



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Montaje del sistema de control de un drone, en base a las especificaciones técnicas del cuadricóptero T4, para la Carrera de Mecánica Aeronáutica de la Unidad de Gestión de Tecnologías–ESPE

Chiliquinga Eugenio, Alex David

Departamento de Ciencias Espaciales

Carrera de Mecánica Aeronáutica

Monografía previo a la obtención del título de Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica

Mención Aviones

Ing. Coello Tapia, Luis Ángel

21 de Julio del 2020



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“MONTAJE DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN DRONE, EN BASE A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CUADRICÓPTERO T4, PARA LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS - ESPE”** fue realizado por el señor **CHILQUINGA EUGENIO, ALEX DAVID** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 22 de Julio del 2020

Firma:

ING. COELLO TAPIA, LUIS ÁNGEL

C.C.: 0503128662

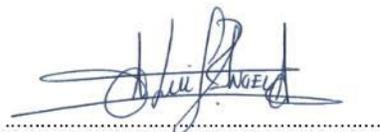


Document Information

Analyzed document ALEX DAVID CHILIQUEINGA EUGENIO...pdf (D77425414)
Submitted 8/3/2020 9:07:00 PM
Submitted by
Submitter email adchiliquina2@espe.edu.ec
Similarity 1%
Analysis address lacoello.espe@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / MOLINA CANDO ALEX FERNANDO.pdf Document MOLINA CANDO ALEX FERNANDO.pdf (D77425111) Submitted by: afmolina1@espe.edu.ec Receiver: lacoello.espe@analysis.orkund.com	 3
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / FAUSTO FERNANDO COLTA PACHITO.pdf Document FAUSTO FERNANDO COLTA PACHITO.pdf (D60302635) Submitted by: fernandc1994@gmail.com Receiver: maarellano3.espe@analysis.orkund.com	 1



Ing. Coello Tapia Luis Angel
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **CHILQUINGA EUGENIO, ALEX DAVID**, con cédula de ciudadanía n°1804909677, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **MONTAJE DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN DRONE, EN BASE A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CUADRICÓPTERO T4, PARA LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS – ESPE** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 22 de Julio del 2020

Firma:

CHILQUINGA EUGENIO, ALEX DAVID

C.C.: 1804909677



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **CHILQUINGA EUGENIO, ALEX DAVID**, con cédula/cédulas de ciudadanía n°1804909677, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **MONTAJE DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN DRONE, EN BASE A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CUADRICÓPTERO T4, PARA LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS – ESPE** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 22 de Julio del 2020

Firma:

CHILQUINGA EUGENIO, ALEX DAVID

C.C.: 1804909677

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios, por darme fortaleza para continuar en los momentos difíciles y permitirme llegar a este momento tan especial como es la culminación de mi carrera universitaria. A mi madre por brindarme su apoyo, por ser la persona que me ha ayudado a salir adelante en los días difíciles y la cual me acompañó en todo mi trayecto sin dejarme solo. A mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme y me ha ayudado a afrontar los retos que se me han presentado en el camino. A mis tíos por su apoyo incondicional, por demostrarme la gran fe que tienen en mí y la confianza brindada en todo este tiempo.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme estar junto a mi familia en todo este tiempo y darme fuerzas cada día para seguir adelante, gracias a mi familia por la confianza puesta en mí y apoyarme en cada decisión que tomaba, gracias a cada uno de mis maestros que fueron parte esencial en este proceso de formación, también agradezco a la vida por estar aquí presente junto a las personas que más quiero y que creyeron en mí.

Este es un momento muy especial, no ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a los aportes, cariño, apoyo y consejos brindados se logró cumplir una de las metas en mi vida. Gracias también a mi tutor quien fue la persona que invirtió su tiempo para echarle una mirada a mi proyecto de tesis y guiarme con su conocimiento en todo el trabajo para así realizarla de mejor manera.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	1
CERTIFICACIÓN	2
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA.....	4
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	15
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I.....	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.1 Antecedentes.....	18
1.2 Planteamiento del problema.....	19
1.3 Justificación e Importancia.....	20
1.4 Objetivos.....	21
1.4.1 Objetivo General.....	21
1.4.2 Objetivos Específicos	21
1.5 Alcance.....	22
CAPÍTULO II.....	23
MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Drones.....	23

	9
2.1.1 ¿Qué es un Drone?	23
2.1.2 Vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad	24
2.1.3 Partes básicas de un drone	26
2.1.4 Tipos de drones.....	33
2.1.5 Uso de drones	41
2.1.6 Característica de los cuadricópteros.....	46
2.1.7 Fuentes de energía del drone.....	48
2.1.8 Normativa de operación de drones en el Ecuador	51
2.2. Drone T4.....	53
2.2.1 Sistema estructural.....	54
2.2.2 Sistema de navegación del drone T4.....	55
2.2.3 Sistema de propulsión	56
2.3. Sistema de control y navegación de un drone.....	57
2.3.1. Controlador de vuelo Pixhawk	57
2.3.2. ESC.....	60
CAPÍTULO III	64
DESARROLLO DEL TEMA	64
3.1 Descripción general	64
3.2 Implementación del sistema de control	65
3.2.1 Estudio de alternativas	65
3.2.2 Matriz de decisión.....	70
3.2.3 Control de vuelo Pixhawk	71
3.3 Interacción de los sistemas del cuadricóptero	75
3.4 Proceso de ensamblaje.....	76
3.4.1 Configuración básica del sistema de control Pixhawk.....	76

	10
3.4.2 Montaje y cableado del sistema de control Pixhawk	88
3.5 Validación y análisis de resultados.....	95
3.5.1 Pruebas funcionales	95
3.5.2 Pruebas operacionales	96
CAPÍTULO IV.....	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
4.1 Conclusiones	103
4.2 Recomendaciones	104
GLOSARIO	105
ABREVIATURAS	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
ANEXOS.....	119
ANEXO A. Manual de Operación del Cuadricóptero T4	120
ANEXO B. Manual de Mantenimiento del Cuadricóptero T4	120
ANEXO C. Manual de Seguridad del Cuadricóptero T4	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Ejemplo de drones en el mercado.....</i>	23
Figura 2	<i>Vehículo aéreo no tripulado</i>	24
Figura 3	<i>Cuadricóptero</i>	25
Figura 4	<i>Fuselaje de un drone</i>	26
Figura 5	<i>Motores de un drone.....</i>	27
Figura 6	<i>Hélices de un drone</i>	27
Figura 7	<i>Batería de un drone</i>	28
Figura 8	<i>Cámaras utilizadas en drones.....</i>	29
Figura 9	<i>Tren de aterrizaje de un drone.....</i>	29
Figura 10	<i>Placa de control de un drone</i>	30
Figura 11	<i>Sensores de un drone.....</i>	31
Figura 12	<i>Transmisores y receptores de un drone.....</i>	32
Figura 13	<i>Control de tierra de un drone</i>	33
Figura 14	<i>Drones militares.....</i>	34
Figura 15	<i>Drones de uso civil.....</i>	35
Figura 16	<i>Drones de ala fija.....</i>	36
Figura 17	<i>Drones de ala rotatoria.....</i>	37
Figura 18	<i>Tripcóptero.....</i>	38
Figura 19	<i>Cuadricóptero</i>	38
Figura 20	<i>Hexacóptero</i>	39
Figura 21	<i>Octocoptero</i>	40
Figura 22	<i>Drones en eventos.....</i>	42
Figura 23	<i>Drone-suministro de emergencia</i>	43

		12
Figura 24	<i>Drones de búsqueda</i>	43
Figura 25	<i>Drones en zonas agrícolas</i>	44
Figura 26	<i>Drones en zonas geológicas</i>	45
Figura 27	<i>Drones para juego</i>	45
Figura 28	<i>Partes de los drones</i>	46
Figura 29	<i>Batería de Ni-Ca</i>	48
Figura 30	<i>Batería de Ni-Mh</i>	49
Figura 31	<i>Batería de ion litio</i>	50
Figura 32	<i>Baterías de Li-Po</i>	50
Figura 33	<i>Regulaciones de operación civil</i>	51
Figura 34	<i>Cuadricoptero T4</i>	53
Figura 35	<i>Sistema estructural del dron</i>	55
Figura 36	<i>Sistema de navegación del dron</i>	56
Figura 37	<i>Sistema de propulsión de un dron</i>	57
Figura 38	<i>Controlador de vuelo pixhawk</i>	60
Figura 39	<i>Controlador de velocidad</i>	61
Figura 40	<i>Controlador de velocidad Air 20</i>	62
Figura 41	<i>Sistema de control de vuelo</i>	65
Figura 42	<i>Controlador SF Racing F3</i>	67
Figura 43	<i>Controlador DJI</i>	68
Figura 44	<i>Controlador Pixhawk</i>	70
Figura 45	<i>Partes de Pixhawk</i>	71
Figura 46	<i>Partes de Pixhawk</i>	73
Figura 47	<i>Partes de Pixhawk</i>	73
Figura 48	<i>Interacción de los sistemas</i>	75

		13
Figura 49	<i>Configuración del fuselaje</i>	77
Figura 50	<i>Establecer orientación</i>	78
Figura 51	<i>Seleccionar orientación</i>	79
Figura 52	<i>Calibración de la brújula</i>	80
Figura 53	<i>Calibración de la posición</i>	81
Figura 54	<i>Calibración del giroscopio</i>	82
Figura 55	<i>Empieza la calibración</i>	82
Figura 56	<i>Calibración completa</i>	83
Figura 57	<i>Calibración del acelerómetro</i>	84
Figura 58	<i>Calibración de orientación</i>	84
Figura 59	<i>Calibración de nivel de horizonte</i>	85
Figura 60	<i>Configuración del radio control</i>	86
Figura 61	<i>Elección del transmisor</i>	87
Figura 62	<i>Conexión de Pixhawk</i>	88
Figura 63	<i>Montaje de Pixhawk</i>	89
Figura 64	<i>Interruptor de seguridad y timbre</i>	90
Figura 65	<i>Conexión de GPS</i>	91
Figura 66	<i>Conexión de poder</i>	92
Figura 67	<i>Conexión de radio control</i>	93
Figura 68	<i>Conexión de receptores a tierra</i>	93
Figura 69	<i>Conexión del radio de telemetría</i>	94
Figura 70	<i>Pruebas funcionales</i>	95
Figura 71	<i>Prueba funcional</i>	96
Figura 72	<i>Primera prueba de vuelo</i>	98
Figura 73	<i>Primera prueba de vuelo</i>	98

	14
Figura 74 <i>Segunda prueba de vuelo</i>	100
Figura 75 <i>Segunda prueba de vuelo</i>	100
Figura 76 <i>Vuelo controlado del cuadricóptero</i>	101
Figura 77 <i>Vuelo controlado</i>	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Características Air20a</i>	62
Tabla 2	<i>Especificaciones técnicas Air20a</i>	63
Tabla 3	<i>Criterios de evaluación</i>	70
Tabla 4	<i>Pruebas funcionales</i>	96
Tabla 5	<i>Primera prueba del funcionamiento del drone</i>	97
Tabla 6	<i>Segunda prueba del funcionamiento del drone</i>	99
Tabla 7	<i>Análisis de los elementos, pruebas del drone</i>	100

RESUMEN

Un cuadricóptero es un vehículo controlado desde tierra o a su vez autónomamente. Con el paso del tiempo y el avance tecnológico se ha incrementado distintos sistemas de control para el manejo de drones. Al existir una variedad de controladores para vehículos aéreos no tripulados, se ha visto la necesidad de implementar el sistema de control de vuelo Pixhawk, Para así brindar un control preciso y seguro del cuadricóptero cuando se encuentre en vuelo. Por ese motivo se ha incorporado el sistema de control en el cuadricóptero "T4", con el cual brinda una buena maniobra y la ubicación en tiempo real en la que se encuentra el dron. Con este proyecto, los docentes y estudiantes de la carrera de mecánica aeronáutica de la Unidad de Gestión de Tecnologías tendrán facilidad de maniobrar el dron desde el momento que el vehículo entre en funcionamiento y se encuentre en vuelo, también, gracias al radio control que se encuentra en tierra le permite ordenar nuevas rutas o planes de vuelo a la aeronave que se encuentra en movimiento. Por lo tanto, se logra implementar un cuadricóptero y con ello un avance significativo en los distintos equipos que se encuentra en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

PALABRAS CLAVE:

- **CONTROL DE VUELO**
- **PIXHAWK**
- **DRONE**

ABSTRACT

The present research focus in a quadricopter it is a vehicle controlled from the ground or autonomously. With the passing of time and technological advances, different control systems for handling drones have increased. With the existence of a variety of controllers for unmanned aerial vehicles, it has been necessary to implement the Pixhawk flight control system, in order to provide precise and safe control of the quadricopter when it is in flight. For this reason, the control system has been incorporated into the quadricopter "T4", which provides good maneuvering and real time location of the drone. With this project, teachers and students of the Aeronautical Mechanics Career of the Unidad de Gestión de Tecnologías will have an easy maneuvering of the drone from the moment the vehicle starts working and is in flight, also, thanks to the radio control that is on the ground allows it to order new routes or flight plans to the aircraft that is in movement. Therefore, it is possible to implement a quadricopter and thus a significant advance in the various teams that are in the facilities of the Universidad de las Fuerzas armadas ESPE.

KEY WORDS:

- FLIGHT CONTROL
- PIXHAWK
- DRONE

CHECKED BY: _____

LIC. MARIA ELISA COQUE

DOCENTE UGT

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico – ITSA ubicado en Latacunga, comienza sus actividades educativas a partir del 8 de noviembre de 1999, mediante el acuerdo ministerial No. 3237 del ministerio de educación pública de cultura y deportes, (Arroyo G., 2019) para formar especialistas en el rango militar, a partir del año 2000, el instituto abre sus puertas a personal civil según el código de la CONESUP 05-003, (Fuerza Aérea Ecuatoriana - FAE, 2013) además se realiza la creación del parque aeronáutico, permitiendo así un mayor número de profesionales tecnológicos.

La Unidad de Gestión de Tecnologías – UGT que consta con materias aeronáuticas para la formación de técnicos en aviación, dio su inicio un 8 de abril del 2014, consolidando así la integración del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico a la Unidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

La carrera de Mecánica Aeronáutica Mención Aviones cuenta con aulas y laboratorios, los cuales están equipados con material técnico para promover el aprendizaje mediante las investigaciones y prácticas al momento de realizar mantenimientos, inspecciones de los componentes en los distintos aviones escuela, lo cual permite que los estudiantes adquieran mayor conocimiento de los temas tratados y así formar buenos profesionales, (La Hora, 2018).

1.2 Planteamiento del problema

La Unidad de Gestión de Tecnologías – UGT, cuenta con la carrera de mecánica aeronáutica, la UGT es el único centro de instrucción aeronáutica en el Ecuador certificado para la formación de mecánicos de mantenimiento de aeronaves, mediante el constante desarrollo de materiales de instrucción para el aprendizaje, se vio la necesidad de la construcción de un drone que esté a disposición de los distintos estudiantes para un mejor conocimiento sobre las aeronaves no tripuladas.

La ausencia de un drone en las instalaciones de la Unidad de Gestión de Tecnologías, que es necesario para los distintos docentes y estudiantes al momento de las clases, para así llegar a tener una adecuada formación académica en el área del aeromodelismo. Para llevar a cabo esto es necesario el sistema de control que permite una mejor maniobra del drone, con ello los estudiantes tendrán presente los principios aerodinámicos y funcionamiento de una aeronave no tripulada.

La creación de un drone con sus distintos sistemas, será utilizado como material didáctico en la Unidad de Gestión de Tecnologías, para usar esta aeronave los docentes y estudiantes deben tener un conocimiento previo de su operación, ya que podrían llegar a tener dificultades al momento de su funcionamiento, para prevenir cualquier inconveniente se llevará a cabo una investigación sobre los sistemas y especificaciones técnicas del drone, así se tendrá un mejor desenvolvimiento al momento de realizar diversas operaciones de vuelo.

1.3 Justificación e Importancia

La Unidad de Gestión de Tecnologías – UGT consta de distintas carreras y asignaturas a tratar por parte del estudiante, la integración de drones con un sistema de control para su manejo es muy importante para los docentes, estudiantes, y personal que visita los laboratorios de la carrera de Mecánica Aeronáutica, ya que, al implementar nuevos componentes tecnológicos, permitirá mejorar los métodos de enseñanza prácticos o teóricos.

El montaje de un sistema de control en el drone tipo cuadricóptero, ayudará a la maniobra al momento que el componente se encuentre en el aire. Con esto la institución tendrá en sus laboratorios una herramienta funcional y aeronavegable, lo cual ayudará a constatar el funcionamiento del sistema de control cuando la aeronave no tripulada se encuentre en funcionamiento, que se llevará a cabo por parte de los docentes o estudiantes de Mecánica Aeronáutica.

El sistema de control en un drone es de gran beneficio, ya que brindara estabilidad a la estructura de esta aeronave, con esto los estudiantes tendrán una mejor experiencia, ya sea al momento de manipular u observar el funcionamiento de este objeto mediante un control. Por otro lado, los laboratorios contaran con material didáctico y por lo tanto el rendimiento de los estudiantes de la Unidad de Gestión de Tecnologías será mejor.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Montar y ensamblar el sistema de control de un drone, en base a las especificaciones técnicas del cuadricóptero T4, para la Carrera de Mecánica Aeronáutica de la Unidad de Gestión de Tecnologías - ESPE.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información técnica del cuadricóptero T4, referida a sistemas de control empleados en drones, que permitan conocer los principios básicos para el montaje del sistema de control.
- Seleccionar los distintos componentes para el sistema de control de un drone, que cumplan con las especificaciones técnicas necesarias.
- Verificar el funcionamiento de los componentes del sistema de control, necesarios para el ensamblaje del sistema en base a las especificaciones técnicas del cuadricóptero T4.
- Analizar el desempeño del sistema de control, a través de pruebas funcionales y operacionales, para validar los resultados obtenidos en base a las especificaciones del cuadricóptero T4.

1.5 Alcance

Este proyecto radica en realizar el montaje del sistema de control en un drone, cumpliendo con las especificaciones técnicas de un cuadricóptero T4, para así conseguir estabilidad y control en el drone al momento de darle funcionamiento. Así mismo, el presente trabajo va dirigido a los estudiantes y docentes de la carrera de Mecánica Aeronáutica de la Unidad de Gestión de Tecnologías - UGT, para que así se pueda utilizar como material didáctico, lo cual será de gran ayuda para el desarrollo y desenvolvimiento de los estudiantes, al momento de tratar temas ya sea de forma práctica o teórica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Drones

2.1.1 ¿Qué es un Drone?

Para (López Caal, 2017) el termino drone, cuyo nombre en español es zángano, eran usados para prácticas de fuego antiaéreo mientras zumbaban en los campos de entrenamiento. Estos aparatos tecnológicos pasaron de ser utilizados por personal militar a ser de gran beneficio para la sociedad. El término genérico que se usa para nombrar a todos los drones es VANT¹.

Figura 1

Ejemplo de drones en el mercado



Nota. En el gráfico se observa cuatro distintos modelos de drones. Tomado de (Novodrone, 2020).

¹ VANT: Vehículo Aéreo no Tripulado

2.1.2 Vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad

El origen y desarrollo de los vehículos aéreos no tripulados ha ido de la mano con la aviación tripulada, ya que las aplicaciones militares han sido el iniciador del desarrollo tecnológico que se han ido mejorando tanto en el siglo XX como a principios del siglo XXI. En los últimos tiempos estos sistemas están experimentando el auge tecnológico debido a la gran variedad de operaciones que se están dando de manera eficaz por los vehículos aéreos no tripulados, (Cuerno Rejado, y otros, 2016).

Figura 2

Vehículo aéreo no tripulado



Nota. En el gráfico se observa el despegue de un vehículo aéreo no tripulado. Tomado de (Sánchez Jiménez, Mulero Valenzuela, & Saumeth Cadavid, 2013).

Los sistemas aéreos no tripulados UAS², con el pasar del tiempo han ido tomando cada vez más fuerza en distintos campos de actuación, para así abordar varios tipos de misiones, (Sánchez Jiménez, Mulero Valenzuela, & Saumeth Cadavid, 2013). Los vehículos aéreos no tripulados tienen la definición de una aeronave que no

² UAS: Sistema Aéreo no Tripulado

transporta un ser vivo y que es capaz de volar con o sin control remoto humano, (Cuerno Rejado, y otros, 2016).

Hasta la actualidad, las aplicaciones más comunes que se le da a un vehículo aéreo no tripulado son para apoyo y misiones de mando, control, comunicaciones, inteligencia, vigilancia y reconocimiento, lo cual tiene el apoyo de distintos Estados que luchan contra las actividades ilegales, científicas, experimentales, vigilancia, y muchas veces misiones humanitarias, (Sánchez Jiménez, Mulero Valenzuela, & Saumeth Cadavid, 2013).

Cabe destacar que con el pasar del tiempo seguirá surgiendo diferentes aplicaciones para los vehículos aéreos no tripulados, en la actualidad tiene un gran potencial en diversas áreas en el que se trabaja con estos aparatos tecnológicos, ofreciendo imágenes en tiempo real o recogiendo datos de algún lugar sin poner en riesgo la vida de tripulación alguna, (González Herrera, y otros, 2019).

Figura 3

Cuadrícóptero



Nota. En el gráfico se observa un cuadrícóptero. Tomado de (Vocento, 2019).

2.1.3 Partes básicas de un drone

- **Fuselaje**

El fuselaje es el cuerpo de un drone, donde van conectadas todas las piezas que le da funcionamiento. El fuselaje es fabricado en su mayoría con materiales livianos como puede ser el carbono o aluminio al que se adhieren las distintas partes o accesorios extras dependiendo del modelo que es de gran utilidad para que el drone tenga un buen funcionamiento, (Matienzo Merodio & Olmedilla García, 2016).

Figura 4

Fuselaje de un drone



Nota. En la imagen se observa las partes del fuselaje de un drone.

- **Motor**

Todos los tipos de drones dependiendo del modelo constan de uno o más motores. Estos componentes son de gran utilidad para su funcionamiento ya que sin ellos no podrían sustentarse en el aire al momento de realizar maniobras. Muchos de los motores tienen reguladores de velocidad que mide la cantidad de revoluciones de las hélices que están conectadas a los mismos.

Figura 5*Motores de un drone*

Nota. En el gráfico se visualiza los cuatro motores de un cuadricóptero. Tomado de (DonWeb, 2014).

- **Hélices**

Las hélices de un drone son el mecanismo que se encarga de girar con fuerza en un eje determinado para que el drone pueda moverse en el aire, estando conectadas a los motores. Dependiendo de los modelos estos componentes generalmente constan de dos o tres aspas, las cuales le permiten girar o rotar las piezas a gran velocidad.

Figura 6*Hélices de un drone*

Nota. En la imagen se observa las hélices de un drone en su posición correcta.

- **Batería**

La batería cumple la función de suministro de energía en el drone y le proporcionan la fuerza necesaria para el funcionamiento de sus componentes, (García Mateu, 2016) la mayoría de drones emplean baterías recargables con su cargador específico, (Control Drone, 2017) según la capacidad del modelo existen varios tipos como por ejemplo las de níquel cadmio, de esas baterías depende la autonomía de vuelo del drone. Más adelante se dará a conocer de manera detallada los tipos de baterías y su funcionamiento.

Figura 7

Batería de un drone



Nota. En el gráfico se observa una batería de 2.7 A para el drone. Tomado de (HobbyKing, 2020)

- **Cámaras utilizadas en drones**

La cámara de foto y video en el drone es de gran utilidad, ya que nos permite visualizar de otro ángulo y en tiempo real las imágenes, con ello es capaz de almacenar los videos que se está grabando y según el modelo de cámara que utilice el drone enviarlas de forma remota al controlador, por lo tanto, se nos hace más fácil capturar alguna representación desde otra perspectiva.

Figura 8

Cámaras utilizadas en drones



Nota. En el gráfico se observa dos diferentes cámaras que se llega a utilizar en drones. Tomado de (Novodrone, 2020).

- **Tren de aterrizaje**

El tren de aterrizaje de los drones al igual que los demás componentes son de gran utilidad y parte clave al momento de su funcionamiento, ya que es donde el dron se apoya en tierra antes y después del vuelo, (Benítez Mantero, 2018).

Figura 9

Tren de aterrizaje de un dron



Nota. En el gráfico se observa las patas en las que se asienta un cuadricóptero. Tomado de (DJI, 2017).

- **Placa de control**

La placa de control es una tarjeta de circuitos impresa donde se conectan todos los componentes que constituyen al dron y mediante un software especial va procesando la información captada y las órdenes que recibe desde el mando para que realice cualquier maniobra en vuelo, (Tendenzias Media SL, 2020).

Figura 10

Placa de control de un dron



Nota. En el gráfico se observa la composición de la placa de control de un dron. Tomado de (Mercado Libre, 2018).

- **Sensores**

Un sensor es un componente que tiene propiedades sensibles para presenciar magnitudes del ambiente, (Carletti, 2019). Los drones constan de varios sensores que le permiten adquirir información necesaria al momento que está en el aire y así evitar choques o accidentes. Cuenta con los siguientes sensores: acelerómetro, proximidad, GPS³, brújula, altímetro y giroscopio, (Tendenzias Media SL, 2020).

³ GPS: Sistema de Posicionamiento Global

Figura 11*Sensores de un drone*

Nota. En la imagen se observa un cuadricóptero en el cual se muestran varios sensores. Tomado de (Acre Surveying Solutions, 2020)

- **Transmisores y Receptores**

Todos los drones sin importar su modelo poseen transmisores los cuales envían datos al control en tierra, ya sea para saber su estado, información de vuelo, imágenes y para tener presente la cantidad de batería restante, todo esto depende de su tecnología, (Ojeda Bustamante, Flores Velázquez, & Ontiveros Capurata, 2016). Así como se tienen transmisores también cuentan con receptores los que están a cargo de la entrega de órdenes que el dron deberá seguir al momento de estar en vuelo, además de las distintas tareas a realizar por parte de la cámara y otros accesorios que se encuentran en la estructura del dron, (García Mateu, 2016).

Figura 12

Transmisores y receptores de un drone



Nota. En el gráfico se observa las partes de un drone como son los transmisores y receptores.
Tomado de (Multicóptero, 2020)

- **Controlador en tierra**

Los drones son piloteados de manera remota mediante un control en tierra, ya sea uno específico para ese modelo de drone o alguno otra aplicación para móviles inteligentes que se conectan a la aeronave no tripulada, en los distintos casos posibilita recibir datos o información desde el dispositivo y según sea para que lo van a utilizar ir realizando cambios al momento del vuelo o hacer que el drone aterrice de una manera correcta, (Ruipérez Martín, 2016).

Los drones que constan con cámaras de fotos y videos instaladas en su fuselaje, pueden dar una visualización de las imágenes en tiempo real desde el control que está conectado en tierra, en ese momento se puede capturar y almacenar las fotos o grabaciones por completo, teniendo una visión precisa de lo que se encuentra a los alrededores del drone, (Guía Drones, 2020).

Figura 13

Control de tierra de un drone



Nota. En la imagen se observa el control que se utiliza para maniobrar un drone desde tierra. Tomado de (Tendencias Media SL, 2020)

2.1.4 Tipos de drones

Según el tipo de drones en la actualidad son utilizados para diversas actividades en el ámbito militar y también cumple varias funciones civiles, como es las de rescate, búsqueda, para negocios y como entretenimiento, (Área Tecnología, 2020). A continuación, vamos a conocer los distintos tipos de drone.

a. Drones según su uso

Al principio los drones fueron de uso militar y del que la mayoría se dio a conocer noticias en primer lugar. Con el pasar del tiempo se empezó a derivar para el uso civil. Por lo tanto, tenemos la siguiente clasificación:

- **Drones de uso militar**

Los drones militares UCAV⁴ o en español Aviones no Tripulados de Combate, son conocidos como componentes tecnológicos que se usaban como blanco móvil para los entrenamientos, (Jordán, 2014).

En esta clasificación podemos encuadrar los que son usados por los cuerpos policiales para distintas operaciones, con la finalidad de preservar vidas humanas al momento del reconocimiento, localización de desaparecidos, catástrofes y reabastecimiento de provisiones, (Asociación Dronsky Madrid, 2015).

Figura 14

Drones militares



Nota. En la figura se observa un drone militar que se encuentra en vuelo. Tomado de (León Noticias, 2016)

⁴ UCAV: Unmanned Combat Air Behicle

- **Drones de uso civil**

En esta clasificación se da a conocer los drones que son comercializados en la actualidad, ya sea tanto de uso infantil o comercial. Los drones de uso infantil son los más sencillos, porque son fáciles para el manejo de los niños. En cambio, los llamados multicópteros son drones de uso profesional, son más completos y avanzados, eso permite que el vuelo sea seguro, más amplio y tiene una mejor estabilidad en el aire, (Droneymas, 2020).

Figura 15

Drones de uso civil



Nota. En la imagen se observa un drone que se utiliza para casa o de uso civil. Tomado de (Droneymas, 2020)

b. Según sus alas

Otra clasificación de los drones es de su función según sus alas, dando a conocer así entre alas fijas y rotatorias.

- **Drones de tipo ala fija**

Este tipo de aparatos tecnológicos necesitan una velocidad de vuelo lineal para que así se produzca una sustentación por las distintas presiones entre la parte superior como inferior del ala. Este tipo no posee movimiento propio, así que son accionados por motores que incorporan hélices.

Figura 16

Drones de ala fija



Nota. En el gráfico se observa un drone de ala fija en funcionamiento. Tomado de (Diario La Juventud, 2019)

- **Drones de tipo ala rotatoria**

Conocidos como multirrotores, los drones de este tipo consiguen una buena sustentación en el aire gracias a sus hélices, ya que al girar tienen la fuerza de empuje necesaria para mover el drone al momento de su funcionamiento y así poder mantenerlo en el aire realizando maniobras, (Ruipérez Martín, 2016).

Figura 17*Drones de ala rotatoria*

Nota. En el gráfico se observa el movimiento de un dron de ala rotatoria. Tomado de (Fast Track Aviation, 2017)

c. Ejemplos de drones

- **Tricóptero**

Los drones Tricópteros tienen tres motores y hélices que le permite la sustentación en el aire, estos aparatos tienen la modalidad de que la velocidad de los motores es controlada independientemente.

La ventaja principal de los tricópteros es el costo y la sencillez en la que es fabricada, para ser un dron de bajo costo tiene una funcionalidad muy efectiva.

Figura 18
Tripcóptero



Nota. En la imagen se observa un drone tripcóptero.

- **Cuadricóptero**

Para el funcionamiento de los drones cuadricópteros constan de cuatro motores y hélices que le dan fuerza para volar, tiene un funcionamiento básico, dos de sus hélices giran en sentido de las manillas del reloj y las otras dos en contra, esto es lo que le permite al drone mantener una estabilidad en el aire, (Valentino Birau & Cantero Guerrero, 2015).

Figura 19
Cuadricóptero



Nota. En la imagen se observa un drone denominado cuadricóptero. Tomado de (DJI, 2014)

- **Hexacóptero**

Un dron Hexacóptero cuenta con seis brazos, hélices y motores, este aparato es más grande y realiza sus funciones de mejor manera, ya que tiene mayor potencia, estabilidad y capacidad para transportar objetos pesados. Una de las ventajas es que si un motor falla tiene la capacidad de seguir volando y realizar un aterrizaje seguro, (Camacho Puig, 2016).

Figura 20

Hexacóptero



Nota. En la imagen se observa un dron llamado hexacóptero. Tomado de (Drones, 2016)

- **Octocóptero**

Un dron octocóptero es de un nivel superior a los demás, ya sea tanto por su potencia como por su precio, en este aparato la falla de un motor no afecta en nada su funcionamiento, lo cual nos permite tener un vuelo seguro y estable. Este tipo de drones se emplea para uso profesional por su eficiencia, estabilidad y capacidad de llevar cargas pesadas, (Ruipérez Martín, 2016).

Figura 21*Octocóptero*

Nota. En la figura se observa un dron conocido como octocóptero. Tomado de (DJI, 2016)

d. Según el método de control

Para el momento de manejar una aeronave no tripulada se conoce tres distintos métodos, los cuales les damos a conocer a continuación:

- **Método de modo manual**

El método consiste en que el piloto remoto es el responsable de llevar a cabo el movimiento del dron, mediante la emisora radiocontrol se va aumentando o disminuyendo la potencia de los motores, dirigiendo o maniobrando la aeronave no tripulada según lo que se esté realizando, controlando los diferentes sensores y dispositivos que se encuentran instalados en este aparato, (García García, 2017).

- **Método de modo autónomo**

Este tipo de drones no tienen la necesidad de que les controlen en tiempo real, simplemente es necesario que su ruta ya sea programada o tenga un plan de vuelo ya establecido previamente. Así este aparato va realizando de forma autónoma las acciones requeridas, como por ejemplo realizar transporte de mercancías de un lugar a otro, (García García, 2017).

- **Método de modo automático**

Este método es conocido porque el drone puede realizar distintas funciones de forma autónoma, cuyas acciones son supervisadas o controladas por una persona para que este aparato no sufra accidentes y cumpla con lo establecido en el vuelo previsto. Si llega a existir algún error al momento del vuelo el técnico o la persona encargada de supervisar el drone toma el control en cualquier momento, (García García, 2017).

2.1.5 Uso de drones

Los vehículos aéreos no tripulados se utilizan en distintos sectores y para ejecutar diversas actividades. En la actualidad ha mejorado algunos trabajos ya que realiza tareas que eran sumamente complicadas o de difícil acceso para las personas, (Pino, 2019). A continuación, algunos usos que se le dan a los drones e la vida diaria:

- **En eventos deportivos**

El evento más destacado fue en el mundial de futbol de Brasil porque el drone mostraba el juego desde la parte superior. Estos aparatos también están en los desfiles de modas, protestas, juegos al aire libre, y con esto brinda una gran ayuda en el periodismo fotográfico, (Ricra, 2019).

Figura 22

Drones en eventos



Nota. En el gráfico se observa un drone volando en el mundial de Brasil. Tomado de (Aidronix, 2017)

- **En situaciones de emergencia**

Los drones son de gran ayuda en áreas de difícil acceso para las personas, como por ejemplo en zonas que sufrieron desastres naturales, permitiéndole llevar la ayuda necesaria gracias a que recorren enormes distancias a gran velocidad, (Universidad de Almería, 2020).

Figura 23*Drone-suministro de emergencia*

Nota. En la imagen se observa un cuadricóptero llevando insumos médicos. Tomado de (Pamoon, 2020)

- **Búsqueda de personas**

Estas aeronaves no tripuladas pueden volar a poca altura y por la cámara que llevan instaladas les permite transmitir imágenes o videos en tiempo real, lo cual ayuda al reconocimiento de personas perdidas en distintas partes donde lo estén utilizando, por ese motivo lo utilizan las personas de rescate.

Figura 24*Drones de búsqueda*

Nota. En la figura se observa un dron de la policía que se utiliza para búsqueda y salvamento. Tomado de (CBJ Team, 2020)

- **Zonas agrícolas**

Muchos agricultores están utilizando los drones, porque se les hace más fácil verificar todas las áreas de cultivo, además les permite localizar plagas en las plantas y con estas aeronaves puede controlar su rebaño, (Pino, 2019).

Figura 25

Drones en zonas agrícolas



Nota. En el gráfico se observa distintos drones que lo usan para la agricultura. Tomado de (Puengsamrong, 2019)

- **Fines geológicos**

En todas las partes del mundo los drones son utilizados para ingresar a zonas peligrosas, como puede ser el ingreso a los volcanes y recoger muestras del mismo para distintas investigaciones, permitiendo predecir erupciones lo antes posible para dar conocimiento a los habitantes de ese lugar, (Imagen Radio, 2014).

Figura 26*Drones en zonas geológicas*

Nota. En la figura se observa un dron que se encuentra capturando fotografías en un volcán.
Tomado de (La Otra Cara, 2015)

- **Fines de entretenimiento**

Estos aparatos no tripulados sirven como pasatiempo de los niños o jóvenes que son aficionados al aeromodelismo, con lo cual capturan imágenes para distintas funciones, ya sea para su entretenimiento, decoración, fotografías para las redes sociales o grabaciones de eventos familiares.

Figura 27*Drones para juego*

Nota. En el gráfico se observa un dron que es de uso personal. Tomado de (Manzhivora, 2015)

2.1.6 Característica de los cuadricópteros

Los cuadricóptero fueron creados con diversas cualidades para uso militar. Gracias a los avances tecnológicos fueron tomando otras características e innumerables ventajas, por lo tanto, el uso de estos drones se extendió al área civil. La mayoría de las características de los cuadricópteros son muy similares, puede variar el tamaño, empuje y la duración del tiempo de vuelo.

Figura 28

Partes de los drones



Nota. En la imagen se observa las características que presenta un dron. Tomado de (Ar Drone 2.0, 2020)

a. Velocidad

La velocidad de un dron puede ser de 20 m/s y esto tiende a variar dependiendo del tipo, modelo y la calidad de materiales con los que se encuentra

elaborado, ya que todos los componentes tienen que soportar tensiones, vibraciones y la fuerza de empuje de este aparato.

b. Altitud

Según el modelo del cuadricóptero puede variar la altura a la que puede llegar, por ejemplo, hay aeronaves no tripuladas que cuentan con control remoto y tiene incorporando el sistema de GPS que es el que le permite que el cuadricóptero tenga una mayor altitud, también es importante que sus motores, fuselaje y hélices sean resistentes.

c. Nivel de autonomía

En la autonomía para el vuelo de un cuadricóptero todo depende de la batería que tenga instalada y para que se lo va a utilizar, ya que el tiempo varía dependiendo de la calidad del dron, como mínimo 25 minutos los drones de recreación y máximo 90 minutos los de gama alta, (García Mateu, 2016). Para tener una buena autonomía en el aire las baterías que se añaden deben ser pesadas, por ende, nos ayuda en el voltaje y así alcanzar la potencia máxima en cada motor, haciendo que el dron sea más rápido y tenga una mayor aceleración, (Bikelec, 2013).

d. Dimensiones y peso

Las dimensiones y el peso son distintas para todos los drones ya que depende de los implementos que estén instalados en el mismo. Según el trabajo que van a

realizar existen cuadricópteros livianos y pesados, muchas veces estos aparatos tienen como ventajas el desmontaje de algunas partes sin afectar su vuelo. El peso de un drone puede variar dependiendo para que lo van a utilizar, por ejemplo, el peso de los cuadricópteros utilizados en distintas empresas suele ser de 320 a 450 gramos, (Nistal Lastra, 2017).

2.1.7 Fuentes de energía del drone

a. Ni-Cd

Las baterías de Ni-Cd⁵ son de uso doméstico y comercial, además son las más antiguas. La desventaja de estos aparatos es que no toleran bien las cargas rápidas, tienen efecto memoria y es contaminante por el cadmio que contiene, (López Cáceres, 2012).

Figura 29

Batería de Ni-Ca



Nota. En la figura se observa distintas baterías de Ni-Ca que se utiliza en drones. Tomado de (Aeromodelismo, 2018)

⁵ Ni-Cd: Níquel-cadmio

b. Ni-MH

Las baterías de Ni-MH⁶ sustituyeron a las de Níquel-Cadmio, pero siguen teniendo el efecto memoria⁷ e incluso la vida útil de esta batería es menor en cuanto al número de cargas, una ventaja es la eliminación del cadmio el cual era contaminante para el medio ambiente, (López Cáceres, 2012).

Figura 30

Batería de Ni-Mh



Nota. En la imagen se observa las baterías de Ni-MH que se usa en drones. Tomado de (Aeromodelismo, 2018).

c. Ion-Litio

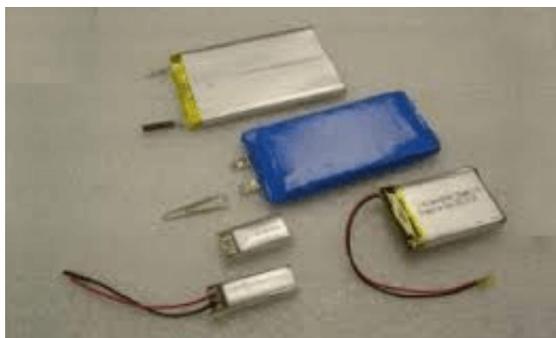
La batería Ion-Litio, es un dispositivo diseñado para el almacenamiento de energía eléctrica, son mucho más ligeras, no poseen efecto memoria, (Servicio Nacional del Consumidor, 2017). La desventaja de estas baterías es que son peligrosas, ya que si llegan a dañarse sus componentes tienen reacción con el oxígeno del aire y son sumamente inflamables.

⁶ Ni-MH: Níquel-Metal Hidruro

⁷ Efecto memoria: Reducción de la capacidad de las baterías debido a cargas incompletas

Figura 31

Batería de ion litio



Nota. En la imagen se observa varias baterías de ion litio. Tomado de (Aeromodelismo, 2018)

d. Li-Po

Las baterías Li-Po⁸ son más modernas, se caracterizan por ser ligeras y almacenar una gran cantidad de energía. Tiene como desventaja que si la batería se calienta en exceso esta tiende a dañarse y al igual que las de Ion-Litio son inflamables, (Inteligencia Artificial, 2020).

Figura 32

Baterías de Li-Po



Nota. En el gráfico se observa distintas baterías de Li-Po que se utiliza para drones. Tomado de (Aeromodelismo, 2018).

⁸ Li-Po: Polímero de litio

2.1.8 Normativa de operación de drones en el Ecuador

Las normativas de operación son reglas estrictas que se deben cumplir para tener orden y buen funcionamiento de los drones en el Ecuador, además esto nos brinda límites de operación y seguridad al momento que este aparato este en vuelo, (El Universo, 2015).

Figura 33

Regulaciones de operación civil



Nota. En el gráfico se observa el log de la Dirección General de Aviación Civil del Ecuador. Tomado de (Vázquez Iglesias, 2019)

Art. 1. Operaciones en las cercanías de un aeródromo. - Se prohíbe la operación de las RPAS/UAS en espacios aéreos controlados. La operación de las RPAS/UAS se mantendrá durante toda la duración del vuelo, a una distancia igual o mayor a 9 kilómetros (5 NM) de las proximidades de cualquier aeródromo o Base aérea militar.

Art. 2. Altura máxima de vuelo. - La operación de las RPAS/UAS no excederá en ningún momento una altura de vuelo de 400 pies (122 metros) sobre el terreno (AGL)

Art. 3. Horas de operación. - Las RPAS/UAS serán operadas solamente en las horas comprendidas entre la salida y la puesta del sol; y en condiciones

meteorológicas de vuelo visual (VMC), libre de nubes, neblina, precipitación o cualquier otra condición que obstruya o pueda obstruir el contacto visual permanente con la RPAS/UAS.

Art. 4. Responsabilidad por la operación. - La persona que opera los controles de las RPAS/UAS será responsable por la operación general de la misma durante todo el vuelo, en forma solidaria con el explotador o propietario de la aeronave.

Art. 5. Integridad fisiológica del operador de una RPA. - Ninguna persona operará los controles de un RPAS/UAS si: Se encuentra fatigado, o si considera que pudiera sufrir los efectos de la fatiga durante la operación; Se encuentra bajo el efecto del consumo de bebidas alcohólicas, o de cualquier droga que pudiera afectar sus facultades para operar los controles de manera segura.

Art. 6. Funciones de automatización. - Si las RPAS/UAS tienen la capacidad de realizar vuelo automático, esta función podrá ser utilizada solamente si le permite al operador de los controles intervenir en cualquier momento para tomar el control inmediato de la aeronave.

Art. 7. Limitaciones. - La persona que opera los controles de una RPAS/UAS es responsable por asegurarse que la misma sea operada de acuerdo con las limitaciones operacionales establecidas por el fabricante.

Art. 8. Seguros. - El propietario o explotador de las RPAS⁹/UAS¹⁰ están en la obligación de responder por los daños causados a terceros, como resultado de sus actividades de vuelo, para lo cual debe contratar la póliza de seguros de

⁹ RPAS: Remotely Piloted Aircraft System (Sistema Aéreo Tripulado de Forma Remota)

¹⁰ UAS: Unmanned Aerial System (Sistema Aéreo no Tripulado)

responsabilidad civil legal a terceros en los montos mínimos establecidos en la tabla que consta a continuación:

De 02 a 25 Kg. de masa máxima de despegue (MTOW ¹¹)	USD 3000
De más de 25 Kg. de masa máxima de despegue (MTOW)	USD 5000

Art. 9 Cumplimiento con las leyes y reglamentos locales. - El

cumplimiento de estas disposiciones, no exime al operador de las RPAS/UAS de cumplir con las leyes y reglamentos locales aplicables. (Dirección General de Aviación Civil, 2015, págs. 1-3)

2.2. Drone T4

Un drone T4 es un aparato con cuatro rotores para su estabilidad y propulsión. Los cuatro rotores están generalmente colocados en las extremidades gracias a lo que cuenta con brazos tubulares que son rígidos y fuertes, así evita que la aeronave se tumbe en vuelo.

Figura 34

Cuadricóptero T4



Nota. En el gráfico se observa un cuadricóptero T4. Tomado de (MakerBot, 2014)

¹¹ MTOW: Maximun Take-Off Weight (Peso Máximo de Despegue)

2.2.1 Sistema estructural

El sistema estructural de un cuadricóptero es todo el fuselaje, y para realizar esto tenemos que tener en cuenta las dimensiones de sus partes. El equilibrio de un drone se da gracias a los motores y a la característica simétrica y su rotación asimétrica dos a dos (Castro Latorre, Coronado Abella, & Pérez Londoño, 2013). La estructura de un cuadricóptero depende de las rotaciones que tiene en los ejes Yaw, Roll y Pitch, ya que se realizan pruebas en todos los ángulos para ver la firmeza y fuerza del drone, (Nieto Guerrero & Vaca De La Torre, 2020).

La estructura de un drone tiene que ser liviano y resistente a la fatiga estructural, por ende, para su construcción debe tener materiales tales como fibra de carbono o fibra de vidrio con plástico, con lo cual permite que estas partes cumplan con las especificaciones necesarias para su funcionamiento, (Pozo Vega, 2018).

Al comenzar la impresión de la estructura de un drone es necesario tener listo los planos del cuadricóptero, además tener calibrada la impresora 3D y saber sobre su funcionamiento, (Nistal Lastra, 2017). Los componentes a imprimir son: el cuerpo, los brazos, la parte inferior, la parte superior o tapa y algunas partes pequeñas o adicionales que lleva el drone en su estructura, (Hinojosa Pérez, 2018).

Figura 35

Sistema estructural del drone



Nota. En la figura se observa la estructura de un cuadricóptero T4. Tomado de (Readytosky, 2020)

2.2.2 Sistema de navegación del drone T4

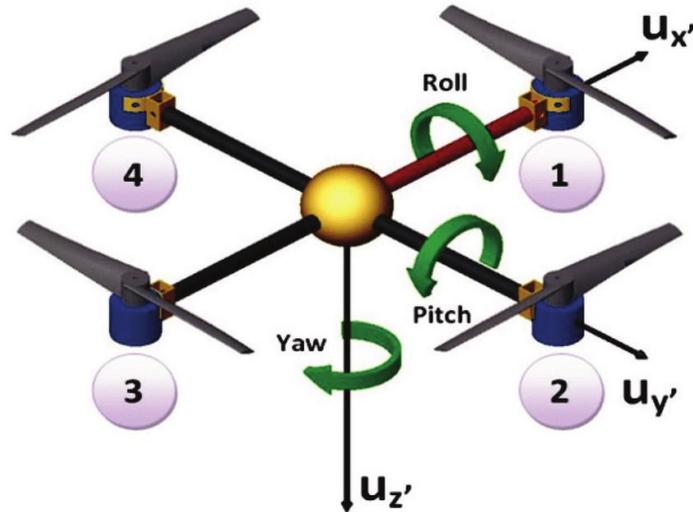
Dependiendo del tipo de drone tiene incorporado un chip GPS¹² que permite tener un vuelo más preciso, esto quiere decir que siempre van a tener la posición en donde se encuentra el cuadricóptero y gracias a la localización por satélite con el controlador tienen la facilidad de dibujar un camino por donde recorra este aparato.

Los drones con GPS nos ofrecen en los manuales las instrucciones de navegación en caso de que lo estén controlando manualmente, con esto tendrán en cuenta si aumenta o disminuye la aceleración y la altura de este dispositivo en todo momento.

¹² GPS: Sistema de Posicionamiento Global

Figura 36

Sistema de navegación del drone



Nota. En la figura se observa el sistema de navegación que debe tener un dron para su funcionamiento. Tomado de (Betancourt, 2008)

2.2.3 Sistema de propulsión

El sistema de propulsión es el que le permite a la aeronave moverse, consta de los siguientes componentes: motor, hélices, baterías. Todos estos elementos cumplen funciones importantes para que el cuadricóptero pueda volar, ya que para mantenerse en el aire depende del tamaño y la potencia que el dron tenga, independientemente las velocidades de estas aeronaves no tripuladas pueden variar según la fuerza del motor, (Ruipe rez Martín, 2016).

Figura 37*Sistema de propulsión de un drone*

Nota. En el gráfico se observa un motor y una hélice que hace referencia al sistema de propulsión en un drone. Tomado de (Tricotou, 2012)

2.3. Sistema de control y navegación de un drone**2.3.1. Controlador de vuelo Pixhawk**

El dispositivo llamado Pixhawk es un trabajo que se realizó con el fin de generar un autopiloto para los distintos trabajos que realicen las comunidades académicas, laborales e industriales con un mínimo valor económico, con una extraordinaria calidad y gran manejo. Este aparato tiene la parte de hardware para los proyectos que estén destinados al monitoreo de drones, (Montoya, 2017).

El control de vuelo Pixhawk tiene algoritmos que se utiliza para conocer la elevación, condición y provee algoritmos de orientación, conducción y manejo para distintos tipos de drones. El hardware de Pixhawk tiene su software llamado Dronecode que lo controla y conecta con distintos sensores, extensiones de telemetría y otros accesorios periféricos, con esto se llegan a poseer un buen manejo al instante de llevar a cabo la operatividad de un drone, (Montoya, 2017).

El sistema llamado Pixhawk es un controlador muy confiable, que utiliza su propio método para la propagación de la telemetría a la máquina que se encuentra en tierra el cual se adapta para obtener que interprete las disposiciones del mando utilizando el propio protocolo. Al efectuar un análisis de su software y se describen sus módulos principales de forma que se hace viable la participación dentro del código fuente para agregar/modificar funcionalidades según lo requiera el trabajo, (Crespo Quirós, 2014).

El controlador de vuelo Pixhawk a parte de su gran dificultad, llega a pesar 38 g y el decaimiento de energía está optimizado, ya que, tan solo necesita unos 250 mA, (Nistal Lastra, 2017). Entre las distintas capacidades de vuelo que ofrece el controlador Pixhawk se pueden encontrar las siguientes:

- **Estabilización Giroscópica**

Permite mantener el cuadricóptero en una posición estable y horizontal sin la ayuda del control del piloto. Es una característica importante que tiene el sistema de control Pixhawk, (Bernad Catalá, 2019).

- **Auto-Nivelación**

La habilidad de que al soltar la palanca de manejo del pitch (cabeceo) o el roll (alabeo) para que el multicoptero sea capaz de volver a la posición horizontal de estabilidad automáticamente, (Benito Carrasco, 2015).

- **Control de altitud**

Es la habilidad que debe tener un cuadricóptero de permanecer suspendida la aeronave a una cierta distancia del suelo de forma automática sin que el piloto tenga que variar manualmente la palanca del acelerador, (Benito Carrasco, 2015).

- **Control de posición**

Es la habilidad que tiene una aeronave de permanecer suspendida en el aire en una posición específica, (Benito Carrasco, 2015).

- **Vuelta a casa**

Esta capacidad le permite al cuadricóptero regresar automáticamente al punto desde el cual despegó inicialmente, (Benito Carrasco, 2015).

- **Navegación mediante “waypoints”**

Esta condición facilita definir una serie de puntos geográficos en el mapa y que la aeronave los recorra como parte de un plan de vuelo, (Benito Carrasco, 2015).

Figura 38

Controlador de vuelo pixhawk



Nota. En el gráfico se observa la controladora Pixhawk con todos sus puertos para las conexiones. Tomado de (Montoya, 2017)

2.3.2. ESC

Un variador de velocidad está combinado por un circuito con distintos componentes. El propósito del variador es cambiar la rapidez de un motor eléctrico junto con el sentido de giro.

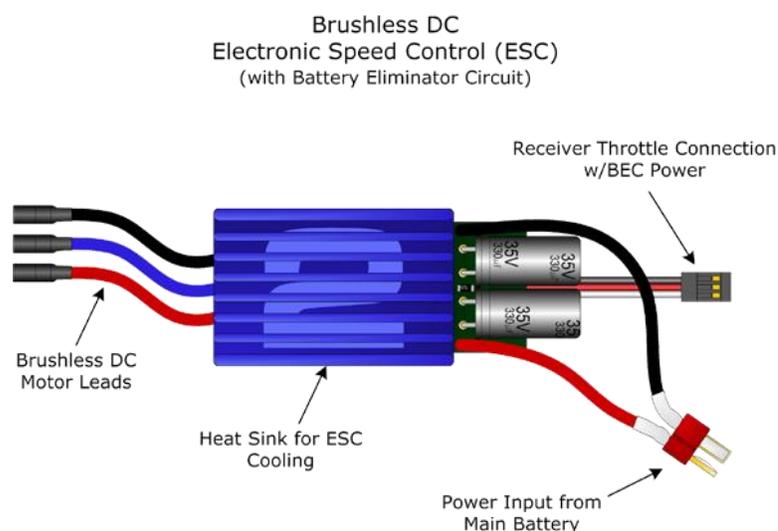
Muy aparte del prototipo de motor al que conectemos el variador, el ESC interpreta datos de control. En tiempos lejanos, cuando la ciencia estaba limitada, los variadores eran mecánicos y actuaban a través de servos. En las nuevas versiones, los ESC varían el ratio de cambio de una malla de Transistores de Efecto de Cambio (FET), (FpvMax, 2017).

La transformación en los cambios de estos transistores es lo que produce el ruido representativo de los motores eléctricos. El conjunto de transistores hace posible un control más suave y preciso de la velocidad de giro de los motores. Gracias a esto se consigue una progresión en la actividad con relación a los mencionados variadores mecánicos.

La mayoría de los ESC incorporan un método BEC¹³, el cual, hace viable regular un voltaje firme para lograr el funcionamiento del receptor y los servos. Esto elimina la necesidad de transportar una batería extra dentro del drone para cargar estos componentes. (FpvMax, 2017)

Figura 39

Controlador de velocidad



Nota. En la figura se observa las partes de un controlador de velocidad que se utiliza en el drone. Tomado de (FpvMax, 2017).

a. AIR 20A

Este aparato es un tipo de controlador de velocidad de alta frecuencia creados para drones multirrotores, gracias a este componente el drone estará estable al momento de su funcionamiento, (García Mateu, 2016).

¹³ BEC: Battery Eliminator Circuit

Figura 40

Controlador de velocidad Air 20



Nota. En la figura se observa un controlador de vuelo llamado AIR 20 que son más utilizados en drones. Tomado de (Dazzle Robotics, 2020)

El controlador de velocidad Air20A consta con un sin número de características a continuación se da a conocer las más importantes:

Tabla 1

Características Air20a

Características Air20a
Es un programa esencial elaborado para distintos controladores de drones que se utiliza para la perfección del acelerador.
Su manejo es muy sencillo, es fácil adaptarse a este programa ya que sus ajustes vienen predefinidos.
Gracias al cable de señal que viene en pares trenzado, permite la reducción de la diafonía lo cual ayuda en la estabilidad del vuelo de un drone.
Este componente es compatible con distintos sistemas para el control de un drone al momento de su funcionamiento.
Este elemento fue diseñado con el fin de brindar compatibilidad a los motores sin escobillas, así los motores tienen mayor duración ya que no existe un rozamiento en las escobillas.

Nota. Esta tabla muestra las características del Air20A.

Especificaciones técnicas

El controlador de velocidad Air20A consta de varias especificaciones técnicas que se da a conocer a continuación:

Tabla 2*Especificaciones técnicas Air20a*

Especificaciones técnicas Air20a

La corriente es de 20 A

Cuenta con alta frecuencia de 600 Hz

Cantidad de celdas en serie LiPo: 3S¹⁴ A 4S

El peso es de 14 gr

Nota. Esta tabla muestra las especificaciones técnicas del Air20A.

¹⁴ 3S: Número de celdas conectadas en serie.

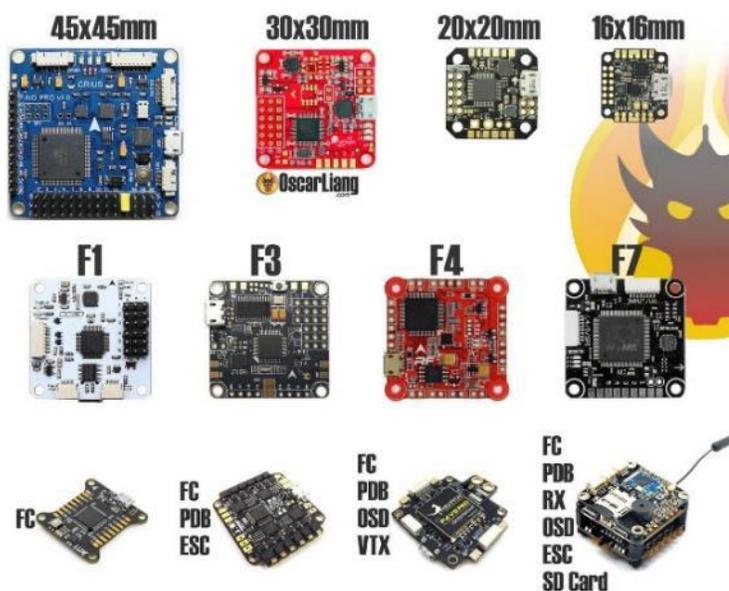
CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Descripción general

Para realizar distintos tipos de maniobras en el aire de manera segura se ha incorporado un sistema de control de vuelo en un cuadricóptero, además al momento que el controlador entra en funcionamiento nos brinda información de cómo se encuentra el cuadricóptero cuando está en el aire, ya que posee sensores de altitud, posicionamiento, velocidad, ubicación y da una referencia del estado de la batería.

La información que se obtiene mediante el sistema de control, permite saber el estado en el que se encuentra el vehículo. De esta manera se tomará la decisión de seguir con el vuelo o regresar al punto de partida, ya que con el controlador de vuelo pueden direccionar a su manera el cuadricóptero.

Figura 41*Sistema de control de vuelo*

Nota. En la figura se observa varios tipos de placas de un controlador de vuelo. Tomado de (Prometec, 2020)

3.2 Implementación del sistema de control

Para conocer los sin números de controladores de vuelo que se utilizan para maniobrar cuadricópteros y saber cuál de ellos es el que cumple los parámetros que se necesita, es necesario comparar distintas alternativas que se encuentra en el mercado.

3.2.1 Estudio de alternativas

Para la implementación del sistema de control a utilizar en el cuadricóptero, se realiza una búsqueda de controladores de vuelo en el mercado, se observaron y analizaron distintas alternativas:

a. Primera alternativa SF Racing F3

- **Descripción**

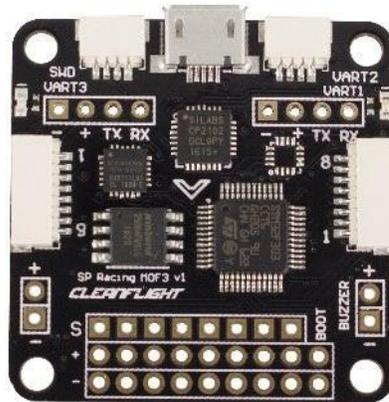
Este controlador de vuelo está elaborado para las personas que necesitan un vuelo de alto rendimiento en su vehículo aéreo no tripulado, ya sea tricópteros, cuadricópteros, hexacóptero, o aviones de ala fija. El SF Racing F3 cuenta con un software de código abierto, esto significa que puede aportar con el sistema. Este controlador de vuelo es de gran utilidad si están practicando vuelo de acrobacias.

- **Funcionalidad**

Este controlador permite generar de forma rápida los cálculos aritméticos, verificar el estado del dispositivo. Mediante la luz led programable ayuda a verificar el rumbo del drone en vuelos nocturnos, también cuenta con un puerto para verificar la corriente.

- **Factibilidad**

Con este tipo de sistema se puede garantizar una correcta calidad de vuelo, ya que genera una fuente de información para chequear el nivel de carga de la batería, al contar con distintos puertos incorporados ayuda al manejo y fácil control del cuadricóptero al momento que se encuentre en vuelo.

Figura 42*Controlador SF Racing F3*

Nota. En la imagen se observa la placa de la controladora SF racing F3. Tomado de (Sunfounder, 2017)

b. Segunda alternativa DJI Smart controller

▪ **Descripción**

El sistema DJI Smart Controller es de gran utilidad para los usuarios que desean maximizar su experiencia al momento de volar un dron al aire libre. La pantalla integrada que tiene este control permite una visualización de imágenes claras, ya sea que el clima se encuentre en buenas o difíciles condiciones. Algunas características que están preinstaladas ayudan al dron a llevarlo al aire con mayor facilidad y de forma rápida.

▪ **Funcionalidad**

Este controlador funciona con un sistema personalizado de android, lo cual brinda una excelente comunicación entre el control y el dron al momento que la

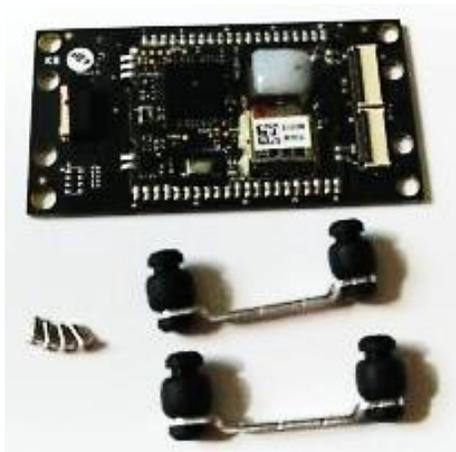
aeronave este en vuelo. También permite que el drone tenga una creación aérea más enfocada y rápida.

- **Factibilidad**

El controlador DJI es de gran beneficio, ya que permite un fácil manejo del cuadricóptero al momento que se encuentre en funcionamiento, ya sea al instante de despegar o aterrizar. Por los vuelos largos que muchas de las veces las personas pretenden tener, la batería que funciona con este controlador es de gran utilidad porque el nivel de carga no disminuye muy fácilmente.

Figura 43

Controlador DJI



Nota. En la figura se observa la placa de la controladora DJI.

c. Tercera alternativa Pixhawk

- **Descripción**

El sistema de control Pixhawk es utilizado para fines académicos, de entretenimiento e industriales ya que se puede conseguir a un bajo precio y consta con un programa de piloto automático. El autopiloto de este sistema tiene algoritmos de control y navegación. Es compatible con cualquier plataforma de android y su comunicación es por telemetría.

- **Funcionalidad**

Por todos los componentes electrónicos que posee el control de vuelo Pixhawk, le permite al usuario conseguir de manera fácil la información del campo para así tomar las decisiones sobre los actuadores y que el vuelo se realice de una manera segura. Para la alimentación de este control se realiza desde el conector power o desde el conector USB que tiene Pixhawk.

- **Factibilidad**

Es factible porque Pixhawk cuenta con un sistema sencillo para el manejo de los usuarios, por ende, el funcionamiento del cuadricóptero será de una manera fácil, precisa y segura. En tanto a los vuelos del drone serán factibles ya que posee sensores de altitud, proximidad y ubicación.

Figura 44

Controlador Pixhawk



Nota. En el gráfico se observa el control de vuelo Pixhawk. Tomado de (Escura Forcada, 2020)

3.2.2 Matriz de decisión

a. Criterio de evaluación

En la siguiente tabla se menciona la ponderación de cada alternativa, en esta tabla se determinó que la escala de evaluación será de 1 a 10, donde 1 al 3 es malo, 4 al 6 es regular, 7 al 9 es bueno y la ponderación de 10 es excelente. El número que de un valor mayor al momento de realizar la sumatoria y división según el número de parámetros será la mejor alternativa, por lo cual ese sistema de control será seleccionado para el estudio ya sea práctico o teórico.

Tabla 3

Criterios de evaluación

Parámetros - controlador	Pixhawk	DJI controller	SF Racing F3
Precisión	8	9	8
Peso	9	7	7
Autonomía	7	7	7
Seguridad	9	8	9
Maniobrabilidad	7	8	8
Precio	10	10	8
Total	8.3	8.1	7.8

Nota: Esta tabla muestra los criterios de evaluación de los controladores de vuelo que existen para un cuadricóptero.

b. Alternativa seleccionada

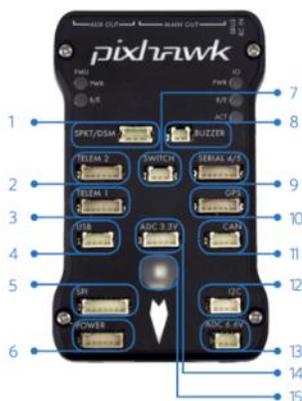
Por medio del estudio que se realizó, el sistema de control Pixhawk es la alternativa seleccionada, en este controlador el Hardware ya sea del procesador como de los sensores y el GPS incorporado es de mayor calidad y brinda una mayor precisión al momento de realizar las medidas y cálculos que permite el control y estabilidad de la aeronave. También, este sistema permite maniobrar el cuadricóptero sin perder el control cuando el ambiente no es favorable.

3.2.3 Control de vuelo Pixhawk

Para lograr una excelente conexión de todos los instrumentos en los distintos puertos del controlador Pixhawk se debe conocer con exactitud las partes de este componente, a continuación, se da a conocer los conectores del sistema de control Pixhawk.

Figura 45

Partes de Pixhawk



Nota. En el gráfico se observa las distintas partes por las que está compuesta Pixhawk. Tomado de (PX4 Dev Team, 2020)

- Spektrum DSM¹⁵ receiver
- Telemetry (radio telemetry)
- Telemetry (on-screen display)
- USB
- SPI¹⁶ bus
- Módulo de poder
- Botón del interruptor de seguridad
- Buzzer
- Serial
- Modulo GPS
- CAN¹⁷ bus
- Divisor o módulo de brújula
- Convertidor análogo a digital 6.6 V
- Convertidor análogo a digital 3.3 V
- Indicador LED¹⁸

En el controlador de vuelo Pixhawk también se puede encontrar botones en las partes laterales, los cuales son de gran importancia al momento de ser utilizados en conexión con un cuadricóptero.

¹⁵ DSM: Modelo de Superficie Digital

¹⁶ SPI: Interfaz Periférica Serial

¹⁷ CAN: Controller Area Network

¹⁸ LED: Diodo Emisor de Luz

Figura 46

Partes de Pixhawk



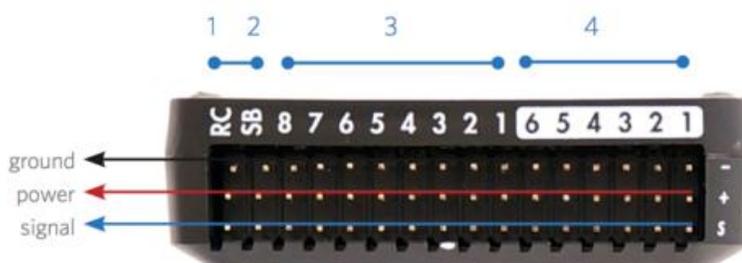
Nota. En la imagen se observa las partes de los costados de la controladora Pixhawk. Tomado de (PX4 Dev Team, 2020).

- Botón de reinicio de entrada/salida
- Tarjeta SD¹⁹
- Botón de reinicio de gestión de vuelo
- Puerto Micro-USB

En la parte superior del control pueden encontrar entradas principales y auxiliares, ya sea de tierra, de poder o para brindar señal al momento que el controlador esté en funcionamiento.

Figura 47

Partes de Pixhawk



Nota. En la imagen se observa la parte inferior de la controladora Pixhawk. Tomado de (PX4 Dev Team, 2020).

¹⁹ SD: Seguro Digital

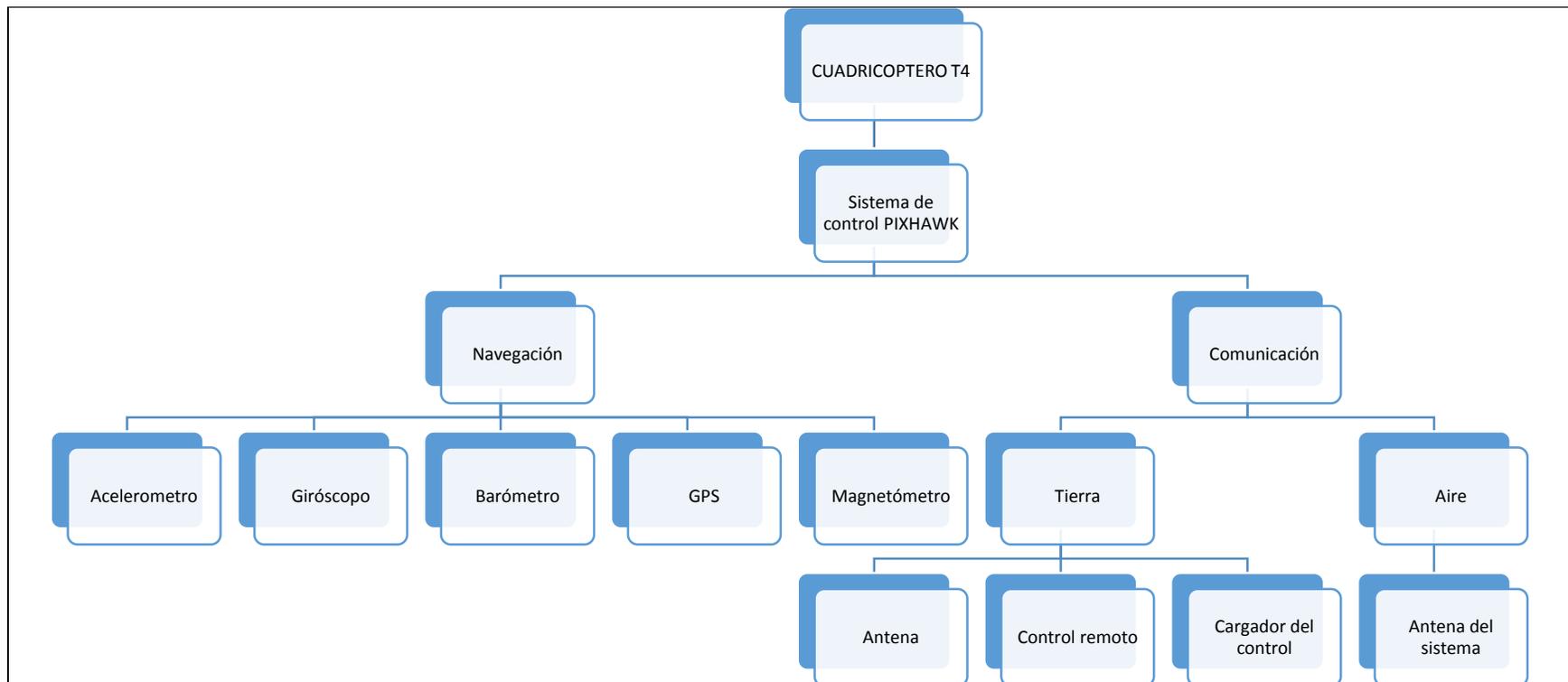
- Entrada del receptor del radio control
- Salida S.Bus²⁰
- Salidas principales
- Salidas auxiliares

²⁰ S.Bus: es un protocolo de comunicación digital utilizado en radio controles.

3.3 Interacción de los sistemas del cuadricóptero

Figura 48

Interacción de los sistemas



Nota. En el cuadro se observa la Interacción de los sistemas de un dron

El cuadricóptero T4 consta de un sistema de control llamado Pixhawk, el cual se divide en dos sistemas: sistema de navegación y sistema de comunicación. Estos dos sistemas permiten al cuadricóptero tener un mejor control al momento de que se encuentre en vuelo, ya que nos brindan información importante de sobre la aceleración, la ubicación, altitud y sobre todo en las condiciones que se encuentra la batería del dron. Gracias a la comunicación que existe entre las antenas del cuadricóptero en vuelo y las del control en tierra ayuda que este vehículo no se pierda y vuelva al punto donde despegó.

3.4 Proceso de ensamblaje

3.4.1 Configuración básica del sistema de control Pixhawk

Para calibrar este sistema es necesario instalar firmware en el hardware del controlador de vuelo, para así configurar los distintos sensores de Pixhawk que es necesario en cualquier vehículo aéreo no tripulado. Una vez que se haya instalado y actualizado firmware, debe configurar los parámetros según el vehículo que vamos a utilizar.

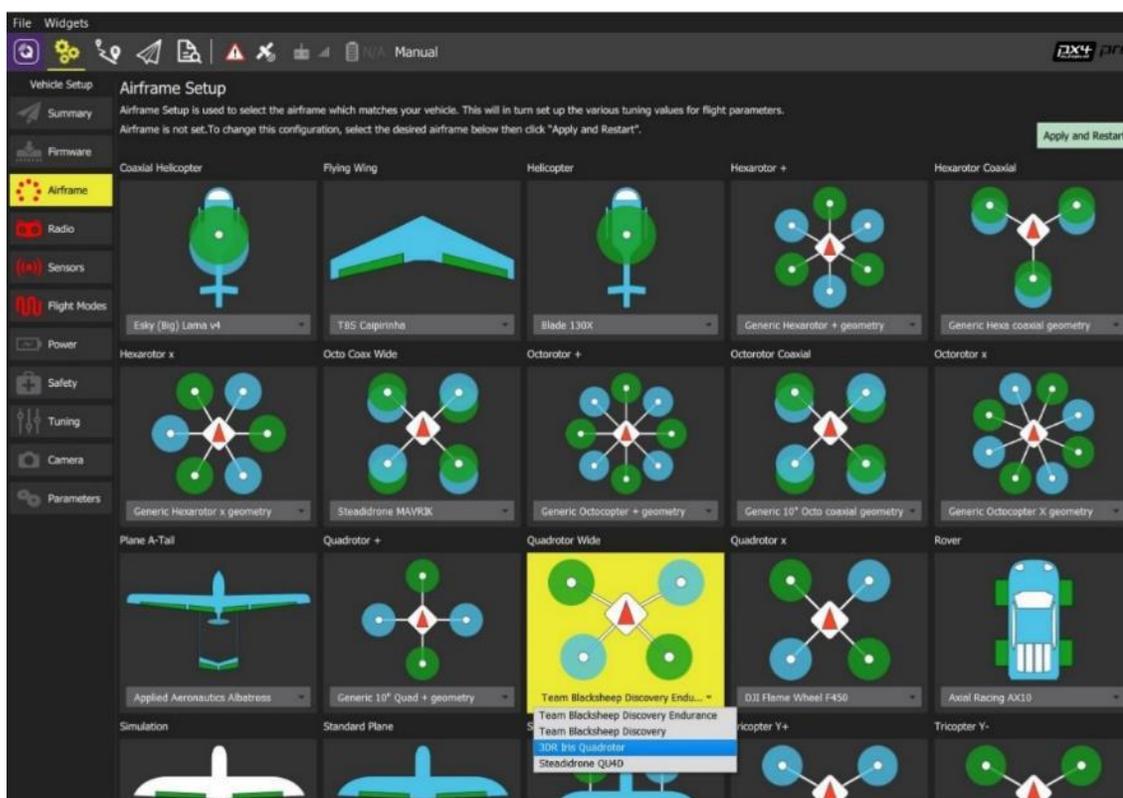
a. Configuración del fuselaje

Para comenzar con la calibración se debe abrir el programa QGroundControl, en ese momento se despliega varios vehículos y se tiene que elegir el más parecido del que vamos a utilizar, en ese instante es cuando comienza la calibración del fuselaje siguiendo el siguiente proceso:

- Iniciar el programa QGroundControl y conectar el cuadricóptero.
- Seleccione el icono de configuración en la barra de herramientas, y luego elegir la opción fuselaje.
- Seleccione el tipo de vehículo que más se parezca a su fuselaje.

Figura 49

Configuración del fuselaje



Nota. En el gráfico se observa la configuración del fuselaje de un drone. Diseño y construcción de un prototipo UAV multirotor de mini escala con estructura aerodinámica de ala fija

- De un clic en la opción aplicar y reiniciar, luego en aplicar para que se guarde la configuración que seleccionaron.

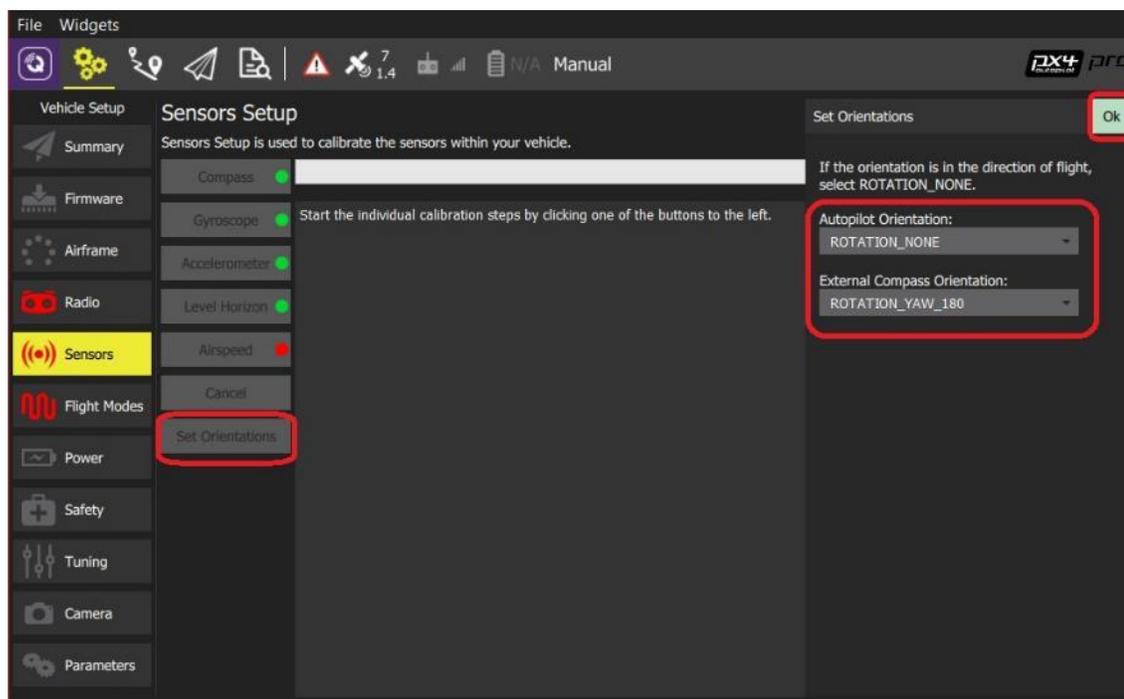
b. Establecer la orientación del sensor

Para establecer la orientación de los sensores se deben seguir los siguientes pasos, ya que se tiene que llevar a cabo una secuencia para lograr una buena calibración:

- Iniciar el programa QGroundControl y conectar el cuadricóptero.
- Seleccionar el icono de configuración, y luego elegir la opción sensores.
- Seleccionar la opción establecer orientaciones.

Figura 50

Establecer orientación

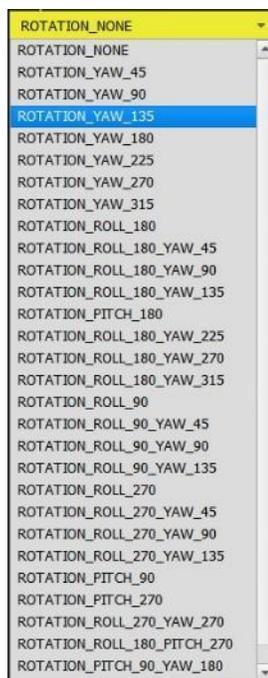


Nota. En la figura se observa como se establece la orientación.

- Escoger la orientación.

Figura 51

Seleccionar orientación



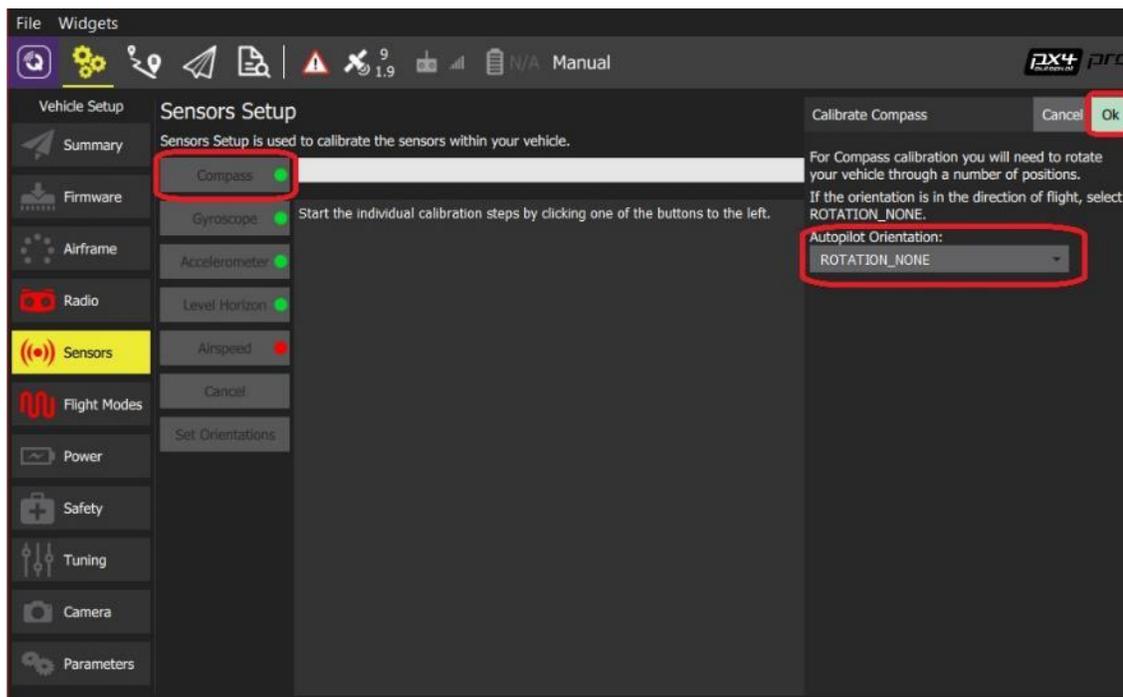
Nota. En el gráfico se observa cómo se selecciona la orientación de un drone.

Como muestra en la figura 51, el drone tiene que estar calibrado en la rotación Yaw a 135 grados, esta rotación nos permite cambiar la orientación del cuadricóptero ya sea a la derecha como a la izquierda para así tener una mejor experiencia al momento del funcionamiento del drone, también con esto nos ayuda a girar para que el vehículo no sufra choques, golpes o daños cuando se encuentre en vuelo.

c. Calibración de la brújula

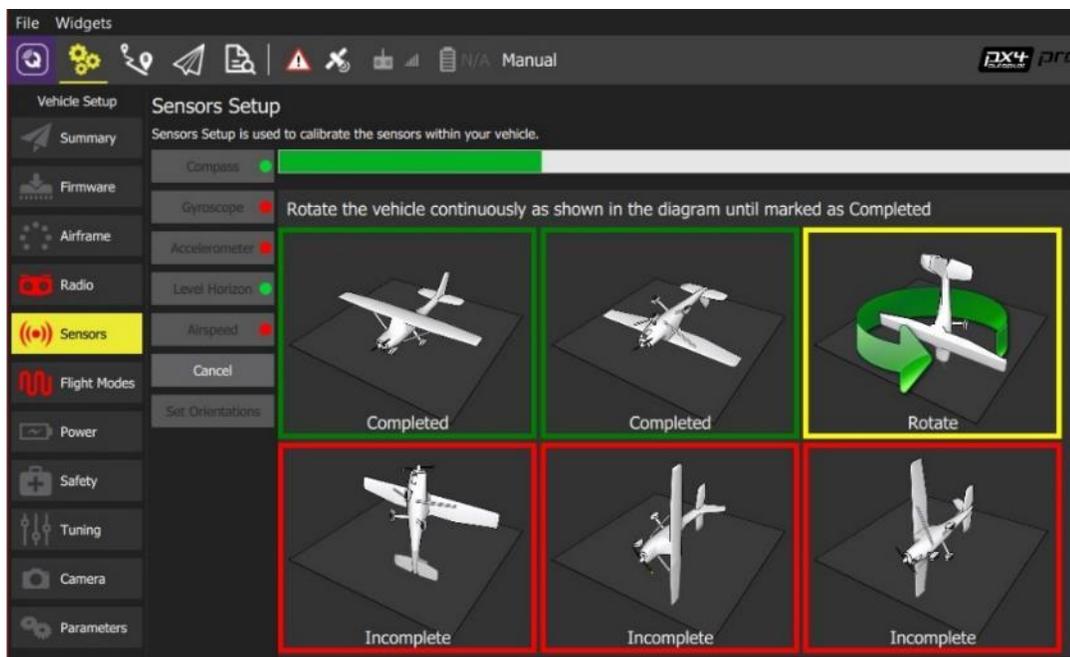
La brújula es uno de los elementos fundamentales al momento que un drone entre en funcionamiento y por ellos es necesario una buena conexión. Para realizar la calibración de la brújula en un cuadricóptero se debe seguir los siguientes parámetros:

- Iniciar el programa QGroundControl y conectar el cuadricóptero.
- Seleccionar la opción configuración, y luego elegir la opción sensores.
- Escoger el icono de brújula.

Figura 52*Calibración de la brújula*

Nota. En el gráfico se observa la calibración de la brújula en un cuadricóptero.

- Dar clic en aceptar para que la calibración empiece.
- Colocar el cuadricóptero en cualquier posición que se encuentre de color rojo, al momento de solicitar esa posición la imagen se vuelve de un color amarillo y tiene que girar alrededor del eje especificado y cuando se complete la calibración la imagen cambia a un color verde.

Figura 53*Calibración de la posición*

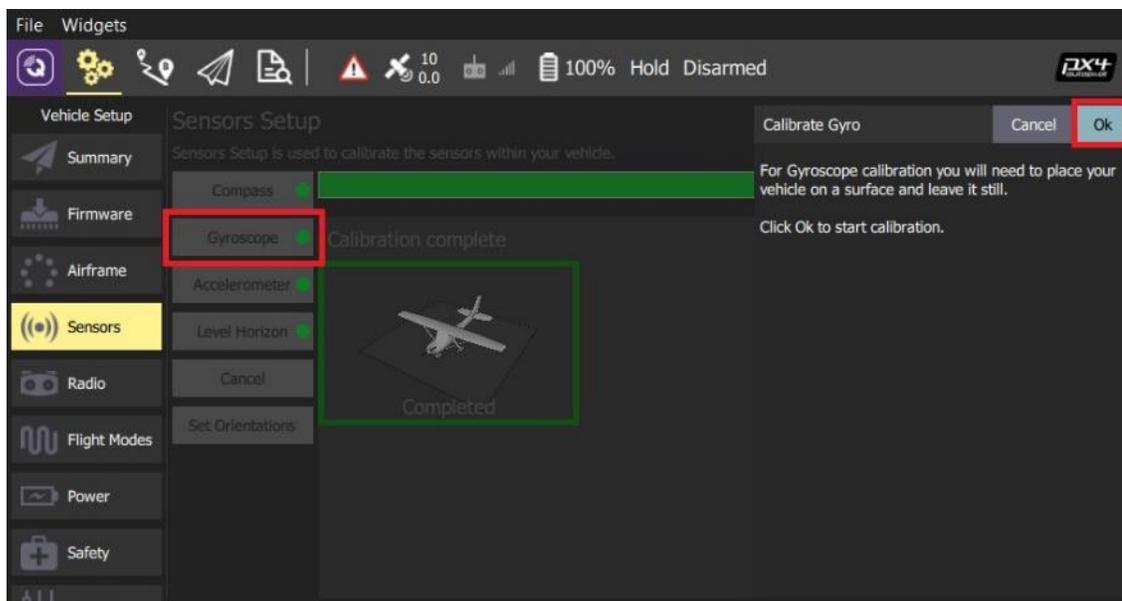
Nota. En el gráfico se observa la calibración de la posición en un drone.

- Repetir el proceso de calibración para todas las orientaciones del cuadricóptero, en la imagen anterior se visualiza que movimientos y orientaciones debe tener un drone.

d. Calibración del giroscopio

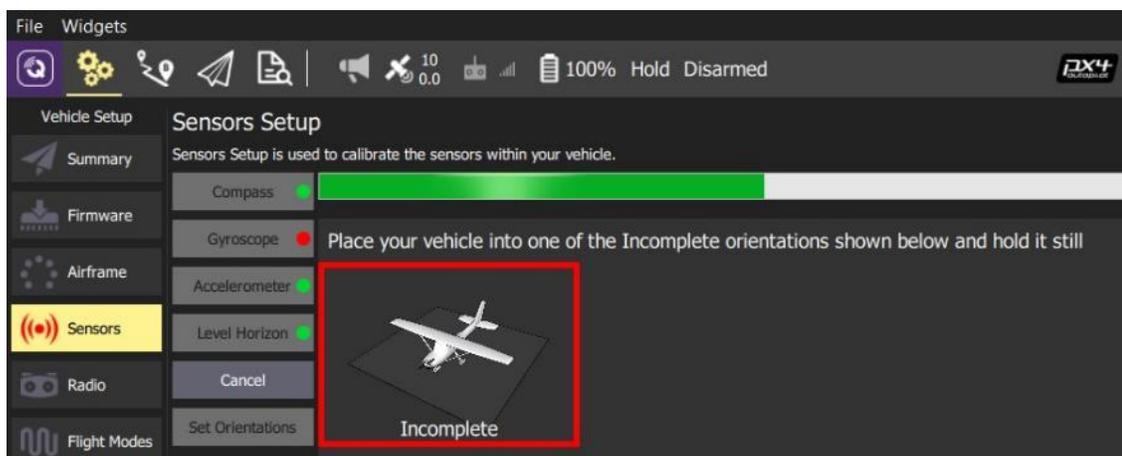
Para la calibración del giroscopio en el sistema de control del drone se tiene que seguir los siguientes pasos:

- Escoger la opción sensor y dar clic el giroscopio, este proceso es fundamental ya que con el giroscopio nos ayuda a cambiar la orientación del cuadricóptero cuando este se encuentre en vuelo.

Figura 54*Calibración del giroscopio*

Nota. En la figura se observa la calibración del giroscopio para el funcionamiento del dron.

- Deje al vehículo quieto en una superficie, y presione aceptar para que la calibración empiece.

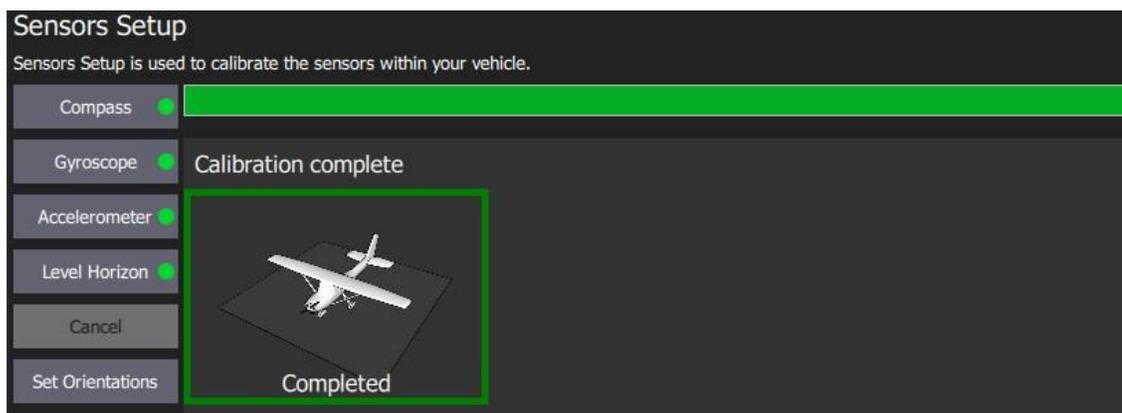
Figura 55*Empieza la calibración*

Nota. En el gráfico se observa el momento en que empieza la calibración.

Al finalizar la calibración aparece un mensaje que dice calibración completa, el color verde que aparece en la figura también da a conocer que dicha calibración tuvo éxito.

Figura 56

Calibración completa

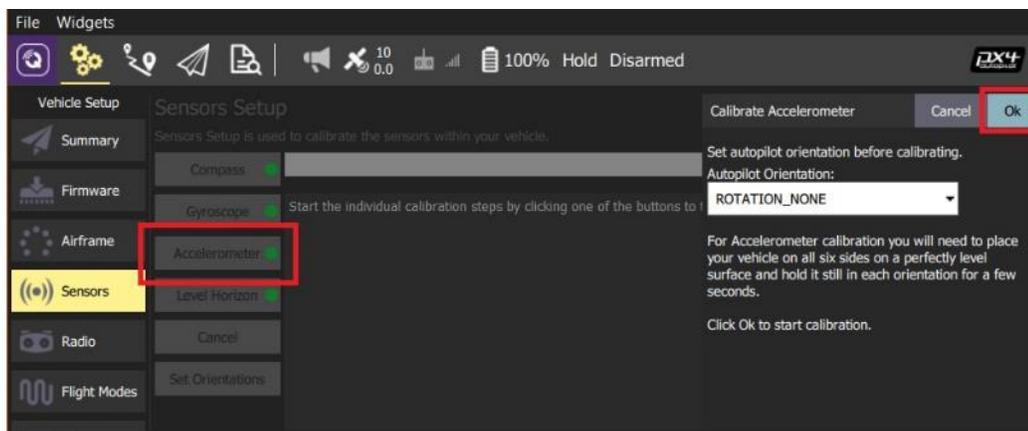


Nota. En el gráfico se observa cuando la calibración finaliza o está completada.

e. Calibración del acelerómetro

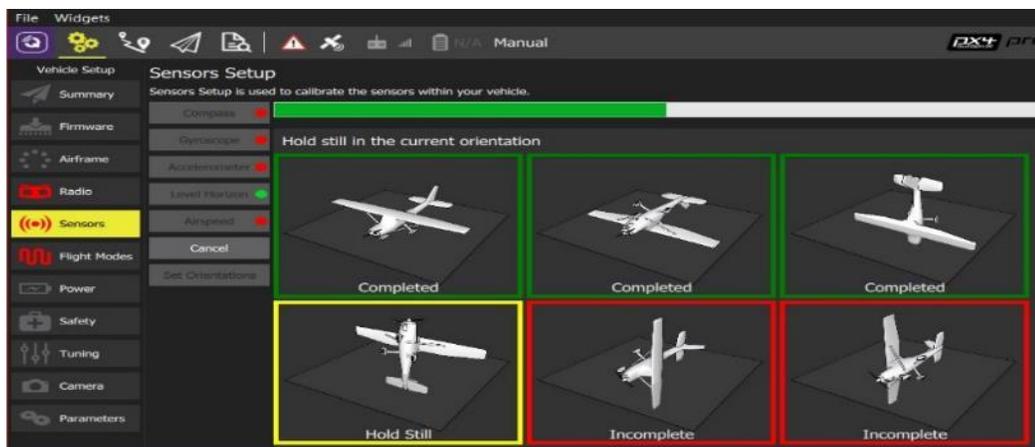
Al momento de realizar la calibración del acelerómetro se debe ejecutar los pasos en el orden mencionados a continuación:

- Iniciar el programa QGroundControl y conectar el cuadricóptero.
- Seleccione configuración, haga clic en sensores y presione el botón acelerómetro.

Figura 57*Calibración del acelerómetro*

Nota. En el gráfico se observa dónde comienza la calibración del acelerómetro.

- Presionar el botón aceptar para que empiece la calibración.
- Colar el cuadricóptero según la posición de las imágenes que muestra en la pantalla, al momento que ya este calibrada la orientación la imagen se volverá de color verde. En cada posición se muestra gráficamente como actúa el drone al momento que se utiliza el acelerómetro cuando el cuadricóptero está en vuelo.

Figura 58*Calibración de orientación*

Nota. En la figura se observa la calibración de la orientación.

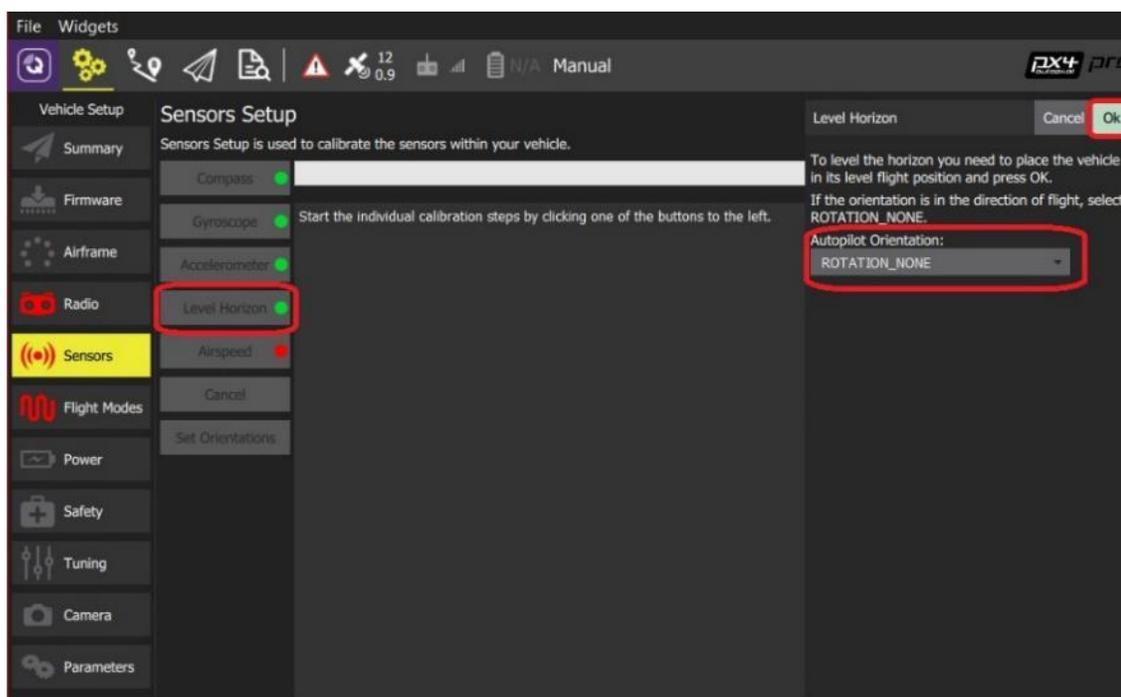
f. Calibración de nivel horizontal

Los pasos que se mencionan a continuación se debe seguir en ese orden al momento de calibrar el nivel horizontal:

- Iniciar el programa QGroundControl y conectar el cuadricóptero.
- Seleccione configuración, haga clic en sensores y presione el botón level horizon.

Figura 59

Calibración de nivel de horizonte



Nota. En la figura se observa la calibración del nivel de horizonte.

- Poner el cuadricóptero en posición de vuelo nivelado en una superficie que se encuentre nivelada.

- Dar clic en OK y esperar que termine el proceso de calibración.

Este proceso se debe ejecutar para el que el drone no sufra desequilibrios en el instante que esté en funcionamiento, con esta opción le ayuda al cuadricóptero que tenga un vuelo nivelado de acuerdo como sea controlado.

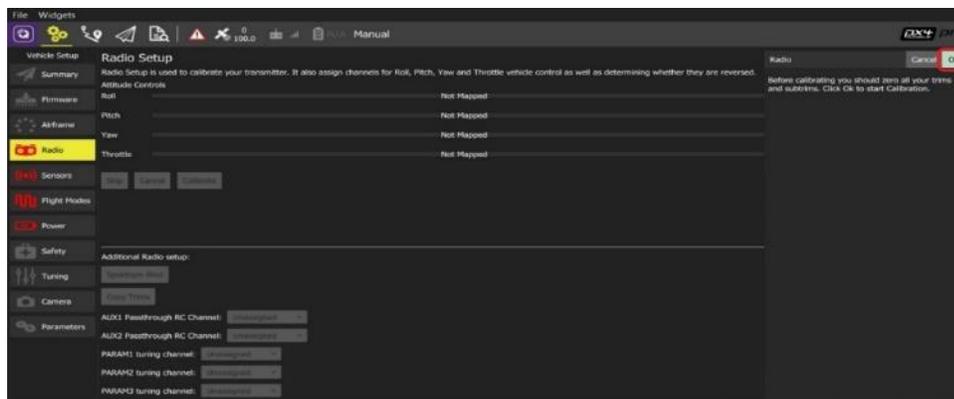
g. Configuración del radio control

Para calibrar el sistema de radio, tanto el receptor como el transmisor deben estar conectados y se debe seguir los siguientes pasos:

- Encender el radio control.
- Iniciar el programa QGroundControl y conectar el cuadricóptero.
- Seleccione configuración, haga clic en sensores y presione el botón radio.
- Dar clic en OK para que la calibración empiece.

Figura 60

Configuración del radio control

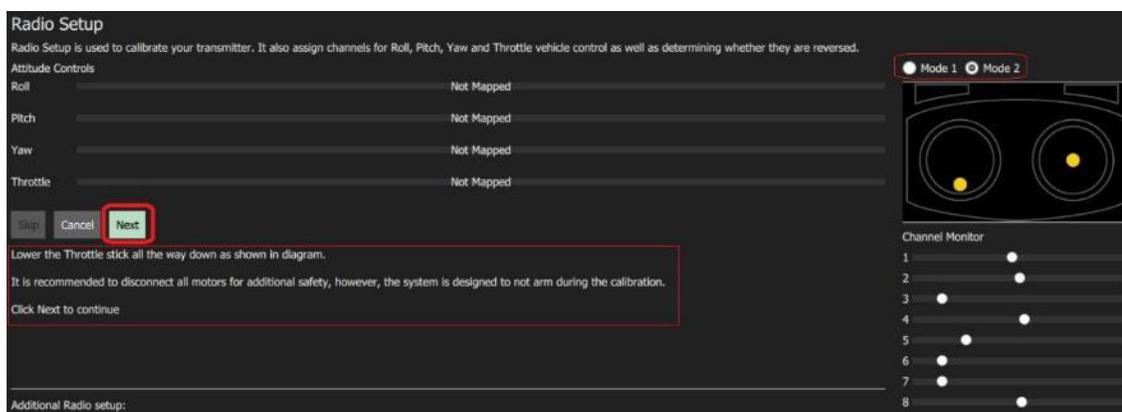


Nota. En el gráfico se observa la configuración del radio control para el funcionamiento de un drone.

- Verificar el botón de radio que se parezca al transmisor que se va a utilizar.
- En las opciones se muestran las rotaciones Roll, Pitch, Yaw, para la configuración de estas orientaciones se tiene que mover las palancas del radio control para verificar si están en las posiciones correctas.

Figura 61

Elección del transmisor



Nota. En la figura se observa la elección del transmisor correspondiente para el drone.

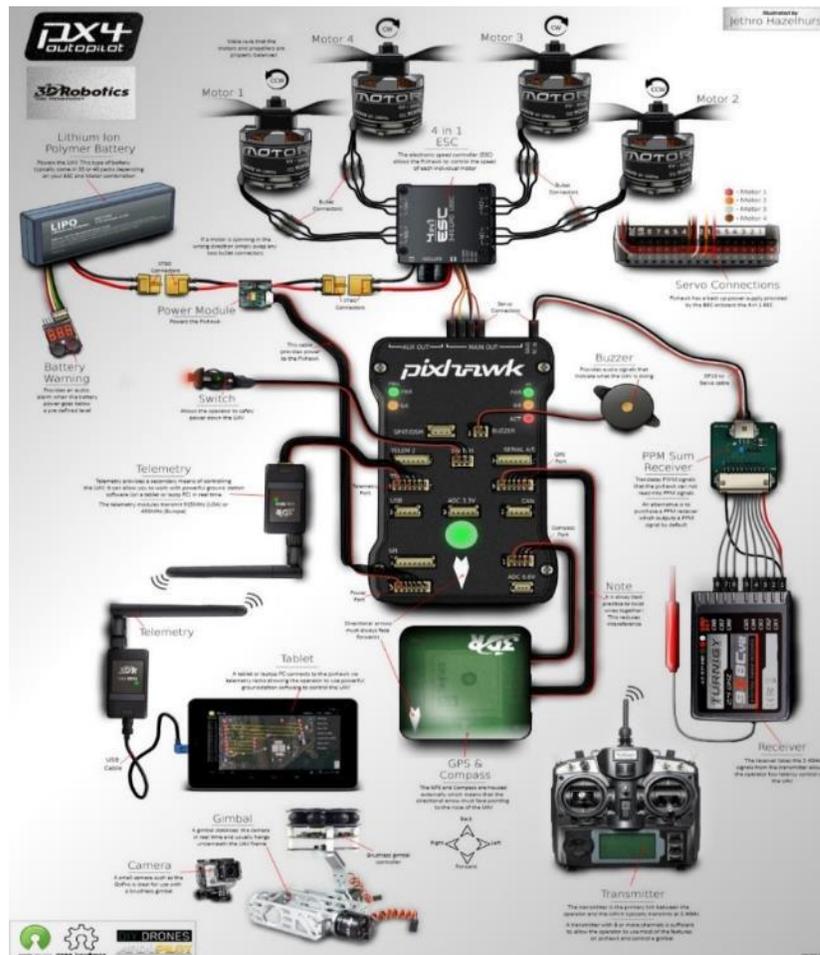
- Según como se muestre en la pantalla mueva los palos del control y presione siguiente, así repetir con todas las posiciones.
- Mover todos los interruptores del control cuando sea solicitado.
- Dar clic en siguiente para finalizar y guardar la configuración.
- Como recomendación al momento de realizar la calibración todos los motores deben estar desconectados para mayor seguridad, aunque el sistema que utilizada el drone está configurado para no funcionar al momento de la calibración.

3.4.2 Montaje y cableado del sistema de control Pixhawk

Para el montaje de los distintos componentes en el controlador de vuelo Pixhawk se debe tener conocimiento sobre los distintos puertos y la parte donde va conectado cada elemento, ya que este controlador tiene conexiones con la mayoría de los componentes de un drone.

Figura 62

Conexión de Pixhawk



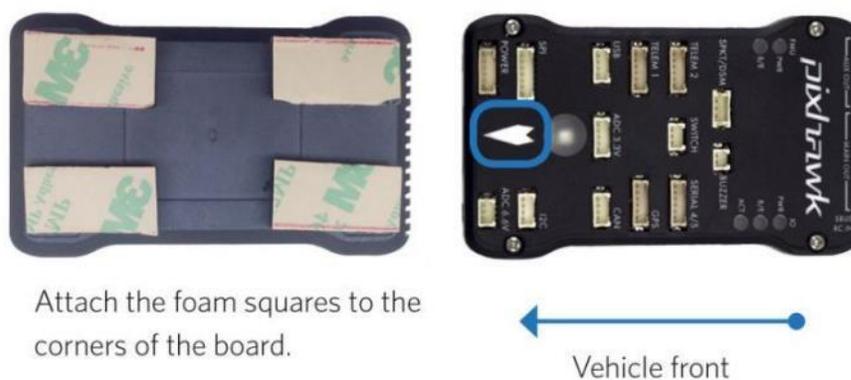
Nota. En el gráfico se observa los pasos y como debe ser conectados los componentes en la controladora Pixhawk. Tomado de (PX4 Dev Team, 2020)

a. Montaje de Pixhawk en el cuadricóptero

Primero que nada, el controlador de vuelo Pixhawk tiene que estar muy cerca del centro de gravedad del cuadricóptero para que el vehículo permanezca en equilibrio, y este controlador no debe estar sometido a vibraciones para no perder la conexión de ningún sensor por lo cual tiene que estar montado en esponjas amortiguadoras.

Figura 63

Montaje de Pixhawk



Nota. En el gráfico observamos el montaje de Pixhawk en el dron. Tomado de (PX4 Dev Team, 2020)

b. Interruptor de seguridad y timbre

Estos dos elementos son obligatorios para el funcionamiento ya que suena al momento que el cuadricóptero tiene un accidente o pérdida de control, el timbre y el interruptor deben ser colocados como muestra la siguiente figura. Estos componentes tienen que ser conectados en los puertos buzzer y switch como se muestra en la siguiente figura.

Figura 64*Interruptor de seguridad y timbre*

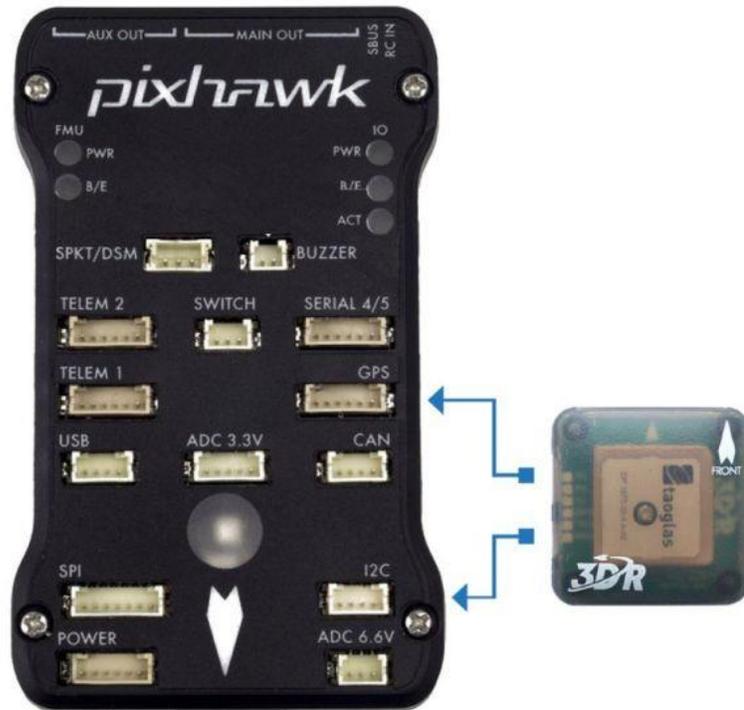
Nota. En la imagen se observa el conector de seguridad y timbre. Tomado de (PX4 Dev Team, 2020)

c. Conexión del GPS

El GPS debe ser colocado de manera correcta en el puerto del control Pixhawk para que no se desconecte, para esa conexión se utiliza un cable de 6 hilos que viene el del kit de este componente. Mientras exista la conexión de GPS en el controlador se puede saber la ubicación del cuadricóptero en tiempo real.

Figura 65

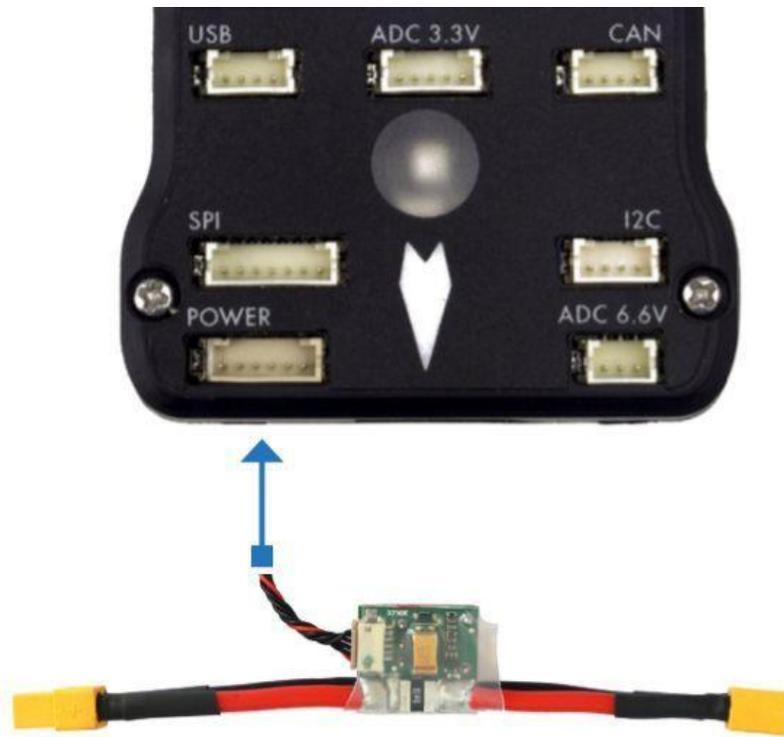
Conexión de GPS



Nota. En el gráfico se observa la conexión de GPS. Tomado de (PX4 Dev Team, 2020)

d. Conexión de la fuente de poder

El cable que se conecta a la fuente de poder debe ser colocado en el módulo de potencia al puerto de alimentación, ya que este módulo va conectado a la batería. Esta fuente alimenta al control de vuelo y a los motores del cuadricóptero.

Figura 66*Conexión de poder*

Nota. En el gráfico se observa el conector de poder. Tomado de (PX4 Dev Team, 2020)

e. Conexión del radio control

Para controlar manualmente el cuadricóptero se necesita un radio control, este aparato debe ser compatible para el controlador Pixhawk. Los receptores spektrum y DSM tiene que ser conectados a la entrada spektrum y DSM.

Figura 67

Conexión de radio control

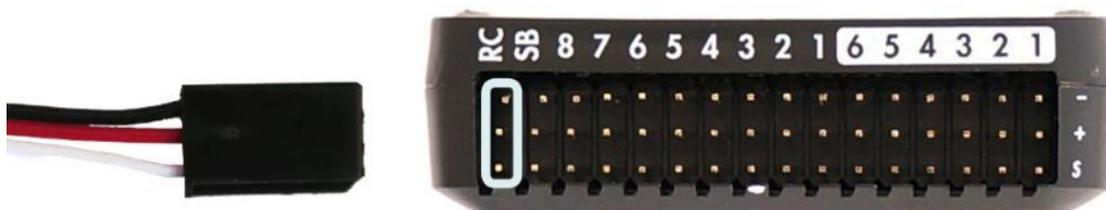


Nota. En el gráfico se observa el conector de radio control. Tomado de (PX4 Dev Team, 2020)

Para las señales del radio control en tierra se conecta los receptores PPM-SUM Y S.BUS.

Figura 68

Conexión de receptores a tierra



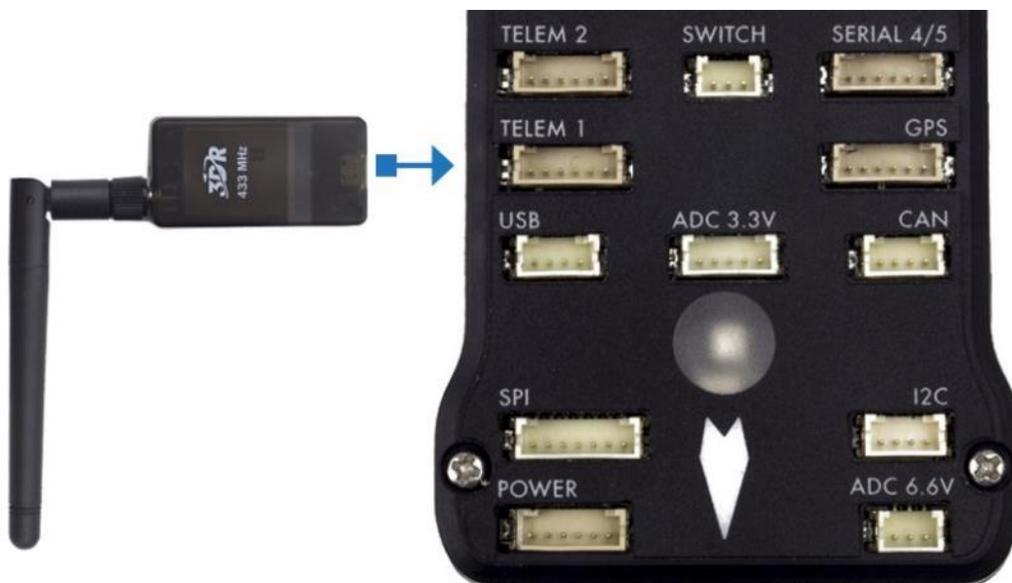
Nota. En la figura se observa los conectores de los receptores a tierra. Tomado de (PX4 Dev Team, 2020)

f. Conexión del radio de telemetría

El radio de telemetría debe ser conectado uno en el cuadricóptero y otro a una estación en tierra, este radio permite controlar y comunicarse desde tierra al cuadricóptero cuando este se encuentre en vuelo. La conexión de un componente del radio de telemetría va en la parte llamada telem 1 que se encuentra en el control Pixhawk.

Figura 69

Conexión del radio de telemetría



Nota. En el gráfico se observa el conector de radio de telemetría en la controladora Pixhawk.
Tomado de (PX4 Dev Team, 2020)

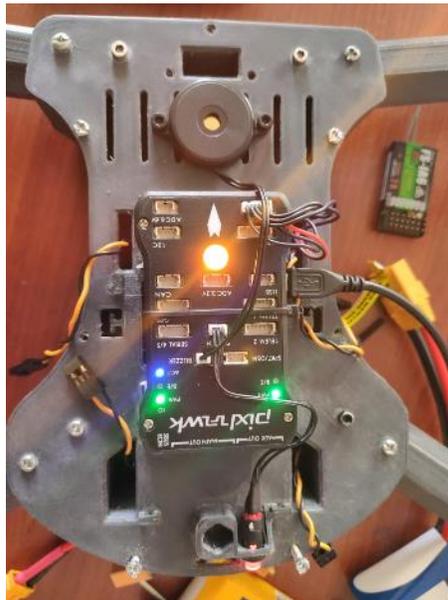
3.5 Validación y análisis de resultados

3.5.1 Pruebas funcionales

Las pruebas funcionales comienzan desde el momento que se enciende un sistema para observar cómo actúa. Al realizar el vuelo del cuadricóptero T4, se comprueba el funcionamiento del sistema de control y como interactúa cuando se encuentra en vuelo. Se llevó a cabo varias pruebas, en estos vuelos se consiguió resultados muy positivos, ya que existió una buena comunicación de la aeronave con el sistema de control y gracias al controlador Pixhawk se logró maniobrar correctamente el dron.

Figura 70

Pruebas funcionales



Nota. En el gráfico se observa las Prueba Funcional del cuadricóptero T4.

Tabla 4*Pruebas funcionales*

PARÁMETRO	MODO DE VERIFICACIÓN
Batería del drone	11.1 V en el cargador
Batería del radiocontrol	6 V (4 pilas AA)
Controlador de vuelo	Luces encendidas
Buzzer	Pitido
Motores	Palpitación de cada motor
Receptor	Luz encendida
Conexión emisor-receptor	Cantidad de batería en la pantalla del control

Nota. Esta tabla muestra las pruebas funcionales de cuadricóptero T4.

Figura 71*Prueba funcional*

Nota. En la figura se observa la Prueba Funcional del cuadricóptero T4.

3.5.2 Pruebas operacionales

Se da a conocer datos estadísticos antes de realizar la primera prueba de vuelo del cuadricóptero, después se procedió a interactuar con el drone cuando se encontraba en vuelo, el resultado se da a conocer con un “OK” si el cuadricóptero está en buen funcionamiento, y una “X” si el drone presenta alguna falla.

Tabla 5

Primera prueba del funcionamiento del dron

DATOS FUNDAMENTALES			
Número de prueba: 01			
Fecha: 12/diciembre/2019	Lugar: Latacunga		Hora: 15:34
Temperatura: 16°C	Presencia de viento: No		Presencia de precipitaciones: No
Batería del dron:	11.1 V	Batería del radiocontrol:	5.45 V
Buzzer:	Pitido	Controlador de vuelo:	Luces encendidas
Receptor:	Luz encendida	Motores:	Palpitación en 4 motores
Conexión emisor receptor:	TX y RX en pantalla		
Tiempo de vuelo:	8 minutos	Altura de vuelo aprox.:	2 metros
Batería del dron:	9.2 V	Batería del radiocontrol:	5.3 V
Distancia línea:	5 metros		
Movimiento altura:	Normal	Movimiento yaw:	No normal
Movimiento roll:	Normal	Movimiento pitch:	Normal
Daños estructurales:	No	Cables desconectados:	No
Daños en motores:	No	Daños en hélices:	No
Sobrecalentamiento de motores:	No		
NOVEDADES:	Ligera rotación hacia la derecha en el eje vertical (movimiento yaw) durante el vuelo estacionario.		
VISTO BUENO DE LA PRUEBA OPERACIONAL			
	Si:		No: X

Nota. Esta tabla muestra los datos obtenidos en la primera prueba de funcionamiento del dron.

La prueba de vuelo del cuadricóptero se realizó el 12 de diciembre del 2019 a las 15:34 pm en la ciudad de Latacunga con una temperatura de 16 °C, en la cual existió complicaciones ya que existió un ligero giro hacia la derecha cuando el dron estaba en funcionamiento, lo cual, al interactuar con el controlador de vuelo y la aeronave se dio a conocer un resultado negativo, obteniendo así una falla durante el vuelo estacionario.

Figura 72

Primera prueba de vuelo



Nota. En la imagen se observa la Primera Prueba de vuelo del cuadricóptero T4.

Figura 73

Primera prueba de vuelo



Nota. En la imagen se observa la Primera Prueba de vuelo del cuadricóptero T4.

Tabla 6

Segunda prueba del funcionamiento del drone

DATOS FUNDAMENTALES			
Número de prueba: 02			
Fecha: 10/enero/2020	Lugar: Latacunga	Hora: 10:20	
Temperatura: 18°C	Presencia de viento: No	Presencia de precipitaciones: No	
Batería del drone:	11.4 V	Batería del radiocontrol:	5.2 V
Buzzer:	Pitido	Controlador de vuelo:	Luces encendidas
Receptor:	Luz encendida	Motores:	Palpitación en 4 motores
Conexión emisor-receptor:	TX y RX en pantalla		
Tiempo de vuelo:	15 minutos	Altura de vuelo:	10 metros
Batería del drone:	7.3 V	Batería del radiocontrol:	4.8 V
Distancia línea de vista aprox:	15 metros		
Movimiento altura:	Normal	Movimiento yaw:	Normal
Movimiento roll:	Normal	Movimiento pitch:	Normal
Daños estructurales:	No	Cables desconectados:	No
Daños en motores:	No	Daños en hélices:	No
Sobrecalentamiento de motores:	No		
NOVEDADES:	Ninguna		
VISTO BUENO DE LA PRUEBA OPERACIONAL			
	Si: X		No:

Nota. Esta tabla muestra los datos obtenidos en la segunda prueba de funcionamiento del drone.

La segunda prueba de vuelo del cuadricóptero se realizó el 10 de enero del 2020 a las 10:20 am en la ciudad de Latacunga con una temperatura de 18 °C, en esta prueba los componentes que se encuentran instalados en el drone no tuvieron problemas al momento de su funcionamiento, con esta segunda prueba se da a conocer que el drone se encuentra en buen estado.

El funcionamiento de los componentes del drone tanto del sistema de control como el de propulsión están en excelentes condiciones para el vuelo del cuadricóptero, no existió ninguna falla con el controlador, se pudo maniobrar con facilidad y con toda la seguridad necesaria para que no exista daños o accidentes con el drone.

Figura 74*Segunda prueba de vuelo*

Nota. En la imagen se observa la Segunda Prueba de vuelo del cuadricóptero T4.

Figura 75*Segunda prueba de vuelo*

Nota. En la imagen se muestra la Segunda Prueba de vuelo del cuadricóptero T4.

Tabla 7

Análisis de los elementos, pruebas del drone

PARÁMETRO	MODO DE VERIFICACIÓN
Batería del drone	11.1 V en el cargador
Batería del radiocontrol	6 V (4 pilas AA)
Controlador de vuelo	Luces encendidas

Nota. Esta tabla muestra los datos del análisis de los distintos elementos en las pruebas del drone.

Al verificar los elementos del control Pixhawk, Batería del drone, Batería del radiocontrol, el control de vuelo y se observó un excelente funcionamiento, por lo cual se da a conocer un resultado favorable de estos componentes. El radio control fue de gran ayuda al momento que el cuadricóptero se encontraba en vuelo ya que permite maniobrar y cambiar de dirección al vehículo.

Figura 76

Vuelo controlado del cuadricóptero



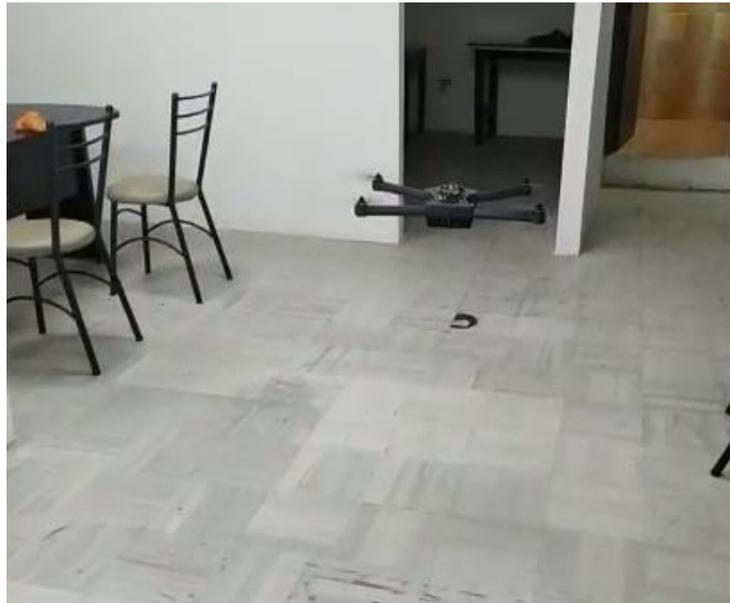
Nota. En las imágenes se observa el Vuelo Controlado del Cuadricóptero T4.

Se examinó además la posición en la cual fue ensamblado el controlador de vuelo. No existieron vibraciones y mucho menos se desconectaron los cables de los distintos componentes. Por el peso del control Pixhawk no existió inconvenientes, ya que, la resistencia de la estructura del drone hace que el cuadricóptero sea aerodinámico. Con esta prueba se logró identificar que la aeronave queda en buenas condiciones para su funcionamiento.

El funcionamiento del radio control es básico, por lo que fue sencillo maniobrar el cuadricóptero cuando se encontró en vuelo. Existe una excelente conexión porque el drone despegó-aterizó de manera correcta y no existió ningún inconveniente.

Figura 77

Vuelo controlado



Nota. En la imagen se observa el Vuelo Controlado del cuadricóptero T4 dentro de una habitación.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En base a la recopilación de la información técnica del cuadricóptero T4, se logró conocer los principios básicos que permite el respectivo ensamblaje del sistema de control, el mismo que es útil para el adecuado funcionamiento del dron en vuelo.
- De acuerdo con la selección de distintos componentes para el sistema de control de un dron, se pudo cumplir con las especificaciones técnicas necesarias para un buen funcionamiento del cuadricóptero.
- A través de los test de pruebas aplicadas al sistema, con la ayuda del multímetro se observa la energía que consumen dichos componentes y su respectivo funcionamiento individual, los mismos que son pertenecientes al sistema de control y con los cuales se logró ensamblar el cuadricóptero T4 siguiendo sus especificaciones técnicas.
- Mediante el uso del software QGround Control y durante el manejo del dron se analiza resultados del desempeño operacional, los mismos que son válidos a través de varias pruebas de funcionamiento práctico correspondientes al cuadricóptero T4.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda leer el manual del controlador de vuelo Pixhawk, en el documento se encuentra información técnica para el montaje de dicho sistema en un drone.
- Para no tener problemas al momento del funcionamiento de un cuadricóptero, averiguar acerca de los componentes de control, para así tener presente la actividad que cumple cada uno de ellos.
- Para el correcto ensamblaje del sistema de control es necesario guiarse en el manual del controlador y utilizar las herramientas adecuadas para que no exista daños en los componentes.
- Para el buen funcionamiento del controlador de vuelo, es necesario que se encuentre en un lugar que no exista vibraciones y no sufra desconexiones de los cables al momento que el drone se encuentre en funcionamiento.

GLOSARIO

A

Aeronave: Aerodino propulsado por motor el cual ejerce la sustentación principalmente a reacciones aerodinámicas ejercidas sobre las superficies estructurales.

C

Conectividad: Se denomina conectividad a la capacidad de establecer una conexión: una comunicación, un vínculo. El concepto suele aludir a la disponibilidad que tiene de un dispositivo para ser conectado a otro o a una red.

D

Dron: Es un vehículo aéreo sin tripulación que se contrala desde un control remoto que para la sustentación utiliza el giro de los motores unidos a sus hélices.

Dispositivo: Un dispositivo es un aparato o mecanismo que desarrolla determinadas acciones. Su nombre está vinculado a que dicho artificio está dispuesto para cumplir con su objetivo.

E

Control electrónico de velocidad.: Es un componente esencial que conforma el dron, el cual tiene la finalidad de controlar la velocidad del dron.

N

Normas: Las normas son reglas que se establece con el propósito de regular comportamientos y así procurar mantener un orden. Esta regla o conjunto de reglas son articuladas para establecer las bases de un comportamiento.

S

Sistema: Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí que funciona como un todo. Los elementos que componen un sistema pueden ser variados, como

una serie de principios o reglas estructuradas sobre una materia o teoría. Por ejemplo: un sistema político o un sistema económico.

V

Vuelo: Vuelo es la acción de volar. Este verbo refiere a elevarse en el aire y moverse un cierto tiempo por él. Dicha elevación puede producirse gracias a las alas o a algún aparato de aviación.

ABREVIATURAS

UAV: Sistema Aero no tripulado.

DRONE: Aeronave que vuela sin tripulación.

MEMS: Elementos mecánicos y electromecánicos.

IMU: Unidad de medida inercial.

RPA: Codificaciones de identificación.

VANT: Vehículo Aéreo No Tripulado.

UAS: Sistema Aéreo No Tripulado.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global.

UCAV: Vehículo Aéreo de Combate no Tripulado.

Ni-Cd: Níquel Cadmio.

Ni-MH: Níquel Metal Hidruro.

Li-Po: Polímero de Litio.

RPAS: Sistema Aéreo Tripulado de Forma Remota.

MTOW: Peso Máximo de Despegue.

ESC: Controlador Electrónico de Velocidad.

FET: Transmisores de Efecto Cambio.

BEC: Bombeo Electro Centrifugo.

3S: Numero de Celdas Conectadas en Serie.

IMU: Unidad de Medida Inercial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acre Surveying Solutions. (2020). *DJI Matrice 210 para seguridad e industria con Zenmuse Z30 y Zenmuse XT*. Recuperado el 25 de Enero de 2020, de Flir Premium Partner: <https://grupoacre.co/catalogo-productos/dji-matrice-210-seguridad-2-camaras/>
- Aeromodelismo. (Febrero de 2018). *Tipos de baterías para radiocontrol*. Recuperado el 05 de Julio de 2019, de Juguetecnic: https://www.rctecnic.com/blog/12_Tipos-de-bater%C3%ADas-para-RadioControl.html
- Aidronix. (24 de Mayo de 2017). *Qué hacer con la amenaza exponencial de los drones*. Recuperado el 01 de Marzo de 2020, de <https://www.aidronix.com/?cat=50>
- Ar Drone 2.0. (2020). *Especificaciones técnicas*. Recuperado el 05 de Abril de 2020, de Default copyright text: <https://ardrone-2.es/especificaciones-ar-drone-2/>
- Área Tecnología. (2020). *Drones y tipos de drones*. Recuperado el 15 de Febrero de 2020, de Tecnología: <https://www.areatecnologia.com/aparatos-electronicos/drones.html>
- Arroyo G., P. (2019). Sobrevuelo. *Revista de la Fuerza Aérea Ecuatoriana*(16), 14-17. Obtenido de https://issuu.com/fuerzaaereaec/docs/revista_sobreuelo_edicion_16
- Asociación Dronsky Madrid. (2015). *Drones en la búsqueda de personas: ámbitos de operación, medios a utilizar y factor humano*. Recuperado el 20 de Febrero de 2020, de Hispaviación: <http://www.hispaviacion.es/drones-la-busqueda-personas-ambitos-operacion-medios-utilizar-factor-humano/>
- Benítez Mantero, E. (23 de Marzo de 2018). *¿Cuáles son las partes de un dron?* Recuperado el 25 de Enero de 2020, de DronProfesional.com: <https://dronprofesional.com/blog/cuales-son-las-partes-de-un-dron/>
- Benito Carrasco, J. A. (2015). *Integración de un UAV (vehículo aéreo no tripulado) en la plataforma robótica ARGOS [Tesis de ingeniería]*. Universidad Autónoma de

Madrid. Obtenido de

<http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20150407JuanAlbertoBenitoCarrasco.pdf>

Bernad Catalá, J. X. (2019). *Diseño y fabricación de un dron con sistema de seguridad anticolidión mejorado [Tesis de ingeniería]*. Universitat Politècnica de València.

Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/131803/Bernad%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20fabricaci%C3%B3n%20de%20dron%20con%20sistema%20de%20seguridad%20anticolisi%C3%B3n%20mejorado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Betancourt, J. (2008). *Planeación de Trayectorias Mediante Esquemas Basados en Control Predictivo: Caso de Estudio de un Cuadrirotor*. Recuperado el 01 de Mayo de 2020, de ResearchGate: https://www.researchgate.net/figure/Figura-211-muestra-los-tres-angulos-de-rotacion-en-un-cuadricoptero-donde-el-eje-rojo_fig1_306275351

Bikelec. (26 de Diciembre de 2013). *Haz más potente tu motor eléctrico*. Recuperado el 10 de Abril de 2020, de <https://www.bikelec.es/blog/haz-mas-potente-tu-motor-electrico/>

Camacho Puig, R. (2016). *Diseño y optimización para plataformas de un dron multirrotor [Tesis de ingeniería]*. Universidad Carlos III de Madrid. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/24371/TFG_Rafael_Camacho_Puig_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Carletti, E. J. (2019). *Sensores - Conceptos generales. Descripción y funcionamiento*. Recuperado el 30 de Enero de 2020, de Robots: http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm

Castro Latorre, N. J., Coronado Abella, W. D., & Pérez Londoño, L. (2013). *Diseño estructural del fuselaje, ala central y unión ala-fuselaje para la aeronave no tripulada (UAV) experimental Skycruiser X-1 [Tesis de ingeniería]*. Universidad

- de San Buenaventura. Obtenido de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/79561.pdf>
- CBJ Team. (24 de Abril de 2020). *Law Enforcement and Drone Technology During COVID-19*. Recuperado el 01 de Junio de 2020, de Legal News: <https://www.cbjlawyers.com/law-enforcement-and-drone-technology-during-covid-19/>
- Control Drone. (06 de Agosto de 2017). *Baterías de Drones*. Recuperado el 15 de Enero de 2020, de <https://www.controldron.com/baterias-de-drones-2/>
- Crespo Quirós, G. (2014). *Sistema de enlace robusto para la teleoperación de un UAV (vehículo aéreo no tripulado) en la plataforma robótica ARGOS [Tesis de ingeniería]*. Universidad Autónoma de Madrid. Obtenido de <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20150122GuadalupeCrespoQuiros.pdf>
- Cuerno Rejado, C., García Hernández, L., Sánchez Carmona, A., Carrio Fernández, A., Sánchez López, J. L., & Campoy Cervera, P. (Mayo de 2016). Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad. *Dyna*, 91(3), 282-288. Obtenido de http://oa.upm.es/40803/1/INVE_MEM_2015_203893.pdf
- Dazzle Robotics. (2020). *T-Motor Air 20A Esc*. Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de Robokits India: <https://robokits.co.in/drones-quad-hexa-octa-fpv/t-motor-esc-propeller/t-motor-esc/air-series/t-motor-air-20a-esc>
- Diario La Juventud. (14 de Septiembre de 2019). Ataque de drones israelíes es “declaración de guerra” contra Irak [Artículo de periódico]. *Internacionales, Medio Oriente y África*. Obtenido de <https://www.diariolajuventud.com/single-post/2019/09/14/Ataque-de-drones-israel%C3%ADes-es-%E2%80%9Cdeclaraci%C3%B3n-de-guerra%E2%80%9D-contra-Irak>
- Dirección General de Aviación Civil. (17 de Septiembre de 2015). Resolución No. 251. Quito. Obtenido de <https://www.aviacioncivil.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2019/07/resol_-251-2015-normas-operacion-drones0102808001562176554-2.pdf

- DJI. (2014). *DJI Phantom 4 Advanced+ dron con cámara Cuadricóptero Blanco 4 rotores 20 MP 4096 x 2160 Pixeles 5870 mAh*. Recuperado el 25 de Febrero de 2020, de Phone House: <https://www.phonehouse.es/drones/dji/phantom-4-advancedplus-dron-con-camara-cuadricoptero-blanco-4-rotores-20-mp-4096-x-2160-pixeles-5870-mah.html#>
- DJI. (09 de Septiembre de 2016). *DJI 16001000 Dron multicoptero, S1000, Premium*. Recuperado el 05 de Marzo de 2020, de Amazon: <https://www.amazon.es/DJI-16001000-Dron-multic%C3%B3ptero-S1000-Premium/dp/B01I5GOTNY>
- DJI. (Junio de 2017). *Manual del usuario*. Obtenido de Spark: https://dl.djicdn.com/downloads/Spark/Spark_User_Manual_V1.2_ES.pdf
- DonWeb. (2014). *Los 14 usos de drones que seguro no conocías*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de <http://agencia.donweb.com/los-14-usos-de-drones-que-seguro-no-conocias/>
- Drones. (2016). *Drones de 6 Motores*. Recuperado el 30 de Febrero de 2020, de <https://dronesnuevos.com/drones-6-motores-hexacoptero/>
- Droneymas. (26 de Julio de 2020). *Tipos de Drone en el mercado*. Recuperado el 30 de Julio de 2020, de <https://www.droneymas.com/tipos-de-drone/>
- El Universo. (19 de Septiembre de 2015). La DAC regula el uso de drones en Ecuador [Artículo de periódico]. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2015/09/19/nota/5134157/drones-solo-podran-volar-durante-dia-ecuador>
- Escura Forcada, C. (2020). *La electrónica de vuelo*. Recuperado el 25 de Mayo de 2020, de Vuelo Artificial: <https://vueloartificial.com/introduccion/primeros-pasos/la-electronica-de-vuelo/>

- Fast Track Aviation. (22 de Noviembre de 2017). Todo sobre Drones: su funcionamiento, tipos y usos [Artículo de periódico]. Obtenido de <https://www.ftaviation.com.co/funcionamiento-tipos-y-usos-de-drones/>
- FpvMax. (21 de Diciembre de 2016). *Variador electrónico (ESC): Qué es y cómo funciona*. Recuperado el 15 de Mayo de 2020, de <http://fpvmax.com/2016/12/21/variador-electronico-esc-funciona/>
- FpvMax. (julio de 2017). *Variador electrónico ESC*. Recuperado el 24 de noviembre de 2019, de <http://fpvmax.com/2016/12/21/variador-electronico-esc-funciona/>
- Fuerza Aérea Ecuatoriana - FAE. (2013). *Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico*. Recuperado el 05 de Enero de 2020, de Fantástico, S.A.: <http://fuerzaaereaecuadorianafae.blogspot.com/p/itsa.html>
- García García, I. (2017). *Estudio sobre vehículos aéreos no tripulados y sus aplicaciones [Tesis de ingeniería]*. Universidad de Valladolid. Obtenido de <http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/23021/TFG-P-528.pdf?sequence=1>
- García Mateu, L. (2016). *Drones, el cielo está al alcance de todos [Monografía]*. IES Emperador Carles. Obtenido de https://www.edubcn.cat/racs_gene/treballs_recerca/2015-2016-03-1-TR.pdf
- Global. (03 de Mayo de 2017). *Uso de drones en la actualidad y futuro*. Recuperado el 25 de Mayo de 2020, de Mediterránea Geomática: <https://www.globalmediterranea.es/uso-drones-la-actualidad-futuro/>
- González Herrera, R., Ucán Navarrete, J. P., Sánchez y Pinto, I., Medina Esquivel, R., Árcega Cabrera, F., Zetina Moguel, C., & Casares Salazar, R. (Junio de 2019). Drones. Aplicaciones en Ingeniería Civil y Geociencias. *InterCiencia*, 44(6), 326-331. Obtenido de https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2019/07/326_6229_A_Gonzalez_Herrera_v44n6.pdf
- Guía Drones. (2020). *Cámaras de visión nocturna para drones y cómo funciona la visión nocturna*. Recuperado el 15 de Febrero de 2020, de

<https://guiadrones.com/base-de-conocimiento/camaras-de-vision-nocturna-para-drones-y-como-funciona-la-vision-nocturna/>

Hinojosa Pérez, M. (2018). *Diseño y construcción de dron autónomo para medición de radiación solar [Tesis de ingeniería]*. Universidad de Sevilla. Obtenido de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/87297/TFG-2257-HINOJOSA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

HobbyKing. (2020). *Turnigy 2700mAh 3S 20C Lipo Pack (Adecuado para Quantom Nova, Fantasma, QR X350)*. Recuperado el 20 de Enero de 2020, de Lipo 735: https://hobbyking.com/es_es/turnigy-2700mah-3s-20c-lipo-pack-suitable-for-quantum-nova-phantom-qr-x350.html?__store=es_es

Imagen Radio. (15 de Octubre de 2014). *14 increíbles usos de los 'drones'*. Recuperado el 25 de Marzo de 2020, de <https://www.imagenradio.com.mx/14-increibles-usos-de-los-drones>

Inteligencia Artificial. (2020). *Baterías Li-Po*. Recuperado el 20 de Abril de 2020, de Energía: <http://inteligenciaartificialyrobotica.com/esp/item/599/dbt-702030-bateria-lipo-300-mah-1s-25c>

Jordán, J. (2014). *Drones militares: impulso de la innovación tecnológica y civil*. Recuperado el 20 de Febrero de 2020, de El Confidencial: https://blogs.elconfidencial.com/espana/tribuna/2014-04-11/drones-militares-impulso-de-la-innovacion-tecnologica-y-civil_114986/

La Hora. (08 de Enero de 2018). *Tecnología única en el país [Artículo de periódico]*. *Noticias Cotopaxi*. Obtenido de <https://lahora.com.ec/cotopaxi/noticia/1102126845/tecnologia-unica-en-el-pais>

La Otra Cara. (04 de Marzo de 2015). *Drones graban cráter de volcán activo*. Recuperado el 30 de Marzo de 2020, de <https://laotracara.co/entretenimiento/drones-graban-crater-de-volcan-activo/>

- León Noticias. (06 de Mayo de 2016). Los drones militares tendrán en León su base principal de operaciones [Artículo de periódico]. Obtenido de <https://www.leonoticias.com/leon/201605/05/drones-militares-tendran-leon-20160505141749.html>
- López Caal, E. D. (2017). *La incorporación de la tecnología VANT para el acceso primario y de seguridad en la escena del crimen [Tesis de licenciatura]*. Universidad Rafael Landívar. Obtenido de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrkd/2017/07/03/L%C3%B3pez-Elder.pdf>
- López Cáceres, J. C. (2012). *Análisis del impacto ambiental de las baterías Niquel Cadmio y la factibilidad de reciclaje [Tesis de ingeniería]*. Universidad del Azuay. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2226/1/09688.pdf>
- MakerBot. (01 de Marzo de 2014). *T4 Quadcopter Drone*. Recuperado el 25 de Abril de 2020, de Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:261145>
- Manzhivora, V. S. (17 de Junio de 2015). *Parrot skycontroller, mando a distancia para el bebop drone*. Recuperado el 01 de Abril de 2020, de TuExperto.com: <https://www.tuexperto.com/2015/06/17/parrot-skycontroller-mando-a-distancia-para-el-bebop-drone/>
- Matienco Merodio, J. J., & Olmedilla García, A. (2016). *Estudio, ensamblaje, caracterización y ensayos de dos modelos reales de RPA [Tesis de ingeniería]*. Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de http://oa.upm.es/40670/1/TFG_ALFONSO_OLMEDILLA_JOEL_MATIENZO.pdf
- Mercado Libre. (14 de Agosto de 2018). *Placa y control drone phantom I I Fyee Fy550*. Recuperado el 13 de Julio de 2019, de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-670774732-oferta-placa-y-control-drone-phantom-i-i-fyee-fy550-_JM#position=3&type=item&tracking_id=9824ea7a-6cd0-45cb-b77e-8b392951ec89

- Montoya, S. (21 de Julio de 2017). *Introducción al Controlador de Vuelo de Drones PIXHAWK - Hardware libre*. Recuperado el 10 de Mayo de 2020, de Gidahatari: <https://gidahatari.com/ih-es/introduccion-al-controlador-de-vuelo-de-drones-pixhawk-hardware-libre>
- Multicóptero. (2020). *Productos FPV*. Recuperado el 01 de Febrero de 2020, de <http://www.multicopterofpv.com/productosfpv>
- Nieto Guerrero, E. D., & Vaca De La Torre, F. A. (2020). Desarrollo de un modelo matemático, cinemático y dinámico con la aplicación de software, para modificar el funcionamiento de un dron, para que este realice monitoreo automático. *Recimundo*, 4(1), 332-343. Obtenido de <http://recimundo.com/index.php/es/article/view/814>
- Nistal Lastra, J. (2017). *Diseño de un dron programable de bajo coste [Tesis de masterado]*. Universidad de Cantabria. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12091/396747.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Novodrone, J. (23 de Marzo de 2020). *Tipos de drones*. Recuperado el 01 de Abril de 2020, de NovoDrone: <https://novodrone.com/tipos-de-drones/>
- Ojeda Bustamante, W., Flores Velázquez, J., & Ontiveros Capurata, R. E. (2016). *Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico* (Primera ed.). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Obtenido de https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/riego-drenaje/uso-y-manejo-de-drones.pdf
- Orbea Jeréz, D. R., & Moposita Estrella, J. T. (2017). *Diseño y construcción de un prototipo UAV multirrotor de mini escala con estructura aerodinámica de ala fija [Tesis de ingeniería]*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13238/1/T-ESPE-057280.pdf>

- Pamoon, S. (2020). *Aviones no tripulados con botiquín de primeros auxilios en el cielo azul, el concepto del cuidado médico de emergencia. ilustración 3D*. Recuperado el 10 de Marzo de 2020, de 123RF Limited:
https://es.123rf.com/photo_66952258_aviones-no-tripulados-con-botiqu%C3%ADn-de-primeros-auxilios-en-el-cielo-azul-el-concepto-del-cuidado-m%C3%A9dico-.html
- Pino, E. (Marzo de 2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia*, 37(1), 75-84. Obtenido de
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v37n1/0718-3429-idesia-00402.pdf>
- Pozo Vega, M. G. (2018). *Diseño y fabricación del elevador de un vehículo aéreo no tripulado con materiales compuestos [Tesis de ingeniería]*. Universidad San Francisco de Quito USFQ. Obtenido de
<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7487/1/139457.pdf>
- Prometec. (2020). *Lo que hay que saber para elegir el controlador de vuelo (FC) en un multicoptero*. Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de
<https://www.prometec.net/elegir-fc-para-dron/>
- Puengsamrong, S. (2019). *Drone agricultura volando en el campo de maíz verde*. Recuperado el 20 de Marzo de 2020, de 123RF Limited:
https://es.123rf.com/photo_85978408_drone-agricultura-volando-en-el-campo-de-ma%C3%ADz-verde.html
- PX4 Dev Team. (30 de Marzo de 2020). *Pixhawk 1 Flight Controller*. Recuperado el 25 de Mayo de 2020, de https://docs.px4.io/v1.9.0/en/flight_controller/pixhawk.html
- Readytosky. (2020). *Readytosky S500 Quadcopter Frame Stretch X FPV Drone Frame Kit PCB versión con fibra de carbono Landing Gear*. Recuperado el 25 de Abril de 2020, de Amazon: <https://www.amazon.com/-/es/Readytosky-Quadcopter-Stretch-versi%C3%B3n-carbono/dp/B01N0AX1MZ>

- Ricra, E. G. (15 de Octubre de 2019). *Drones (Vehículos aéreos no tripulados)*.
Obtenido de SlideShare:
<https://es.slideshare.net/EnmerGenaroLeandroRi/drones-vehculos-areos-no-tripulados>
- Ruipérez Martín, P. (2016). *Diseño y fabricación de un dron [Tesis de ingeniería]*.
Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73170/RUIP%C3%89REZ%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20fabricaci%C3%B3n%20de%20un%20dron%20mediante%20impresi%C3%B3n%203D.pdf?sequence=5>
- Sánchez Jiménez, G., Mulero Valenzuela, M., & Saumeth Cadavid, E. (Mayo de 2013). *Vehículos aéreos no tripulados en Latinoamérica*. Recuperado el 02 de Mayo de 2019, de Information & Design Solutions: https://www.infodefensa.com/wp-content/uploads/Vehiculos_aereos_no_tripulados_en_Latam.pdf
- Servicio Nacional del Consumidor. (16 de Febrero de 2017). *Baterías de Litio: dilemas entre diseño y seguridad*. Recuperado el 10 de Abril de 2020, de SERNAC: <https://www.sernac.cl/portal/618/w3-article-8704.html>
- Sunfounder. (26 de mayo de 2017). *controladro de vuelo SF racing F3*. Recuperado el 23 de Agosto de 2019, de http://wiki.sunfounder.cc/index.php?title=SF_Racing_F3_flight_controller#Structure_Specification
- Tendenzias Media SL. (2020). *Todas las partes de los drones explicadas al detalle*. Recuperado el 25 de Enero de 2020, de Esenziale: <https://esenziale.com/tecnologia/partes-drone/>
- Tricotou. (16 de Mayo de 2012). *ConceptGun*. Recuperado el 05 de Mayo de 2020, de Blender Clan: http://blenderclan.tuxfamily.org/html/modules/newbb/viewtopic.php?post_id=5127

- Universidad de Almería. (2020). *Rescate, emergencias y desastres naturales*. Recuperado el 05 de Marzo de 2020, de Servicio Periférico de I+D basado en Drones: <http://www2.ual.es/drones/servicios/rescate-emergencias-y-desastres-naturales/>
- Valentino Birau, E., & Cantero Guerrero, J. (2015). *Diseño y fabricación de un vehículo aéreo no tripulado [Tesis de ingeniería]*. Escola Técnica Superior. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/80059/Dise%C3%B1o%20y%20fabricacion%20de%20un%20vehiculo%20aereo%20no%20tripulado.pdf>
- Vázquez Iglesias, J. Á. (2019). *Dirección General de Aviación Civil del Ecuador*. Obtenido de SlidePlayer: <https://slideplayer.es/slide/14258210/>
- Vocento. (01 de Enero de 2019). La Virgen del Camino acoge una Exposición de Drones e Impresoras 3D [Artículo de periódico]. *LeoNoticias*. Obtenido de <https://www.leonoticias.com/alfoz/valverdedelavirgen/virgen-camino-acoge-20190101190904-nt.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>

ANEXOS

ANEXO A. Manual de Operación del Cuadricóptero T4

ANEXO B. Manual de Mantenimiento del Cuadricóptero T4

ANEXO C. Manual de Seguridad del Cuadricóptero T4