



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MENSAJERÍA
REALIZADO POR DRONES PARA EL CAMPUS OCCIDENTAL
DE LA UNIVERSIDAD UTE**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

PADILLA ERAZO DANIEL ALBERTO

DIRECTOR: ING. VLADIMIR BONILLA

Quito, noviembre de 2019

© Universidad UTE 2019.

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

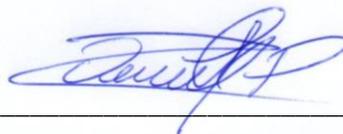
DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1723644942
APELLIDO Y NOMBRES:	PADILLA DANIEL ALBERTO
DIRECCIÓN:	CARLOS ÁVALOS 105 Y SIMÓN BOLIVAR
EMAIL:	padilladaniel1@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	(02) 451-5123
TELÉFONO MOVIL:	0983731921

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MENSAJERÍA REALIZADO POR DRONES PARA EL CAMPUS OCCIDENTAL DE LA UNIVERSIDAD UTE
AUTOR O AUTORES:	PADILLA ERAZO DANIEL ALBERTO
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	11 de noviembre de 2019
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	FELIX VLADIMIR BONILLA
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
RESUMEN:	<p>Este trabajo de titulación plantea la implementación de un prototipo para la entrega de documentación en el campus occidental de la Universidad UTE utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAV), tipo cuadricóptero.</p> <p>Este proyecto permite determinar los sitios que prestan las mejores condiciones para entrega y recepción de documentos, las plataformas de despegue y aterrizaje, tiempos de vuelo, condiciones meteorológicas para la entrega de documentos, consumo de batería, y el peso de los documentos que se debe enviar según las características del vehículo móvil.</p>

	<p>El desarrollo de este trabajo contempla la construcción de un cuadricoptero utilizando componentes disponibles en el mercado, y acondicionados para el funcionamiento dentro del campus universitario. Este cuadricóptero emplea un controlador de vuelo PIXHAWK que permite la telemetría mediante radio control, y la conexión con el software QGround Control para generar las rutas de vuelo.</p> <p>El móvil cuenta con un contenedor de documentos de material ligero (madera de balsa) de 27cm de largo, 13 cm de ancho, y una altura de 11 cm, para llevar una carga de 0.200kg. En el diseño del contenedor se tomó en cuenta el flujo de aire vertical para no interrumpir el correcto funcionamiento de los motores de impulso.</p> <p>El control de peso de los documentos se realiza mediante sensores de carga integrados en la estación de despegue, estos envían información a una aplicación móvil desarrollada en el sistema operativo tipo Android.</p> <p>Las estaciones de control están diseñadas para realizar un monitoreo del peso del documento, también para realizar la carga de la batería mientras el vehículo se encuentre en la estación. Las estaciones fueron ubicadas en distintos bloques de la universidad con una separación de 70 metros y a una altura de 20 metros.</p> <p>Las pruebas realizadas entre los dos bloques permiten establecer que el prototipo permite la entrega de documentación mediante UAV's.</p>
PALABRAS CLAVES:	UAV (Vehículo aéreo no tripulado), estación de control, trayectoria de vuelo, controlador de vuelo, control de peso, contenedor de documentos.
ABSTRACT:	<p>This thesis proposes the implementation of a prototype for the documentation delivery in the occidental campus of UTE university using aerial unmanned vehicles UAV.</p> <p>This project allows to identify the places that have better conditions for the delivery and reception of documents, platforms of landing and takeoff, flying times, weather conditions for the document's delivery, battery discharge and weight of the documents for delivery according</p>

	<p>the UAV characteristics.</p> <p>The development of this work incorporates the building of a drone using components available in the local market and putting them together for the drone's work into the university campus. This drone uses a flight controller PIXHAWK which allows telemetry by radio control, also the connection with the software QGround Control for generate flight trajectories.</p> <p>The drone has a documents container which was built with a light wood material with 27 cm of large, 13 cm of width and 11 cm of height. In this container is possible to load 0.200 kg. For the container design was taking into consideration the vertical air flow so it doesn't interrupt the correct operation of the impulse motors.</p> <p>The weight control for the documents is done with a load cell integrated in a takeoff station. Those sensors send information to app developed in an Android OS.</p> <p>The control stations are designed to check the document weight, also charge the battery when the vehicle is in land. The stations were situated in two points of the university with a separation of 70 meters and 20 meters of altitude.</p> <p>The proves made between the points allows stablish that the prototype satisfy the documentation delivery using the UAV</p>
KEYWORDS	<p>Key words: UAV (unmanned aerial vehicle), control stations, fight trajectories, flight controller, weight control, document's container.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



PADILLA ERAZO DANIEL ALBERTO

1723644942

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Padilla Erazo Daniel Alberto, CI 1723644942 autor del proyecto titulado: Implementación de un sistema de mensajería realizado por drones para el campus occidental de la Universidad UTE previo a la obtención del título de **GRADO ACADÉMICO COMO APARECE EN EL CERTIFICADO DE EGRESAMIENTO** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 11 de noviembre de 2019



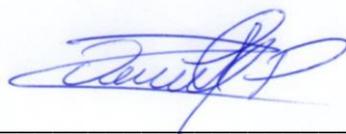
PADILLA ERAZO DANIEL ALBERTO

1723644942

DECLARACIÓN

Yo **Padilla Erazo Daniel Alberto**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Daniel Alberto Padilla Erazo

C.I.: 1723644942

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “Implementación de un sistema de mensajería realizado por drones para el campus occidental de la Universidad UTE”, que, para aspirar al título de **Ingeniero en Mecatrónica** fue desarrollado por **Padilla Erazo Daniel Alberto**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Vladimir Bonilla

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I.170300045

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expreso mi gratitud a Dios por haberme concedido la entereza e inteligencia para estudiar esta carrera con todas las implicaciones que esto conlleva.

Agradezco a mi madre Irlanda que me ha acompañado todo este tiempo y me ha apoyado en todas mis decisiones, a mi padre Washington que es un ejemplo a seguir y un amigo, A mi hermana por su cariño, confianza y gran apoyo. Solo puedo decir que los amo y que no tengo palabras para expresar mi gratitud hacia ustedes.

Agradezco al tutor de este trabajo de titulación Vladimir Bonilla, un maestro dedicado y paciente que con su ayuda permitió desarrollar este proyecto.

Un agradecimiento especial a Leslie Rodríguez y a Alejandro Albán por su valiosa colaboración para que este proyecto se pueda desarrollar.

A la familia y amigos que han demostrado interés y apoyo para que este trabajo llegue a feliz término, sólo puedo decirles gracias y todos tienen un espacio en mi corazón

Muchas Gracias

Daniel Padilla

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA	9
2.1 Definición de requerimientos	9
2.2 Diseño del sistema.	11
2.3. Diseño específico del sistema	16
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
Conclusiones	41
Recomendaciones.....	42
BIBLIOGRAFÍA	43

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Comparación entre sistemas	6
Tabla 2. Comparación de vehículos aéreos no tripulados de tipo comercial	7
Tabla 3. Descripción de actividades dentro del sistema	15
Tabla 4. Especificaciones de hélices y motores según el tamaño del chasis	23
Tabla 5. Lista de componentes del cuadricóptero con sus pesos	24
Tabla 6. Parámetros para el diseño de la columna figura 13	29
Tabla 7. Consumo eléctrico de los componentes del cuadricóptero	31
Tabla 8. Prueba realizada a 25m de altura entre el bloque G y el bloque Q	36
Tabla 9. Prueba realizada a 20m de altura entre el bloque G y el bloque Q	37
Tabla 10. Prueba realizada a 10m de altura entre el bloque Q y el bloque G ..	37
Tabla 11. Tiempo de demora de algunos usuarios usando el sistema	40

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Diagrama para la metodología utilizada.....	9
Figura 2. Diagrama de requerimientos.....	10
Figura 3. Diagrama de definición de bloques.....	11
Figura 4. Diagrama interno de Bloques.....	12
Figura 5. Funciones del sistema	14
Figura 6. Diagrama de actividades.....	16
Figura 7. Diseño de la estación de control	17
Figura 8. Circuito electrónico de la estación de control.....	19
Figura 9. Diseño del software de la estación de control.....	21
Figura 10. Elementos del electrónicos y mecánicos del cuadricóptero	22
Figura 11. Diagrama de fuerzas del cuadricóptero	25
Figura 12. Fuerza aplicada por el motor y la hélice.....	27
Figura 13. Diseño de las columnas utilizadas en la estación de control	29
Figura 14. Controlador de vuelo con sus módulos periféricos	33
Figura 15. Vista de la pantalla para planificaciones de vuelo en el software ...	34
Figura 16. Fotografía del cuadricoptero seleccionado y armado.....	35
Figura 17. Planificación de trayectorias entre el bloque Q y G	36
Figura 18. Estación de control.....	38
Figura 19. Imagen de la aplicación móvil que visualiza el peso del paquete ...	39
Figura 20. Contenedor de documentos.....	39

RESUMEN

Este trabajo de titulación plantea la implementación de un prototipo para la entrega de documentación en el campus occidental de la Universidad UTE utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAV), tipo cuadricóptero.

Este proyecto permite determinar los sitios que prestan las mejores condiciones para entrega y recepción de documentos, las plataformas de despegue y aterrizaje, tiempos de vuelo, condiciones meteorológicas para la entrega de documentos, consumo de batería, y el peso de los documentos que se debe enviar según las características del vehículo móvil.

El desarrollo de este trabajo contempla la construcción de un cuadricóptero utilizando componentes disponibles en el mercado, y acondicionados para el funcionamiento dentro del campus universitario. Este cuadricóptero emplea un controlador de vuelo PIXHAWK que permite la telemetría mediante radio control, y la conexión con el software QGround Control para generar las rutas de vuelo.

El móvil cuenta con un contenedor de documentos de material ligero (madera de balsa) de 27cm de largo, 13 cm de ancho, y una altura de 11 cm, para llevar una carga de 0.200kg. En el diseño del contenedor se tomó en cuenta el flujo de aire vertical para no interrumpir el correcto funcionamiento de los motores de impulso.

El control de peso de los documentos se realiza mediante sensores de carga integrados en la estación de despegue, estos envían información a una aplicación móvil desarrollada en el sistema Android.

Las estaciones de control están diseñadas para realizar un monitoreo del peso del documento, también para realizar la carga de la batería mientras el vehículo se encuentre en la estación. Las estaciones fueron ubicadas en distintos bloques de la universidad con una separación de 70 metros y a una altura de 20 metros.

Las pruebas realizadas entre los dos bloques permiten establecer que el prototipo permite la entrega de documentación mediante UAV's.

Palabras clave: UAV (Vehículo aéreo no tripulado), estación de control, trayectoria de vuelo, controlador de vuelo, control de peso, contenedor de documentos.

ABSTRACT

This thesis proposes the implementation of a prototype for the documentation delivery in the occidental campus of UTE university using aerial unmanned vehicles UAV.

This project allows to identify the places that have better conditions for the delivery and reception of documents, platforms of landing and takeoff, flying times, weather conditions for the document's delivery, battery discharge and weight of the documents for delivery according the UAV characteristics.

The development of this work incorporates the building of a drone using components available in the local market and putting them together for the drone's work into the university campus. This drone uses a flight controller PIXHAWK which allows telemetry by radio control, also the connection with the software QGround Control for generate flight trajectories.

The drone has a documents container which was built with a light wood material with 27 cm of large, 13 cm of width and 11 cm of height. In this container is possible to load 0.200 kg. For the container design was taking into consideration the vertical air flow so it doesn't interrupt the correct operation of the impulse motors.

The weight control for the documents is done with a load cell integrated in a takeoff station. Those sensors send information to app developed in an Android OS.

The control stations are designed to check the document weight, also charge the battery when the vehicle is in land. The stations were situated in two points of the university with a separation of 70 meters and 20 meters of altitude.

The proves made between the points allows stablish that the prototype satisfy the documentation delivery using the UAV

Key words: UAV (unmanned aerial vehicle), control stations, fight trajectories, flight controller, weight control, document's container.

1. INTRODUCCIÓN

Nuestro mundo ha cambiado, es una realidad, y la tecnología ha sido un factor importante para que este cambio sea rápido y fundamental. Hace cuarenta años hubiese sido casi imposible imaginar que se tendrían aparatos de comunicación tan pequeños que caben en un bolsillo y menos que podrían realizar todas las funciones de lo que hoy se llama smartphone.

Este cambio sin duda ha acelerado también muchos de los procesos en la fabricación, comunicación, información, compra y entrega de un producto. Hoy, gracias a la tecnología hay robots que operan a personas, se puede adquirir productos sin salir de casa, esto por mencionar solo algunos casos. La tecnología ha revolucionado nuestro mundo, nuestra forma de ver las cosas y también la velocidad con que se las realiza. (Héctor Fernández, 2016)

Manteniendo este paradigma tecnológico este proyecto plantea el desarrollo del prototipo de un sistema de entrega de documentos mediante drones para el campus Occidental de la Universidad UTE, que busca simplificar los procesos de entrega de documentos, que en la actualidad se lo realiza de manera personal para disminuir los tiempos de entrega.

Este prototipo se basa en el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV), que ejecutan las trayectorias planificadas de entrega de documentación.

El uso de este tipo de aeronaves se ha incrementado con mucha rapidez a lo largo de los últimos años, permitiendo que los UAV tengan un sin número de aplicaciones, las más destacadas son en la industria de la seguridad para vigilancia e identificación de posibles amenazas. (Martín, 2015).

Otro campo en el que han incursionado los drones es en realizar entrega de productos, en el cual ha logrado disminuir considerablemente los intervalos de tiempo entre pedidos y entrega del bien adquirido por parte del usuario final, disminuyendo las fallas humanas a la hora de realizar las entregas (Casanave, 2015)

Actualmente el sistema de mensajería institucional dentro de la Universidad UTE se realiza de manera personal a través de los siguientes pasos:

- El usuario llama a la persona encargada de realizar los envíos
- La persona toma el documento a ser enviado y se moviliza dentro del campus
- La persona encargada entrega los documentos en otro lugar del campus

Este proceso implica que existan algunas demoras en la entrega de documentos, aún más si los destinatarios se encuentran en bloques distantes del campus. Bajo esta problemática, el desarrollo de la tecnología para la

mensajería automática permitirá que el traslado físico de la persona para la entrega de mensajería sea innecesario.

La entrega de la documentación se podrá realizar de manera automatizada utilizando Drones (UAV).

El desarrollo de este proyecto permite establecer un nuevo paradigma en la entrega de documentación; reducción o eliminación de entregas personales para ser reemplazadas por sistemas automáticos; consiguiendo disminuir los tiempos de entrega de documentación en el campus Occidental de la Universidad UTE utilizando un UAV de vuelo autónomo que sea capaz de seguir trayectorias preestablecidas con una capacidad considerable de documentos para ser entregados.

Una vez revisada la bibliografía, se han identificado varios sistemas los cuales cumplen el mismo objetivo de este trabajo y se presenta una descripción:

Amazon Prime AIR. El sistema de entrega más conocido como el "drone repartidor", cuya estructura física tiene un peso aproximado de 25 kilos, que puede alcanzar una altura de 120 metros sobre el nivel de la tierra y tienen una autonomía de vuelo de hasta 19 kilómetros. El proyecto realiza la entrega de cualquier pedido en el domicilio del comprador aproximadamente en 30 minutos.

La empresa piensa que este servicio "aumentará la seguridad general y la eficiencia del sistema de transporte". También considera que, en un futuro no muy lejano, será común ver drones junto a los camiones en las rutas para realizar las entregas sin usar repartidores en lugares de difícil acceso de los camiones. Este sistema cuenta con: (Michelini, 2016)

- Seguimiento GPS sofisticado que les permite determinar su posición en tiempo real y en relación con todos los demás aviones no tripulados a su alrededor.
- Una conexión fiable a internet a bordo que les permite mantener los datos GPS en tiempo real, el conocimiento de otras aeronaves y la información de obstáculos en la ruta de entrega.
- Equipos de comunicación para estar en contacto con otros aviones no tripulados en la zona y así asegurarse que se eviten entre sí.

Equipos de detección basada en sensores que permite a los aviones no tripulados eludir todas las demás aeronaves y obstáculos, tales como pájaros, edificios o cables eléctricos (CAMPOS, 2015).

DHL Paket Copter. Es el sistema con el que la empresa alemana de encomiendas busca innovar, utilizando drones, permiten realizar entregas a puntos alejados y de difícil acceso para los camiones repartidores. Un UAV llamado DHL Paketkopter ("helicóptero de parcela") estaba bajo el control manual de un operador en todo momento, para cumplir con los requisitos reglamentarios. Pero desde una perspectiva técnica, podría haber operado con total autonomía siguiendo los puntos de referencia de GPS. Este vehículo está equipado con un mecanismo de liberación que le permite dejar el paquete por control remoto o instrucciones preprogramadas.

Las capacidades de duración, rango y velocidad de vuelo del UAV se han mejorado para satisfacer los requisitos excepcionales (DHL Customer Solutions & Innovation, 2015).

En el sistema descrito, se constituye por una base de control que permite una conexión con el UAV donde se obtiene datos de telemetría mediante un protocolo de comunicación conectado a internet móvil de alta velocidad para la conexión con las estaciones. (DHL Customer Solutions & Innovation, 2015).

Como parte de un ensayo, el vehículo fue sometido a cambios técnicos y fue capaz de lidiar con cargas más pesadas, distancias más largas y entrega en una región alpina de difícil acceso por sus desafíos geográficos y meteorológicos.

La primera tarea era acondicionar el sistema para dominar las condiciones climáticas rápidamente cambiantes y la fluctuación severa de la temperatura en el área de la prueba. Habiendo obtenido estos resultados, el sistema de DHL luego realizó una serie de vuelos en el cual cada viaje de ida y vuelta desde el lugar de lanzamiento en el valle y con dirección a una meseta de aproximadamente 1.200 metros de altura sobre el nivel del mar con una distancia de vuelo de ocho kilómetros..

La carga del sistema era principalmente medicinas necesitadas urgentemente y llegó a la estación en sólo ocho minutos después del despegue. El mismo trayecto en coche dura más de 30 minutos durante el invierno (DHL, 2016).

DomiCopter es un sistema de entrega de la división inglesa de la empresa de comidas rápidas Domino's, consiste en un octocóptero de tipo drone, también incluye una bolsa térmica de Domino's que mantiene calientes el par de pizzas grandes que caben en ella, desde que emprende el vuelo hasta el momento de la entrega.

Controlado por un repartidor convencional, este drone evadió toda clase de obstáculos ciudadanos; además, existe un desafío adicional que comprende la

poca visibilidad durante los días nublados en Inglaterra. El vuelo duró alrededor de 10 minutos y se llevó a cabo en la ciudad de Guildford, ubicada en las afueras de Londres (MacKenzie, 2013).

Este concepto se suma a otros de similar complejidad, como el Tacocopter, app mediante la cual se ordenaba una orden de tacos que era mandada por una empresa por medio de un drone; el Burrito Bomber y el Beer Drone, el cual fue puesto a prueba durante un festival de música en Sudáfrica (Aguirre, 2013).

Sistema autónomo de vehículo no tripulado para el reconocimiento de ambientes desconocidos. Este sistema está compuesto por un helicóptero el cual puede ser operado de manera que no necesita un piloto dentro del vehículo, para un área que se encuentre más allá del alcance visual. Esto permite la recolección de datos en lugares inaccesibles o peligrosos gracias a su detección del terreno y su capacidad para evitar obstáculos, el sistema no requiere información previa sobre el terreno como elevación y obstáculos. Las misiones se planifican mediante diagramas de estado y planes de vuelo.

La estación terrestre está compuesta por una pantalla táctil configurable para el usuario, también cuenta con una interfaz gráfica para el usuario con un botón para la terminación del vuelo en caso de emergencia.

La pantalla táctil se utiliza para seleccionar planes de vuelo; inicio y aborto de la ejecución de la misión; también el monitoreo y configuración de los parámetros del sistema a bordo. La interfaz de respaldo permite enviar comandos al helicóptero en caso de un fallo de la interfaz gráfica. La estación de tierra almacena los planes de vuelo, registra los datos recibidos del helicóptero y archiva los datos después del aterrizaje. Los planes son cargados al controlador de vuelo a través del enlace de datos inalámbrico.

La comunicación inalámbrica que está siendo usada dentro del sistema está basada en envío de paquetes de datos, método con velocidad de transmisión constante, tamaño de paquete fijo y un búfer de datos mínimo para evitar interrupciones en el proceso de adquisición de datos y de telemetría (Torsten Merz, 2011).

Project Wing. El siguiente sistema que está diseñado por una división de Google, tiene como objetivo implementar un sistema que pueda transportar bienes de manera más rápida, segura y eficiente. El dron de aproximadamente 1.5 m de ancho pesa 8.6 kg y es impulsado por cuatro propulsores eléctricos que soportan un peso máximo de 10 kg (incluyendo al dron).

De momento solo pueden entregarse objetos ligeros, pero al ser un prototipo el sistema seguirá siendo mejorado, otra cosa que se puede visualizar en este sistema es la trayectoria controlada desde una pantalla externa. Si bien la idea es generar un sistema autónomo, el tener acceso al dron podría ayudarlo en el caso que tenga algún percance o el paquete se quede atascado.

El proyecto está en la etapa temprana y muchos obstáculos tienen que resolverse aún, por ejemplo, el peligro de colisionar con los cables eléctricos, otros drones o incluso pájaros (Miranda, 2014).

La empresa se ha enfocado en la seguridad del envío, mientras que otros sistemas operan autónomamente, éste necesita ser monitoreado por un piloto que puede tomar el control de su vuelo si surge un problema.

Eventualmente, Google planea ejecutar un sistema completamente automatizado que sea seguro, eficaz y no requiera que los pilotos estén en modo de espera (Nick, 2018).

Una vez realizado el estado del arte, se procede a realizar una comparación entre los sistemas mencionados para enumerar sus características principales.

Tabla 1. Comparación entre sistemas

Sistema de entrega	Vehículo de entrega	Sistema de monitoreo	Sistema de telemetría	Vuelo autónomo	Base de control	Sistema de control de vuelo	Carga Máxima
Amazon Prime AIR	Tipo Drone	Gps e Internet	Si	Si	Si	Si	2.3 Kg
DHL Paket copter	Helicóptero de parcela	Gps e Internet	Si	Si	Si	Si	3 Kg
DomiCopter	Drone de 8 hélices	Sistema de control remoto	Si	No	Si	Si	Sin dato
Sistema autónomo de vehículo no tripulado para el reconocimiento de ambientes desconocidos	Helicóptero	Sistema de radio frecuencia	Si	No	Si	Si	Carga mínima, peso del helicóptero y una cámara
Project Wing	Drone de tipo cuadricóptero	Gps e Internet	Si	No	Si	Si	8.6Kg

La tabla 1 permite obtener los elementos que tiene un sistema de mensajería. como son: el vehículo, el sistema de comunicación, las estaciones de control y el compartimiento de carga.

Para este trabajo de titulación se ha investigado algunos cuadricópteros que pueden utilizarse para realizar la entrega de documentos los cuales se mencionarán en la tabla 2.

Tabla 2. Comparación de vehículos aéreos no tripulados de tipo comercial

Vehículo	Tamaño del chasis(mm)	Peso del chasis (g)	Disponibilidad en el mercado	Autonomía del vehículo (min)	Peso máximo de despegue
DJI Flame Wheel 330	330	156	Descontinuado por el fabricante	15	1200 g
DJI Flame Wheel 450	450	282	En producción	13	1600 g
Lumenier QAV-R2	220	142	En producción	16	No proporcionado
3DR Solo	No proporcionado	No proporcionado	En producción	22	1700 g
Intel Aero Ready to Fly Drone	360	856	No en Stock	20	1900 g

En la tabla 2 se mencionan cuadricópteros de venta libre en el mercado y el peso máximo de carga.

Para el desarrollo de este trabajo de titulación, se ha planteado el siguiente objetivo:

- Diseñar y construir un prototipo del sistema de entrega de documentos mediante Drones en el campus occidental de la Universidad UTE.

Para obtener el objetivo de este trabajo de titulación se han propuestos los siguientes elementos:

- Seleccionar la plataforma móvil (Cuadricóptero) para el transporte de documentos entre los bloques del campus occidental.
- Seleccionar una plataforma de navegación autónoma para el Cuadricóptero
- Diseñar e implementar una aplicación móvil para el monitoreo de la estación de control donde se pueda visualizar el peso del documento y activar el cuadricóptero.
- Diseñar estaciones de aterrizaje para el sistema que permita la carga de la batería del cuadricóptero.
- Diseñar e implementar un contenedor de documentos integrado al Cuadricóptero

Realizado el análisis de los sistemas de entrega de correos mediante vehículos aéreos no tripulados, se observa que todos tienen un elemento en común: el vehículo de vuelo, la principal característica es la autonomía necesaria para realizar un viaje dentro de determinada zona.

Por otro lado, los sistemas mencionados cuentan con elementos de telemetría para realizar la comunicación con la base y ayudar con las tareas de vuelo y ubicación geográfica del vehículo, para completar con éxito la misión de entrega.

Estos sistemas cuentan con una base de control que permite una comunicación con las personas que se encuentran monitoreando el sistema desde tierra, además cuentan con sistemas integrados de carga de los elementos para ser enviados y un sistema de alimentación para mantener los vehículos listos para realizar entregas.

2. METODOLOGÍA

El desarrollo de este prototipo de sistema está basado en la metodología en V que se utiliza para la construcción de sistemas mecatrónicos, de la siguiente manera como se muestra en la figura 1:

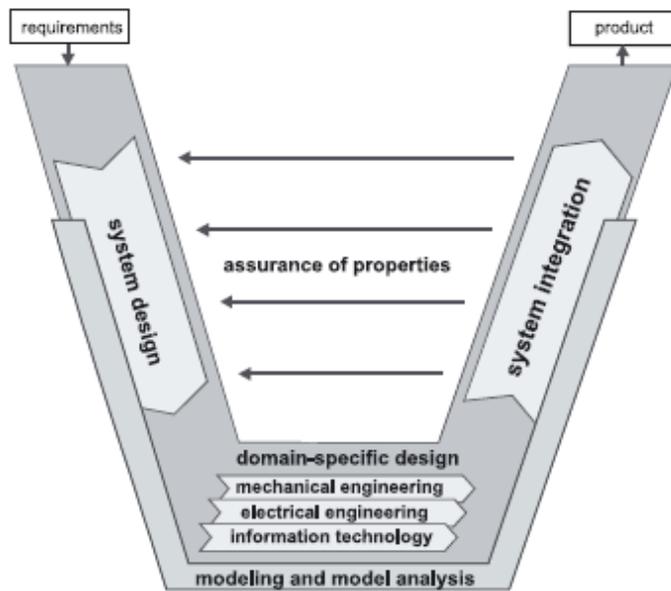


Figura 1. Diagrama para la metodología utilizada
(Verein Deutscher Ingenieure, 2004)

En la figura 1 se muestra los pasos que se siguieron para realizar este trabajo de titulación:

1. Definir los requerimientos del sistema.
2. Realizar el diseño conceptual y específico
3. Validar los diseños mediante técnicas simulación eléctrica, mecánica y de control, necesarias para definir el comportamiento del cuadricóptero.
4. Implementar cambios en el prototipo del sistema.
5. Validación de requerimientos
6. Construcción e Implementación

2.1 Definición de requerimientos.

Esta etapa identificó los requerimientos y características del sistema que se usaron como la base para el proceso de diseño.

Los requerimientos del sistema están descritos en la figura 2

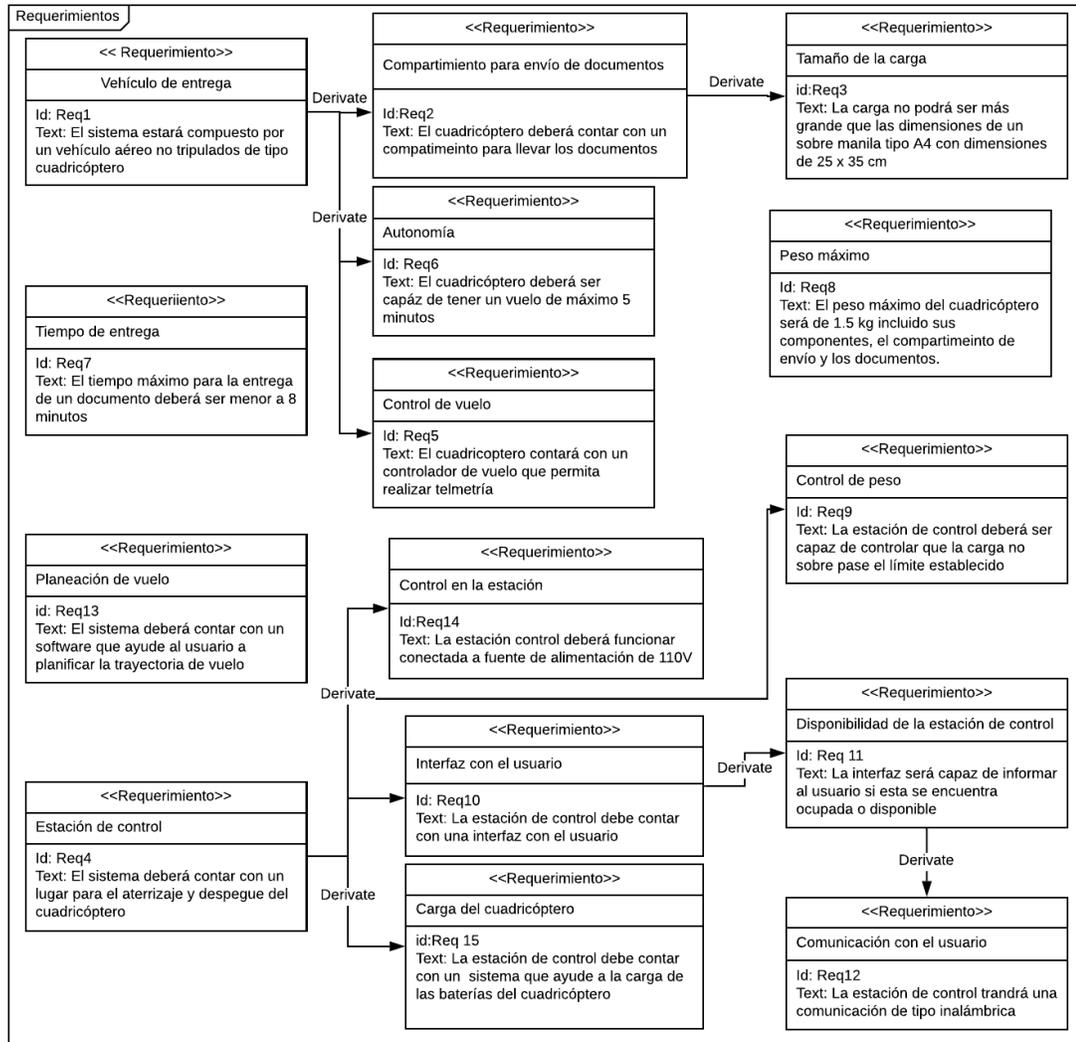


Figura 2. Diagrama de requerimientos

Este trabajo definió varios requerimientos que delimitan el funcionamiento del sistema que se detallan a continuación:

- Utilizar un vehículo aéreo no tripulado con un compartimento de carga que permita llevar documentos, para ser entregados en diferentes puntos dentro del campus occidental de la Universidad UTE. El vehículo cuenta con sensores que permitan la navegación aérea utilizando telemetría.
- Utilizar un software para que el usuario pueda seleccionar la trayectoria de vuelo y planificar nuevas trayectorias.
- Disponer de estaciones de control para despegue, carga eléctrica del vehículo, monitoreo del peso adecuado de la documentación a ser transportada.
- Utilizar una interfaz con el usuario y la estación de control mediante una aplicación móvil.

- Realizar la entrega de documentación dentro del campus en menos de ocho minutos.

2.2 Diseño del sistema.

El sistema se diseñó para la rápida entrega de documentos y oficios, definiéndose los siguientes componentes:

- La parte principal del sistema son los UAV'S de tipo cuadricóptero que permiten llevar los documentos dentro del campus después de haber planificado una trayectoria de vuelo entre bloques.
- El sistema tiene estaciones de aterrizaje y control, ubicadas en sectores estratégicos del campus. Los elementos del sistema como son la estación de control y el cuadricóptero se mantienen en continua comunicación y son monitoreados por una aplicación móvil y una aplicación para PC respectivamente.
- El sistema de comunicación de la estación de control con el usuario se realizó a través de una aplicación móvil, la misma que puede enviar alertas al usuario del estado de la estación de control en referencia al peso del elemento físico que está siendo enviado. El sistema compuesto por los diferentes elementos se muestra en la figura 3.

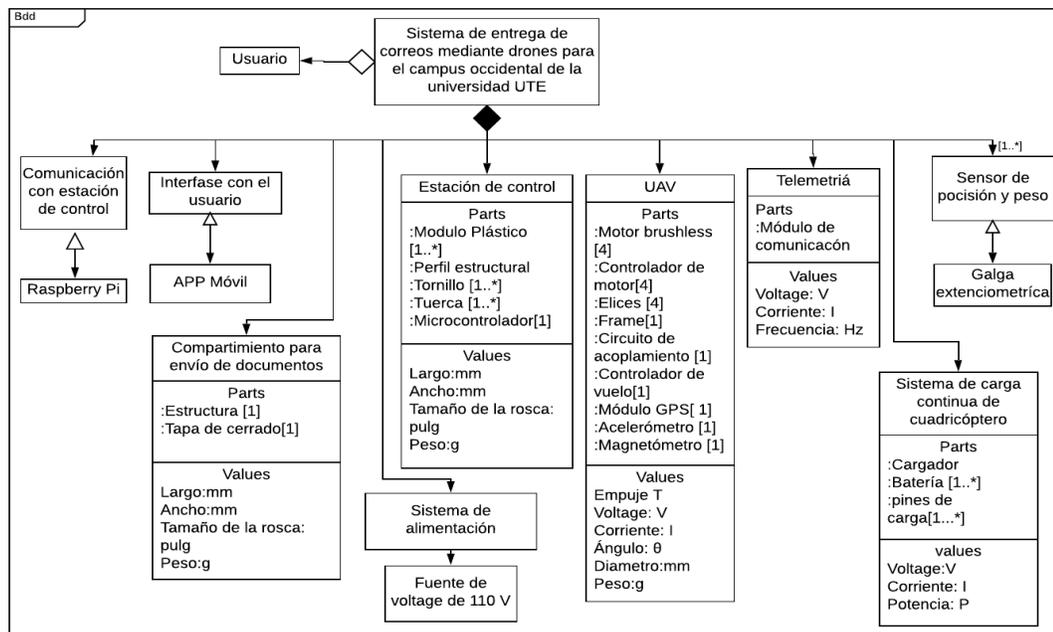


Figura 3. Diagrama de definición de bloques

La descripción de los elementos del sistema de entrega de correos se detalla a continuación:

- Estación de control: Es una estructura para el soporte de su peso y el de los componentes que ella alberga. Los elementos eléctricos y electrónicos son alimentados por una fuente de voltaje de 110 V en AC. Tiene un módulo de comunicación para obtener la información de la estación. En ella se encuentra un sensor para la detección de peso del vehículo y los documentos a ser enviados. Su comunicación se realiza mediante una aplicación móvil y sirve para la interfaz con el usuario además tiene un cargador de baterías con sus pines en la base para la carga continua del cuadricóptero mientras se encuentre en la estación
- UAV: Es un vehículo de tipo cuadricóptero, compuesto de un chasis ligero y rígido y motores con sus controladores de velocidad. Utiliza un controlador de vuelo que permita su orientación y telemetría
- Telemetría: Cuenta con un módulo de telemetría conectado al controlador de vuelo y a la computadora donde se monitorea el cuadricóptero mediante un software de acceso libre
- Compartimiento para el envío de documentos: De estructura liviana y cuenta con una tapa de cerrado

Una vez enumerados los componentes se realizó una descripción del funcionamiento de éstos dentro del sistema. Como son sus entradas y salidas y la conexión que tienen con los otros elementos.

La descripción del funcionamiento de los componentes del sistema será visualizada en la figura 4.

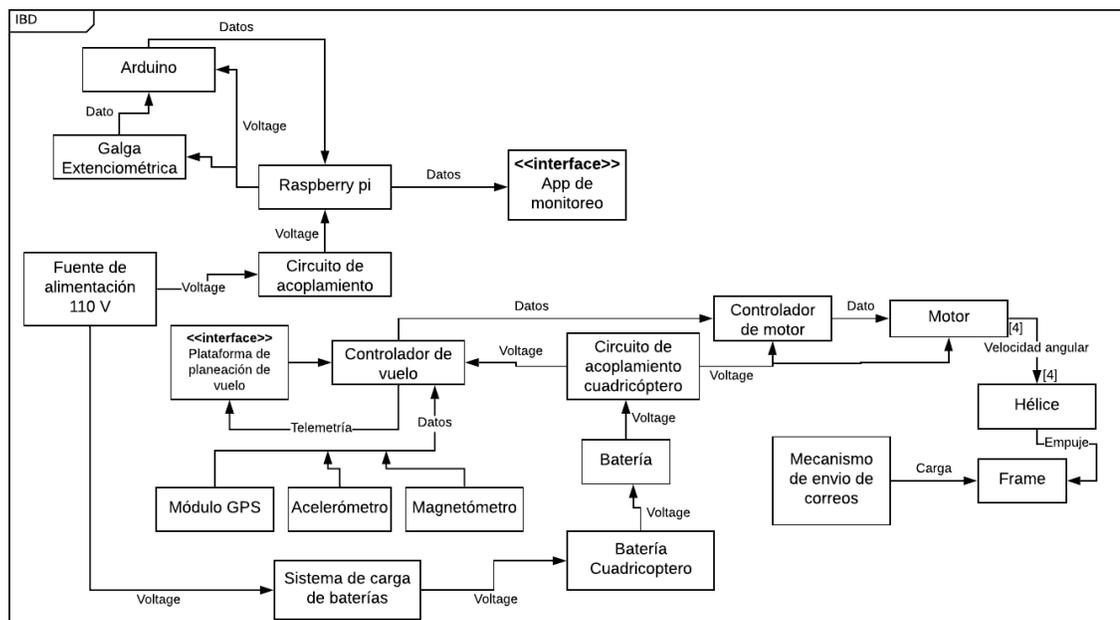


Figura 4. Diagrama interno de Bloques

La fuente de alimentación para el sistema es de 110V de corriente alterna. Esta fuente suministra energía a los elementos que se encuentran en la estación de control, también cuenta con un circuito de acoplamiento y el circuito de carga de las baterías del cuadricóptero.

El circuito de acoplamiento alimenta al sistema de control alojado en la controladora tipo Raspberry, lo que permite la comunicación del sistema con el usuario.

El Raspberry proporciona energía eléctrica y datos al micro controlados Arduino, que obtiene los datos de la estación como son el peso permitido del paquete y la disponibilidad del uso de la estación, por medio de una celda de carga.

Una vez obtenidos estos datos de la celda de carga, se realiza un análisis y procesamiento de estos para ser transmitidos al Raspberry que permitan al usuario visualizarlos mediante la aplicación móvil.

El circuito de carga de las baterías permite que el vehículo adquiera energía de manera continua mientras se encuentre en la estación de control. Una vez realizado el monitoreo del peso del paquete el usuario puede proceder a planificar o seleccionar la trayectoria de vuelo del vehículo mediante un software y cargarla posteriormente en el controlador de vuelo ubicado en el vehículo.

La batería proporciona energía a el controlador de vuelo que realiza el análisis de los datos obtenidos por los sensores del cuadricóptero para controlar la velocidad necesaria en cada motor mediante pulsos de PWM. La batería también suministra energía a la placa que controla el paso de energía a los controladores electrónicos de velocidad que posteriormente proporciona la cantidad necesaria de corriente a cada motor. Los cuales con su movimiento hicieron girar las hélices y con la rotación proporcionaron empuje a la estructura del cuadricóptero con el compartimiento de envío de documentos.

Funciones del sistema

Una vez terminada la etapa del diseño conceptual se realizó la descripción del funcionamiento del sistema, también los casos de uso y un detalle de las actividades que el usuario debe realizar para utilizar el sistema.

La forma en que el usuario puede interactuar con el sistema se encuentra expresada en la figura 5

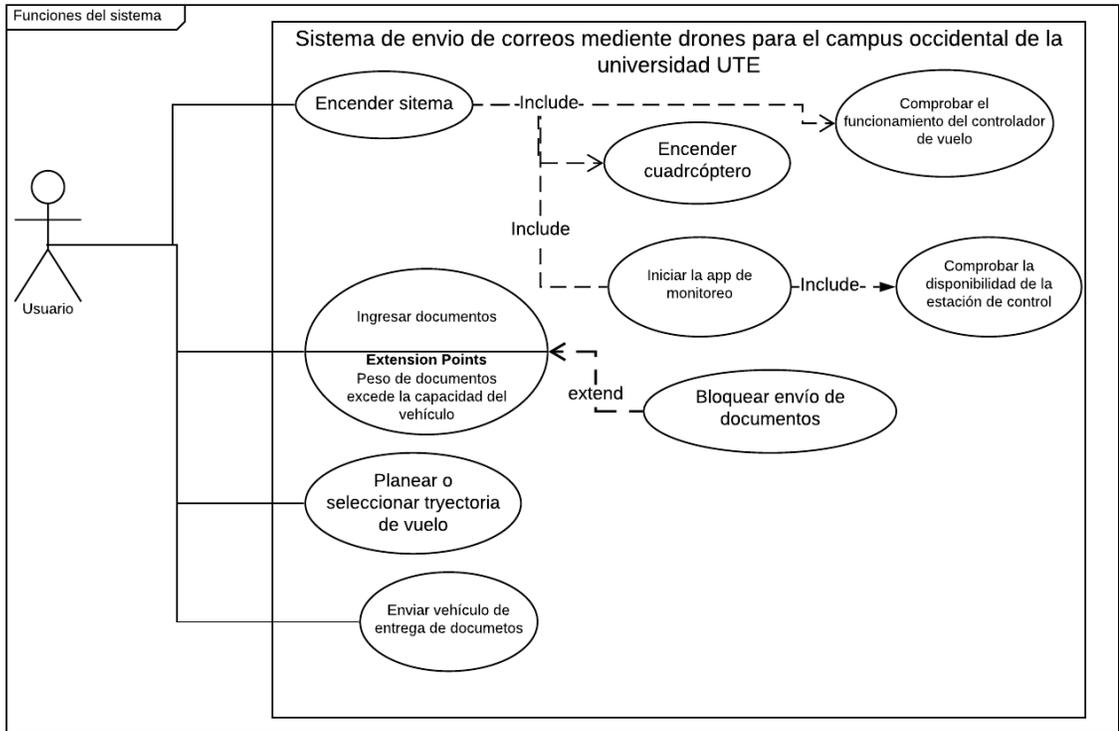


Figura 5. Funciones del sistema

En primer lugar, el usuario debe encender la estación de control y el cuadricóptero. Acto seguido el usuario debe verificar el peso máximo del documento a ser enviado; si el peso excede la capacidad del vehículo el sistema debe bloquear el envío del documento. El usuario debe revisar la disponibilidad de la estación de control para el despegue o aterrizaje del vehículo.

Además, tiene que acceder a la plataforma de vuelo en donde se realiza la verificación de funcionamiento del controlador de vuelo con sus sensores. Una vez hecho esto el usuario procede a la planificación o selección de la trayectoria de vuelo que sigue el cuadricóptero.

Por último, el usuario debe confirmar el despegue del vehículo.

Diseño del sistema en función de las actividades

En la tabla 3 se realiza una descripción de las funciones del sistema, detallando las actividades, el actor a cargo, las entradas y las salidas.

Tabla 3. Descripción de actividades dentro del sistema

Actividad	Actor	Entrada	Salida
Encender la estación de control	Usuario	Documento para enviar	Energía en la estación de control
Encender el cuadricóptero	Usuario	Documento para enviar	Energía en todos los componentes del cuadricóptero
Iniciar la aplicación de conexión con la estación de control	Usuario	Estación funcionando	Información de la estación de control
Cargar documentos en el mecanismo de envío	Usuario	Documento	Mecanismo cargado con el documento
Observar la disponibilidad de un cuadricóptero en la estación de control	Usuario	Consulta de la disponibilidad de la base	Estación de control con cuadricóptero o estación vacía
Obtención el peso del documento a ser enviado	Estación de control	Consulta del peso del documento	Peso permitido o no permitido
Planificar o seleccionar trayectoria de vuelo	Usuario	Lugar a donde será enviado el documento	Archivo digital para ser enviado al cuadricóptero
Cargar la trayectoria de vuelo	Usuario	Archivo digital con la trayectoria	Controlador de vuelo con trayectoria y listo para el despegue
Habilitar cuadricóptero para el despegue	Usuario	Trayectoria de vuelo	Vuelo del cuadricóptero
Recepción de paquete	Usuario	Cuadricóptero con el documento	El usuario con el documento
Alistar al cuadricóptero en la estación de control	Usuario	Cuadricóptero	Cuadricóptero en la estación de control

Así mismo como lo describe el diagrama de actividades del sistema en la figura 6

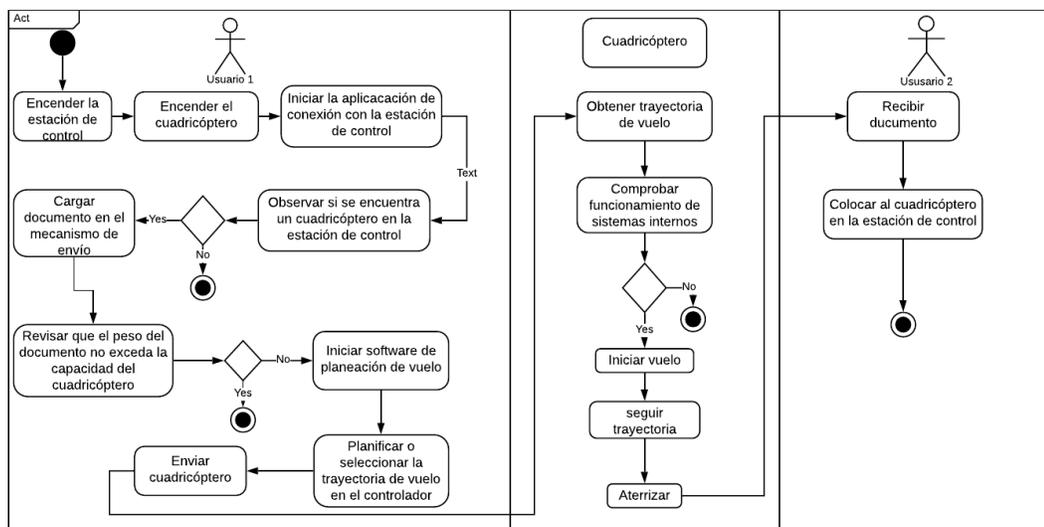


Figura 6. Diagrama de actividades

Este diagrama muestra el proceso que el usuario siguió para completar el envío de documentos. Al inicio el usuario enciende el sistema y el cuadricóptero, luego verifica si la estación de control se encuentra ocupada o disponible. Si un cuadricóptero se encuentra en la estación, entonces se pueden introducir documentos en el mecanismo de carga acoplado en móvil. Es necesario verificar que el peso de la carga no exceda la 0.2kg; en caso de que suceda, la estación de control bloqueará al cuadricóptero. Si la carga se encuentra dentro de los límites, el usuario continúa con la planificación o selección de la trayectoria de vuelo en el software, para luego enviar el cuadricóptero a realizar la entrega de los documentos.

2.3. Diseño específico del sistema

Se realiza el diseño específico del sistema de los siguientes elementos:

- Diseño de una base de control para realizar el aterrizaje y despegue del cuadricóptero
- Diseño y construcción de una aplicación móvil para informar al usuario si el peso del documento es factible para ser enviado y si el cuadricóptero se encuentra en posición de envío
- Selección de un sistema de carga para baterías, que garantice la continuidad de la carga mientras el UAV se encuentra en la estación.
- Selección de componentes del cuadricóptero que garantice la entrega de documentos.
- Utilizar un software para la planificación o selección de la trayectoria de vuelo.

Diseño de la estación de control

La estación de control es un elemento dentro del sistema que permite realizar varias tareas como: la carga del cuadricóptero, el pesaje de la carga que lleva el cuadricóptero y determinar la posición inicial para el despegue del vehículo.

La estación de control se representa en la figura 7

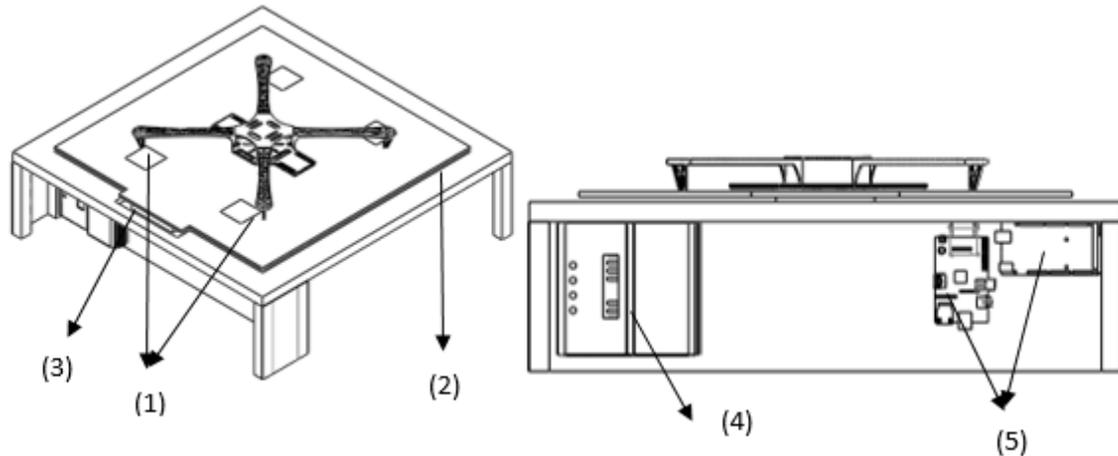


Figura 7. Diseño de la estación de control

Estación de control expuesta en la figura 7 está compuesta por los siguientes elementos: Pines de carga para la batería del cuadricóptero (1), una estructura que permita sostener a los elementos de carga y el cuadricóptero (2), un cargador de baterías tipo LiPo (3), un sensor de peso (4) y elementos para su control (5).

Diseño eléctrico y electrónico de la estación de control

Para el diseño electrónico dentro de la estación de control se propuso el uso de algunos componentes que ayudaron a cumplir con los requerimientos del diseño planteado como se muestra en la figura 8.

La estación de control está conectada a una fuente de alimentación de 110v de AC (1), tiene un sistema de carga para batería (8) del cuadricóptero, un cargador de baterías LIPO de 3 celdas. con un voltaje de 12.6 voltios y de 5 Ah.

Este cargador necesita una potencia de 63watts, cuenta solo con la etapa de balanceador que ayuda a no desconectar la batería del UAV mientras ésta se carga

Otro requerimiento que debió cumplir la estación de control es la de informar al usuario si el peso del documento excede la capacidad del cuadricóptero y la disponibilidad de la estación para despegue o aterrizaje del vehículo. Por lo tanto, en la estación de control se instaló una celda de carga (5) conectada a un convertidor análogo digital (4) para obtener los datos del peso al que el

cuadricóptero estuvo expuesto para realizar la entrega. Estos datos fueron obtenidos por el microcontrolador que después de ser programado realizó el análisis del peso de los documentos a ser enviados y la disponibilidad de la estación de control.

El microcontrolador (3) usado en la estación de control también tuvo la tarea de enviar los datos obtenidos a una computadora para que ésta pueda enviarlos y mostrarlos al usuario mediante la aplicación móvil.

Este proyecto identificó la necesidad de ocupar siete pines de salida digital, por lo que, el consumo de corriente es de 0.14 A. Además, se estima una potencia eléctrica requerida de 1.68 watts.

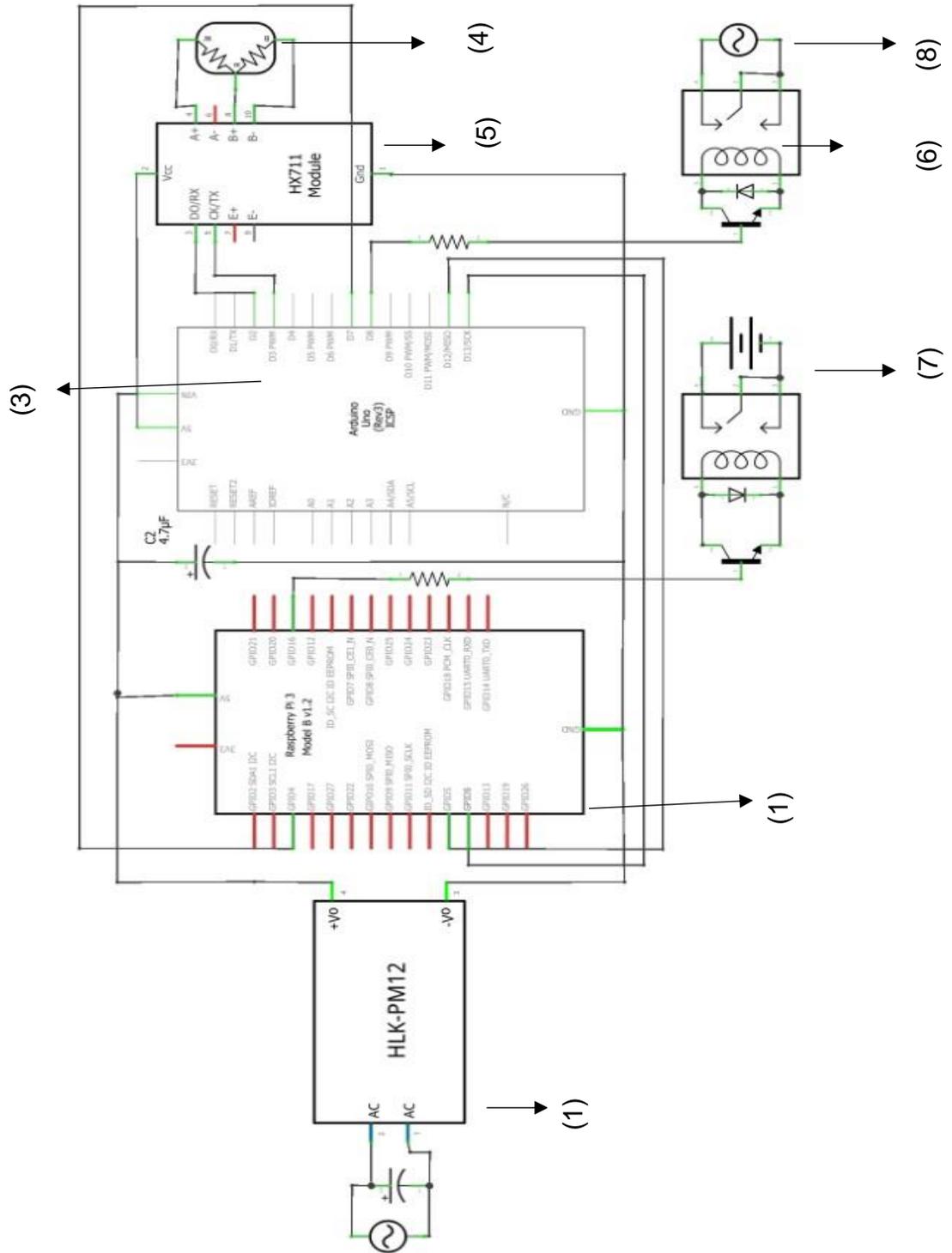


Figura 8. Circuito electrónico de la estación de control

- (1)Circuito de acoplamiento de AC a DC, (2) Raspberry, (3) Arduino UNO, (4) conversor análogo – digital, (5) Celda de carga, (6) Módulo de relevador, (7) batería del cuadricóptero, (8) Alimentación para el cargador de baterías

Una vez obtenido los datos de la celda de carga y realizado un tratamiento para adquirir los datos usados en la identificación de estados de la estación de control, es necesario que se envíen estos datos a un servidor web para que el usuario desde una aplicación lo pueda ver.

Para este proceso se ha elegido el Raspberry pi 3 (2) que con su programación en Python permite realizar el servidor web y conectar con la aplicación móvil. La tarjeta Raspberry pi tiene un consumo promedio de potencia de 4 watts y su funcionamiento es a 5 voltios en corriente directa.

En este proyecto se ha considerado que el sistema debe bloquear el paso de energía en dos puntos clave, los cuales son el paso de energía de la batería del cuadricóptero (7) y a la conexión de energía de el cargador de las baterías, por lo que se ha resuelto seleccionar 2 relevadores (6) cuyos pulsos estarán controlados por el Raspberry pi y el Arduino UNO respectivamente.

Diseño del software de la estación

Para la estación de control se realizó una aplicación de monitoreo en la que el usuario puede obtener datos de la estación de control desde un dispositivo móvil.

La estación de control cuenta con un sistema de comunicación inalámbrica de tipo wifi, permite realizar consultas de peso del cuadricóptero y disponibilidad de la estación utilizando un servidor web que gestiona la respuesta a una petición realizada por el usuario y visualizarla en la aplicación móvil.

Una vez iniciado el servidor web el Raspberry procede a leer los datos obtenidos en los pines de lectura, que reciben información desde el microcontrolador Arduino. Los datos obtenidos por la celda de carga determinaron el peso del cuadricóptero y disponibilidad de la estación para así visualizarlos en la aplicación móvil.

También el usuario a través de la aplicación permite el paso de energía al controlador de vuelo y a los motores, una vez realizada la planeación o selección de trayectorias para el posterior vuelo del cuadricóptero.

El algoritmo utilizado se representa en la figura 9.

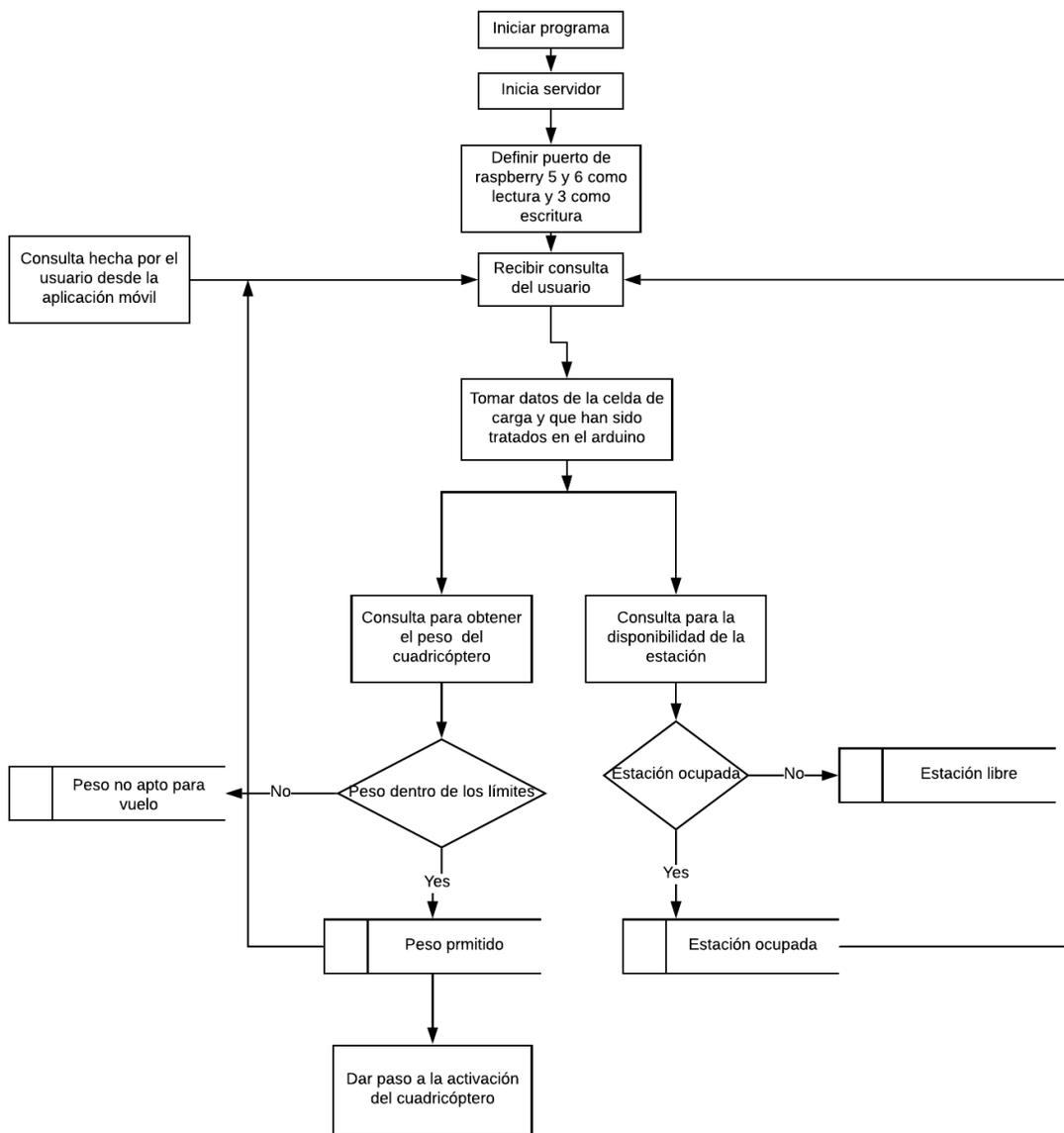


Figura 9. Diseño del software de la estación de control

La aplicación que controla la estación de control funciona de la siguiente manera:

- Iniciar el sistema
- Iniciar el servidor web.

Seguido a esto el programa del Raspberry pi recibe datos del Arduino los cuales han sido tomados del sensor de carga y diferenciados para trabajar de cuatro maneras; la primera que indica que la estación está vacía, la segunda que la estación está ocupada, la tercera que el peso del cuadricóptero es óptimo para el despegue y la última que el peso en el cuadricóptero no es permitido.

Una vez realizada la consulta, la aplicación responde al usuario con etiquetas de texto mostradas en la aplicación móvil.

Componentes del cuadricóptero

Para la etapa del diseño de este trabajo de titulación es necesario construir un cuadricóptero, con los siguientes componentes: el chasis (1), los motores (2), las hélices o propelas(3), el controlador de vuelo(4), los ESC's (Controladores electrónicos de velocidad)(5), la placa de distribución de potencia (PDB por sus siglas en inglés)(6), los módulos de comunicación(7), módulo de radio control (8), el módulo GPS(9), la batería(10), sensor de carga de la batería (11) y el switch de seguridad (12). (Mantero, 2018)

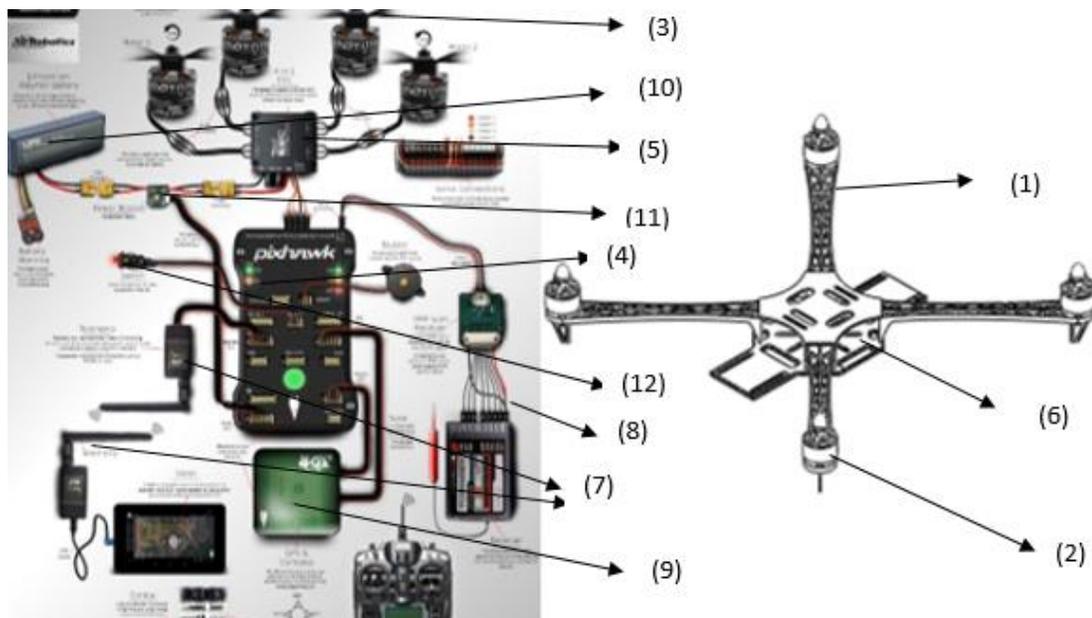


Figura 10. Elementos del electrónicos y mecánicos del cuadricóptero

Cálculo del Torque necesario para el vehículo

Para el cálculo de troques se definió el tipo de chasis necesario para el vuelo del vehículo, por lo tanto, se seleccionó un chasis apropiado para el tipo de carga que el cuadricóptero transportaba. El chasis elegido debe ser capaz de llevar un sobre manila de tamaño A4 y documentos en su interior. Según el tipo de chasis seleccionado se obtuvo el tipo de propelas a ser usadas y los motores que dieron impulso al cuadricóptero según la tabla 4 mostrada a continuación.

Tabla 4. Especificaciones de hélices y motores según el tamaño del chasis

Tamaño del chasis	Tamaño de Hélices	Tamaño de motor	KV (Revoluciones por voltio)
0.150 m o menor	0.0762 m	1105 – 1306 o menor	3000 KV o más
0.160 m	0.1016 m	1806	2600 – 3000 KV
0.210 m	0.127 m	2204,2206,2306	2300 – 2600 kV
0.250 m	0.1524m	2204,2206,2306	2000 – 2300 KV
0.350 m	0.1778m	2208	1600 KV
0.450 m	0.2032m o mayor	2212 o mayor	1000 KV O menos

Se seleccionó un chasis de 0.450 m esta medida es tomada desde un rotor a otro que tengan el mismo sentido de giro. El chasis seleccionado es un DJI Flame Wheel f450 con un peso de 0.282 kg y una distancia entre rotores de 450mm diseñado de fibra de carbono la parte central y con la PDB (Placa de distribución de potencia) integrada. Además, brazos de una aleación de plástico rígido (DJI, 2018)

Una vez seleccionado el chasis se tuvo la recomendación de hélices y tipos de motor necesarios para este tipo de cuadricóptero. Como se puede observar en la tabla, entre más larga sea la hélice menos revoluciones por voltio necesitará para generar más torque ya que esta relación es inversamente proporcional. (PROMETEC, 2016)

Uno de los elementos dentro del cuadricóptero son las hélices que proporcionan el empuje del viento para la elevación del cuadricóptero. Las hélices se seleccionaron según el tipo de chasis elegido, de esta manera las hélices escogidas fueron de nueve pulgadas con un paso de 50 que significa que en un entorno ideal (vacío) cada revolución el cuadricóptero se elevaría 0.050 m.

La batería seleccionada para el cuadricóptero es de tres celdas, debe contar también con una corriente de 4 Ah para tener una mayor autonomía al volar el cuadricóptero.

Selección de motores

Los motores que cumplían la característica señalada en la tabla 5 debían tener una velocidad menor que 1000 RPM/V de acuerdo con el chasis seleccionado. Estos motores por lo general son de tipo brushless que funcionan con baterías tipo Lipo de tres celdas. Los motores seleccionados fueron motores de marca DJI de modelo 2312E motores que tienen una velocidad de 800 RPM/V y con un empuje máximo de 0.625 kg por motor. El peso de estos motores es de 0.0275 kg por motor (DJI, 2018).

Los ESC's (controladores electrónicos de velocidad) son elementos electrónicos que permiten controlar el voltaje que los motores reciben a partir de una señal de control enviada por el controlador de vuelo. Estos elementos dentro del sistema permiten el paso de corriente de la batería a los motores. Los ESC's seleccionados para el cuadricóptero fueron los DJI 430 lite que son controladores de última generación para vehículos aéreos con un peso de 0.028 kg por cada controlador.

Una vez fueron seleccionados los componentes del cuadricóptero se realizó una suma para obtener el peso del cuadricóptero

Tabla 5. Lista de componentes del cuadricóptero con sus pesos

Componente	Peso del componente kg (x10⁻³)
Chasis	282
Motores	110
Hélices	20
Componentes eléctricos	50
ESC's	48
Batería	400
Total	910

Es recomendable que el peso del cuadricóptero sea menor que la mitad que el empuje total de los motores, por lo que al tener cuatro motores con empuje de 0.625 kg suma un empuje de 2,5 kg, por lo tanto, si el peso del cuadricóptero es de 0.974 kg cumple con la recomendación del fabricante. (PROMETEC, 2016)

Comprobación de selección de componentes

En esta etapa del diseño se comprobó que los componentes seleccionados para el cuadricóptero sean los correctos para su funcionamiento.

Se comenzó con la comprobación de propiedades entre hélices y motor ya que estos dos funcionan de manera conjunta y generan el empuje necesario para el vehículo. El empuje se calcula de la siguiente manera:

Por lo tanto, se obtuvo la siguiente ecuación de la segunda ley de Newton de la estática donde la sumatoria de las fuerzas es igual a 0

$$\sum F = \frac{d(mv)}{dt} = 0 \quad [1]$$

Identificando las fuerzas existentes en el sistema se obtiene

$$mg - T = 0 \quad [2]$$

$mg - T = 0$ En donde m representa la masa del cuadricóptero y T representa al empuje del cuadricóptero

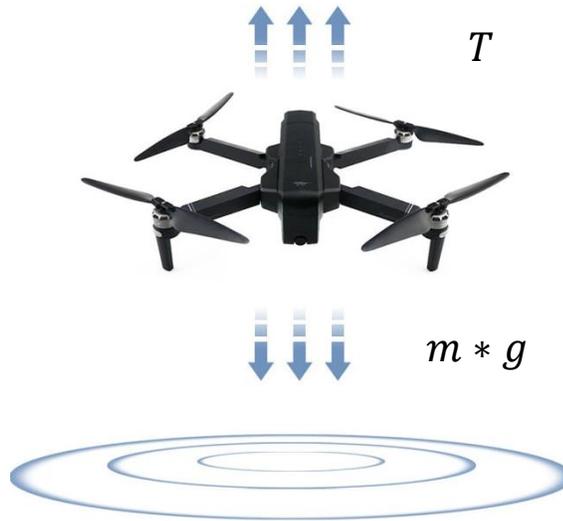


Figura 11. Diagrama de fuerzas del cuadricóptero

$$m = \frac{T}{g} \quad [3]$$

Para determinar la potencia máxima transmitida al aire se empleó la ecuación de la conservación del movimiento aplicada a las alturas entre dos puntos de los fluidos. Que se deriva de la ecuación Bernoulli donde $P1$ es el punto inicial y $P2$ es el punto final

$$\frac{P1}{\gamma1} + \frac{1}{2g} v_1^2 + h_1 + h_{aire} = \frac{P2}{\gamma2} + \frac{1}{2g} v_2^2 + h_2 \quad [4]$$

$$\frac{P1}{\gamma1} + \frac{1}{2g} v_1^2 + h_1 + h_{aire} = \frac{P2}{\gamma2} + \frac{1}{2g} v_2^2 + h_2$$

$\gamma1$ y $\gamma2$ son los pesos específicos de los fluidos.

h_1 y h_2 energía por unidad de peso

h_{aire} energía por unidad de peso que el actuador transfiere al aire

v_1 y v_2 rapidez del fluido.

Tomando en cuenta que la energía potencial dentro de la ecuación es despreciable por las diferencias de alturas, se ignora este elemento

Simplificando la ecuación y sabiendo que el fluido es el aire se obtuvo la siguiente expresión.

$$\frac{1}{2}v_1^2 + h_{aire} = \frac{1}{2g}v_2^2 \quad [5]$$

$\frac{1}{2}v_1^2 + h_{aire} = \frac{1}{2g}v_2^2$ Se dice que el cuadricóptero empieza desde el reposo por lo tanto $v_1 = 0$.

$$h_{aire} = \frac{1}{2g}(v_2^2 - v_1^2) \quad [6]$$

Además, se requiere conocer potencia máxima w_{max} que es transmitida al aire.

$$w_{max} = m * h_{aire} * g \quad [7]$$

También se utilizó el flujo másico del fluido por lo tanto se calculó de la siguiente manera

$$m = \rho * A_2 * v_2 \quad [8]$$

Donde ρ es la densidad del fluido

A_2 Área por donde pasa el fluido

Remplazando las ecuaciones se obtiene

$$w_{max} = \rho * A_2 * v_2 * h_{aire} * g \quad [8] \text{ en } [7]$$

$$w_{max} = \rho * A_2 * v_2 * \frac{1}{2g}v_2^2 * g \quad [6] \text{ en } [8]$$

$$w_{max} = \frac{1}{2} \rho * A_2 * v_2^3$$

Esta ecuación es conocida como el teorema de Bertz e indica la potencia máxima que se puede tomar de un fluido. En el caso del cuadricóptero se utiliza inversamente, obteniendo la potencia máxima que el motor puede transmitir al fluido.

$$w_{max} = V * I_{max} \quad [9]$$

$w_{max} = V * I_{max}$ Donde V es el voltaje de la batería que es de 11.1 V e I_{max} la corriente máxima a la que pueden estar expuestos los motores en este caso es de 30 A.

$$w_{max} = 333 \text{ watts}$$

Obteniendo la potencia máxima eléctrica del sistema de motores y reemplazándola en la ecuación se obtiene lo siguiente.

$$v_2^3 = \frac{8 * w_{max}}{\pi * \rho * D^2} \quad [10]$$

$v_2^3 = \frac{8 * w_{max}}{\pi * \rho * D^2}$ Para obtener el diámetro D se usó la medida entregada por el fabricante en este caso hélices de 9 pulgadas.

$$D = 0.2286 \text{ m}$$

Velocidad máxima de empuje que tiene el cuadricóptero.

$$v_2 = \sqrt[3]{\frac{8 * w_{max}}{\pi * \rho * D^2}} \quad [11]$$

$$v_2 = 23.63 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para el cálculo de la fuerza que actúa sobre el aire y que sirve de empuje del cuadricóptero. Se utilizó la ecuación de cantidad de movimiento.

$$\sum \vec{F} - \frac{m * d \vec{v}_{vc}}{dt} = \frac{d}{dt} \int \rho * \vec{v} dV + \int \rho * \vec{v} * (\vec{v} * \vec{n}) dA \quad [12]$$

En la figura 12 se observa el funcionamiento de motor y su comportamiento con el entorno (A través de un fluido)

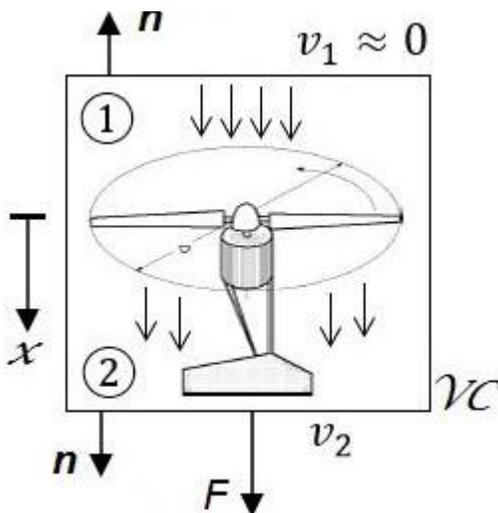


Figura 12. Fuerza aplicada por el motor y la hélice
(Héctor Fernández, 2016)

Se supuso que no hay cambio en el volumen del fluido y se obtuvo que $\overline{v_{vc}} = 0$ y $\frac{d\overline{v_{vc}}}{dt} = 0$ por lo tanto se tuvo la siguiente ecuación

$$\sum F_x = \frac{d}{dt} \int \rho * v_x dV + \int \rho * v_x (\vec{v} * \vec{n}) dA = 0$$

Debido a que se consideró que el flujo es constante y no hay cambio en la cantidad de movimiento se deduce que

$$\frac{d}{dt} \int \rho * v_x dV = 0$$

Por lo tanto, se obtuvo la siguiente expresión

$$F = \int \rho * v_x * (\vec{v} * \vec{n}) dA$$

Como la densidad del fluido es la misma a la entrada y a la salida se tuvo que

$$F = \rho * v_2^2 * A_2 \quad [13]$$

Remplazando la ecuación de la velocidad en la ecuación de la fuerza se obtuvo lo siguiente.

$$F = \rho * \sqrt[3]{\frac{8 * w_{max}}{\pi * \rho * D^2}} * \frac{\pi}{4} D^2 \quad [12] \text{ en } [13]$$

Determinando que la fuerza que puede transmitir el cuadricóptero es de

$$F = 3.10 \text{ kgf}$$

Por lo tanto, se determinó que la velocidad máxima del cuadricóptero es de 23,63 m/s y que su empuje máximo es de 3,10 kgf tan solo necesitando 0.91 kgf por lo tanto la selección de hélices y motores es la correcta. Se establece también que el empuje utilizado en el cuadricóptero es de 1,5 kg por dos razones; la primera es que el cálculo del empuje es un ambiente controlado como es el vacío y segundo porque el sistema fue diseñado para la región sierra con una altura de 2800 MSNV (metros sobre el nivel del mar) que tiene menos oxígeno que la región costa o llano que es el lugar donde estos vehículos son probados por los fabricantes.

Diseño de la estructura para la estación de control

La estación de control fue diseñada para el soporte de los elementos a ser transportados y del UAV

La estructura para la estación de control está compuesta por columnas que son elementos estructurales sometidos a una carga de compresión que pueden llegar a tener un pandeo por efecto de la carga (Mott, 2006).

La columna utilizada dentro de la estación de control se puede visualizar en la figura 13.

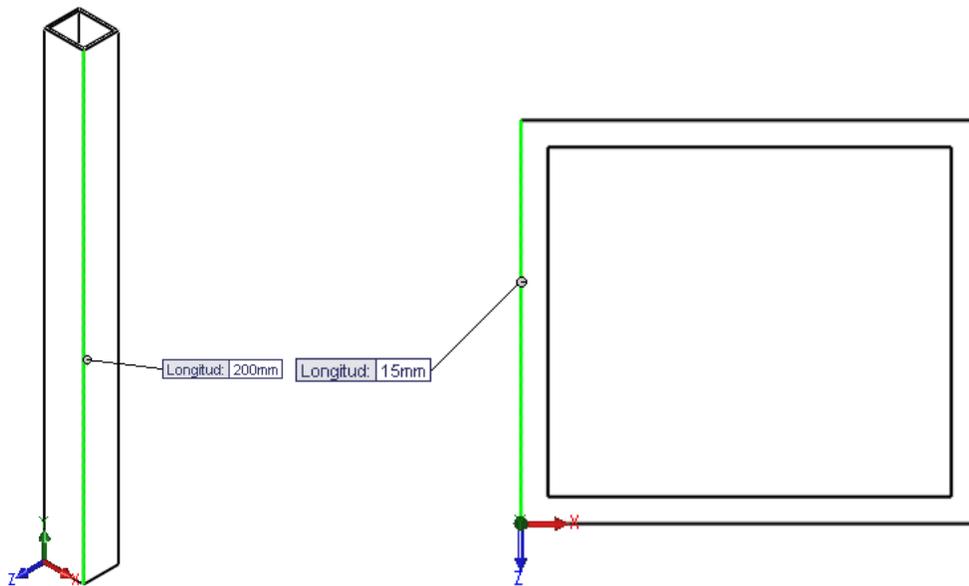


Figura 13. Diseño de las columnas utilizadas en la estación de control

Para la columna mostrada en la figura 8 se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 6. Parámetros para el diseño de la columna figura 13

Parámetro	Notación	Valor
Material	Aluminio	0.015x0.015x0.001 m
Resistencia a la fluencia	S_y	55 MPa
Módulo de elasticidad	E	69 GPa
Factor de seguridad	N	3
Longitud de la columna	L	0.2 m
Fijación de los extremos	K	1
Inercia de la columna	S	$11.40 \times 10^{-5} m$

Peso del cuadricóptero más la carga:

$$P_{cuad} = 1.5\text{Kg}$$

$T = 3.7\text{Kg}$: empuje de las hélices

La carga máxima expuesta sobre la estación de control viene dada por la relación $P_{max} = g(P_{cuad} + T) = 50.96\text{N}$

La carga crítica se calculó mediante la siguiente expresión

$$P_{crit} = P_{max} \cdot N = 152.88 \text{ N.} \quad [14]$$

$$P_{crit} = 152.88 \text{ N}$$

Se determinó el valor del parámetro constante de la columna calculada mediante la expresión

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * E}{S_y}} = 157.36 \quad [15]$$

$$C_c = 157.36$$

Una vez obtenido el dato de la constante de la columna se procedió a encontrar la inercia mínima de la columna mediante la siguiente formula

$$I_{min} = \frac{P_{crit} * (K * L)^2}{\pi^2 * E} = \quad [16]$$

$$I_{min} = 1.40 \times 10^{-11} \text{ m}^4$$

Para encontrar si la columna diseñada era admisible para la estructura de la estación de control se procedió a calcular la relación de esbeltez mediante la siguiente formula

$$Re = \frac{KL}{S} \quad [17]$$

$$Re = 1748.25$$

Como la relación de esbeltez es mayor que la constante de la columna se concluye que es una columna larga y por lo tanto el perfil utilizado es válido para la carga a la que estuvo sometida la estación de control.

Selección de Batería

Para el vuelo del cuadricóptero y para que la batería sea capaz de suministrar la energía necesaria para todos los componentes del cuadricóptero, se identificaron los componentes y los consumos de energía dados por los fabricantes.

Tabla 7. Consumo eléctrico de los componentes del cuadricóptero

Componente	Consumo de energía mA
Controlador de vuelo	250
Módulo de GPS	40
Motores y ESC's	400
Total	690

El sistema necesitó una batería de más de 0.690 A, pero las baterías recomendadas por los fabricantes de partes para cuadricóptero son de 3 o 4 celdas y corriente mayor que 4 Ah, por lo que se ha seleccionado una batería de marca HAIYIN de 3 celdas y de 4500 mAh con una constante de descarga de 30 c. Esta constante nos permite determinar la corriente máxima que la batería puede entregar en caso de que el vehículo lo requiera. Para nuestro cuadricóptero la corriente máxima que puede entregar la batería es de 135 A y la corriente pico de descarga es de 180 A. (Morales, 2017)

Autonomía del vehículo

La autonomía del vehículo representa el tiempo de vuelo que el cuadricóptero tuvo de manera ininterrumpida sin afectar la duración a largo plazo de la batería. Para encontrar este valor se identificó el tipo de batería usado para este cuadricóptero como ya ha sido descrita anteriormente.

Consumo máximo de potencia por los motores

$$w_{max} = V * I_{max} \quad [18]$$

$$w_{max} = V * I_{max} w_{max} = 333 \text{ watts}$$

Este valor es obtenido cuando el cuadricóptero está funcionando a máxima velocidad y con su peso máximo.

Para el cuadricóptero se consideró un trabajo al 30 % de su capacidad por lo tanto la potencia necesitada por cada motor es de 99.9 watts.

Al ser cuatro motores la potencia total será de $W=400$ watts

Tiempo máximo de vuelo

$$\frac{E}{P} = \frac{V * I}{W} \quad [19]$$

$$\frac{E}{P} = \frac{V * I}{W} \quad t = 0.1248 \text{ h} \rightarrow 7.5 \text{ min}$$

El resultado obtenido representa el tiempo estimado de vuelo del cuadricóptero y corresponde a 7 minutos y medio de vuelo, esto está ligado a las corrientes de aire con las que choque el cuadricóptero y a al número de maniobras que este tenga que hacer para llegar a su destino.

Controlador de vuelo

Para el vuelo del cuadricóptero fue fundamental el controlador de vuelo, este elemento cuenta con sensores internos como son el acelerómetro, el giroscopio y el magnetómetro, los mismos que se encargan de mantener al cuadricóptero de manera horizontal y así mismo ayudar a la recolección de información para el vuelo autónomo del cuadricóptero.

También cuenta con elementos periféricos como son el módulo GPS que permite enlazar el cuadricóptero con los satélites para el posicionamiento global del vehículo. Y los módulos de conexión para la telemetría del vehículo.

El controlador de vuelo que cumple con todos los parámetros de funcionamiento del UAV (telemetría, posicionamiento, vuelo, seguimiento de trayectorias) fue el PIXHAWK 2 que cuenta con un bajo consumo de energía, conexión con radio control, IMU (Inercial measure unit) que es el circuito que alberga al magnetómetro, giroscopio y acelerómetro, también dispone de un switch de seguridad y sobre todo es compatible con las plataformas para la planeación y generación de trayectorias de vuelo que son: QGroundControl y Mission Planner. A su vez permiten la telemetría del cuadricóptero con la estación de control en tierra. (PIXHAWK, 2019).

La conexión del controlador de vuelo se muestra en la figura 14.

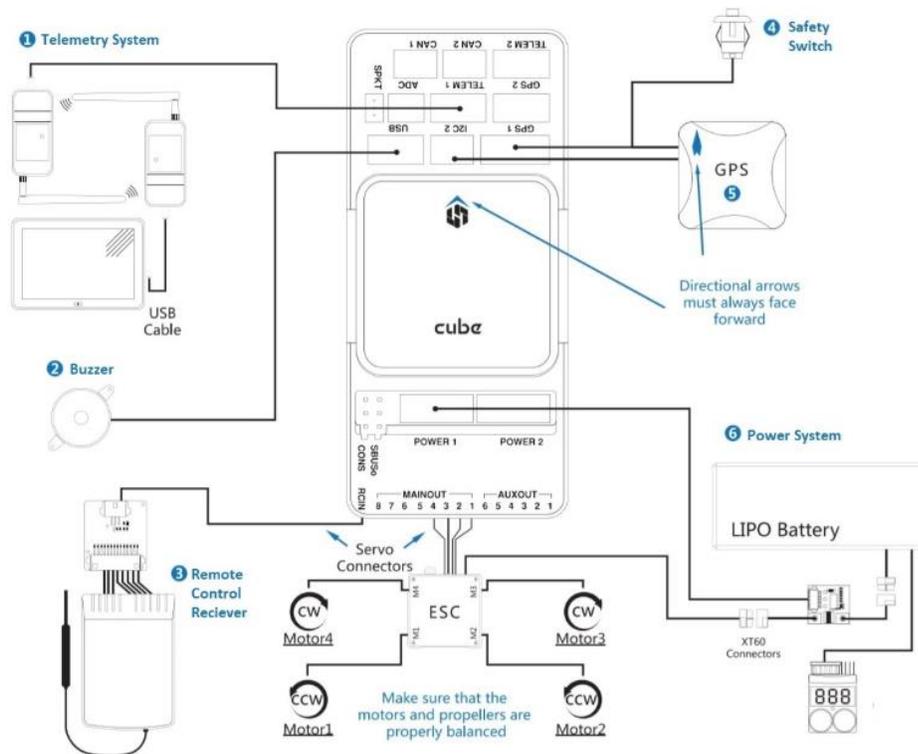


Figura 14. Controlador de vuelo con sus módulos periféricos (DRONECODE fundation, 2014)

El consumo de corriente del controlador de vuelo con todos los elementos que se utiliza para la telemetría y control de la velocidad de los motores fue de 0.25 A la cual es una corriente baja, esto refleja un consumo de batería menor y una mayor autonomía de vuelo (PIXHAWK, 2019).

Software

Una vez fueron identificados los componentes del cuadricóptero se procedió a la selección del software que realizó: el control del vuelo, la telemetría del vehículo. Así mismo la planificación y selección de trayectorias por el usuario. Por estos motivos se seleccionó la plataforma de libre acceso QGroundControl que permite al usuario identificar la posición global del cuadricóptero y mantiene constante telemetría a través de una conexión digital con la computadora en tierra. La selección de esta plataforma fue considerada por su fácil acceso y porque el lenguaje visual ayuda al usuario a observar en tiempo real lo que está pasando en el vehículo de entrega, así mismo, la accesibilidad para la calibración de los componentes del cuadricóptero (DRONECODE fundation, 2014).

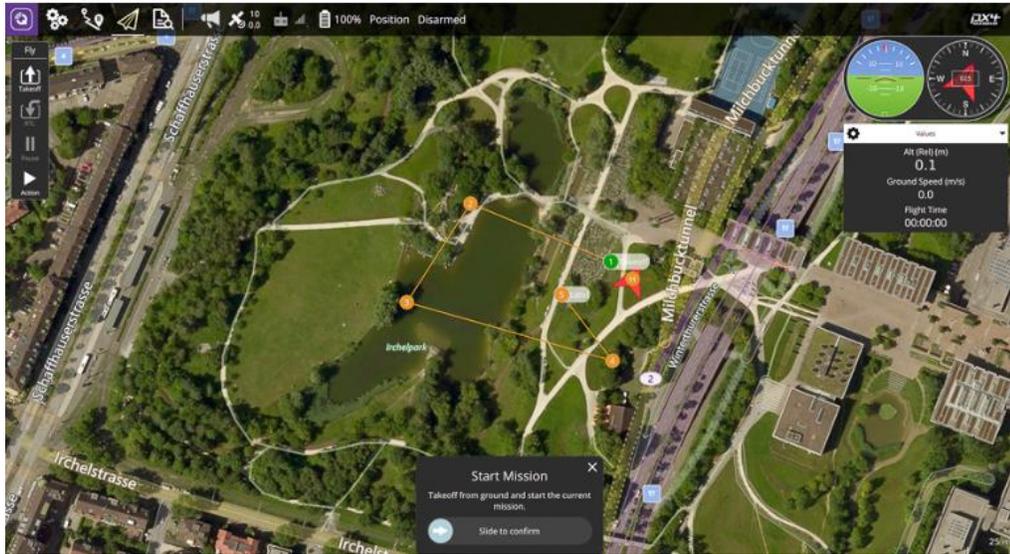


Figura 15. Vista de la pantalla para planificaciones de vuelo en el software (DRONECODE fundacion, 2014)

La pantalla mostrada en la figura 15 representa la vista del programa en donde el usuario puede planificar las trayectorias de vuelo y cargar la misión dentro del controlador de vuelo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema de entrega de documentos mediante drones para la universidad UTE, está conformado por un cuadricóptero, un sistema de control, y dos estaciones de supervisión con una aplicación móvil que permite la visualización de los datos de peso del documento y si se encuentra ocupada o no las estaciones de control.

Para la selección del vehículo móvil se realizó el análisis de los diferentes sistemas mostrados en la tabla 2, adicionalmente se realizaron pruebas de vuelo con documentos utilizando el vehículo DJI f450 Flame Wheel de dimensiones de 0.450 m (Figura 15) con hélices del tipo “Z”, las mismas que permiten eliminar las vibraciones al momento del despegue vertical y disminuir las vibraciones del vehículo durante el vuelo.



Figura 16. Fotografía del cuadricoptero seleccionado y armado

El cuadricóptero seleccionado permite llevar una carga de 0.250Kg, alcanza una velocidad de vuelo de 1.14 m/s y puede recorrer una distancia de 0.1Km. Estos datos fueron obtenidos durante las pruebas de vuelo realizadas entre el bloque G y el bloque Q del campus occidental de la universidad UTE.

Las trayectorias de vuelo fueron planificadas en el software QGround Control, en la figura 16 se muestra una fotografía tomada al planificar la trayectoria entre los bloques G y Q.



Figura 17. Planificación de trayectorias entre el bloque Q y G

La fotografía muestra la ubicación de los bloques, y mediante el software es posible establecer el punto inicial, el punto final, la velocidad, y la altura de vuelo. Para el proyecto se establecieron las alturas de 20m y 25m con las que se obtuvieron los resultados mostrados en las tablas 8, 9 y 10.

Tabla 8. Prueba realizada a 25m de altura entre el bloque G y el bloque Q

Nº	Distancia recorrida (m)	Tiempo de vuelo (s)	Porcentaje de descarga de la batería	Carga útil (kg)	Velocidad promedio (m/s)
1	67.7	66	15%	0	1.03
2	67.7	66	21%	0.05	1.03
3	67.7	68	19%	0.1	1.00
4	67.7	65	18%	0.15	1.04
5	67.7	69	21%	0.2	0.98

En la tabla 8 se muestra los resultados de las pruebas de vuelo, en donde se determinó que si se tiene una carga de 0.05 kg, la velocidad del cuadricóptero es de 1.03m/s; y si aumenta la carga a 0.2 kg la velocidad disminuye a 0.98 m/s, también se estableció que el porcentaje promedio de descarga de la

batería es de 18.8%, suficiente para realizar la entrega de documentos entre el bloque G y el bloque Q, esta prueba fue realizada a una altura de vuelo de 25 m.

Tabla 9. Prueba realizada a 20m de altura entre el bloque G y el bloque Q

Nº	Distancia recorrida (m)	Tiempo de vuelo (s)	de Porcentaje de descarga de la batería	Carga útil (kg)	Velocidad promedio (m/s)
1	67.7	59	10%	0	1.15
2	67.7	63	15%	0.05	1.07
3	67.7	58	10%	0.1	1.17
4	67.7	60	12%	0.15	1.13
5	67.7	62	15%	0.2	1.09

Por otro lado, al realizar las pruebas entre el bloque G y Q se obtuvo que el cuadricóptero al estar sometido a la carga mínima tendrá una velocidad de 1.15 m/s y una vez expuesto a la carga máxima la velocidad disminuye a 1.09 m/s, obteniendo un porcentaje de descarga promedio de la batería del vehículo de 12.4 %. Estos datos fueron obtenidos realizando pruebas de vuelo a una altura de 20 m como se muestra en la tabla 9.

Tabla 10. Prueba realizada a 10m de altura entre el bloque Q y el bloque G

Nº	Distancia recorrida (m)	Tiempo de vuelo (s)	Porcentaje de descarga de la batería	Carga útil (kg)	Velocidad promedio (m/s)
1	66.7	61	10%	0	1.09
2	66.7	60	7%	0.05	1.11
3	66.7	58	10%	0.1	1.15
4	66.7	59	7%	0.15	1.13
5	66.7	63	12%	0.2	1.06

Así también se realizaron pruebas entre el bloque Q y G del campus a una altura de vuelo, esto a razón de que el cuadricóptero desciende por la altitud que existe entre los bloques y no como las pruebas anteriores que se tomaron dos alturas para el ascenso del vehículo. De la misma manera se obtuvo que el

cuadricóptero al realizar la trayectoria entre bloques y sin ninguna carga tiene una velocidad de 1.09 m/s, mientras que si se aumenta la carga la velocidad disminuye.

Una vez concluido el armado del cuadricóptero se procedió a construir las estaciones de control. Las mismas que permiten que el cuadricóptero no lleve un peso mayor al establecido, además se determinó los puntos en donde se puede aterrizar y despegar dentro del campus. Igualmente, las estaciones de control deben ser ubicadas en puntos donde la vista del satélite sea clara y permita tener certeza de que la coordenada geográfica sea tomada correctamente.

Las estaciones de monitoreo y carga de los vehículos fueron ubicadas en las terrazas de los bloques G y Q (figura 17), con la finalidad de lograr un campo visual proporcionado por el satélite y visualizado en el software de generación de trayectorias. Cuando el cuadricóptero se encuentra en la estación, el usuario puede consultar el peso de la carga que será enviada para activar y desactivar el vuelo. La información de las coordenadas y condiciones de vuelo se encuentra en el software QGround Control instalado en el PC de los usuarios del sistema.



Figura 18. Estación de control

Como complemento de la estación de control se creó una aplicación para que el usuario pueda conocer si el peso del cuadricóptero supera o no los parámetros establecidos para el envío de documentos. Esta aplicación se ha diseñado para que el usuario tenga interacción con la estación de control.

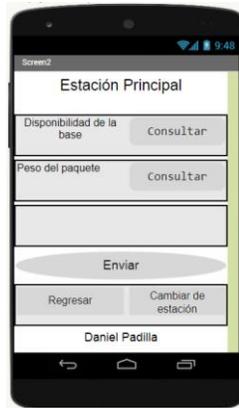


Figura 19. Imagen de la aplicación móvil que visualiza el peso del paquete

Una vez diseñados y contruidos los elementos de la estación de control que permiten el monitoreo del cuadricóptero, se implementó un contenedor de documentos para que estos puedan ser llevados en el cuadricóptero.

El contenedor está elaborado de madera de balsa, material elegido por ser ligero, resistente y de bajo costo. Utilizar otro tipo de producto implicaría un aumento en el peso del contenedor lo cual afectaría el rendimiento del cuadricóptero, reduciendo la capacidad de carga y su autonomía. El compartimiento está sujeto al cuadricóptero de manera fija y cuenta con una tapa movible para introducir o sacar los documentos, lo que permitirá que los mismos sean transportados de manera segura.



Figura 20. Contenedor de documentos

Una vez realizadas las pruebas de cada uno de los elementos del sistema, se procedió a que los usuarios manipularan el sistema. Las pruebas consistieron en:

1. Encender el sistema
2. Iniciar la aplicación de monitoreo
3. Ingresar los documentos dentro del compartimiento
4. Comprobación de que los pesos no excedan la capacidad del UAV

5. Selección de la trayectoria de envío
6. Enviar el cuadricóptero
7. Esperar que aterrice el vehículo

Tabla 11. Tiempo de demora de algunos usuarios usando el sistema

Usuario	Tiempo utilizado en hacer la prueba (minutos)	Conocimiento de tecnología
Usuario1	4.13	Alto
Usuario1	4.07	Alto
Usuario2	4.38	Medio
Usuario2	4.47	Medio
Usuario3	5.22	Bajo
Usuario3	5.33	Bajo

Las pruebas realizadas a tres tipos de usuarios/as del sistema permite determinar que la entrega de documentos dentro del campus occidental de la universidad UTE se lo puede realizar en un tiempo promedio de 5 minutos. Tomando en cuenta que era la primera vez que usaban el sistema.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Una vez construido y probado el prototipo del sistema de entrega de documentos, el mismo que se compone de su estación de control para monitorear el peso del vehículo, un cuadricóptero que servirá para realizar las entregas y la selección de una plataforma de vuelo que permita planificar y seleccionar trayectorias de vuelo. Se realizaron pruebas para observar su funcionamiento y se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Los tiempos medidos en las pruebas para la entrega de documentación son de cinco minutos desde la verificación de peso en el bloque G hasta el aterrizaje en el bloque Q, que es un tiempo menor al que se propuso en los requerimientos de ocho minutos.
- La cantidad máxima de documentos a ser transportados es de 0.250 kg que equivale a 30 hojas con un margen de capacidad para grapas y clips que tienen los documentos. Esto se encuentran dentro de los parámetros que se manejan en la actualidad.
- La aplicación móvil permitió el monitoreo de la estación de control así mismo entrega al usuario respuestas concretas para facilitar su comprensión disminuyendo las equivocaciones al usar el programa.
- La integración de un cargador de baterías en la estación de control logró que el vehículo se encuentre preparado para realizar entregas de documentos en todo momento.
- El contenedor de documentos fue lo más pequeño posible con dimensiones de 0.11 m de ancho 0.13 m de alto y 0.25 m de profundidad, donde puedan entrar documentos de tamaño A4. El mismo que estuvo estructurado con un material liviano generando menos peso al cuadricóptero.
- Se obtuvo un modelo para calcular la fuerza de empuje de un cuadricóptero
- Es posible la implementación de un sistema de entrega de documentación mediante vehículos aéreos no tripulados para el campus occidental de la universidad UTE es posible.

Recomendaciones

Con el propósito de implementar este prototipo dentro de la universidad es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Pensando en una mejora del sistema de la presente investigación, el monitoreo para la estación de control debe ser integrado al software de navegación que permita monitorear la estación de control y la navegación del cuadricóptero. Construyendo una sola aplicación de entrega de documentos para la universidad.
- Para que el sistema funcione en condiciones climáticas de lluvia y con vientos mayores a 25km/h, se recomienda cambiar los motores del cuadricóptero por unos con el doble de capacidad y resistentes al agua. Las estaciones de control también deben ser adaptadas para funcionar bajo las mismas condiciones climáticas por lo que se debe proteger los componentes electrónicos que constituyen la estación de control.
- Al implementar el sistema y al contar con una mayor cantidad de vehículos aéreos no tripulados, la universidad debe impulsar la creación de un sistema de navegación para múltiples vehículos que permita mayor seguridad en la entrega de documentos.
- Es importante que para la entrega de documentos a una distancia superior a 250 m se utilicen repetidores de señal de radio control que permitan mejorar la telemetría.
- Para la completa implementación del sistema de entregas en la universidad se recomienda: adaptar espacios físicos para el aterrizaje y despegue del vehículo; integrar las redes informáticas para que las estaciones de control cuenten con una IP fija; clasificar el tipo de entregas que serán consideradas aptas para utilizar este sistema de entrega documental dentro de la universidad y usar el sistema solo en las condiciones meteorológicas máximas establecidas; colocar estaciones de control en todos los puntos identificados para realizar entregas de documentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, L. (6 de Junio de 2013). *Qore*. Obtenido de <https://www.qore.com/noticias/5061/DomiCopter-otra-forma-de-entregar-pizzas>
- Aprendiendo Arduino. (2013). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/23/microcontroladores/>
- CAMPOS, J. A. (2015). *USO DE DRONES EN LOGISTICA PARA ENTREGA DE MERCANCIAS*. Bogotá DC, Colombia.
- Casanave, M. H. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO*. Lima.
- DHL Customer Solutions & Innovation. (2015). *UNMANNED AERIAL VEHICLES IN LOGISTICS*. Troisdorf.
- DHL. (09 de Septiembre de 2016). *DHL*. Obtenido de http://www.dhl.com/en/press/releases/releases_2016/all/parcel_ecommerce/successful_trial_integration_dhl_parcelcopter_logistics_chain.html
- DJI. (2018). *DJI*. Obtenido de <https://www.dji.com/e305/spec>
- DRONECODE foundation. (2014). *QgroundControl*. Obtenido de <https://docs.qgroundcontrol.com/en/>
- Héctor Fernández, I. T. (2016). *Diseño, construcción y control de una aeronave tipo dron*. México.
- Joaquín Berrutti, L. F. (2015). *Vuelo autónomo de un cuadricóptero*. Montevideo.
- MacKenzie, A. (6 de Junio de 2013). *NEW ATLAS*. Obtenido de <https://newatlas.com/dominos-domicopter-pizza-delivery/27814/>
- Mantero, E. B. (23 de Marzo de 2018). *Drone Profesional*. Obtenido de <https://dronprofesional.com/blog/cuales-son-las-partes-de-un-dron/>
- Martín, E. R. (2015). *Sistema de posicionamiento para*. San Cristóbal de La Laguna.
- Mecafenix. (30 de Octubre de 2017). *Ingeniería Mecafenix*. Obtenido de <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/acelerometro/>
- Michelini, Z. (2016). *EL PAIS*. Obtenido de <https://www.elpais.com.uy/>

- Miranda, L. (29 de Agosto de 2014). *FAYERWAYER*. Obtenido de <https://www.fayerwayer.com/2014/08/google-revela-project-wing-su-sistema-de-entrega-con-drones-autonomos/>
- Morales, M. (3 de Mayo de 2017). *T-Bem*. Obtenido de <https://teslabem.com/blog/como-usar-y-cuidar-las-baterias-lipo/>
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson.
- Nick, H. (4 de abril de 2018). *Tech Repúlic*. Obtenido de <https://www.techrepublic.com/article/project-wing-a-cheat-sheet/>
- PIXHAWK. (28 de JULIO de 2019). *PIXHAWK*. Obtenido de <https://docs.px4.io/v1.9.0/en/assembly/>
- PROMETEC. (2016). *PROMETEC*. Obtenido de <https://www.prometec.net/elegir-helices-dron/>
- Quirós, G. C. (2014). *Sistema de enlace robusto para la teleoperación de un UAV (vehículo aéreo no tripulado) en la plataforma robótica ARGOS*. Madrid.
- Speciris Company. (2015). *Omega*. Obtenido de <https://es.omega.com/prodinfo/celulas-de-carga.html#nav>
- Torsten Merz, S. C. (2011). *AUTONOMOUS UNMANNED HELICOPTER SYSTEM FOR REMOTE SENSING MISSIONS IN UNKNOWN ENVIRONMENTS*. Zurich: Remote Sensing and Spatial Information Science.
- Verein Deutscher Ingenieure. (2004). *Design methodology for mechatronic systems*. Düsseldorf.

ANEXOS

Manual de Usuario

1. Generalidades del sistema

El sistema de envío de correos mediante drones en el campus occidental de la universidad UTE se compone de las estaciones de control, la aplicación de monitoreo de las estaciones, la aplicación para generar las trayectorias de vuelo (Qground control), el cuadricóptero y su mando. El sistema ayuda a la entrega de documentos que tengan un peso menor que 100 g.

1.1. Estaciones de control

Las estaciones de control son puntos de llegada y salida en donde el cuadricóptero puede despegar o aterrizar para realizar la entrega. Estas estaciones cuentan con mecanismo para medir el peso de los documentos a ser enviados y la computadora que se encuentra en la estación se encarga de enviar esos datos al usuario para su visualización todo esto mediante comunicación de tipo wifi.

1.2. Aplicación de monitoreo de las estaciones

La aplicación de monitoreo de las estaciones es una interfaz diseñada para teléfonos con sistema operativo Android que permite visualizar las condiciones de la estación.

1.3. Aplicación para generar las trayectorias de vuelo

La aplicación Qground control que es una plataforma de libre acceso, permite realizar la calibración de sensores, programar la radio, generar las trayectorias de vuelo y también monitoreo de batería, altura y condición del cuadricóptero. Permite programar la trayectoria de vuelo sea la necesaria por el operador y se conecta mediante telemetría al cuadricóptero.

1.4. Cuadricoptero

Es un vehículo pequeño aéreo no tripulado, con un controlador de vuelo que permite su comunicación y su posicionamiento con telemetría a través de radio frecuencia.

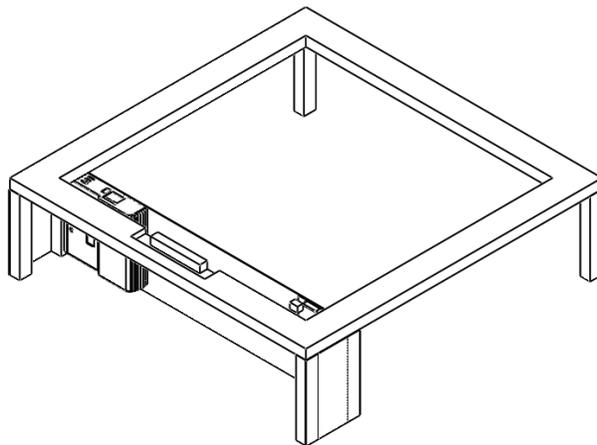
2. Estación de control

La estación de control ha sido diseñada con la finalidad de que el usuario pueda encontrar en un solo sitio los elementos periféricos del sistema, para facilitar el uso de este, observando las restricciones cuando éste. está en funcionamiento.

2.1. Componentes de la estación de control

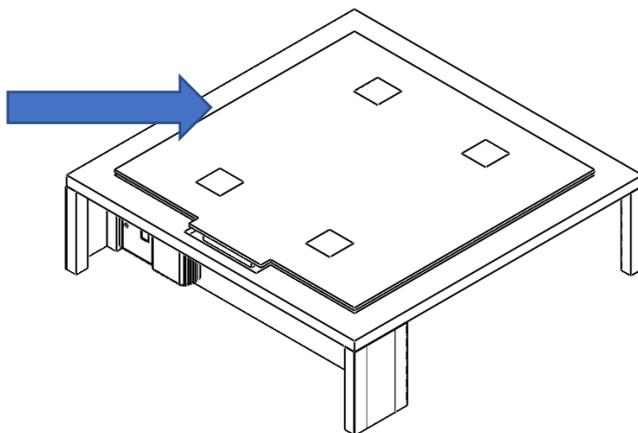
Estructura.

Está compuesta por una estructura de aluminio y cubierta por plástico que permite la protección de los elementos más importantes dentro del sistema.



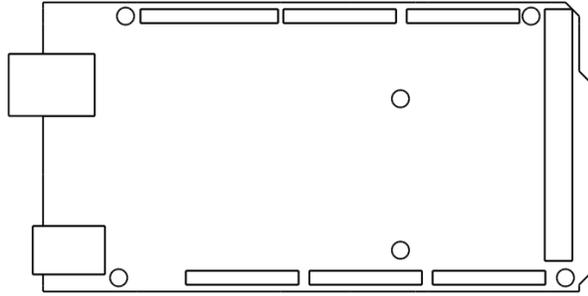
Plataforma de pesaje.

La plataforma de pesaje es un elemento constituido por plástico que en su parte inferior se compone por una celda de carga para realizar el pesaje del cuadricóptero



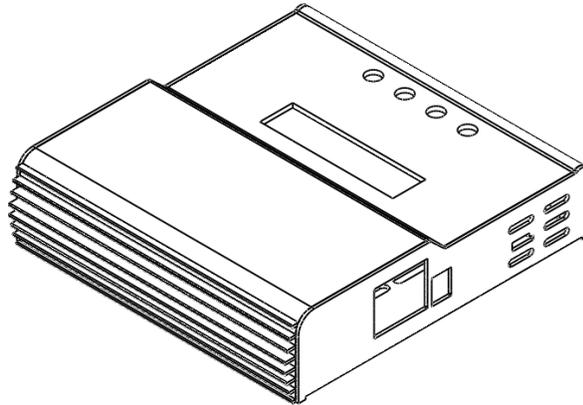
Sistema de recolección y transmisión de datos

El sistema está compuesto por elementos que permiten tomar los datos enviados desde la plataforma de carga para mostrarlos en una aplicación móvil que el usuario podrá tener en su teléfono.



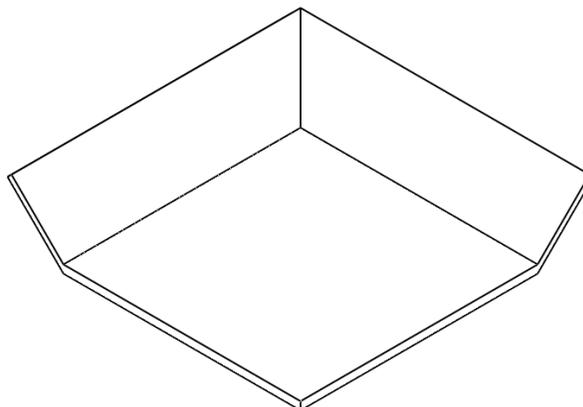
Cargador de batería.

El cargador de batería es un elemento que permite realizar la carga del cuadricóptero mientras este se encuentra en la estación de control, está seleccionado en concordancia con la batería que usa el cuadricóptero.



Pines de carga

Estos son elementos que se encuentran en la plataforma de pesaje e indican la posición en donde el cuadricóptero debe ser dejado por el usuario para su carga



2.1.1. Inicio de la estación de control

- 1) Conectar el circuito a la fuente de alimentación.
- 2) Iniciar el programa que se encuentra en Raspberry pi llamado estación de control.
- 3) Proceder a ver la información de a estación en la aplicación móvil.
(Imagen del raspberry)

2.1.2. Para cargar el cuadricoptero se procederá de la siguiente manera

- 1) Asegúrese que el cuadricóptero se encuentra en la estación o cerca de ella.
- 2) Mover al cuadricóptero a la estación y colocar los pines de carga colocados en la plataforma de pesaje.
- 3) Calibrar el cargador de la batería para tres celdas y 4500 mAh.
- 4) Cargar la batería.

Nota. El cuadricóptero se desactiva automáticamente cuando éste se encuentra en la estación por lo tanto para realizar el sistema de carga no es necesario la desconexión de su batería.

3. Aplicación de monitoreo de las estaciones

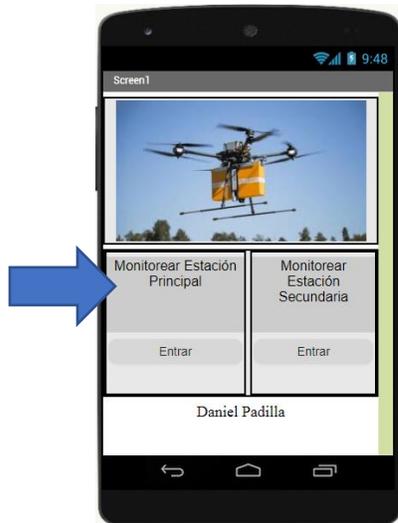
La aplicación dentro del sistema de entregas es un elemento muy importante a la hora de visualizar lo que está ocurriendo en la estación de control y a su vez el usuario puede revisar lo que está pasando en otras estaciones de control.

3.1. Funcionamiento de la aplicación

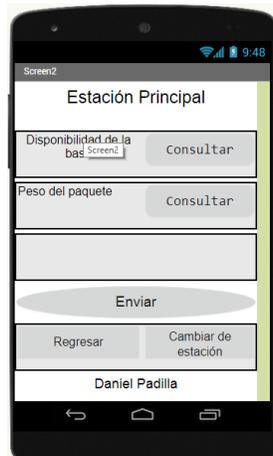
- 1) Se ingresa a la aplicación desde un teléfono con sistema operativo Android la aplicación deberá estar previamente cargada.
- 2) Una vez ingresada se tiene la siguiente pantalla



- 3) Se procede a elegir de que estación se quiere obtener información



- 4) Una vez ingresada a la estación a la cual se quiere tener la información se tiene la siguiente pantalla



- 5) En la pantalla mostrada anteriormente se encuentran datos para hacer las consultas (llamamos consultas al proceso de visualizar los datos en la aplicación a través de un request enviado desde el celular al servidor donde se almacenan los datos).



4. Aplicación para generar las trayectorias de vuelo

La aplicación seleccionada para generar las trayectorias de vuelo, así como realizar la telemetría entre el cuadricóptero y la computadora desde la persona cual puede monitorear el cuadricóptero y calibrar los sensores de vehículo es Qground control. Una plataforma de libre acceso para vehículos aéreos no tripulados y vehículos terrestres no tripulados.

4.1. Barra superior

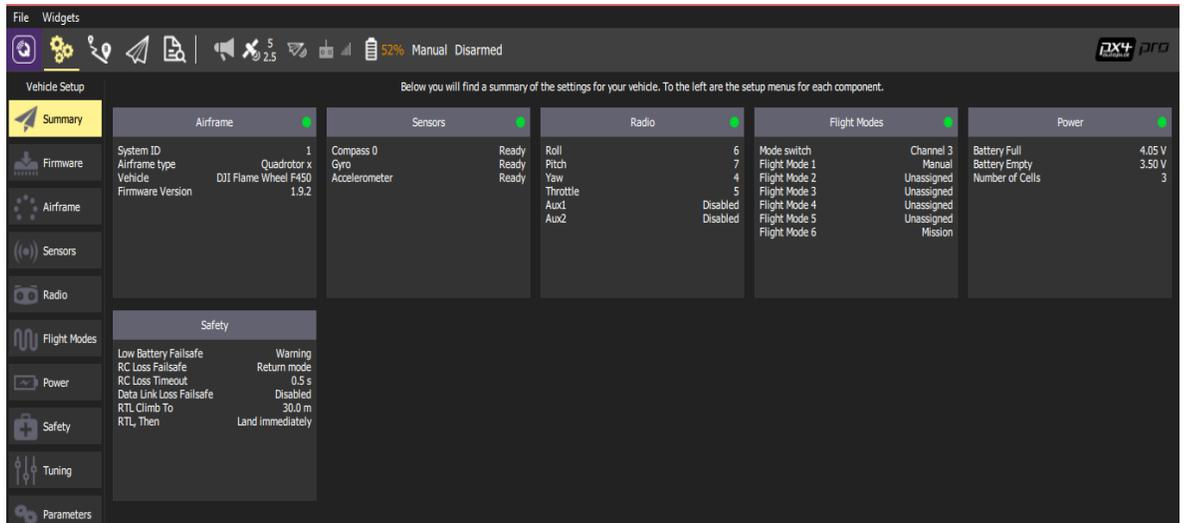
La barra superior contiene elementos que permiten visualización de elementos dentro del cuadricóptero y se dividen en pantallas más pequeñas.

4.1.1. Configuraciones

En esta pantalla se encuentra todos los elementos que se vayan a configurar dentro de nuestro vehículo y a su vez sub-pantallas que permiten tener en detalle toda la configuración de nuestro vehículo

4.1.1.1. Resumen

En esta pantalla se puede encontrar un resumen de todos los elementos que componen el cuadricóptero.

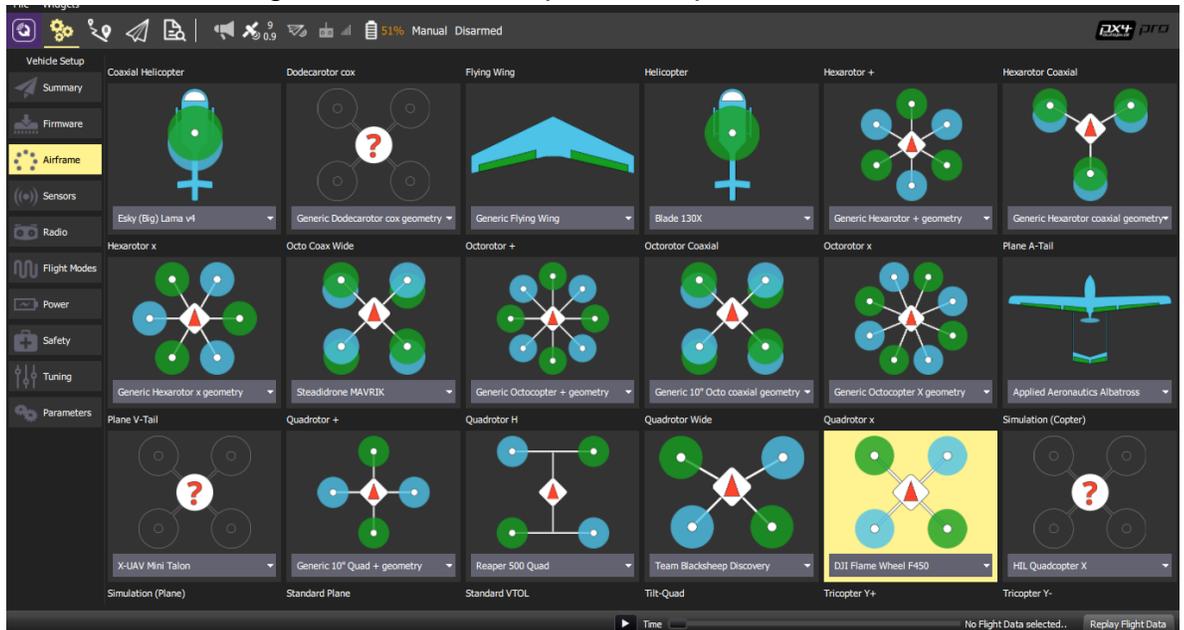


4.1.1.2. Firmware

En esta pantalla se podrá actualizar y cargar el Firmware a un vehículo para su vuelo.

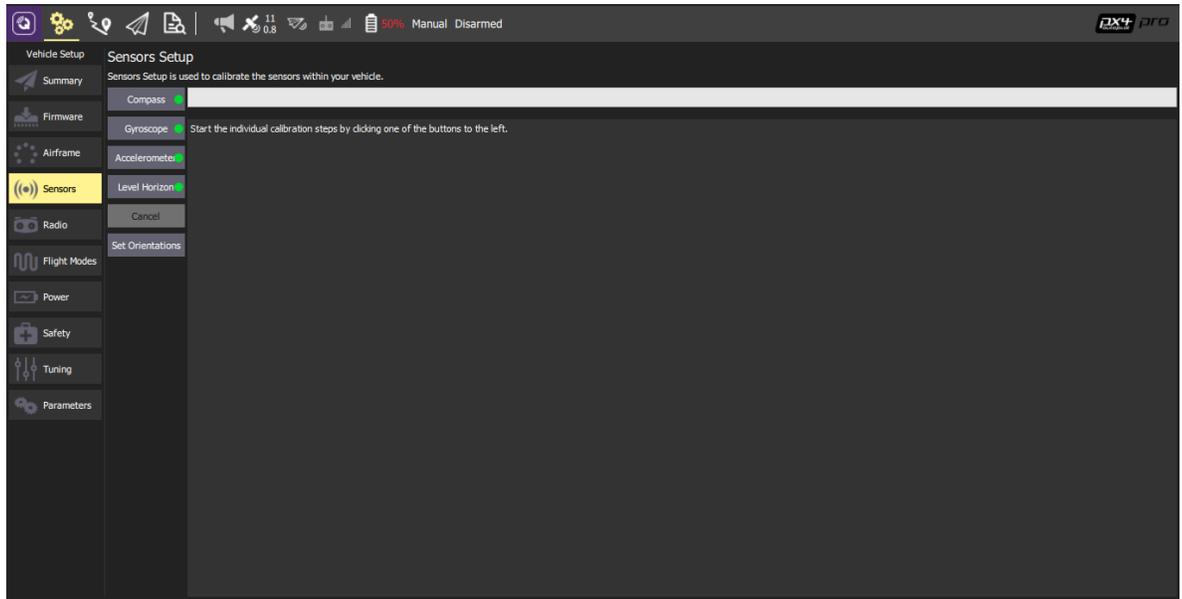
4.1.1.3. Airframe

Aquí el usuario puede elegir el tipo de vehículo que puede usar y aplicar la configuración necesaria para ese tipo de vehículo



4.1.1.4. Sensores

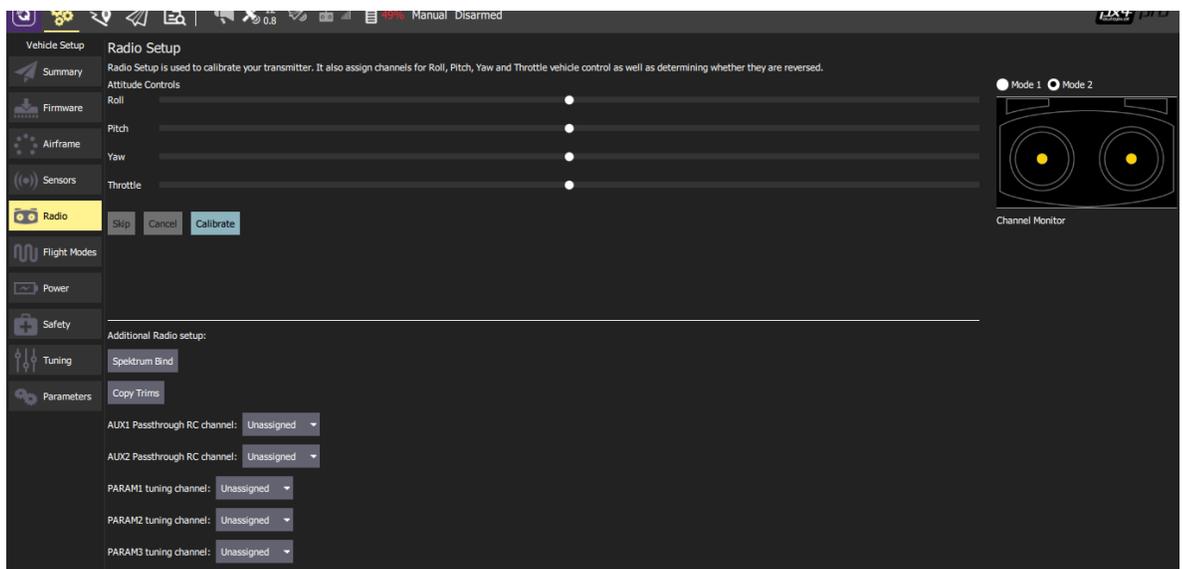
En esta pantalla nos indica si los sensores están correctamente calibrados y en caso de que los sensores no tengan la calibración adecuada poder calibrarlo tal y como nos lo recomienda el programa.



4.1.1.5. Radio

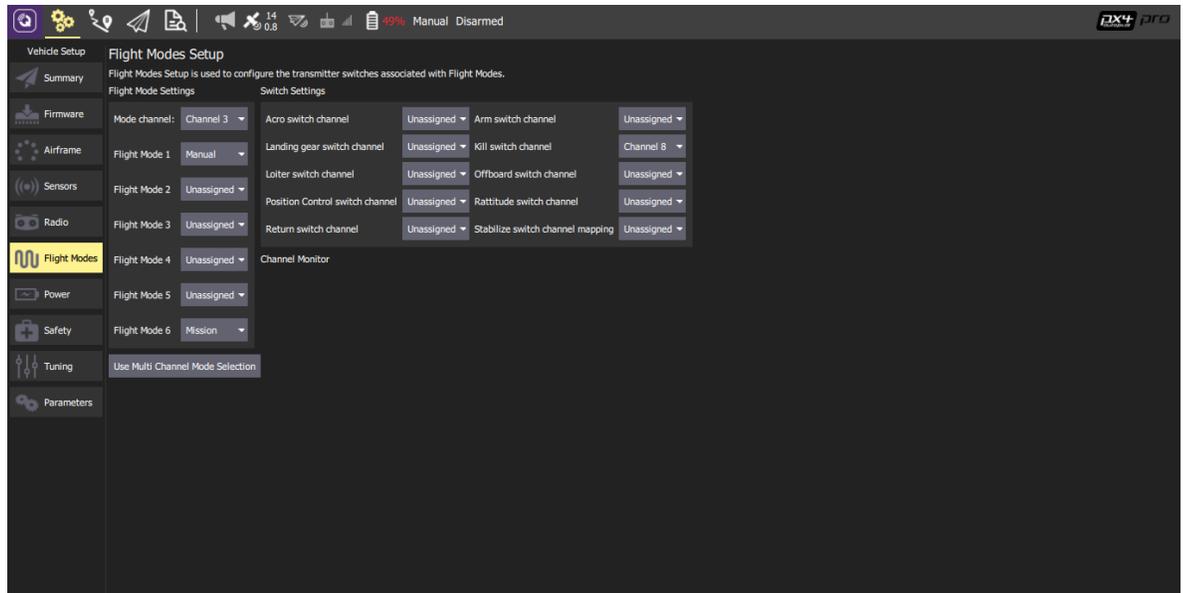
En esta sección se puede encontrar la calibración del radio control.

Nota. El radio control es de suma importancia aun cuando el modo de vuelo vaya a hacer automático, en caso de alguna emergencia o de perdida de comunicación con el vehículo se recomienda al usuario cambiar a modo de vuelo manual y controlar con el radiocontrol.



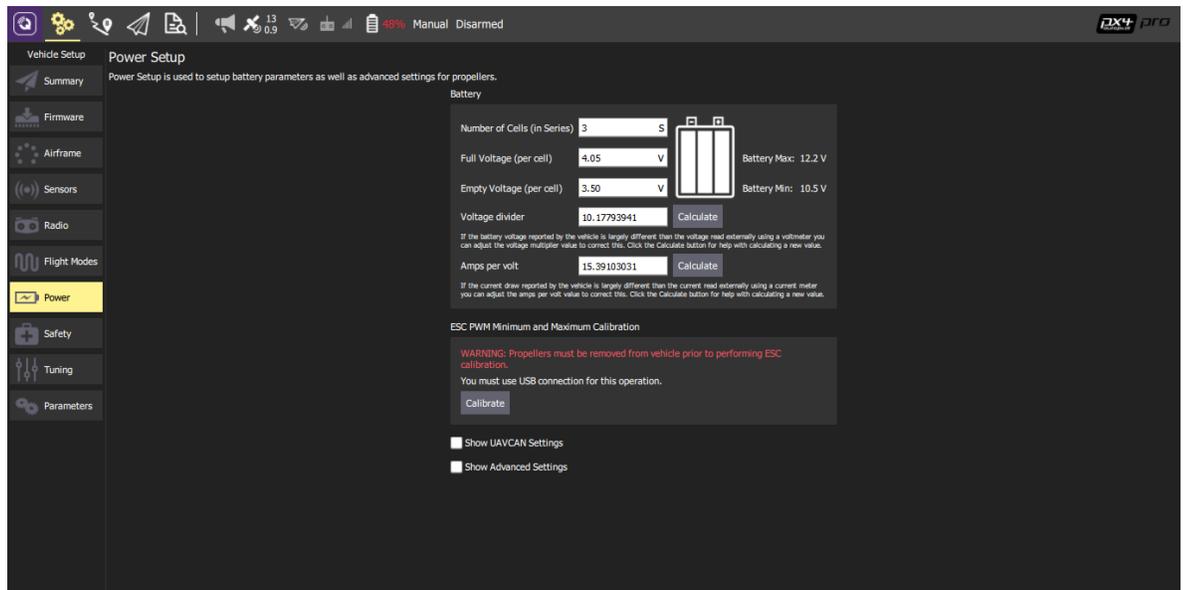
4.1.1.6. Flight Modes

En esta ventana se puede configurar los modos de vuelo del cuadricóptero.



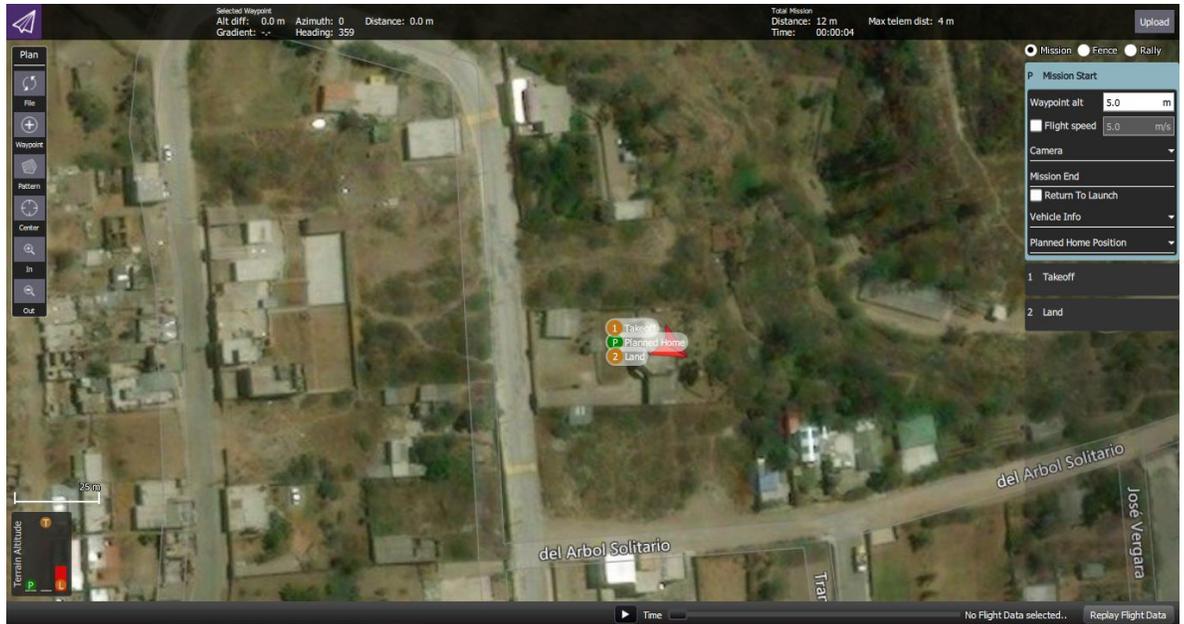
4.1.1.7. Power

En esta sección del programa se puede encontrar y poner las características de nuestra batería, así mismo la configuración de los controladores de velocidad del vehículo



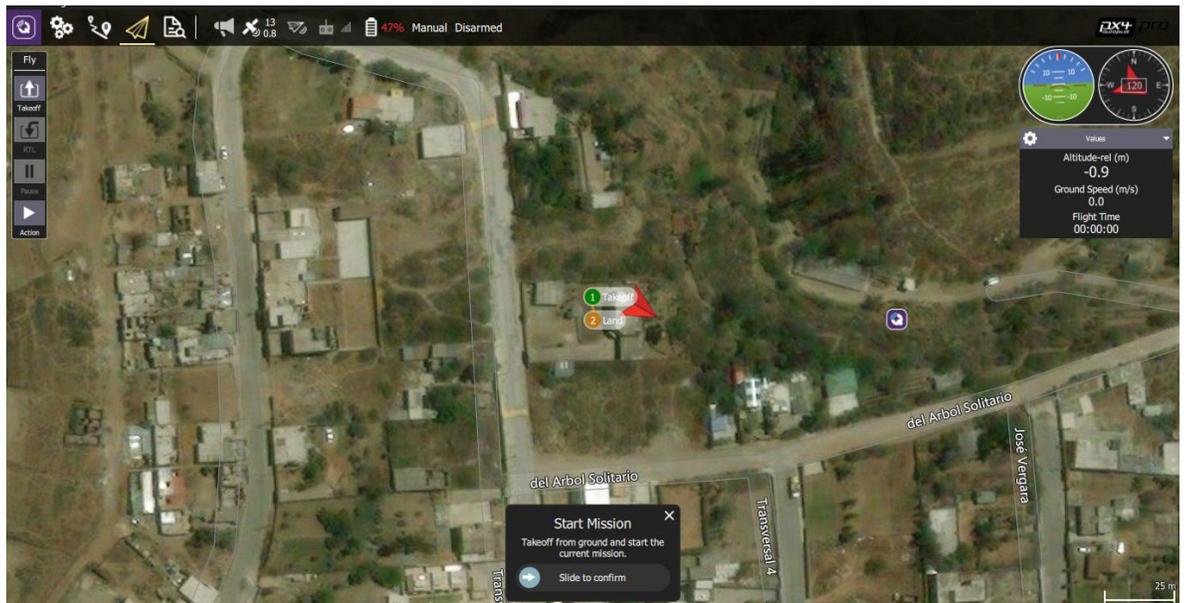
4.1.2. GPS y programación de trayectoria

En esta pantalla se encuentra una vista de nuestro vehículo en la posición mostrada por GPS lo que nos permite saber en dónde está nuestro vehículo siempre y cuando este se encuentre prendido y haya tomado la posición de los satélites.



4.1.3. Centro de comando para los vuelos

Aquí el usuario puede iniciar el vuelo del cuadricóptero y empezar la misión



4.1.4. Logs

En esta ventana el usuario puede encontrar los archivos históricos del cuadricóptero, pero de manera visual. El programa se encarga de visualizar los archivos y a su vez la tarjeta en el cuadricóptero de almacenarlos

4.1.5. Alertas

Las alertas son una pantalla que indica lo que sucede en el cuadricóptero y algunos mensajes para tomar en cuenta dentro del vuelo del cuadricóptero.

4.2. Funcionamiento del programa generador de trayectorias.

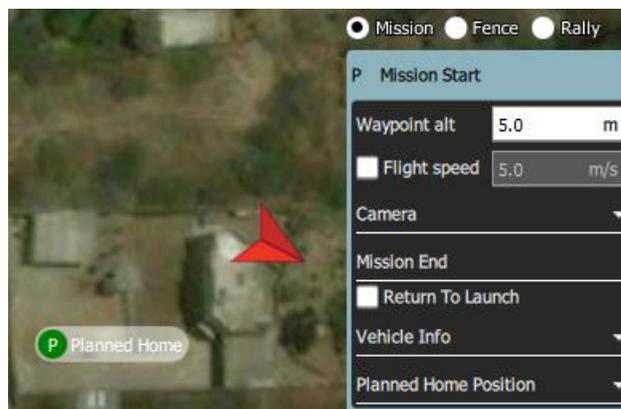
1) Iniciar el programa



2) Navegar por la barra superior hasta la parte de GPS y trayectoria



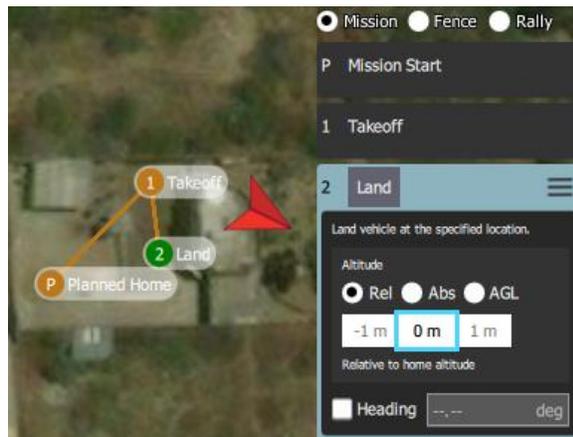
3) Una vez en la pantalla se encuentra un punto que se llama planned home, lo que nos indica en donde está nuestro punto de planeación de vuelo. La flecha roja indica la posición global del cuadricóptero



4) Se inserta un waypoint y se lo ubica en la posición inicial para empezar el vuelo y se configura la altura que va a tener y la velocidad de vuelo. (la altura recomendada es menor que 50 metros y la velocidad recomendada es de 5 km/h)

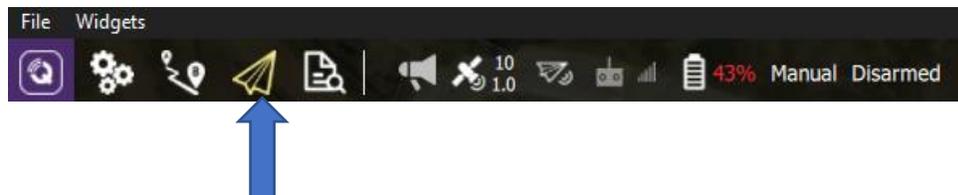


- 5) Se Inserta un waypoint y se lo ubica en la posición final del vuelo y se le otorga característica de land (aterrizaje por su traducción del inglés)

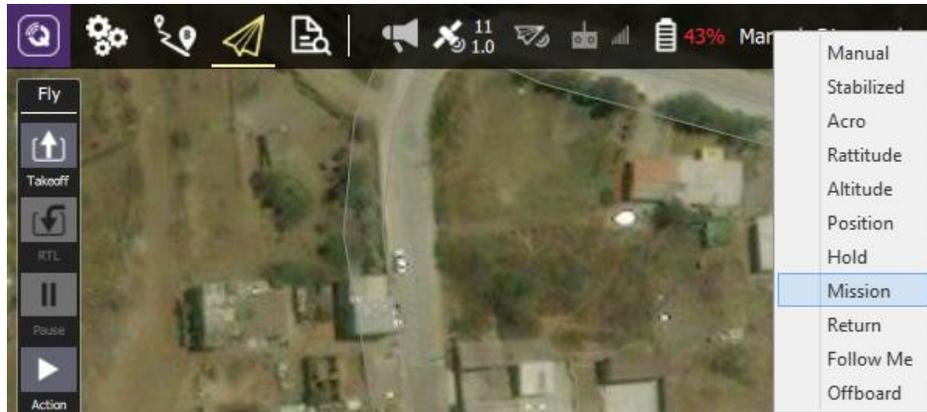


4.3. Iniciar y controlar vuelo

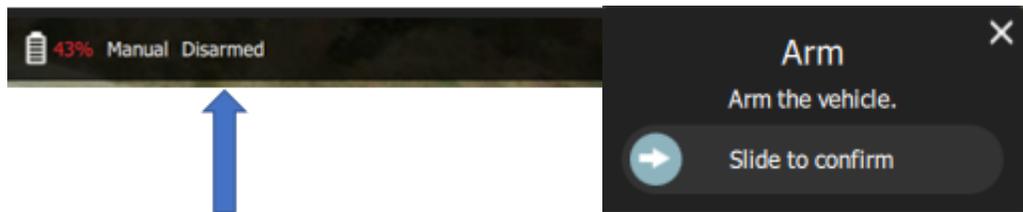
- 1) En la barra superior se elige el centro de comandos para vuelos



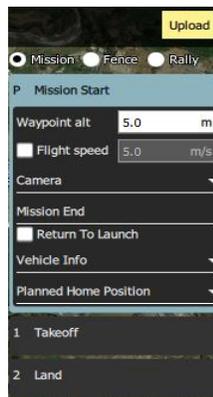
- 2) Una vez ingresada a esta ventana se procede a cambiar el modo de vuelo de manual a misión



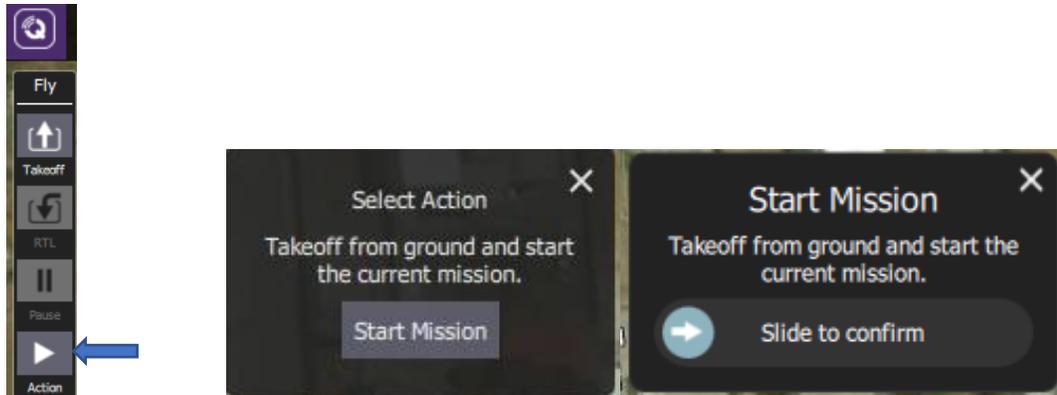
- 3) Una vez cambiado el modo de vuelo y activado el switch de seguridad del cuadricóptero se procede a armar el vehículo activando los motores. Dando click donde dice Disarmed y después deslizando el botón de arm



- 4) Después de armar el vehículo y si no hay errores se procede a iniciar la misión primero cargándola en el vehículo



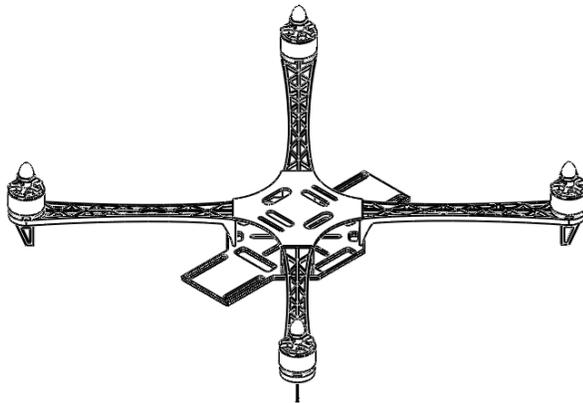
- 5) Se procede a iniciar la misión, seguido a esto se da clic en iniciar misión y se desliza el botón para que el cuadricóptero inicie la misión



Seguido a esto el cuadricóptero iniciará el vuelo. Una vez que el cuadricóptero termine la misión se recomienda desarmar el vehículo, por lo que se deberá seguir las instrucciones del paso 3.

5. Cuadricóptero.

Es un vehículo aéreo no tripulado de cuatro motores y hélices con un controlador de vuelo, un módulo de GPS para su posicionamiento global y un sistema de envío de datos de tipo telemetría para enlazar con tierra y visualizarlos en la aplicación para la generación de trayectorias.



5.1. Controlado de vuelo

Para el control y funcionamiento del cuadricóptero se ha seleccionado un controlador de vuelo Pixhawk series con un módulo GPS con compass incluido para la detección de los polos terrestres y su orientación global.



5.1.1. Parpadeo de LED y sus indicaciones

- Armed, No GPS
- Armed, GPS
- Fail Safe
- Low Battery
- Ready, No GPS
- Ready, GPS
- Error

5.2. Funcionamiento del cuadricóptero.

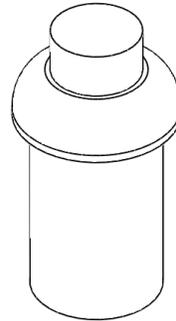
1) Encender el radiocontrol



- 2) Observar que el cuadricóptero esté encendido y transmitiendo al programa QGround control.



- 3) Una vez se permita en envío desde la aplicación móvil acercarse a encender el switch de seguridad hasta que el cambie su velocidad de parpadeo



- 4) Proceder a generar la trayectoria de vuelo como se ha explicado anteriormente en el punto 4.2.