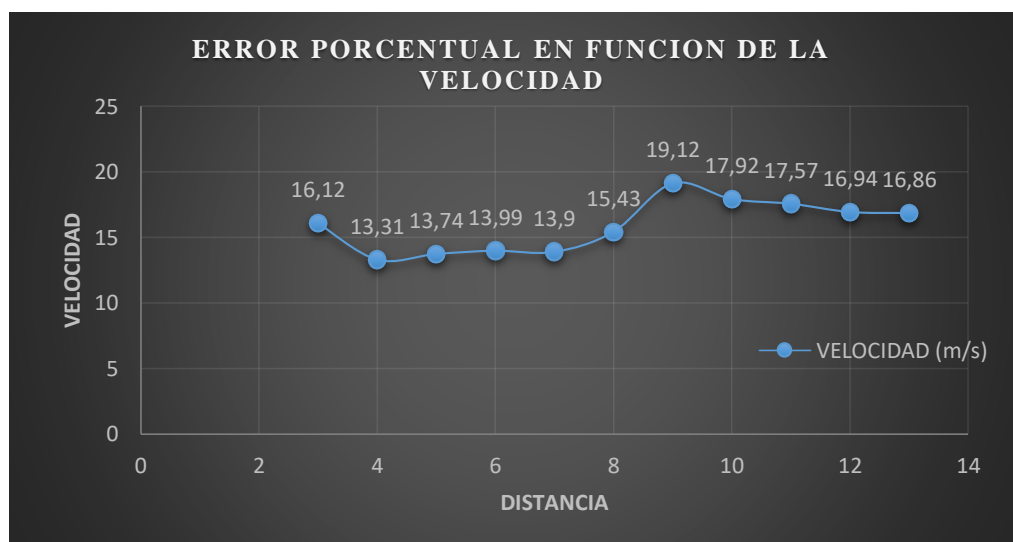


Ilustración 69 Error porcentual en función de la velocidad.

Fuente: Investigadores.

Prueba 2: Vuelo Operativo Izamba

La presente prueba se lleva a cabo el día viernes 18 de noviembre en la estación del CIDFAE - Izamba.

OPERADORES	FECHA/HORA/LUGAR	DURACION DE VUELO	OBJETIVOS
SGOP.Carrillo E. Piloto Investigador 1 Investigador 2	18/11/2021 07:00 am Estación CIDFAE - Pillaro	Inicio:07:30:20 Fin:07:47:30 Total:0:17:10	Verificar el correcto procesamiento de información en el centro de mando y control. Revisar la respuesta adecuada del mando RC en diferentes modos de vuelo. Comprobar el correcto funcionamiento de los enlaces de telemetría y video.

Elaborado por: Investigadores.



Ilustración 70 Equipos Prueba de vuelo 2.

Fuente: Investigadores.

- Descripción

En esta prueba de vuelo se desarrolla en los modos Manual, Loitter, AUTO con un constante monitoreo a través del software misión planner. El modo manual

en la misión es empleado para visualizar si el control responde a las instrucciones que se envíen por parte del Piloto, como cuando se realiza los cambios de modo desde el mismo. El modo Loitter es utilizado para sobrevolar en un área determinada. Y el modo automático se programó una misión larga para comprobar la respuesta de video y también la trasmisión de datos de telemetría.

- Resumen del vuelo

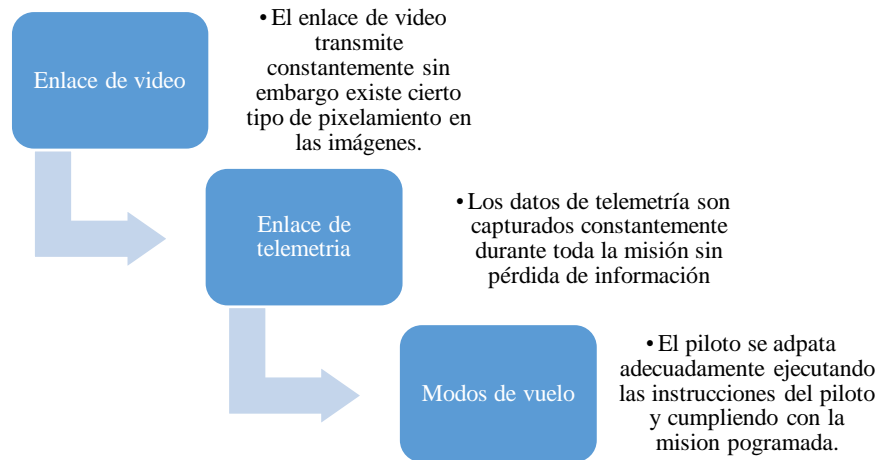


Ilustración 71 Resumen prueba de vuelo 2.

Fuente: Investigadores.



a) Despegue



b) Aterrizaje

Ilustración 72 Despegue y aterrizaje Prueba de vuelo 2.

Fuente: Investigadores.

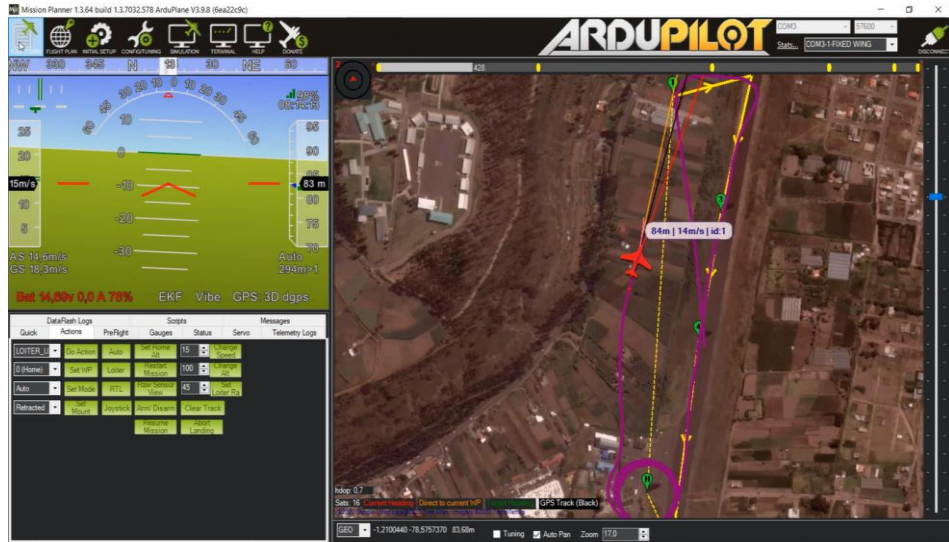


Ilustración 73 Resumen de vuelo Prueba 2.

Elaborado por: Investigadores.

Conclusiones

- Se identifica un correcto funcionamiento del control en los diferentes modos de operación durante la misión vuelo programado, así como también podemos observar en la imagen el correcto procesamiento de los datos en el centro de mando y control.



Ilustración 74 Visualización de datos en el centro de mando y control.

Elaborado por: Investigadores.

- En el enlace de video se pudo visualizar de manera correcta en la pantalla del centro de mando y tuvo un retraso de 0,3 s teniendo un poco de pérdida de información debido a factores que se encuentran en la superficie la cual absorbe la potencia de las antenas.
- El enlace de telemetría es adecuado debido a que en esta misión de vuelo no se tiene perdidas de información, tomando en cuenta que el ángulo con el que están ubicadas las antenas en el centro de mando es de 90 grados para que el lóbulo de cobertura irradie en todas las direcciones, teniendo así una buena recepción de señal.



Ilustración 75 Ubicación de las antenas de telemetría.

Elaborado por: Investigadores.

Prueba 3: Vuelo Operativo CIDFAE

La presente prueba se lleva a cabo el día sábado 12 de febrero en la estación CIDFAE.

OPERADORES	FECHA/HORA/LUGAR	DURACION DE VUELO	OBJETIVOS
SGOP.Carrillo E. Piloto Investigador 1 Investigador 2	12/02/2022 08:00 am Estación CIDFAE	Inicio:08:20:10 Fin:08:50:20 Total:0:30:10	Verificar el funcionamiento de los enlaces de telemetría y video. Comprobar el adecuado funcionamiento del mando RC a los diferentes modos de vuelo.

Elaborado por: Investigadores.

- Descripción

Para esta prueba de vuelo se desarrolla en los modos de vuelo Loitter, Manual, RTL, AUTO teniendo un constante monitoreo a través del software Mission Planer. En el modo manual se utiliza para identificar la respuesta a las instrucciones del piloto, así como también para el cambio de los modos de vuelo. El modo Loitter es utilizado para sobrevolar en un área específica y el modo AUTO para que cumpla la misión que se programó. Se obtuvo un perímetro de vuelo de 4 km en donde se comprobó la trasmisión de datos y video.

- Resumen del vuelo

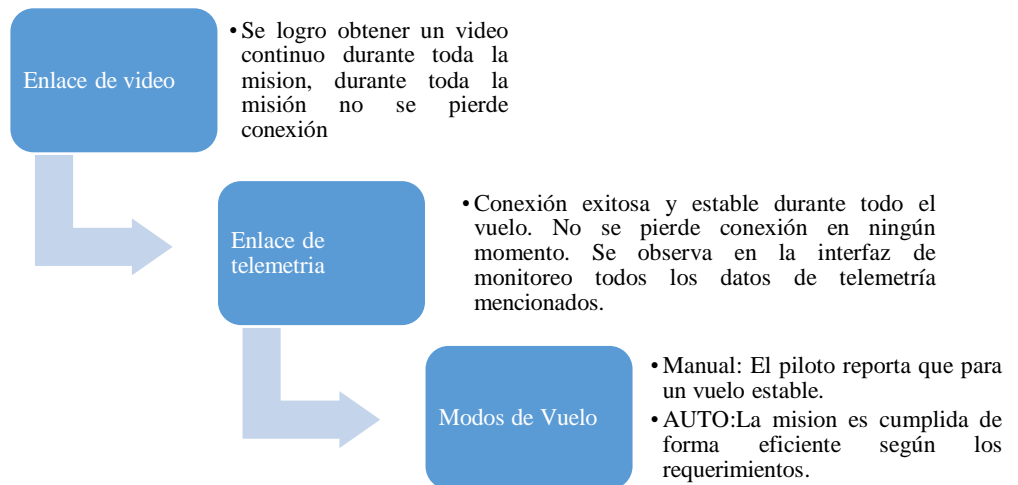


Ilustración 76 Resultados Generales prueba de vuelo 3.



a) Datos de Telemetría en Tiempo Real

b) Video Recibido en el centro de mando

Ilustración 77 Telemetría y video Prueba de vuelo 3.

Elaborado por: Investigadores.



Ilustración 78 Resumen de vuelo Prueba 3.

Fuente: Investigadores.

- Altura

En la mision programa se establecio unos parametros de altura para que la aeronave cumpla con estos valores. Los waypoints se pueden observar en la siguiente figura, donde la aeronave de un altura de 70m en modo manual se cambia a modo AUTO para cumplir con cada uno de los puntos hasta alcanzar el ultimo a una altura de 100m y entrar en modo RTL desendiendo hasta llegar al punto home una vez cumplida la mision.



Ilustración 79 Programación de WayPoints Prueba 3.

Fuente: Investigadores.

- Posición

Se analiza el cumplimiento de WP (WayPoints) programados durante la misión más larga en modo auto. En la figura 78 indica el recorrido esperado con la programación de los WP, donde podemos mirar el cumplimiento de la trayectoria en línea recta de forma adecuada.



Ilustración 80 Recorrido Programado Vuelo 3.

Fuente: Investigadores.

Conclusiones

- El piloto se adapta correctamente a los diferentes modos de vuelo.
- El enlace de telemetría se ha detectado pérdidas pequeñas de información por la cercanía de las antenas a la fibra de carbono, este material por sus propiedades conductoras absorbe gran cantidad de la energía que irradian las antenas.
- En el enlace de video se identifica un decremento de su SNR de un valor, la ubicación de las antenas son colocadas en un ángulo de 15° con respecto a la superficie para que su lóbulo de cobertura irradié en todas las direcciones evitando la absorción por el material y teniendo una mejor transmisión de datos.

Prueba 4: Vuelo Operativo CIDFAE

La presente prueba se lleva a cabo el día martes 15 de febrero en la estación CIDFAE.

OPERADORES	FECHA/HORA/LUGAR	DURACION DE VUELO	OBJETIVOS
SGOP.Carrillo E. Piloto Investigador 1 Investigador 2	15/02/2022 07:00 am Estación CIDFAE	Inicio:07:42:00 Fin:08:02:00 Total:0:20:00	Verificar el funcionamiento de los enlaces de telemetría y video. Comprobar el consumo energético video.

Elaborado por: Investigadores.

- Descripción

Para esta prueba el vuelo se desarrolla en los modos manual, Loiter, RTL y auto con un constante monitoreo a través del software Mission Planner. En el modo Auto se programan una misión con una velocidad de 15m/s, alcanzando una máxima distancia de 2 Km. De igual manera se establece el enlace para la transmisión de video y verificar la duración de la batería.

- Resumen del vuelo

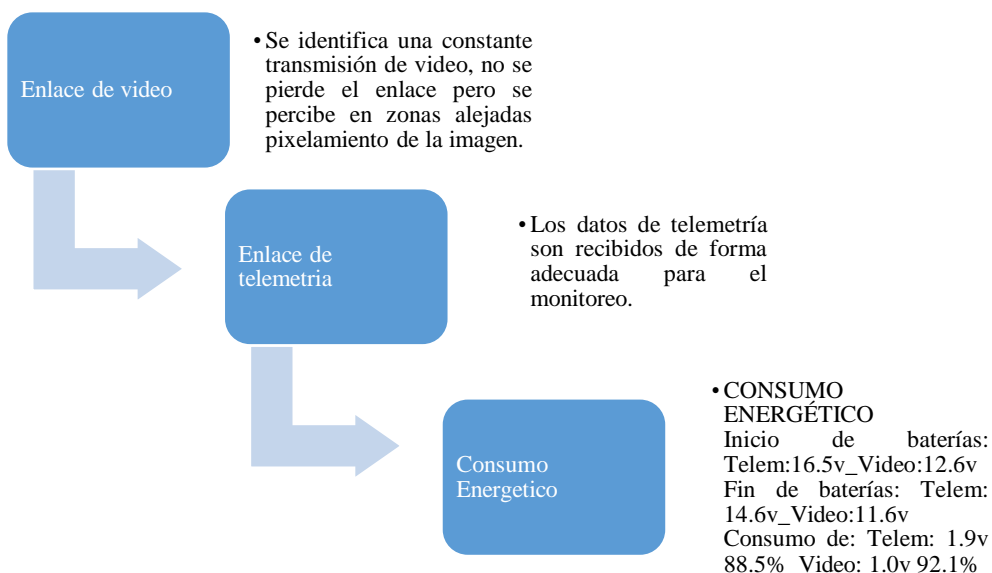
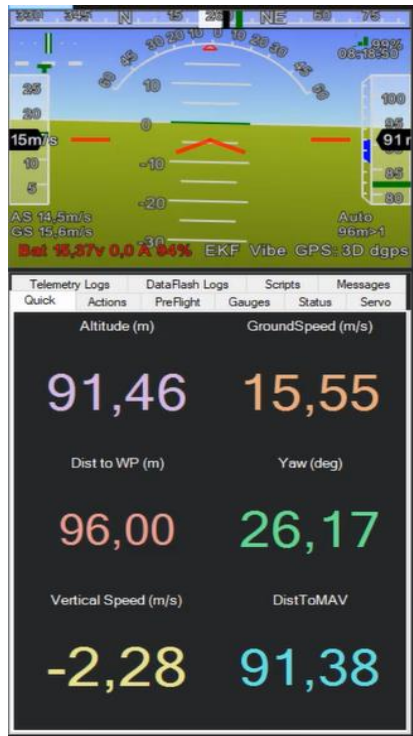


Ilustración 81 Resultados Generales prueba de vuelo 4.

Fuente: Investigadores.



a) Datos de Telemetría en Tiempo Real

b) Video Receptado en el centro de mando

Ilustración 82 Telemetría y video Prueba de vuelo 4.

Fuente: Investigadores.



Ilustración 83 Resumen de vuelo Prueba 4.

Fuente: Investigadores.

- Consumo Energético

Se analiza el consumo energético que posee los equipos de transmisión de video durante todo el vuelo a través de las variables de voltaje y de corriente descargados por hora (mAh). Se conoce por datos de fábrica de la batería que su tasa de descarga es de 5000mA en 1 hora. Se estima que para 20:00 minutos el consumo máximo sea de 1833mAh y un voltaje no menor al 80%.

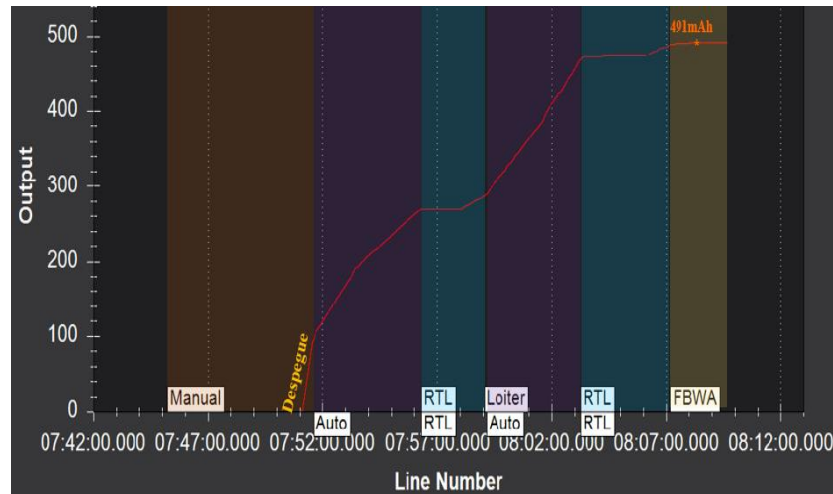


Ilustración 84 Consumo energético mAh vs Tiempo en Prueba 4.

En la gráfica de la Fig. 84 se verifica que la aeronave ha tenido un máximo consumo de 491mAh, siendo este un valor menor al esperado, esto se debe a que durante toda la misión programada esta posee una altura fija. Durante todo el intervalo del modo auto el consumo incrementa en una forma lineal.

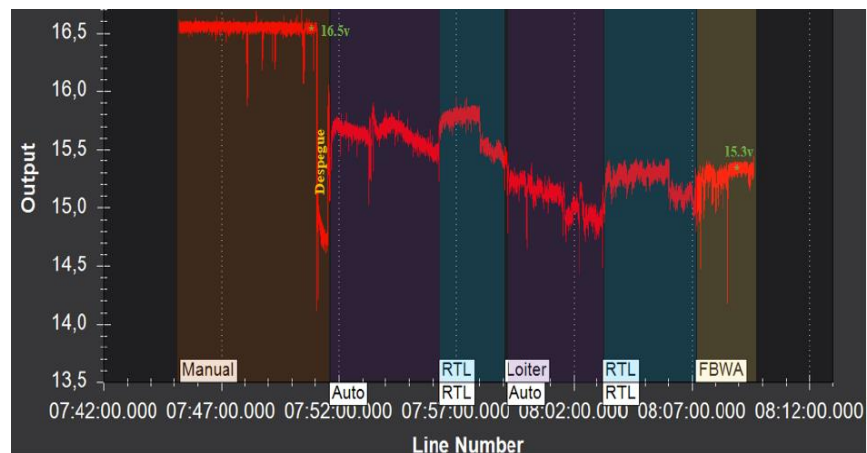


Ilustración 85 Descarga Voltaje vs Tiempo en Prueba 4.

En la figura 85 se visualiza la descarga de voltaje durante el vuelo. Donde se inicia con un voltaje de 16.5v y finaliza con un promedio de 14.6v lo que representa una descarga del 88.5%. Se visualiza que los picos bajos de la gráfica indican un consumo elevado con respecto a otros, en este caso dicho comportamiento sucede durante el despegue y ciertos puntos de modo manual. En el resto de la misión se observa una descarga estable.

Conclusiones

- El enlace de telemetría es el adecuado para misiones de largo alcance ya que en esta prueba a su máxima distancia el nivel de señal fue del 70% no se observaron pérdidas de información, gracias al mejoramiento de la posición de las antenas.
- En el enlace de video tenemos una transmisión muy buena alcanzó la distancia (1.74Km), sin embargo se verifica que sigue existiendo un pequeño pixelamiento.
- En el dimensionamiento de vuelo, consumo de 1833 mAh y voltaje no menor al 80% con el que fue seleccionada la batería, es el adecuado, ya que durante esta prueba de 22 minutos se consumió 491 mAh y un voltaje final de 88.5%.

Análisis de Niveles de Señal de Telemetría

El nivel de señal de telemetría se visualizó en la pantalla de monitoreo del centro del mando y control en forma de porcentaje, dato que permitió hacer un análisis en cada una de las pruebas.



Ilustración 86 Nivel de Señal Telemetría.

En la Tabla 25 se puede visualizar los niveles de señal en las pruebas realizadas a mayor distancia, en la prueba 1 se tuvo un decremento de señal en distancias mayores a los 3 km que fue por la mala ubicación de las antenas de recepción, mientras que en la prueba 2 se aprecia una excelente comunicación ya que solo en ciertas distancias se tuvo un porcentaje de señal menor al 90%.

Tabla 25 ANALISIS DATOS DE TELEMETRIA

Distancia	Porcentaje de señal	
	Prueba 3	Prueba 4
Home	99%	99%
100	99%	99%
500	94%	99%
1000	90%	98%
1500	70%	97%
2000	68%	95%
2500	65%	94%
3000	63%	93%
3500	60%	95%
4000	58%	98%
4500	50%	93%
5000	52%	94%
5500	49%	91%
6000	35%	96%
6500	33%	87%
7000	30%	86%
7500	28%	
8000	25%	
8500	25%	
9000	23%	

Elaborado por: Investigadores.

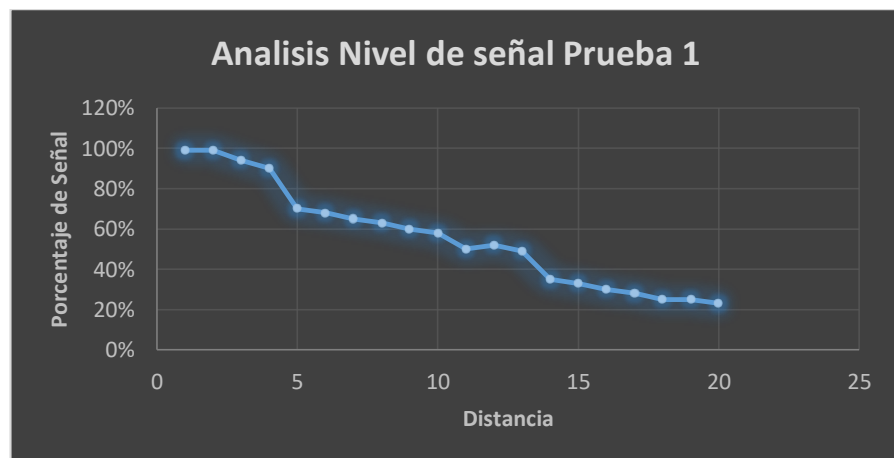


Ilustración 87 Distancia vs Porcentaje de señal Prueba 1.

Elaborado por: Investigadores.

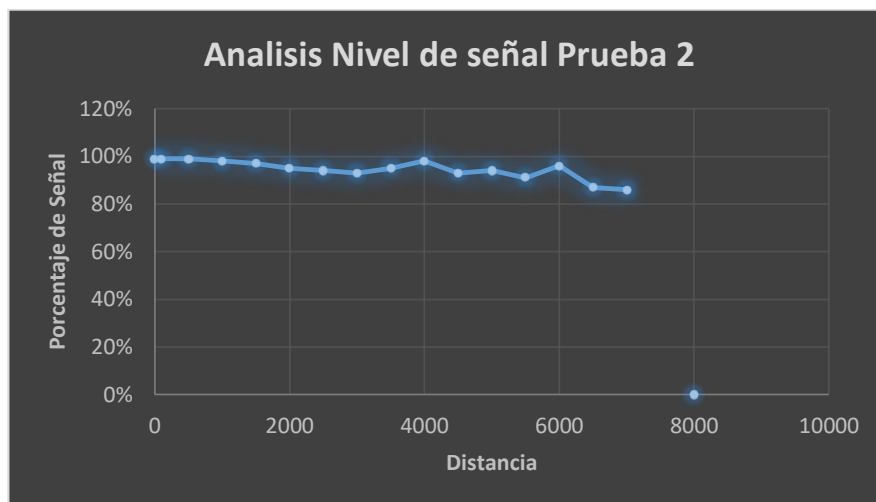


Ilustración 88 Distancia vs Porcentaje de señal Prueba 2.

Elaborado por: Investigadores.

En la tabla 26 para las pruebas 3 y 4 en donde se alcanzó una menor distancia de vuelo, se puede visualizar los niveles de señal son más eficientes, en la prueba 3 presenta pérdidas pequeñas de señal a en distancias mayores a 3 km, mientras que en la prueba 4 se aprecia una excelente comunicación ya que solo en ciertas distancias se tuvo un porcentaje de señal menor al 95%, teniendo así un sistema de transmisión de telemetría que trabaja efectivamente y que se puede aumentar la distancia de navegación de la aeronave.

Tabla 26 ANALISIS DATOS DE TELEMETRIA

Distancia	Porcentaje de señal	
	Prueba 3	Prueba 4
Home	99%	99%
100	99%	98%
500	98%	99%
1000	93%	98%
1500	87%	97%
2000	85%	95%
2500	82%	
3000	78%	
3500	74%	
4000	71%	

Elaborado por: Investigadores.

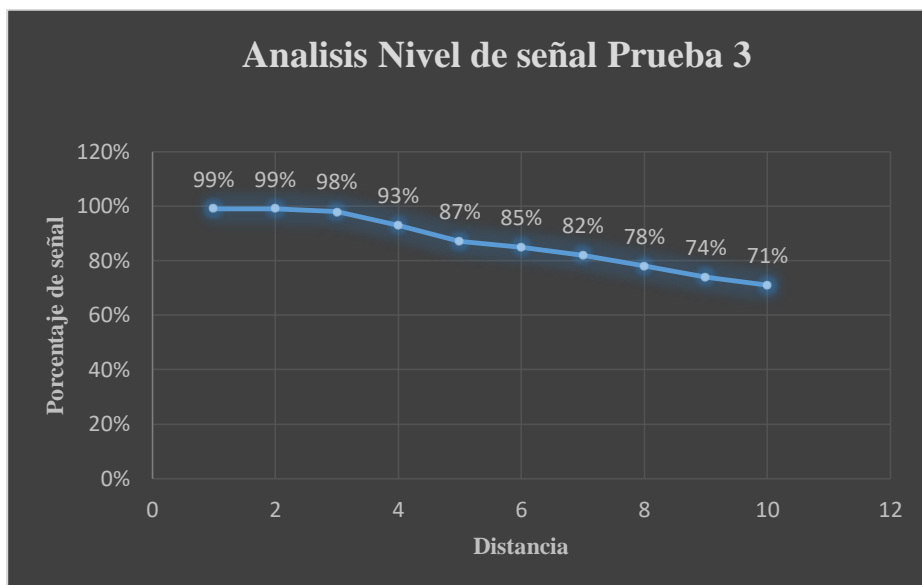


Ilustración 89 Distancia vs Porcentaje de señal Prueba 3.

Elaborado por: Investigadores.

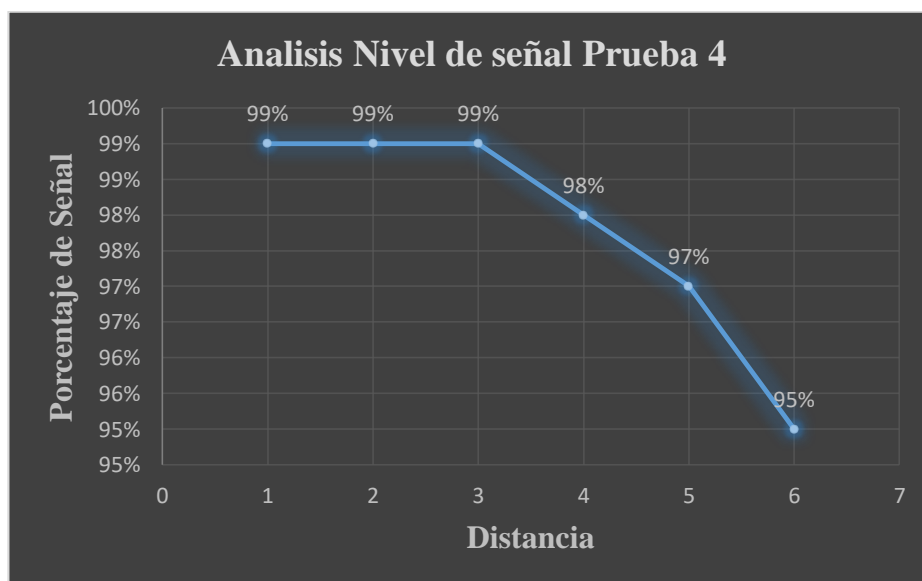


Ilustración 90 Distancia vs Porcentaje de señal Prueba 4.









Elaborado por: Investigadores.


Análisis de Niveles de Señal de Video

En el centro de mando y control se monitorizo el video transmitido por la aeronave durante la misión en distintas distancias observando la calidad de imagen.

Para este análisis se tiene 2 diferentes tablas con el fin de comparar los niveles de señal de video y calidad de imagen a ciertas distancias.

Tabla 27 ANALISIS DATOS DE VIDEO PRUEBA 1 Y 2

DISTANCIA	CALIDAD DE IMAGEN	
	Prueba 1	Prueba 2
Home		
100		
500		
1000		









2000		
3000		
4000		
5000		
6000		

6500		
7000		
7500		

Elaborado por: Investigadores.

En la tabla 27 se aprecia que se tiene muy calidad de transmisión de video hasta cierta distancia de la base, por la correcta ubicación de las antenas de recepción del equipo de video en el centro de mando y control, tomando en cuenta que mientras la aeronave se encuentre a una altura menor con respecto al suelo se tiene mejor comunicación en el enlace de video, en la prueba 1 el alcance fue de 7,5 km a una altura de 300m mientras que en la prueba 2 fue de 6 km debido a que la prueba se realizó a mayor altura que fue 450m por lo que se perdió comunicación.

Tabla 28 ANALISIS DATOS DE VIDEO PRUEBA 3 Y 4

DISTANCIA	CALIDAD DE IMAGEN	
	Prueba 3	Prueba 4
Home		
100		
500		
1000		
2000		

3000		
4000		

Elaborado por: Investigadores.

En la tabla 28 se aprecia que se tiene muy calidad de transmisión de video en las 2 pruebas de vuelo hasta cierta distancia de la base tomando en cuenta que mientras la aeronave se encuentre a una altura menor con respecto al suelo se tiene mejor comunicación en el enlace de video, para las dos pruebas se realizó a un altura de 100m, en la prueba 3 el alcance fue de 4 km mientras que en la prueba 4 fue de 2 km, teniendo niveles de SNR altos y no se tiene perdida de comunicación.

Análisis de Niveles de Señal SNR

En la tabla 29 se realizó a ciertas distancias la comparación de los niveles de señal de SNR en cada una de las pruebas, como se aprecia a una distancia menor la calidad de imagen captada es buena más en el caso de la prueba 1 ya que los niveles de señal de SNR son altos, en el caso de la prueba 2 los niveles de señal SNR son más bajos por lo que existen pequeños pixelamientos. A distancias mayores tenemos una trasmisión estable de video pero se puede percibir que la señal de SNR desciende en su valor y por tanto la calidad de

video, tanto que en la prueba 2 al llegar a los 6km se tiene una pérdida del enlace.

Tabla 29 ANÁLISIS DE NIVELES DE SEÑAL DE VIDEO PRUEBAS 1 Y 2.

NIVEL DE SEÑAL SNR		
Distancia	Prueba 1	Prueba 2
100	28	22
500	26	20
1000	25	18
2000	25	16
3000	22	16
4000	22	15
5000	18	13
6000	17	10
6500	15	
7000	14	
7500	11	

Elaborado por: Investigadores.

En la tabla 30 se realizó a ciertas distancias la comparación de los niveles de señal de SNR en cada una de las pruebas, como se aprecia a una distancia menor la calidad de imagen captada es buena más en el caso de las 2 pruebas los niveles de señal de SNR son altos teniendo así una transmisión estable de video.

Tabla 30 ANÁLISIS DE NIVELES DE SEÑAL DE VIDEO PRUEBAS 3 Y 4.

NIVEL DE SEÑAL SNR		
Distancia	Prueba 3	Prueba 4
100	28	28
500	28	28
1000	28	28
2000	27	26
3000	26	
4000	25	

Elaborado por: Investigadores.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se analizó las características del control y monitoreo que existían en el CIDFAE, en el cual se pudo identificar que existía una gran limitante de un equipo especialmente para las misiones de vuelo es por ello que se optó en desarrollar del presente proyecto para mejorar las operaciones de vuelo, obteniendo un constante monitoreo de la aeronave así como una mayor cobertura, distancia a la cual se realizó las pruebas de vuelo.
- Para el centro de mando y control se realizó un estudio de los equipos. Un sistema de refrigeración que mantenga el equipo en una temperatura ideal; Un equipo de hardware y software para un procesamiento rápido de la información; Un sistema de alimentación para mayor horas de vuelo; Un sistema de comunicación de largo alcance, para lo cual se tomó en cuenta varios parámetros que se adapten al sistema de telemetría y video, y en base a este estudio se adquirió en el mercado los equipos y dispositivos para su implementación.
- Se construyó el centro de mando y control portátil en base a un material sumamente resistente para los aviones tácticos UAVs colibrí del CIDFAE, que permite conocer el estado de la aeronave en todo momento, una mejor visualización de los datos y video así como el incremento de cobertura de transrepción durante las misiones de vuelo, las mismas que gracias al estudio realizado de los equipos y dispositivos se pudieron adaptar al sistema de telemetría y video, en las pruebas de vuelo realizadas se pudo llegar hasta un alcance de un perímetro de los 9,87 km, con el cual se obtuvo un incremento de cobertura para las misiones en zonas fronterizas.

4.2. Recomendaciones

- Se debería de seguir realizando mejoras en el sistema de mando y control de los aviones tácticos UAV debido a que la misma posee una tecnología de última generación, como por ejemplo se podría analizar nuevos equipos que puedan acoplarse a este sistema y puedan cubrir aún más la cobertura y con una mejor resolución de imagen que con la que actualmente trabaja.
- Al momento de realizar las pruebas de vuelo se debe tomar muy en cuenta las condiciones climáticas al cual se van a exponer, debido a que si existe fuertes vientos estos podrían llegar a desestabilizar y llegar a destrozarse el avión táctico UAV, es recomendable realizar pruebas de vuelo con una programación la cual estabilice al prototipo cual este llegue a desestabilizarse.
- En el sistema de refrigeración implementado en el interior del sistema de mando y control es recomendable instalar una fuente de alimentación por cada actuador al cual se le pueda añadir, ya que si se instala o se alimenta al circuito principal el actuador al momento de accionar presentará variaciones de corriente para romper la inercia ocasionando así que la pantalla LCD tienda a reflejar caracteres erróneos por dicha acción. Este tipo de fuentes lo más recomendable se aconseja que sean de tipo LIPO ya que gracias a sus conexiones en serie se podría aumentar su voltaje y en paralelo obtener una mayor capacidad la cual serían mejor aprovechadas para los actuadores de este circuito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Y. E. Moscoso María Elena, «Sistema de telemetría y video vigilancia para el control y monitoreo de misiones a larga distancia para el Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE,» Enero 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30707>.
- [2] G. Santiago, «Integración y automatización de un sistema de seguimiento de un UAV para establecer un enlace de comunicación con una estación de monitoreo en tierra,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2018.
- [3] C. Fustillo, «Implementación de un sistema de control remoto automatizado de un UAV para aplicaciones de monitoreo de condiciones climáticas,» 2018. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19611/1/CD-9014.pdf>.
- [4] C. J. A. R. Trajano Esther, «Diseño de un centro de mando y control terrestre para UAVS utilizando técnicas AMFE,» *Dyna (Spain)*, vol. 94, pp. 252-256, 2018.
- [5] J. Z. H. Liu, «Un enfoque eficiente basado en imágenes ortográficas de UAV para mapear arrozales con apoyo de la altura del dosel a nivel de campo a partir de datos de nubes de puntos,» *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. vol. 11, nº no. 6, pp. págs.2034-2046, 2018.
- [6] O. D. A. C. INTERNACIONAL, «Sistemas de aeronaves no tripuladas,» 2011. [En línea]. Available: https://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328_es.pdf. [Último acceso: 12 10 2020].
- [7] J. F. Correa Jacome, «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,» Ambato, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica, 2012.

[8 J. P. Reyes Vásquez, «Proceso de ensamblaje de aviones no tripulados para el
1 Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE),»
Ambato, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas,
Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de
Automatización, 2015.

[9 C. Fernando y C. Cristian, «Repositorio ESPE,» [En línea]. Available:
1 [https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9303/2/T-ESPEL-ENI-0335-](https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9303/2/T-ESPEL-ENI-0335-P.pdf)
P.pdf. [Último acceso: 18 03 2019].

[1 C. R. Alexander Martinez, «Vehículos Aéreos No Tripulados para Uso Civil.
0] Tecnología y Aplicaciones,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2015.

[1 V. Santamarina, «Análisis de las aplicaciones y necesidades del uso de los RPAS
1] en las diferentes categorías del patrimonio cultural.,» Universidad Politécnica de
Valencia, Valencia, 2017.

[1 C. C. Fernando Chicaiza, Implementación de un sistema de piloto automático
2] basado en una plataforma FPGA para la navegación autónoma del vehículo aéreo
no tripulado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE –Extensión
Latacunga, Latacunga: ESPE - L , 2018.

[1 E. Y. María Elena Moscoso, «“SISTEMA DE TELEMETRÍA Y VIDEO
3] VIGILANCIA PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE MISIONES A
LARGA DISTANCIA PARA EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO DE LA FAE”,» UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO,
Ambato, 2020.

[1 G. Israel, «Estudio Sobre Vehículos Aéreos No Tripulados y sus Aplicaciones,»
4] 2017. [En línea]. Available: [https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/23021/1/TFG-](https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/23021/1/TFG-P-528.pdf)
P-528.pdf..

- [1 Jordi Bas, «Equipo Altran,» 12 04 2016. [En línea]. Available:
5] <https://equipo.altran.es/usos-aplicaciones-uav-drones-futuro/>. [Último acceso: 18
03 2019].
- [1 E. Jose, «Design of UAV (Diseño de un UAV),» 2016. [En línea]. Available:
6] <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/22577>.
- [1 J. D. C. P. G. R. S. M. Antonio Barrientos, «Vehículos aéreos no tripulados para
7] uso civil. Tecnología y aplicaciones,» [En línea]. Available:
https://www.researchgate.net/publication/266245324_Vehiculos_aereos_no_tripulados_para_uso_civil_Tecnologia_y_aplicaciones.
- [1 G. A. Addati y G. Pérez Lance, «Introducción a los UAV's, Drones o VANTs de
8] uso, Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina,»
Econstor, n° 551, 2014.
- [1 E. E. S. Cruz, «Propuesta de sistema multi-UAV para aplicaciones de cobertura
9] aérea,» 2017. [En línea]. Available:
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/456309/eesc1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [2 J. T. Angel Cornejo, «Diseño, construcción e implementación de un sistema de
0] telemetría utilizando tecnología GSM,» 2010. [En línea]. Available:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1114/23/UPS-CT001987.pdf>.
- [2 S. C. J. P. S. Kamesh Namuduri, « UAV Networks and Communications,» 2017.
1] [En línea]. Available:
https://www.researchgate.net/publication/321337605_UAV_Networks_and_Communications.
- [2 Hispanodrones, «Partes de un sistema aéreo no tripulado (UAS),» 11 Febrero
2] 2019. [En línea]. Available:
<https://www.hispadrones.com/principiantes/aprendizaje-consejos/partes-sistema-aereo-no-tripulado-uas/>.

- [2 D. UNMANNED AIRCRAFT UAVS DESIGN, «Reg Austin,» 2010. [En línea].
 3] Available: http://www.jar2.com/Files/Anonymous/Reg_Austin_-_Unmanned_Air_Systems_UAV_Design__Development_and_Deployment_-_2010.pdf.
- [2 P. d. s. m.-U. p. a. d. c. aérea, «Ernesto Emmauel Santana Cruz,» 16 06 2017. [En
 4] línea]. Available: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/456309/eesc1de1.pdf?sequence=1>.
- [2 C. I. Cayo Santiago, «ntegración y automatización de un sistema de seguimiento
 5] de un uav para establecer un enlace de comunicación con una estación de
 monitoreo en tierra,» 26 Septiembre 2018. [En línea]. Available:
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19755>.
- [2 K.-R. K. Sukhrob Atoev, «Data Analysis of the MAVLink Communication,»
 6] *Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)*,
 vol. 1, pp. 1-3, 2017.
- [2 A. S. S. B. N Butcher, «Securing the MAVLink Communication Protocol for
 7] Unmanned Aircraft Systems,» 2014.
- [2 X. X. Q. Z. Zongtong Luo, «Autopilot System of Remotely Operated Vehicle
 8] Based on Ardupilot,» *Springer*, vol. 11742, pp. 206-217, 02 August 2019.
- [2 M. Microservices. [En línea]. Available: <https://mavlink.io/en/services/>.
 9]
- [3 F. A. R. M. Giovanni Tipantuña, «Intelligent Flight in Indoor Drones,» *istributed
 0] Computing and Artificial Intelligence, 15th International Conference*, vol. 15, pp.
 247-254, 2019.
- [3 Ardupilot, «Flight Modes,» [En línea]. Available:
 1] <https://ardupilot.org/plane/index.html>.
- [3 C. S. d. E. d. I. D. Nacional, «Documentos de Seguridad y Defensa,» España, 2012.
 2]

- [3 V. K. Sarche Felipe, «Diseño y construcción de un prototipo de tricóptero controlado de forma mediante radiofrecuencia,» 08 Enero 2013. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5530>.
- [3 M. Planner. [En línea]. Available: <https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html>.
- [3 Q. U. Guide. [En línea]. Available: <https://docs.qgroundcontrol.com/en/>.
- [3 D. G. Station. [En línea]. Available: <https://www.dji.com/pc-ground-station>.
- [3 UGCS. [En línea]. Available: <https://www.ugcs.com/>.
- [3 R. A. Herrera, «Sistemas de teledetección activos y pasivos embarcados en sistemas aéreos no tripulados para la monitorización de la tierra,» Marzo 2011. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/94385/TRAH1de1.pdf>.
- [3 D. R. MARTÍNEZ, COMUNICACIONES INALÁMBRICAS. UN ENFOQUE APLICADO,, RA-MA EDITORIAL: RA-MA EDITORIAL, 2004.
- [4 I. O. Marianetti, SEPTIEMBRE 2007. [En línea]. Available: <http://www.um.edu.ar/es/imagenes-contenido/UM-MTI-InzirilloR.pdf>.
- [4 M. U. e. S. A. P. d. f. Remota, «Aerocamaras colabora con el Máster especializado en RPAS/Drones de la Universidad de Huelva,» *Universidad de Huelva y Aerocamaras.*, 2020.
- [4 E. Villanueva, «Tecnología de las baterías,» [En línea]. Available: <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/PresentacionBaterias.pdf>.
- [4 F. A. Chicaiza Claudio y C. P. Chuchico Arcos, «Implementación de un sistema de piloto automático basado en una plataforma FPGA para la navegación autónoma del vehículo aéreo no tripulado de la Universidad de las Fuerzas

- Armadas ESPE,» 01 2015. [En línea]. Available:
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9303>.
- [4 M. Vergara, «Universidad Técnica Federico Santa María – Departamento de
4] Electrónica, Tecnología de Baterías,» [En línea]. Available:
<http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/InformeBaterias.pdf>.
- [4 A. Romero, «UNIVERSIDAD DE SEVILLA, Baterías para Almacenamiento de
5] Energía,» [En línea]. Available:
bibing.us.es/proyectos/abreproy/70692/fichero/10+Baterias+para+Almacenamiento+de+Energía.pdf.
- [4 J. A. G.-C. BUENO, «Guía de mantenimiento y reparación de drones,» 25 01
6] 2018. [En línea].
- [4 PCE, «Sensores de temperatura,» [En línea]. Available: <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/sensores-temperatura.htm>.
- [4 SCR, «TIPOS DE SENSORES DE TEMPERATURA,» [En línea]. Available:
8] <https://srcsl.com/tipos-sensores-temperatura/>.
- [4 Arduino. [En línea]. Available: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>.
9]
- [5 Arduino. [En línea]. Available:
0] https://www.ingmecafenix.com/electronica/arduino/#google_vignette.
- [5 M. M. Gema Sanchez, «Vehículos aéreos no tripulados en Latinoamérica,» Mayo
1] 2013. [En línea]. Available: https://www.infodefensa.com/wp-content/uploads/Vehiculos_aereos_no_tripulados_en_Latam.pdf. [Último acceso:
12 10 2020].
- [5 Omega, «Termopar,» [En línea]. Available:
2] <https://es.omega.com/prodinfo/termopares.html>.

ANEXOS

Anexo 1: Entrevista al personal Técnico – Militar

Entrevista realizada al personal técnico militar del CIDFAE

1. ¿Por qué es importante para ustedes el desarrollo de proyectos en los UAV?

Para obtener la información que emiten los sensores colocados en una plataforma aérea y poder realizar vigilancia y reconocimiento, en un rango estratégico es decir cubriendo un área de hasta 15 Km, y poder identificar un sector enemigo, así como también mejorar el tiempo de monitoreo durante el vuelo de la aeronave.

2. ¿Actualmente cómo se realiza el control y monitoreo en los UAVs?

Con una Laptop Dell I Core 5, tarjeta de video Envidia 2GB, 8 RAM, con restricción en procesamiento de imágenes, utilizado para realizar la misión por medio del Software ArduPilot.

3. ¿Cuál es la principal necesidad o limitación en el desarrollo tecnológico de los UAV?

Solventar la necesidad de realizar vigilancia y reconocimiento del espacio aéreo, en un área estratégica (15 Km aproximadamente), y tenemos limitación el procesamiento de imágenes debido a la PC que al momento cuenta el CIDFAE.

4. ¿Cuál es el inconveniente por el cual no han podido solventar dichas necesidades o limitaciones en el centro?

Por limitaciones y recortes presupuestarios, por la economía del

país.

5. ¿Con que tipos de UAV cuenta el centro actualmente?

UAV Táctico Colibrí de ala fija con un alcance línea de vista de 4 km en recepción de video, y 6 km teórico en recepción de datos, aproximadamente.

6. ¿Con cuantas versiones operativas de UAVs Colibrí cuenta el centro?

Al momento 01 versión

7. ¿Cuáles son las características de los UAVs Colibrí?

Alcance datos: 5 km teórico, 4 km práctico datos

Alcance de video: 4 km teórico, 3 km prácticos video

Tipo de Ala: Fija

Autonomía: 20 mins a 25 mins

8. ¿Con el sistema de transmisión de datos que cuentan actualmente, que tipos de datos reciben?

Información de datos a través de sensores por el Piloto Automático a través de telemetría.

Información de video a través de un enlace de datos.

9. ¿Cuál es la distancia que creen sea la adecuada para que un UAV cuente con su propósito?

8 km video

15 km datos

10. ¿Cuál es el beneficio que se busca obtener con un centro de mando y control portátil?

Procesamiento de información en tierra que permita identificar posibles pistas clandestinas por parte del UAV Colibrí.

11. ¿Tomando en cuenta la topografía del Ecuador y condiciones climáticas se puede volar a grandes distancias?

Con vuelo autónomo se puede llegar a grandes distancias ya que es controlado a través de un piloto automático, sin embargo, no se puede visualizar en tiempo real las imágenes que recepta debido a que al momento no se tiene un equipo de transmisión de video de largo alcance.

Anexo 2: Planos de Diseño del Centro de Mando y Control

Diseño Base

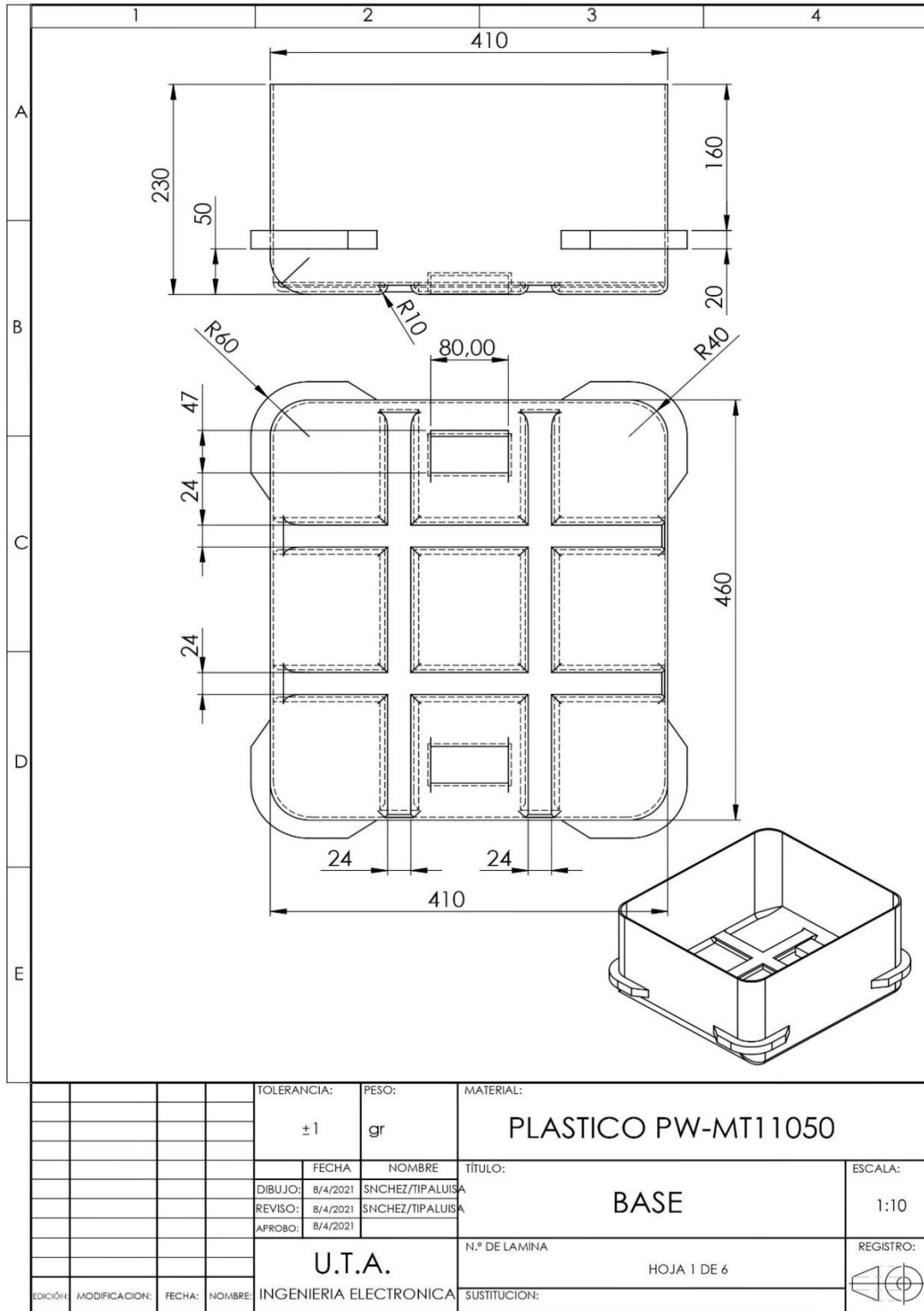


Ilustración 91 Plano diseño Base.

Diseño Tapa Superior

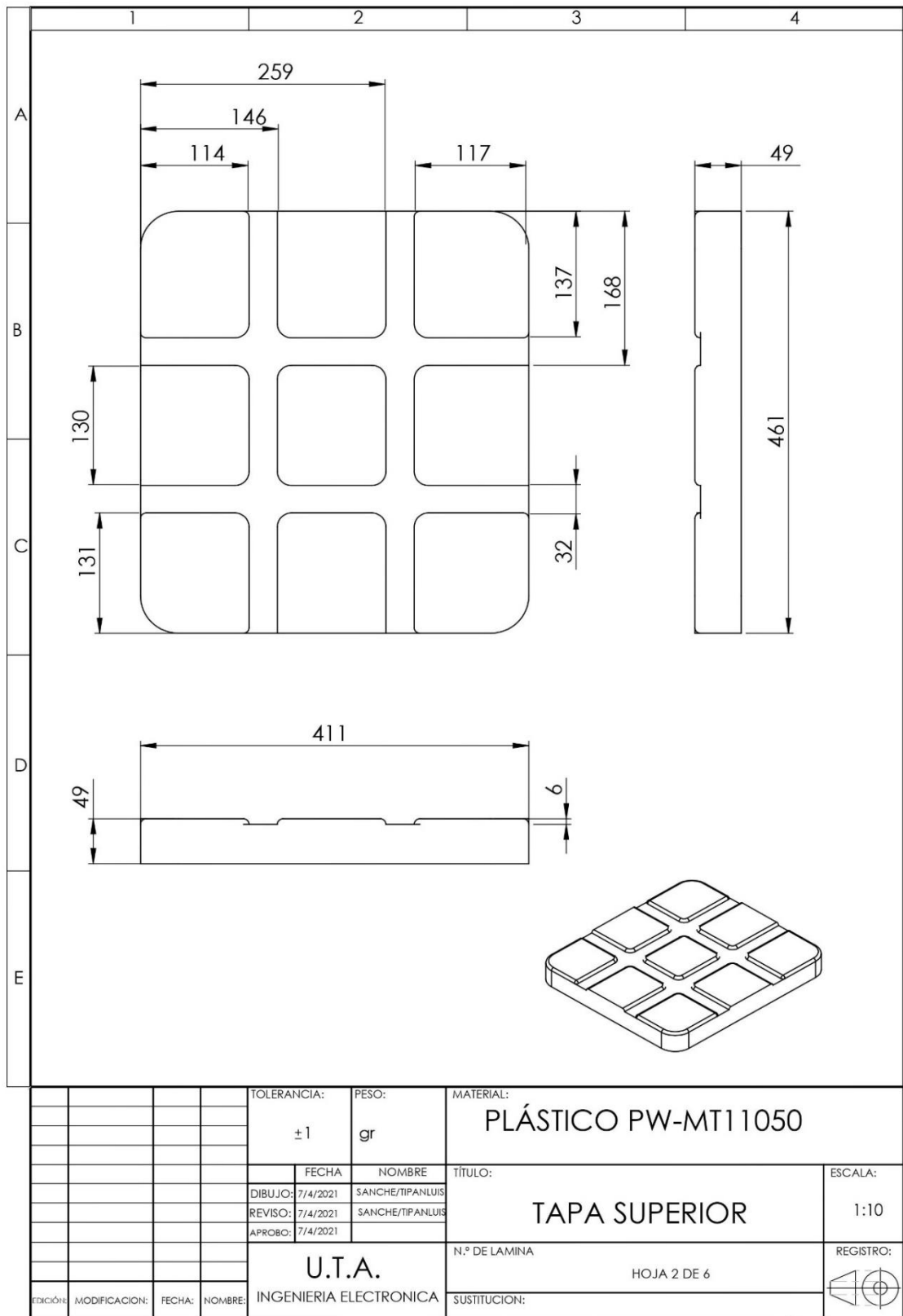
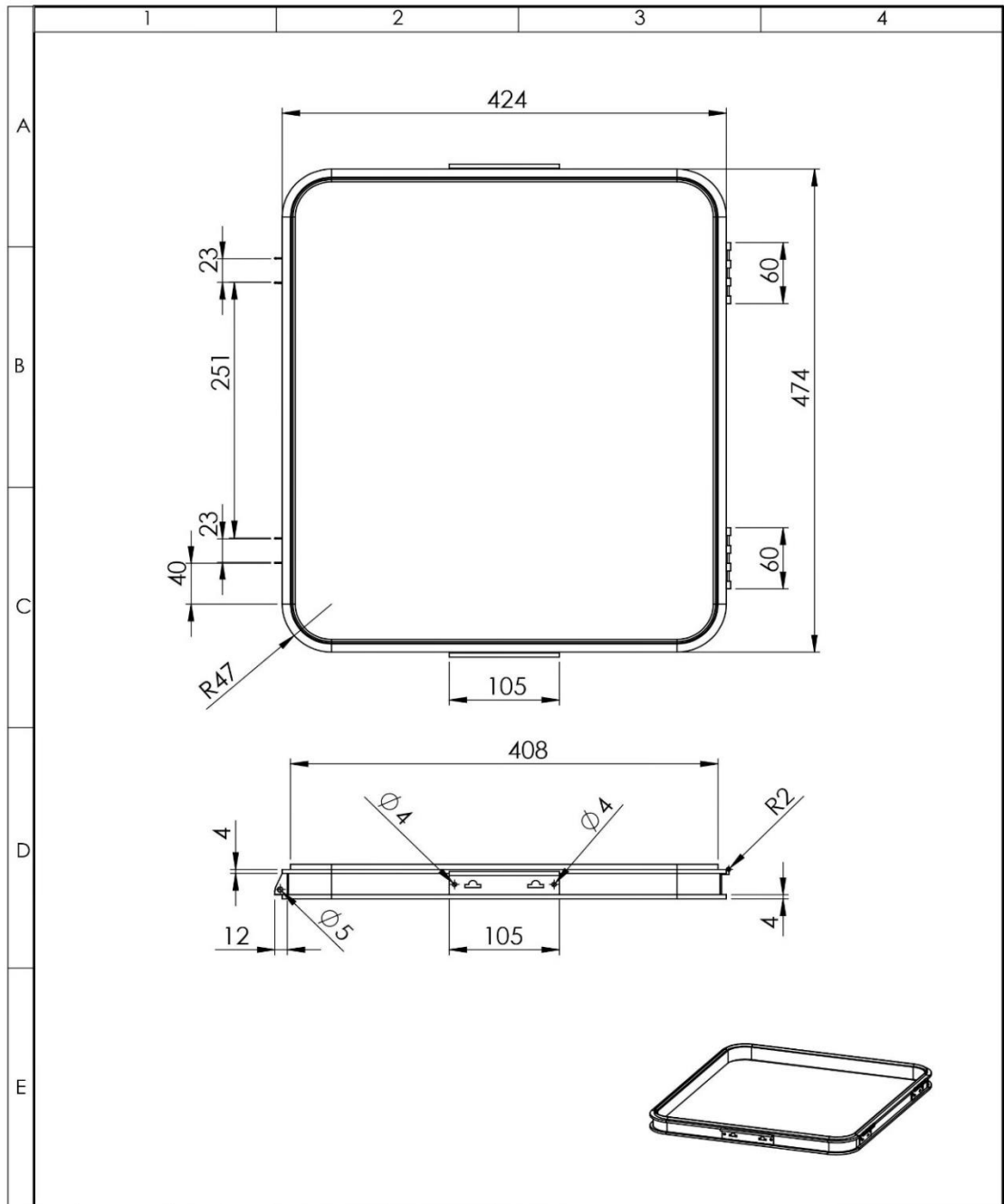


Ilustración 92 Plano diseño Tapa superior.

Diseño Cuadro de Aluminio Base



TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
± 1		gr		ALUMINIO	
FECHA:		NOMBRE:		TÍTULO:	
DIBUJO: 8/4/2021		SANCHE/TIPALUISA		CUADRO DE ALUMINIO	
REVISO: 8/4/2021		SANCHE/TIPALUISA		ESCALA: 1:10	
APROBO: 8/4/2021				REGISTRO:	
U.T.A.		N.º DE LAMINA		HOJA 3 DE 6	
INGENIERIA ELECTRONICA		SUSTITUCION:			
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:		

Ilustración 93 Plano diseño Cuadro de aluminio Base.

Diseño Cuadro de Aluminio Tapa

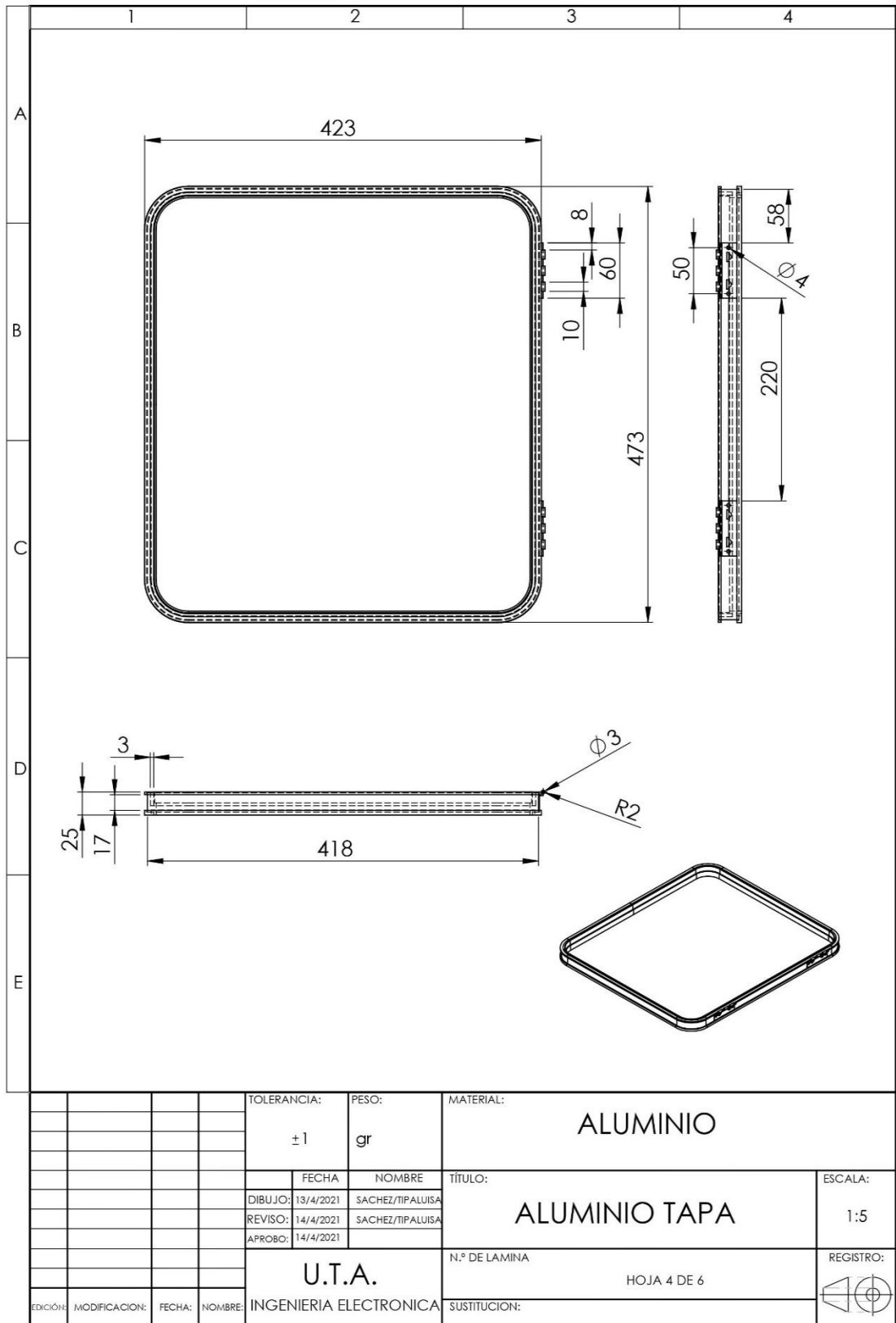


Ilustración 94 Plano diseño Cuadro de aluminio Tapa.

Diseño Chapa

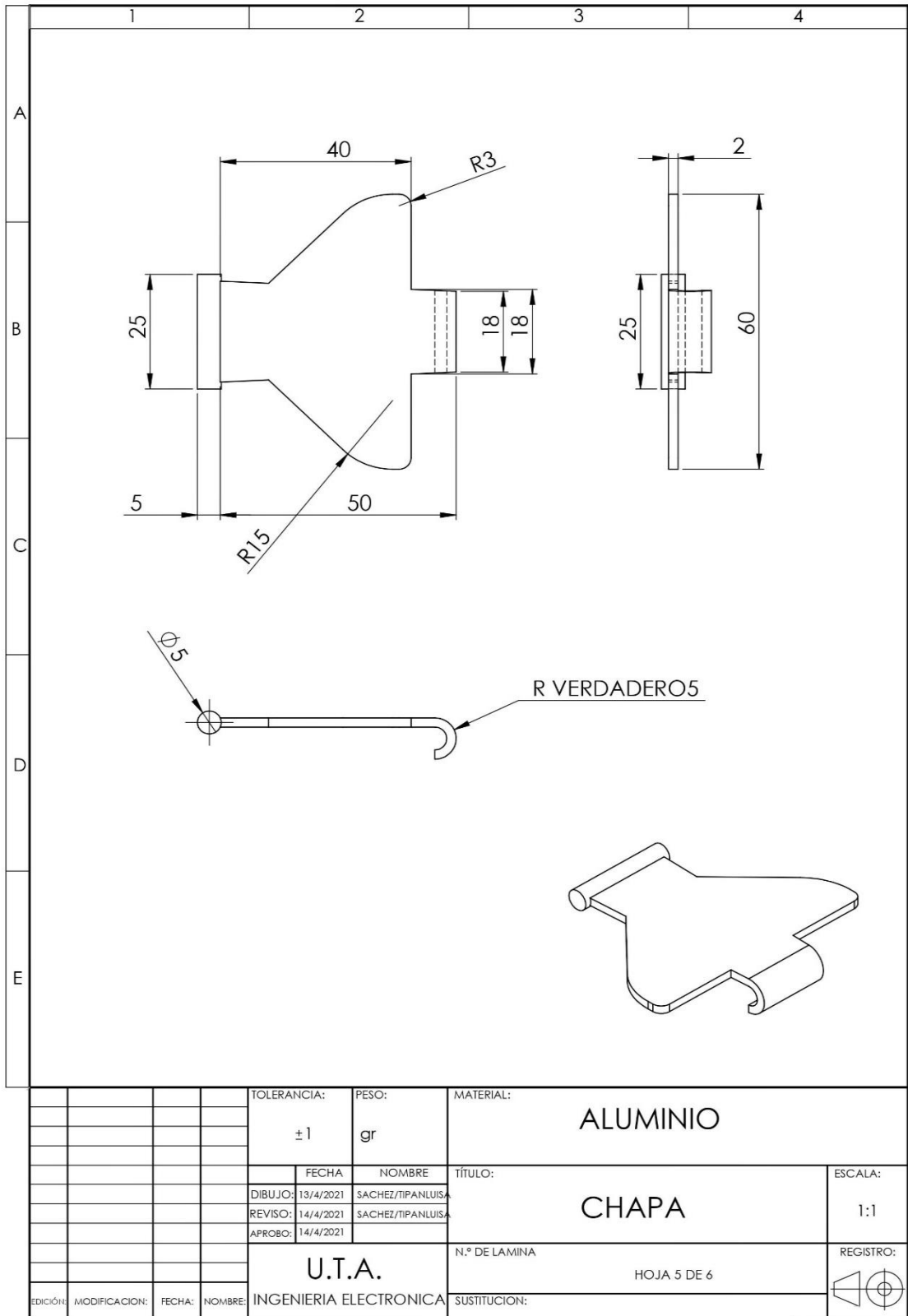
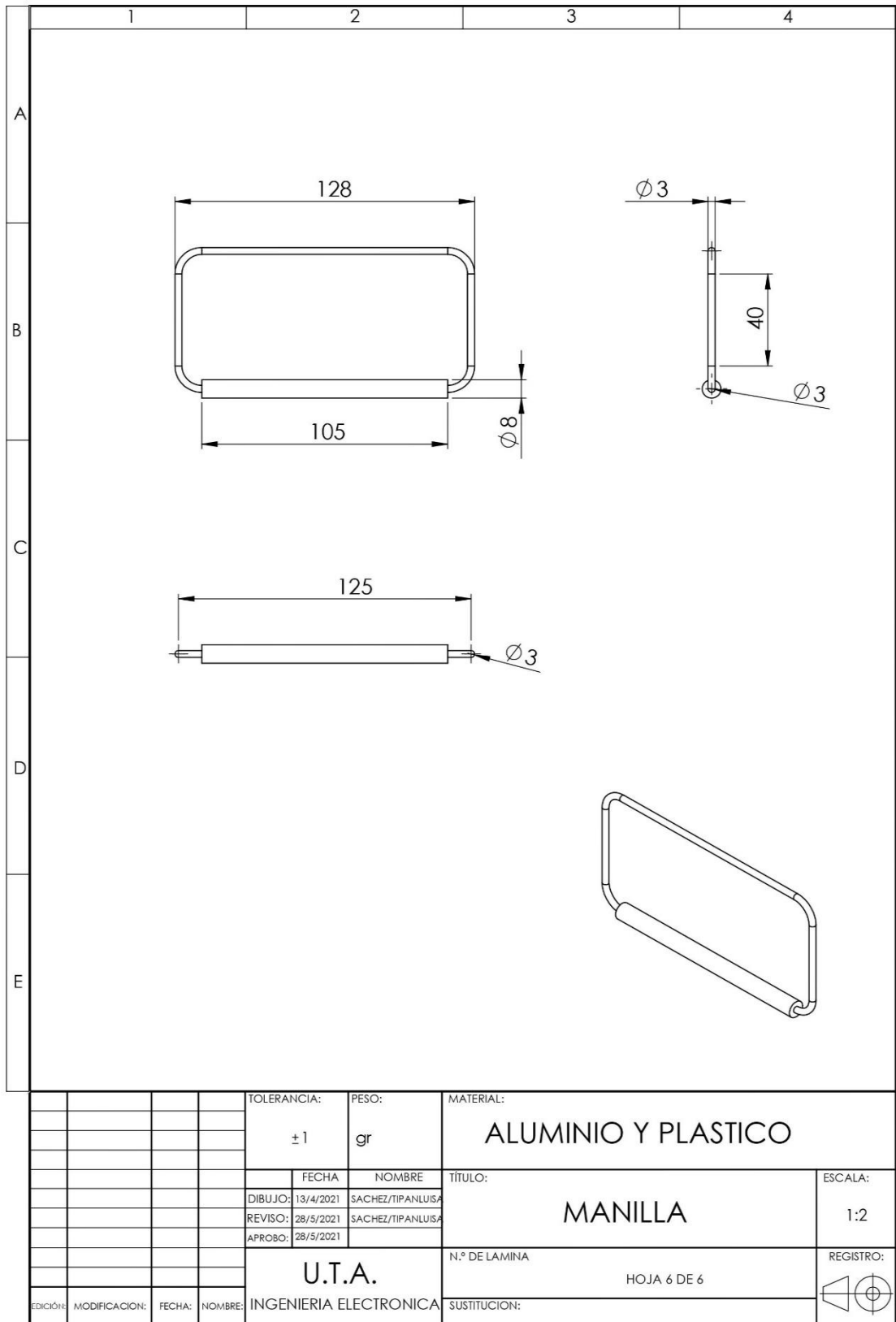


Ilustración 95 Plano diseño Chapa.

Diseño Manilla



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±1	gr	ALUMINIO Y PLASTICO	
				FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 13/4/2021	SACHEZ/TIPANLUISA	MANILLA	1:2
				REVISO: 28/5/2021	SACHEZ/TIPANLUISA		
				APROBO: 28/5/2021			
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
				INGENIERIA ELECTRONICA		HOJA 6 DE 6	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			

Ilustración 96 Plano diseño Manilla.

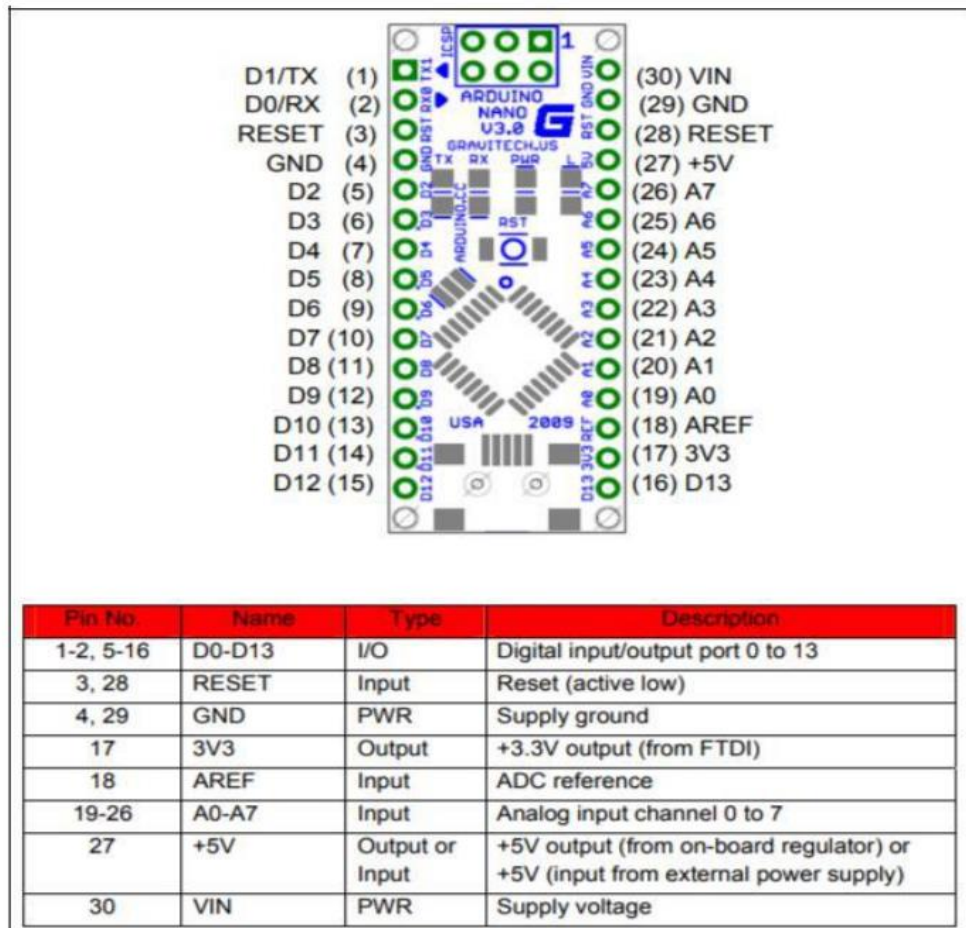
Anexo 3: Programación del sistema de refrigeración en Arduino

```
#include "LiquidCrystal.h"
#include "max6675.h"
// CONFIGURACION DE LOS PINES UTILIZADOS PARA LA
COMUNICACIÓN
#define CONFIG_TCGND_PIN    8 // ALIMENTACION GND
#define CONFIG_TCVCC_PIN    9 // ALIMENTACION VCC
#define CONFIG_TCCK_PIN    10 // SPI SCK
#define CONFIG_TCCS_PIN    11 // SPI CS
#define CONFIG_TCDO_PIN    12 // SPI MISO
// CONFIGURACION DE LOS PINES PARA LA COMUNICACION CON LA
PANTALLA
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
// OBJETO UTILIZADO PARA LA COMUNICACION CON EL MAX6675
thermocouple(CONFIG_TCCK_PIN, CONFIG_TCCS_PIN,
CONFIG_TCDO_PIN);
void setup() {
    pinMode(8, OUTPUT);
    pinMode(9, OUTPUT);
    //PINES DE ARDUINO PARA ALIMENTAR EL MODULO MAX6675
    pinMode(CONFIG_TCVCC_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(CONFIG_TCVCC_PIN, HIGH);
    pinMode(CONFIG_TCGND_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(CONFIG_TCGND_PIN, LOW);
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.clear();
    lcd.print(F(" CONTROL "));
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(F(" TEMPERATURA "));
    delay(1000);
}
void loop() {
    // LEER EL TERMOPAR Y ALMACENAR EL VALOR EN UNA VARIABLE
    double t = thermocouple.readCelsius();
    // CONTROL DE TEMPERATURA
    if (t >= 35){
        digitalWrite(8,HIGH);
        digitalWrite(9,HIGH);
    }else{
        digitalWrite(8,LOW);
        digitalWrite(9,LOW);
    }
    // LIMPIAMOS LA PANTALLA Y LUEGO IMPRIMIMOS LA TEMPERATURA
    lcd.clear();
    lcd.print(F(" TEMPERATURA"));
    lcd.setCursor(3, 1);
    lcd.print(t);
    delay(1000);
}
```

Anexo 4: Datasheets

Especificaciones técnicas de la placa arduino nano

RS		Technical Specification		A ₈	
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"				



Sistema de transmisión de video HD de largo alcance Herelink 2.4GHz

Product Overview

Advantages

- Digital Image Transmission Remote Controller integrated: Data Link, Remote Control Link, Video Link integrated all-in-one
- The Remote Controller is equipped with a High-Definition screen, which is easy to use and highly integrated.
- HD video, low latency, long distance: video transmission can reach 1080p@60fps
- Data delay <110ms, transmission distance 20KM (ground-to-air, no occlusion without interference)
- Dual image input, Real-Time switching: Dual HDMI video input, users can switch video source through Remote Controller (display one video source at the same time)
- Open system, customizable development: The Remote Controller has built-in Android system, which will provide API for users to develop and use, and get the most out of the system.

Features

- Supports dual HDMI 1080P 60fps video input, which can be modified through the QGC interface.
- Dual S.bus signal output for simultaneous control of autopilot and pan/tilt cameras.
- The integrated digital transmission and image transmission can simultaneously transmit the flight data of the autopilot and the image output by the camera to the remote controller.
- Built-in QGC open source ground station with adaptable apm and px4 firmware for direct flight function.
- Independent Mavlink commands camera buttons and scroll wheel channels.
- Custom channel button and PWM value assignment.

Hardware Parameter

Technical specifications

Air Unit and Controller hardware information:

- Processor: SoC – Pinecone S1 AP: 4 x large core, Cortex A53, 2.2GHz 4 x small core, Cortex A53, 1.4GHz GPU: 4 core, Mali-
- T860 SDR: A7 + DSP Storage: Sky: LPDDR3: 1GB Ground: LPDDR3: 2GB Sky / Ground: EMMC: 4GB
- Transmission Distance: FCC 20km CE / SRRC 12km Image transmission delay: ≤ 110ms Image transmission: 720p@30fps 1080p@30 / 60fps transmission
- Frequency Band: 2.4GHz ISM Receive sensitivity: -99dBm@20MHz BW Interference recovery: < 1s

Air Unit:

- Appearance: core board + video daughter board + structure of RF daughter board
- Among them, the video daughter board completes the input bridge function of the

HDMI signal.

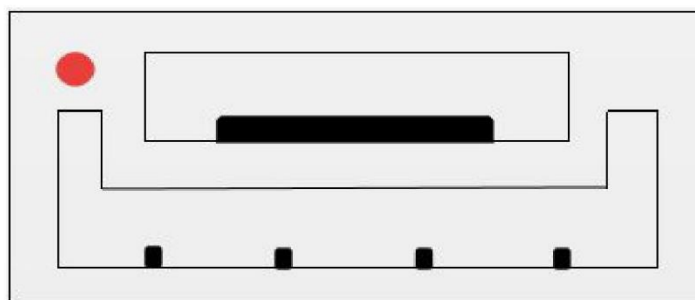
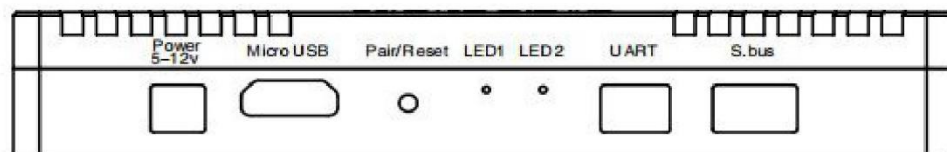
- The RF daughter board completes the function of transmitting and receiving signals
- M2 (E) connector connection between daughter board and core
- Size: 78.5x30x13mm
- Micro HDMI x 2: Input for external camera video signals
- 2 Pin interface x 1: 5V-12V power input interface
- 3 Pin interface x 1: 3.3V / 5V level UART interface
- 4 Pin interface x 1 : Two 3.3V level RC output connectors (S.bus in phase, S.bus inverting or PPM signal output, ground terminal control)
- Micro USB x 1: for debugging upgrades, support OTG mode
- Keyhole x 1: for frequency and status reset
- Indicator x 2: used to indicate the frequency and picture status
- MMCX antenna jack x 2: used for signal transmission and ground communication
- Signal bandwidth: 20MHz / 10MHz
- Power consumption: the average power consumption of the single-sided module is less than 4W

Controller:

- Housing: plastic
- Dimensions: 217 × 106.5 × 31mm (the whole machine does not contain external antenna and rocker)
- Screen: 5.46 inch, 1080P, 16 million colors, capacitive touch screen
- Audio: Built-in speaker × 1, built-in microphone × 2
- Remote control: rocker × 2, scroll wheel × 1, bottom button × 6, with backlight, top button × 1 (right)
- Communication : BT / WIFI / GPS 2.4G map transmission ground
- Indicator light: Top tri-color lamp × 2 (left, right)
- Interface: MicroUSB×1, TFlash×1 (supports maximum 64G expansion)
- Antenna: Orientation (5dBi) × 1 detachable, omnidirectional (2dBi) × 1 detachable
- Built-in wifi antenna, built-in GPS antenna, external GPS antenna interface
- Power : Built-in 4950 mAh Lipo Battery
- Charging : Support micro USB port 5v 2A current charging
- Power consumption: The average power consumption does not exceed 4W (only picture transmission work, medium screen brightness, WiFi off, GPS off)

Interface definition

Air Unit:



Red is Pin1

UART:

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

S.bus out :

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

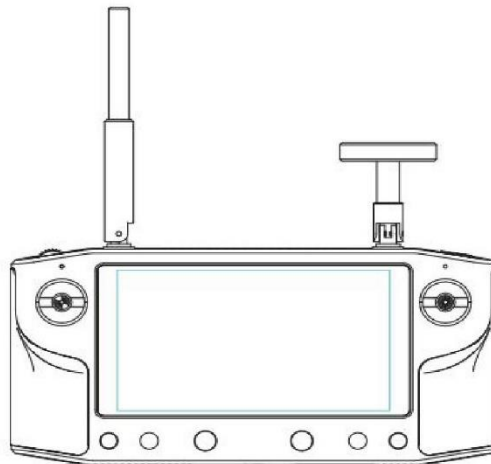
PWR :

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

Product Size

Air Unit: 78.5 x 30 x 15mm

Controller: 217 x 106.5 x 31mm



Product Accessories

1. HereLink Air Unit*1
2. HereLink Controller*1
3. Air Unit antenna*2
4. Controller directional antenna*1
5. controller omni-directional antenna*1
6. HDMI cable*1
7. Power cord*1
8. Telem*1
9. S.bus*1
10. USB*1
11. Back board

Kit de Telemetría RDF900x

Performance	
Supported RF Data Rates	4, 8, 16, 19, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192 and 250
Indoor Range	500m – 1km
Line-Of-Sight Range	40km or more depending on antennas
Transmit Power	0 to 30dBm in 1dBm steps
Receiver Sensitivity	>121dBm at low data rates, >TBA at high data rates
Low Noise Amplifier	>20dB

Features	
Serial Data Interface	+3.3V nominal, 5V tolerant
Configuration Method	AT Commands, APM Planner, Customised Configuration Tool
Frequency Band	902MHz - 928MHz
Interference Immunity	FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)
Serial Interface Data Rate	2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 baud
Antenna Options	Yagi, ½ Wave Dipole, ¼ Wave Monopole Antenna
GPIO	6 pins (Digital, ADC, PWM capable)
Compliance Standards	FCC Part 15.247, AS/NZS 4268:2008

Networking and Security	
Addressing Options	Network ID: 0 –499
Channels	Up to 50 Frequency Hopping Channels
Supported Network Topologies	Point to point, Multipoint ¹

¹ Only available in firmware version 2.x and later

Power Requirements	
Supply Voltage	+5V nominal (+4V min, +5.5V max),
Transmit Current	~1 A peak at max power
Receive Current	~60mA

3. Power Levels

Many countries have different legal power levels. Be sure to operate within the legal power limits of the country that you are operating in. The RFD900 modem can support the power levels between 0dBm and 30dBm in 1dBm steps. Formula (1) can be used to convert the power in dBm into milliwatts.

$$P_{mW} = 10^{(P_{dBm}/10)} \quad (1)$$

To calculate Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) you can use the equation (2) below:

$$EIRP(dBm) = Transmit\ power\ (dBm) - Cable\ loss(dB) + Antenna\ Gain\ (dBi) \quad (2)$$

The FCC limit for EIRP is 4 Watts, or 36dBm for frequency hopping radios in the ISM 900 MHz band. The Australian EIRP limit is 30dBm as defined by ACMA.

7.2. Types of Antennas

Below are some examples of antennas that can be used with the RFD900 modems.

- **Yagi Antenna**



Figure 7.1: 900MHz 6dBi Yagi Antenna

Yagi antennas are recommended for Ground-Station applications due to their size. They have approximately 6dBi gain and give significant link budget improvement when compared to standard dipole, or monopole antennas.

- **Quarter Wave Monopole Antenna**



Figure 7.2: 900MHz Quarter Wave Monopole Antenna

Quarter Wave Monopole Antennas are recommended for air-borne, or space constrained applications. They are required to be mounted on a ground plane of approx 20cm diameter or more to operate as intended. Using an RF extension cable with an RPSMA bulkhead connector will give good mounting options.

- **Half Wave Dipole Antenna**



Figure 7.3: 900MHz Half Wave Dipole Antenna

The half wave Dipole antenna has approx 3dBi gain with an omnidirectional radiation pattern. It is suited for ground station, or large airborne applications.

Anexo 5: Instalación de Software

Mission Planner

1.- Ingresar en la página del software: <https://ardupilot.org/planner/index.html> donde se visualizara el contenido, escoger la opción Installing Mission Planner, como se muestra en la figura.

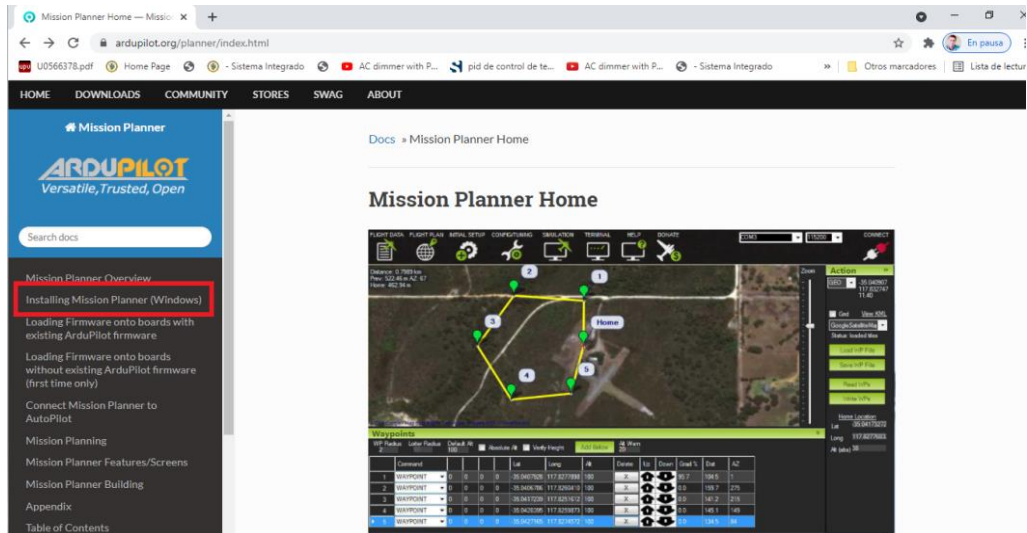


Ilustración 97 Página Mission Planner.

2.- Seleccionar el link de descarga dentro de la página, y esperar que el archivo se descargue en el computador.

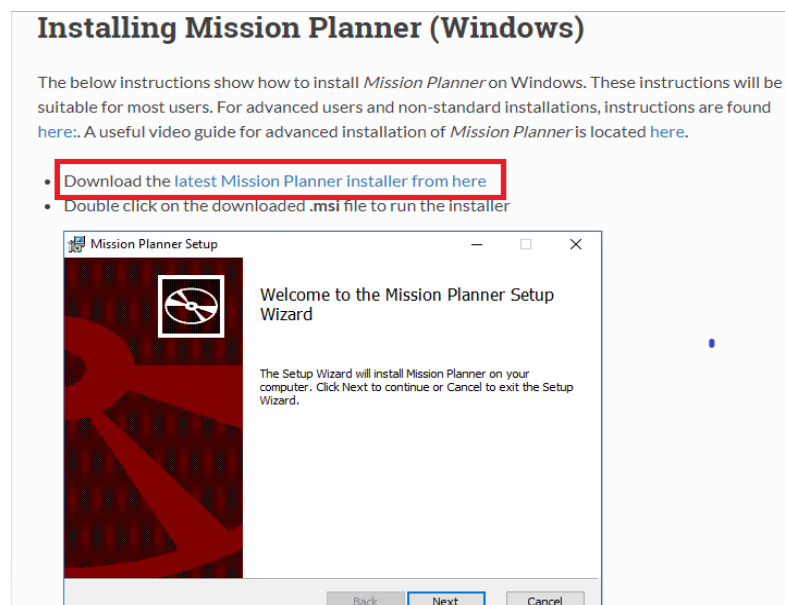


Ilustración 98 Link de descarga de Mission Planner.

3) Luego abrimos el archivo descargado, ejecutar el programa y presionar next en el botón de la figura.

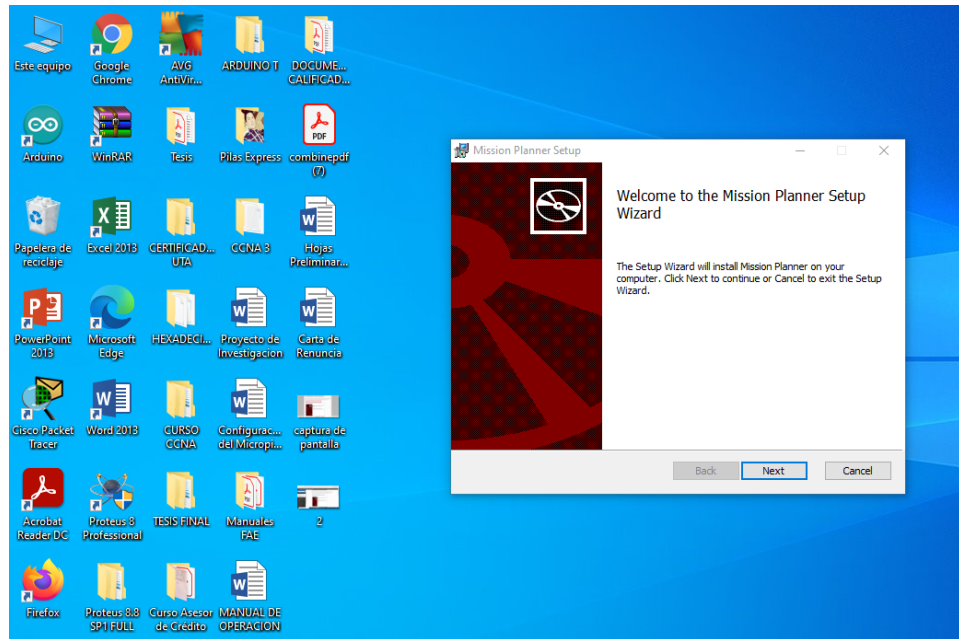


Ilustración 99 Inicio de instalación del software.

4) Luego seguir el proceso de instalación del programa como podemos observar.

- Aceptar los términos y condiciones del programa y seleccionar Next.

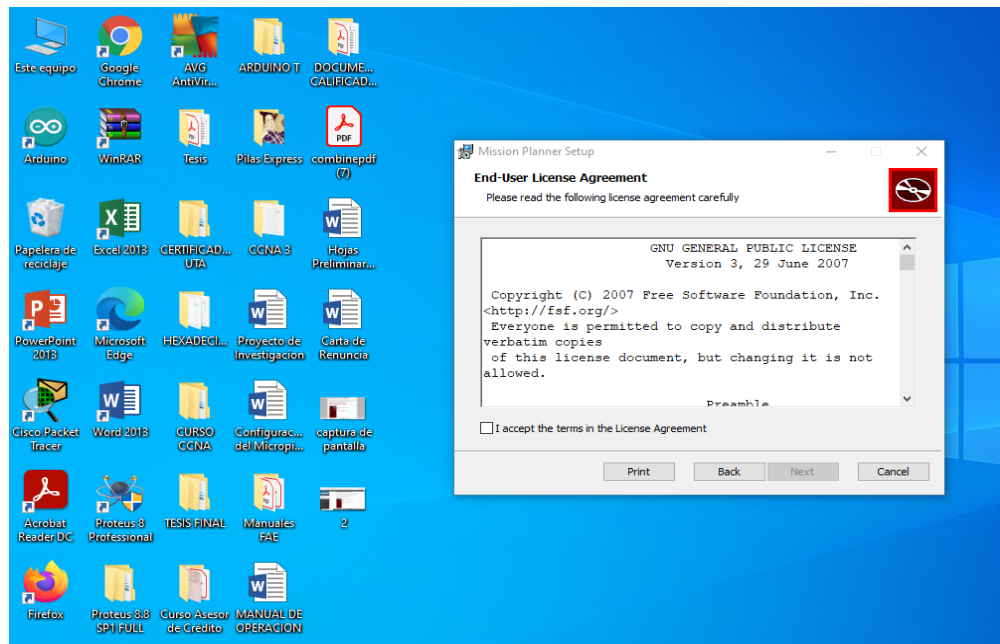


Ilustración 100 Selección de términos y condiciones del programa.

- Escoger la dirección del archivo de instalación.

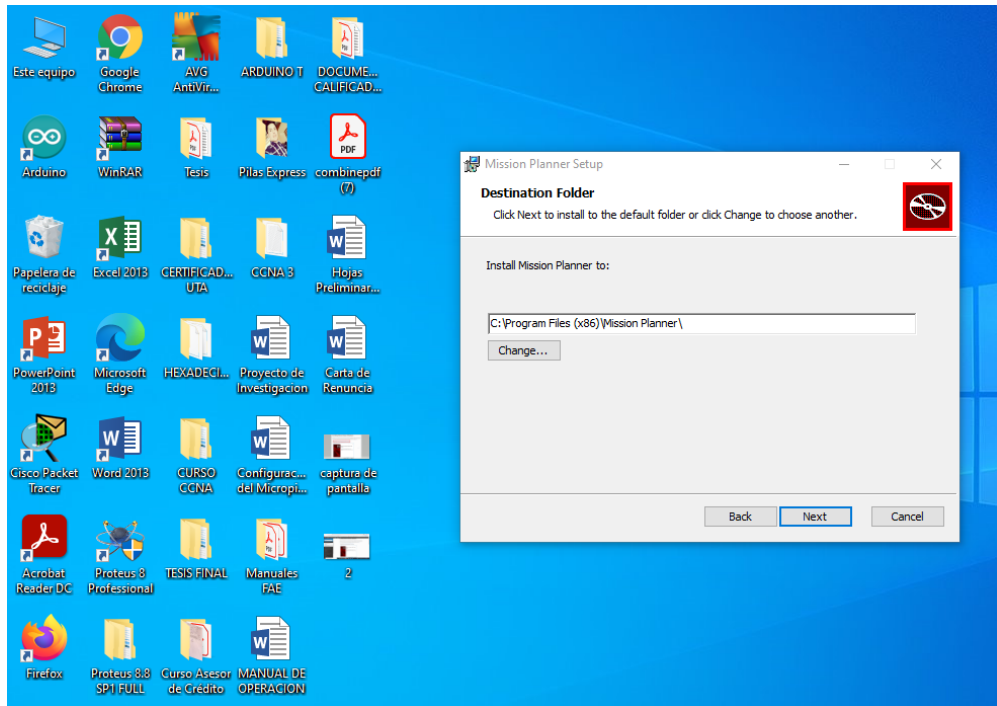


Ilustración 101 Escoger ubicación del software.

- Presionar en el botón Instalar.

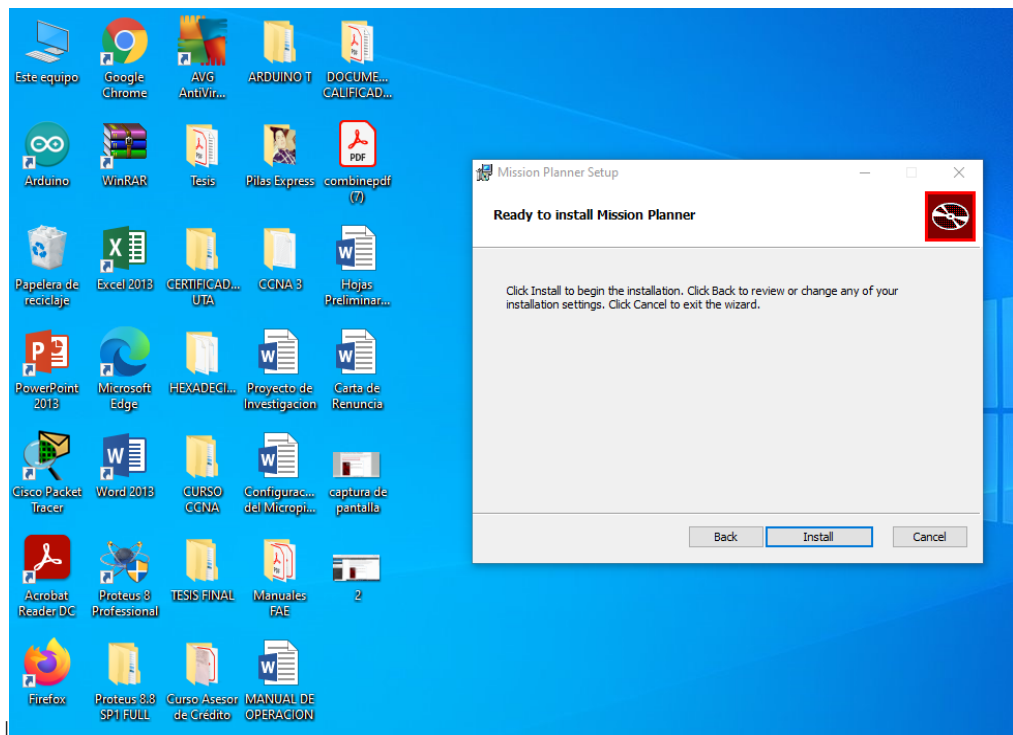


Ilustración 102 Presionar Instalar para iniciar el proceso.

5) Durante el proceso de instalación se mostrara lo drivers que necesita el programa, presionar en siguiente.

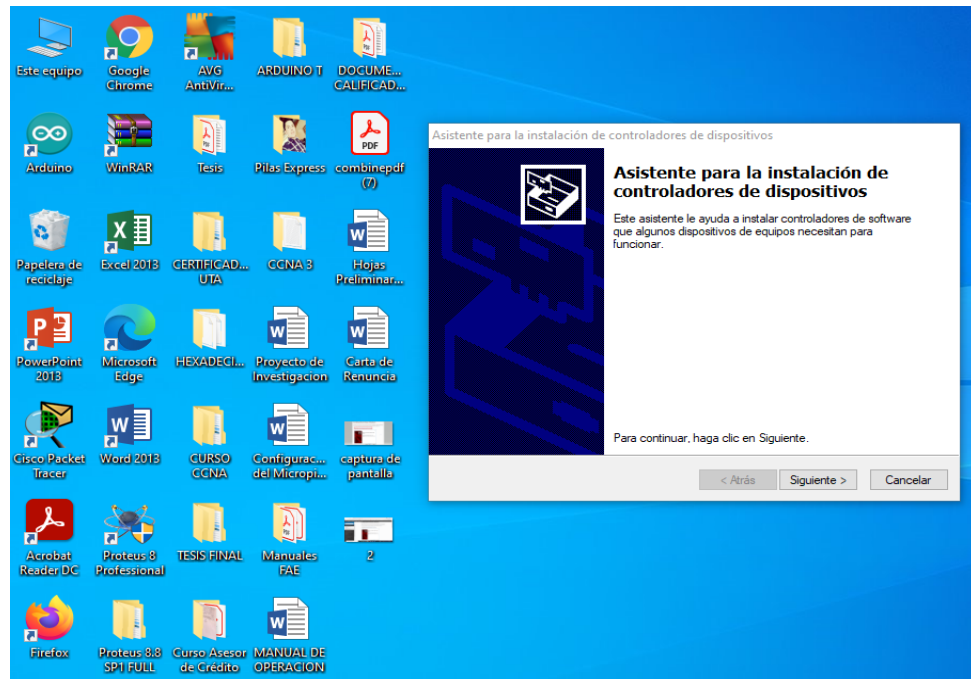


Ilustración 103 Instalación de los drivers del software.

6) Una que se haya concluido la instalación se puede ejecutar adecuadamente.



Ilustración 104 Ejecución del software Mission Planner

Anexo 6: Presupuesto

PRESUPUESTO DEL PROYECTO FINAL				
EQUIPOS, DISPOSITIVOS Y MATERIALES	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	Laptop DELL Inspiron G3 3500	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
	Pantalla LCD 16X2 HD44780	1	\$ 12,00	\$ 12,00
	Bateria HEXFLY 5000mAh	1	\$ 60,00	\$ 60,00
	Bateria Gens ACE 1550 mAh	1	\$ 30,00	\$ 30,00
	sensor termocupla tipo K	1	\$ 15,00	\$ 15,00
	Microcontrolador Arduino Nano ATmega320	1	\$ 20,00	\$ 20,00
	Ventilador Hathi 12v	1	\$ 12,00	\$ 12,00
	Kit de telemetría RFD900x	1	\$ 260,00	\$ 260,00
	Relé de señal multiple DO4	1	\$ 800,00	\$ 800,00
	Transmisor de video Herelink	1	\$ 950,00	\$ 950,00
	Circuito de refrigeración	1	\$ 50,00	\$ 50,00
	Plancha acrílico color negro	1	\$ 32,00	\$ 32,00
	Cortes a laser e impresiones en 3D	1	\$ 70,00	\$ 70,00
	Platinas y angulos de acero	1	\$ 40,00	\$ 40,00
	MAX6675	1	\$ 15,00	\$ 15,00
	Extensor HDMI	1	\$ 21,50	\$ 21,50
	Extensor USB	1	\$ 13,50	\$ 13,50

Diseño interior	1	\$	35,00	\$	35,00
Interruptores	4	\$	0,50	\$	2,00
Cooler ventilador SY-C5	1	\$	25,00	\$	25,00
SUB TOTAL 1				\$	3.963,00

ARTÍCULOS DE OFICINA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	Internet	500	horas	\$ 0,50	\$ 250,00
	Transporte	40	unidad	\$ 2,50	\$ 100,00
				SUB TOTAL 2	\$ 350,00
				SUB TOTAL 1	\$ 3.963,00
				SUB TOTAL	\$ 4.313,00
				IMPREVISTOS 10%	\$ 431,30
				TOTAL	\$ 4.744,30