



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

IMPLEMENTACIÓN DE UN MULTICÓPTERO CON CAPACIDAD DE  
CARGA ÚTIL DE 1,3 KG

AUTOR

Angel Mauricio Guevara Chinchero

AÑO

2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

IMPLEMENTACIÓN DE UN MULTICÓPTERO CON CAPACIDAD DE CARGA  
ÚTIL DE 1,3 KG

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los  
requisitos establecidos para optar por el título de Ingeniero  
en Electrónica y Redes de Información

Profesor Guía

Mtr. David Fernando Pozo Espín

Autor

Angel Mauricio Guevara Chinchero

Año

2018

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, IMPLEMENTACIÓN DE UN MULTICÓPTERO CON CAPACIDAD DE CARGA ÚTIL DE 1,3 KG, a través de reuniones periódicas con el estudiante Angel Mauricio Guevara Chinchero, en el semestre 2018-1, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

David Fernando Pozo Espín

Master en Automática y Robótica

CI: 1717340143

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, IMPLEMENTACIÓN DE UN MULTICÓPTERO CON CAPACIDAD DE CARGA ÚTIL DE 1,3 KG, del estudiante Angel Mauricio Guevara Chinchero, en el semestre 2018-1, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Jorge Luis Rosero Beltrán

Master en Ciencias con Especialidad en Automatización

CI: 1803610185

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

---

Angel Mauricio Guevara Chinchero

CI: 172384630

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por las pruebas que me ha dado en el transcurso de este proyecto de vida, agradezco especialmente a mis padres que siempre estuvieron para apoyarme. Al ingeniero David Pozo, que transmitió todos sus conocimientos para poder culminar este trabajo con éxito, muchas gracias ingeniero. Agradezco al ingeniero Héctor, Angel y a la UITEC que me ayudaron a conseguir los elementos y proporcionaron las herramientas para poder ensamblar el prototipo. Agradezco las sugerencias del ingeniero Jorge Rosero para mejorar la presentación y redacción del documento. Agradezco a mis hermanos y mi novia quienes me ayudaron a realizar las correcciones y figuras del documento. También un especial agradecimiento a quienes me dieron parte de su tiempo para ayudarme a cumplir mi sueño.

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, hermanos, y mi familia que fueron el motor para culminar este proyecto. Especialmente a mi abuelita Lupe quien fue mi madre durante el transcurso universitario, gracias abuelita. Dedico esta tesis a mi tía María a quien me hubiera gustado que esté presente para acompañarme en este triunfo, y quien fue una razón más para alcanzar el cielo.

## RESUMEN

Los drones fueron fabricados para usos militares, sin embargo, el avance de la tecnología, abaratamiento de construcción y la aceptación por parte del mercado, han hecho que estos equipos sean utilizados en varias aplicaciones civiles cómo: investigación, agricultura, rescate, fotografía, cartografía, geolocalización, control de incendios, entre otros. Estas aplicaciones requieren de equipamiento especializado (sensores, cámaras, fungicidas, GPS, etc.) que representan una carga significativa a ser elevada por el dron. Por esta razón, se realiza un diseño e implementación de un hexacóptero que tenga como requerimiento, levantar una carga útil de 1.3 Kg por un tiempo mínimo de 10 minutos, para poder trabajar en las áreas anteriormente mencionadas.

En primer lugar, se describen conceptos técnicos usados a lo largo del documento, además se indica las características que determinan la selección de cada elemento. En base a cálculos, se obtiene el peso de la aeronave, empuje de cada motor, consumo y tiempo de vuelo con los elementos seleccionados.

Después de adquirir los elementos, se realiza el ensamblaje del prototipo, el cual tiene pasos explicados mediante diagramas y gráficos. De igual forma, se detallan los pasos para la instalación del software de configuración del controlador de vuelo Naza M V2.

Finalmente se realizan las pruebas correspondientes que demuestran que el prototipo implementado, gracias a los cálculos realizados, tiene la capacidad de volar 16 minutos con una carga de 1.3 Kg.



## ABSTRACT

Drones were manufactured for military use, however, the advancement of technology, lower construction costs and acceptance by the market, have made these equipment used in several civil applications such as: research, agriculture, rescue, photography, cartography, geolocation, fire control, etc. These applications require specialized equipment (sensors, cameras, fungicides, GPS, etc.) that represent a significant load to be lifted by the drone. For this reason, a design and implementation of a hexacopter is made with the requirement of lifting a 1.3 Kg payload for a minimum time of 10 minutes, to be able to work in the aforementioned areas.

First, technical concepts used throughout the document are described, and there are characteristics lists that determine the selection of each element. Based on calculations, is obtained the aircraft weight, the engine thrust, consumption and flight time with the selected elements.

After acquiring the elements, the prototype is assembled, which has steps explained by diagrams and graphs. In the same way, the steps for the installation of the configuration software of the Naza M V2 flight controller are detailed.

Finally, the corresponding tests are carried out that show that the prototype implemented, thanks to the calculations made, has the capacity to fly for 16 minutes with a 1.3 Kg load.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
Antecedentes.....	1
Alcance .....	2
Justificación .....	3
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos .....	4
Metodología a utilizar .....	4
1. ..MARCO TEÓRICO .....	4
1.1. Fundamentos y Conceptos.....	5
1.1.1. Descripción de los drones.....	5
1.1.2. Movimientos básicos: .....	6
1.1.3. Aplicaciones .....	6
1.1.4. Ventajas y desventajas .....	7
1.2. Descripción de componentes electrónicos y estructurales ....	8
1.2.1. Sistema Estructural .....	8
1.2.2. Sistema de Propulsión .....	13
1.2.2.1. Hélices .....	14
1.2.2.2. Motores Brushless .....	15
1.2.2.3. Controladores de velocidad.....	22
1.2.3. Sistema de Navegación .....	27
1.2.4. Sistema de Control.....	29
1.2.5. Sistema de Alimentación .....	35
1.2.5.1. Baterías.....	35
1.2.5.2. Placa de Distribución de Potencia .....	40
1.2.6. Accesorios .....	42
2. ..DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN .....	47
2.1. Requerimientos de diseño.....	47
2.1.1. Selección del sistema estructural .....	48

2.1.2.	Selección del sistema de propulsión .....	50
2.1.2.1.	Motores y Aspas .....	51
2.1.2.2.	ESC .....	54
2.1.3.	Selección del sistema de navegación.....	57
2.1.4.	Selección del sistema de control .....	61
2.1.5.	Selección del sistema de alimentación .....	63
2.1.5.1.	Baterías.....	63
2.1.6.	Costos.....	67
2.1.7.	Cálculos empíricos vs cálculos teóricos. ....	67
2.2.	Ensamblaje del prototipo .....	69
2.2.1.	Ensamblaje del Frame .....	70
2.2.2.	Instalación de ESC y Motores .....	72
2.2.3.	Conexión del PDB .....	73
2.2.4.	Instalación del Kit Flight Controller .....	74
2.2.5.	Conexión de baterías .....	76
2.2.6.	Enlace entre transmisora y receptor .....	77
2.2.7.	Configuración de Flight Controller .....	78
2.2.7.1.	View .....	79
2.2.7.2.	Basic.....	80
2.2.7.3.	Advanced .....	81
2.2.7.4.	Tools .....	82
2.2.7.5.	Upgrade .....	82
2.2.7.6.	Info.....	82
2.2.7.7.	Calibración de la brújula .....	82
2.2.8.	Instalación de hélices .....	83
3.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	84
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	100
4.1.	Conclusiones .....	100
4.2.	Recomendaciones .....	102
	REFERENCIAS .....	105
	ANEXOS .....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Movimientos básicos de un dron. ....	6
<i>Figura 2.</i> Configuración de motores en el frame.....	10
<i>Figura 3.</i> Partes de un frame.....	10
<i>Figura 4.</i> Clasificación de frames según su forma. ....	13
<i>Figura 5.</i> Paso de la hélice. A mayor paso se obtiene mayor desplazamiento. 14	
<i>Figura 6.</i> Partes internas de un motor brushless. ....	15
<i>Figura 7.</i> Dimensiones de motor brushless. Motor LS 2206 2300KV.....	17
<i>Figura 8.</i> Diagrama de conexión entre motor, ESC, Controlador de vuelo y Batería. ....	25
<i>Figura 9.</i> Canales básicos de una radio transmisora. Los cuatro canales básicos controlan Pitch, Roll, Yaw y Throttle.....	30
<i>Figura 10.</i> Modos de una Radio Transmisora. ....	31
<i>Figura 11.</i> Modulación FM. La onda portadora cambia su frecuencia si hay un cambio en la onda moduladora. ....	32
<i>Figura 12.</i> Botones de trimado en una Radio Transmisora TCTIC. ....	33
<i>Figura 13.</i> Partes de una batería LiPo.....	35
<i>Figura 14.</i> Comportamiento de las baterías con mayor capacidad frente al tiempo de vuelo. Baterías con más capacidad no aporta suficiente tiempo de vuelo. ....	37
<i>Figura 15.</i> Batería de una celda. 850 mAh a 3.7V. ....	38
<i>Figura 16.</i> Diagrama de conexión interna de una batería. Batería 3S = 3 celdas conectadas en serie. ....	39
<i>Figura 17.</i> Número de hilos en el cable balanceador. 2S = 3hilos, 3S=4hilos, 4S=5hilos, 6S=7hilos. ....	39
<i>Figura 18.</i> Diagrama de conexión de un PDB. El PDB se conecta a los elementos electrónicos del dron.....	40
<i>Figura 19.</i> Cuerpo de un frame con PDB integrado. PDB ZMR 250. ....	41
<i>Figura 20.</i> Diagrama de conexión de un PDB independiente. ....	41
<i>Figura 21.</i> Evolución de PDB's.....	42
<i>Figura 22.</i> Triangulación del sistema GPS. Situados en la órbita terrestre. ....	43
<i>Figura 23.</i> Sistema GPS montado en un cuadricóptero. Tiene una antena que se comunica directamente con el FC. ....	44
<i>Figura 24.</i> Elementos en un sistema FPV. La cámara y la antena se alimentan de la batería del dron a través de un PDB.....	44
<i>Figura 25.</i> Funcionalidad de sistema FPV. Tomas fotográficas.....	45
<i>Figura 26.</i> Sistema de fotografía aérea profesional.....	46
<i>Figura 27.</i> Gráfica comparativa de motores usando valores cuantificables. ....	52
<i>Figura 28.</i> Gráfica comparativa de ESC's usando parámetros cuantificables...55	

<i>Figura 29.</i> Gráfica comparativa de Batería usando parámetros cuantificables.	65
<i>Figura 30.</i> Batería LiPo Masiono 6S 10000mAh 25C.	66
<i>Figura 31.</i> Diagrama de flujo para ensamblar el prototipo.	69
<i>Figura 32.</i> Partes del dron sin ensamblar.	70
<i>Figura 33.</i> Pasos sugeridos para el ensamblaje del dron.	70
<i>Figura 34.</i> Diagrama de ubicación de elementos en el frame.	71
<i>Figura 35.</i> Fijación e instalación de motor y ESC.	72
<i>Figura 36.</i> Instalación de todos los motores. Se enumeran los motores teniendo en cuenta que el M1 está ubicado en la parte frontal derecha.	72
<i>Figura 37.</i> Diagrama de conexión de etapa de potencia.	73
<i>Figura 38.</i> Resultado de fijar y conectar la etapa de potencia en el frame.	74
<i>Figura 39.</i> Diagrama de conexión de la controladora Naza M V2.	75
<i>Figura 40.</i> Dron con motores, ESC, etapa de potencia y kit Naza M V2 ensamblados.	76
<i>Figura 41.</i> Fijación y conexión de Batería 10000mAh	76
<i>Figura 42.</i> Pasos para enlazar Radio transmisora AT9 con receptora R9D.	77
<i>Figura 43.</i> Botones y partes de Radio Transmisora AT9. El texto rojo indica los canales asociados a los sticks, switches y potenciómetros.	78
<i>Figura 44.</i> Software de configuración DJI NAZAM Assistant_2.40. Vista principal.	79
<i>Figura 45.</i> Proceso de calibración. Calibración horizontal (a), Calibración vertical (b).	83
<i>Figura 46.</i> Diagrama para instalar la hélice correcta en el motor. Las hélices se ajustan con dos tornillos que se los ponen sobre una base metálica del motor.	83
<i>Figura 47.</i> Hélices conectadas al dron. Prototipo final armado. Autora: Joselin Guevara.	84
<i>Figura 48.</i> Protocolo de Pruebas utilizado para verificar el vuelo y estabilidad del dron sin carga útil.	86
<i>Figura 49.</i> Terreno de pruebas, punto de despegue con 6.3°C de inclinación.	86
<i>Figura 50.</i> Segundo vuelo a una altura de máximo 3 m y radio de 6 m.	87
<i>Figura 51.</i> Reconfiguración de ganancias.	88
<i>Figura 52.</i> Vuelo hasta 6m de altura.	88
<i>Figura 53.</i> Caja metálica con arena mojada en su interior.	89
<i>Figura 54.</i> Peso total de la aeronave sin carga útil. Peso = 3.108 Kg.	89
<i>Figura 55.</i> Peso del dron incluida la carga útil de 1.3 Kg y correas de velcro. Peso = 4.424 Kg.	90
<i>Figura 56.</i> Protocolo de Pruebas utilizado para obtener el tiempo de autonomía del dron con una carga útil de 1.3 Kg.	92
<i>Figura 57.</i> Caja metálica con arena mojada en su interior, 1.5 Kg.	93
<i>Figura 58.</i> Protocolo de Pruebas utilizado para obtener el tiempo de autonomía del dron con una carga útil de 1.5 Kg.	95

Figura 59. Peso de cámara tipo GoPro con gimbal y batería 4S .....	96
<i>Figura 60.</i> Gráfica comparativa de parámetros calculados con los resultados reales. ....	97
<i>Figura 61.</i> Simulación de eCalc a la configuración frame 680 con motres Tarot 4008 380Kv.....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Hélices recomendadas para un tamaño de frame. ....	11
Tabla 2. Tabla de pruebas del motor brushless 6012 260KV .....	18
Tabla 3. Recomendación de motores conociendo el tamaño del Frame. ....	19
Tabla 4. Comparación entre diferentes Radio Transmisores disponibles en el mercado.....	34
Tabla 5. Voltaje por número de celdas en una batería. ....	36
Tabla 6. Importancia de los sistemas en la selección de elementos.....	47
Tabla 7. Tabla comparativa de Frames. ....	49
Tabla 8. Peso de cada elemento, empuje al 50% y 100% de throttle. ....	50
Tabla 9. Tabla comparativa de Motores. ....	52
Tabla 10. Cálculo de índice de corriente de ESC de ESC's. ....	54
Tabla 11. Tabla comparativa de ESC's. ....	55
Tabla 12. Tabla comparativa de Flight Controllers. ....	58
Tabla 13. Tabla comparativa de Radio Transmisora. ....	61
Tabla 14. Cálculo de Consumos. ....	63
Tabla 15. Tabla comparativa de Baterías.....	64
Tabla 16. Inversión.....	67
Tabla 17. Calculo del error entre el cálculo teórico y el cálculo práctico. ....	68
Tabla 18. Resultado de tiempo de vuelo con diferentes cargas. ....	96
Tabla 19. Error de los cálculos comparados a la realidad. ....	97

## INTRODUCCIÓN

### Antecedentes

Un dron es un Vehículo Aéreo No Tripulado (Unmanned Aerial Vehicle UAV) controlado a distancia. Uno de los primeros registros de los UAV fue en Austria en el año 1849 donde se montaron bombas en globos aerostáticos para atacar Venecia.

El desarrollo de los drones empezó en 1916 cuando un científico militar, Archivald Low, diseñó un torpedo aéreo que se manejaba a control remoto; posteriormente, en la Segunda Guerra Mundial, se utilizaron drones para bombardear objetivos alemanes, mientras que la primera vez que se incorporaron cámaras fue en la guerra de Vietnam para espiar al enemigo. (ELDRONE, 2016).

Gracias a los estudios realizados por el francés Etienne Oehmichen, en 1992, se comprobó que se podría construir un vehículo aéreo formado por 4 hélices, el cual fue considerado como la base fundamental para la construcción de los drones.

Los drones han pasado de ser un arma de guerra a un equipo aéreo de acceso al público. Hoy en día los drones son utilizados masivamente para realizar tomas fotográficas o para filmación de videos; incluso las compañías como Amazon o Google piensan utilizar drones para entregas de pedidos que se hacen en su plataforma web. (Valentino & Cantero, 2015).

Existen algunos estudios con drones a nivel mundial como: inspección de volcanes, monitoreo en entornos de difícil acceso con poca intervención humana, drones orientados a la agricultura de precisión, control del estado de oleoductos y de redes eléctricas. (Orna & Dávila, 2015). Ahora los drones son una herramienta muy útil, utilizados por: ingenieros, arquitectos, agricultores, rescatistas, bomberos, policías, reporteros, entre otros. Es por esta razón que



cada vez van apareciendo más empresas dedicadas a la fabricación de drones personalizables.

En la Universidad de Valencia se realizó una memoria en donde se fabrica un vehículo aéreo no tripulado, destinado al uso profesional. Para esto se realiza un estudio de los tipos de Multirrotores, obteniendo como resultado que un hexacóptero tipo Y cumple con todas las características para aplicación de filmaciones y tomas fotográficas. Entre las características del hexacóptero fabricado por esta universidad están: Estructura de impresiones en 3D, peso del dron 1200 g, tiempo de vuelo 7 minutos, 59% de throttle para vuelo estacionario, capacidad de carga 424 g, velocidad máxima 9.17 metros por segundo. (Ruipérez, 2016).

En el caso de Ecuador, existen proyectos que han sido desarrollados por varias universidades, una de ellas es la Escuela Politécnica Nacional, la cual en el año 2015 realizó un prototipo de un hexacóptero capaz de levantar 5 Kg de carga útil. Una característica importante de este dron, es que fue ensamblado con piezas que se pueden encontrar en el país y su objetivo fue que se pueda fabricar más ejemplares para su comercialización. (Orna & Dávila, 2015).

Tomando en cuenta los antecedentes y las tecnologías existentes, se hará un estudio que permita implementar un dron capaz de levantar una carga neta de al menos 1.3 Kg.

#### Alcance

En este trabajo se describen los componentes electromecánicos que conforman un dron y se selecciona los elementos más adecuados para realizar el prototipo. Se habla de los elementos más importantes como: hélices, motores, Electronic Speed Controller (ECS), baterías, Fly Controller (FC), Power Distribution Board (PDB), sistema GPS, estructura, transmisor, receptor y control de radio.

En la selección, se tiene en cuenta características para cada elemento como: el dron es teleoperado, la radio transmisora tiene un alcance máximo de 200 m y canales de suficientes para realizar los movimientos básicos, el FC es comercial

y dispone de un sistema GPS para mejorar el vuelo y evitar pérdida del equipo, el dron podrá llevar una carga de 1.3 Kg, que podría utilizarse para levantar un sistema gimbal-cámara pequeño tipo GoPro, entre otras aplicaciones, las baterías deben asegurar una autonomía de por lo menos 10 minutos incluyendo la carga útil.

Finalmente, con los elementos seleccionados se arma el prototipo y se realizan pruebas, en campo abierto, para verificar si cumple el requerimiento de vuelo de 10 minutos con una carga de 1.3 Kg.

### Justificación

Hay una amplia variedad de usos para drones de carga, entre estos tenemos:

- En el ámbito civil, los drones llevan equipos para hacer levantamiento topográfico.
- En arqueología, los drones utilizan equipos láser para detectar irregularidades en la superficie terrestre.
- En la agricultura, los drones de carga son utilizados principalmente para aplicar fungicidas en los sembríos y para la detección de plagas mediante procesamiento de imágenes.
- En rescate, se utilizan los drones con el fin de llevar medicinas o acceder a lugares de alto riesgo con equipos de monitoreo.
- A los conductores les ayuda a conocer problemas de tráfico. (Villareal, 2015).

Este trabajo sirve como modelo de referencia para implementar drones que soporten diferentes cargas, al terminar el documento, el lector puede determinar el número de motores, dimensiones de las hélices, controladores, capacidad de las baterías y tiempo de vuelo del dron. Con las pruebas realizadas se demuestra que el procedimiento desarrollado satisface los requerimientos para seleccionar los elementos que formarán parte de un dron.

En la Universidad de las Américas se realizó un plan de negocios para la creación de una empresa dedicada a la producción y comercialización de drones

personalizados en la ciudad de Quito. En él se determina que el mercado para drones en Quito es de 2144 personas, además se utilizar herramientas financieras, como Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), para indicar que incursionar en un negocio de producción y comercialización de drones es viable. (Miranda, 2017).

### Objetivo General

Seleccionar los elementos adecuados e implementar un prototipo multicóptero con capacidad de carga de 1.3 Kg y autonomía de 10 minutos.

### Objetivos Específicos

- Realizar un estudio del funcionamiento y características de los diferentes elementos electrónico-mecánicos que componen un multicóptero.
- Seleccionar los elementos electrónico-mecánicos para la implementación del prototipo.
- Construir el prototipo.
- Realizar pruebas de autonomía y levantamiento de carga.

### Metodología a utilizar

Se utiliza el método exploratorio porque se describe todos los elementos que componen un dron de carga. El método inductivo se refleja en la revisión de características de cada pieza que compone el prototipo y posteriormente su selección. Con el método experimental se prueba cada elemento seleccionado, se ensambla el prototipo y finalmente se realizan pruebas de vuelo, con una carga de 1.3 Kg para ver su comportamiento.

## 1. MARCO TEÓRICO

Este capítulo está orientado a la familiarización de los conceptos técnicos que se utilizan en el documento: se define el término de dron, se mencionan los tipos de drones, sus aplicaciones, el principio de funcionamiento y se revisa a detalle las consideraciones para seleccionar cada componente de un dron.

## 1.1. Fundamentos y Conceptos

### 1.1.1. Descripción de los drones.

Dron en español significa abeja macho (Nosoling, 2014), se le asigna este nombre porque el sonido que producen sus hélices al girar, se asemeja a un zumbido. Un dron, en aeromodelismo, es considerado un dispositivo capaz de volar sin requerir la participación de un piloto dentro de la aeronave, es decir, un piloto utiliza un sistema de radio frecuencia para controlarlo a distancia, a estos drones se los conoce como Remotely Piloted Aircraft System (RPAS). Por otro lado, existen drones autónomos que se mueven de forma independiente debido a que son controlados mediante un software, sin embargo, estos también necesitan una supervisión de un piloto.

Existen tres tipos de drones: de ala fija, ala rotatoria y drones híbridos. Los drones de ala fija tienen, como característica, alas unidas y fijas al cuerpo de la aeronave, su diseño les permite moverse más rápido y tener más autonomía que los de ala rotatoria. Los drones con ala rotatoria tienen hélices que giran sobre su propio eje y permiten un mayor control en sus movimientos; finalmente los drones híbridos tienen una combinación de alas fijas y rotatorias, lo que les permite moverse más lejos, rápido y a su vez tener un control como los drones de ala rotatoria, sin embargo su costo es extremadamente alto.

En este documento se estudia exclusivamente a vehículos aéreos no tripulados de ala rotatoria, piloteados mediante radio control por una persona en tierra (RPAS). Estos drones pueden poseer componentes de última tecnología como: sensores infrarrojos, GPS, radares, cámaras de alta resolución, etc., y son capaces de enviar la información a tierra en milisegundos.

Para propulsarse, un multirrotor, tiene motores en las puntas de sus brazos, los cuales son controlados con una serie de elementos internos que, trabajando en conjunto, determinan la cantidad de potencia que debe recibir cada motor para realizar los movimientos enviados por el piloto.

### 1.1.2. Movimientos básicos:

Para que un multirrotor pueda moverse, debe inclinarse un cierto ángulo en un eje de coordenadas “X”, “Y” o “Z” como se observa en la Figura 1. A continuación, se describen los ángulos de navegación de un vehículo aéreo. (EncyklopediaRC, 2013)

- Pitch (cabecceo): Es el movimiento sobre el eje lateral o “Y”, permite mover el dron hacia adelante o hacia atrás como en la Figura 1b.
- Roll (alabeo): Es el movimiento sobre el eje longitudinal o “X”. Permite al dron moverse a la derecha o a la izquierda Figura 1c.
- Yaw (guiñada): Es el movimiento sobre el eje vertical o “Z”. Permite que el dron se mueva en su propio eje Figura 1d.

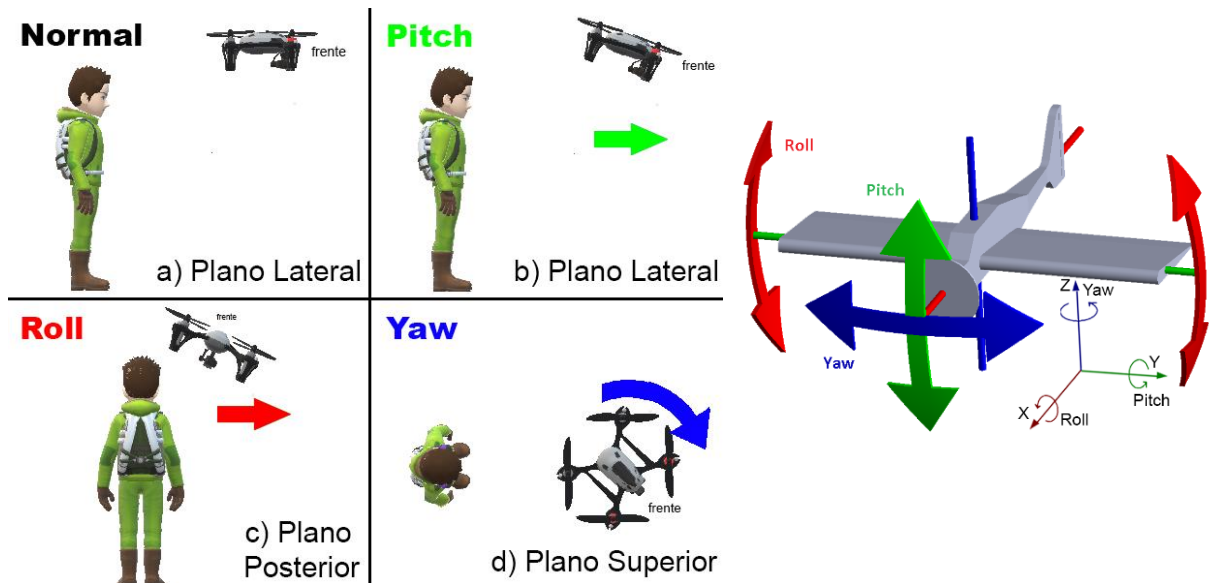


Figura 1. Movimientos básicos de un dron.  
Adaptado de EncyklopediaRC, 2013.

### 1.1.3. Aplicaciones

Estos dispositivos actualmente se están utilizando en varias aplicaciones, entre ellas están:

- Reconocimiento y monitoreo en zonas peligrosas, como por ejemplo la exploración de la infraestructura de un edificio después de un terremoto.

- En España se envían drones al mar Mediterráneo en busca de sobrevivientes cuando se producen naufragios. (Guerrero, 2015).
- En Japón un grupo de Poli-drones son enviados para impedir que drones no autorizados surquen el aire, con el fin de proteger la privacidad de los civiles y evitar posibles atentados. (Actualidad, 2015).
- Los habitantes del barrio Niza en Bogotá, Colombia han optado por el uso de drones para detener los robos que se estaban produciendo en el sector. (Citrix, 2016).
- En cinematografía, el director Liam Young ha creado una película utilizando drones para sacar las tomas, el nombre de la película es “In the Robot Skies: A dron Love Story”. (Young, 2016).
- En Murcia, España se utilizan drones para saber el estado de más de 300 000 hectáreas de plantaciones. (Abadal, 2017).
- Los drones ayudan a encontrar vehículos robados como menciona el “Artículo Científico Sobre la Automatización de Drones para la Detección y Extracción de Matrículas de Vehículos”
- La NASA envía drones dentro de los huracanes para obtener información que un meteorólogo no puede encontrar fácilmente. (Gómez, 2017).
- La empresa Domino’s empezó a realizar pruebas transportando pizzas a sus clientes en Nueva Zelanda desde Diciembre del 2016. (McFarland, 2016).
- En el área de entretenimiento son utilizados para: filmaciones caseras, tomas de fotografía, carreras de drones, etc.

#### 1.1.4. Ventajas y desventajas

Los drones tienen un impacto innovador en varias áreas, sin embargo existen algunas características positivas y negativas que se explican a continuación.

- Ventajas
  - Pueden ser utilizados en lugares de alto riesgo o de difícil acceso, como: acantilados, derrumbes, inundaciones, entre otros.

- Los soldados pueden atacar al enemigo desde un lugar seguro.
- Brinda beneficios como la localización de desaparecidos.
- Realizan reconocimiento de entorno en caso de catástrofes.
- Es una herramienta útil en el área de la agricultura (cultivos de precisión) y topografía.
- Desventajas
  - El enlace de control entre el dron y el piloto puede ser atacado.
  - El tiempo de retardo entre el emisor y el receptor puede variar, por factores tales como: clima, calidad del enlace, distancia, interferencias, entre otros.
  - El tiempo de vuelo es limitado puesto que depende de la fuente de energía utilizada.
  - Tienen un alto costo de adquisición y mantenimiento.

## 1.2. Descripción de componentes electrónicos y estructurales

Para que un dron pueda sostenerse y moverse en el aire, necesita de ciertos elementos que cumplen una función específica, estos elementos se agrupan en los siguientes sistemas:

- Sistema Estructural: Frame.
- Sistema de Propulsión: Motores, Aspas, ESC.
- Sistema de Navegación: FC.
- Sistema de Comunicación: RC.
- Sistema de Alimentación: Baterías, PDB.
- Extras: Transmisora de video, Gimbal, Cámara. (DroneLab).

### 1.2.1. Sistema Estructural

#### **Estructura “Frame”**

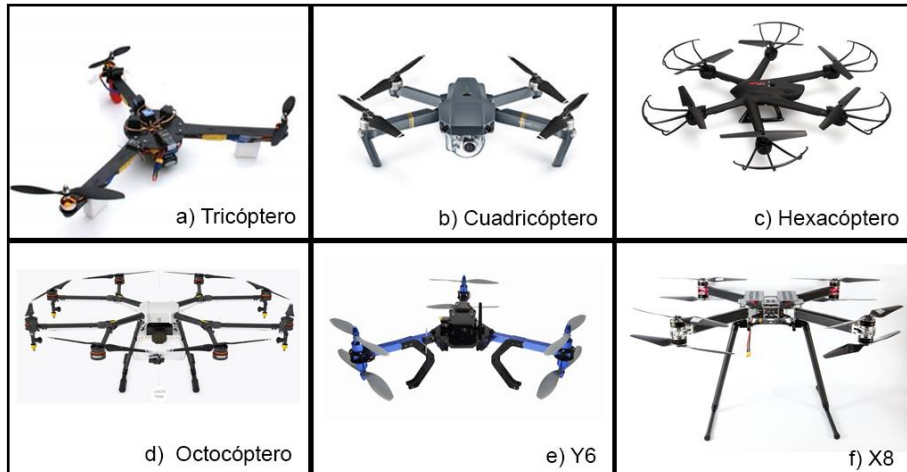
Un frame contiene los componentes de un multicoptero, debido a su peso o rigidez aerodinámica, tiene un impacto en el desempeño de vuelo.

### **Tipos de configuración del motor**

La configuración de motores indica el número máximo de motores que pueden ser instalados en el frame. A continuación se listan las configuraciones más habituales y en la Figura 2 se muestra a cada uno de ellos.

- **Tricóptero:** Tiene tres motores lo que le permite responder rápido al desplazamiento, sin embargo, son más inestables debido a que los pares de los motores no están contrarrestados. (Rafael, 2017).
- **Cuadricóptero:** Está formado por 4 motores, es fácil de instalar, existen gran variedad de frames en el mercado y tiene un bajo costo.
- **Hexacóptero:** Se caracteriza por sus 6 motores y su estabilidad, además brinda más potencia que el cuadricóptero.
- **Octocóptero:** Sus 8 motores hacen de este dron el más potente y fiable.
- **Y6:** Es una versión de hexacóptero coaxial (dos motores) pero con un diseño más compacto, la forma del frame es como el de un tricóptero, permite levantar más peso, así como es más fiable pero no se eleva al igual que un hexacóptero.
- **X8:** Es como un Octocóptero pero con dos motores en cada brazo, uno debajo del otro, se eleva un poco más que el Y6, además es más compacto y fiable.





*Figura 2.* Configuración de motores en el frame.  
Adaptado de Amazon, S.F.

### Construcción del frame

El frame puede ser dividido en tres partes: el cuerpo, los brazos y el tren de aterrizaje. El cuerpo, parte a de la Figura 3, contiene y protege todos los componentes electrónicos. Los brazos, parte b de la Figura 3, generalmente se instalan los motores y los ESC. Y el tren de aterrizaje, parte c de la Figura 3, absorbe la energía cinética producida por el contacto entre la aeronave y el suelo durante el despegue y aterrizaje.



*Figura 3.* Partes de un frame.

El material de construcción puede ser: madera, impresiones en 3D, plástico, fibra de vidrio, aluminio, fibra de carbono, PVC, etc. La fibra de carbono es el material más utilizado debido a las siguientes propiedades físicas:

- Bajo peso: permitiendo movimientos flexibles, mayor tiempo de vuelo y menor impacto al momento de producirse un golpe accidental.
- Rigidez: la fibra de carbono es conocida por ser altamente resistente a impactos.

Algunas de las desventajas de las fibras de carbono son:

- El carbono es un material eléctricamente conductor, por lo que no puede haber cables descubiertos.
- Bloquean algunas frecuencias de señales, por lo tanto, las antenas no deben estar escondidas.

Los drones pueden tener brazos reemplazables o pueden tener un solo cuerpo incluidos los brazos. Con los brazos reemplazables se puede cambiar componentes del dron sin tener que cambiar todo el frame, sin embargo, los tornillos o tuercas para adherir las partes implica un peso adicional. (Liang, 2017).

Existen frames de un solo cuerpo (unibody), donde los brazos forman parte del plato, permitiendo que sea más ligero y más fáciles de ensamblar, pero si se rompe algún brazo, se debe reemplazar todo el frame. (Liang, 2017).

### **Tamaño del frame**

Es la distancia diagonal entre un motor a otro motor, influye en la resistencia al aire, peso total del multirrotor y el tamaño máximo de las hélices. (Liang, 2017).

La Tabla 1 muestra el tamaño de las hélices que se recomiendan dependiendo del tamaño del frame.

Tabla 1.

*Hélices recomendadas para un tamaño de frame.*

Tamaño del Frame	Tamaño de la hélice sugerida
150mm	3"
180mm	4"

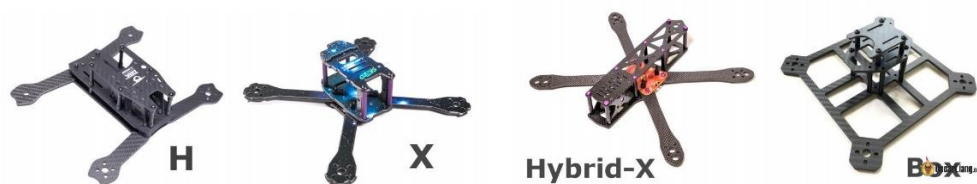
210mm	5"
250mm	6"
350mm	7"
450mm	7" – 8"
550mm	9" – 10"
650mm	11" – 13"
750mm	13" – 15"

Adaptado de OscarLiang, 2017.

### Forma del frame

Con la forma del frame se determina la estabilidad y velocidad de los drones. En la siguiente lista se indica la diferencia entre ellos y en la Figura 4 se muestra una imagen de las formas más utilizadas.

- H: La forma H tienen más espacio para los componentes y el peso se encuentra mejor distribuido.
- X: Los brazos se unen en el centro formando una X. Los componentes deben ser ubicados en la mitad para obtener una masa centralizada.
- Hybrid X: Tiene los brazos de la forma X pero con el cuerpo más alargado. Es una configuración inestable porque el dron recibe vibraciones de todos lados.
- Stretch X: Tiene la forma de un frame tipo X pero con el largo más extendido que el ancho, permite un vuelo más rápido con más estabilidad y menos inclinación.
- Square (Box): Pueden ser basados en los frames X o H, permite unir los motores con fibra de carbono, normalmente es un frame más resistente y evita que los brazos se rompan fácilmente. El uso de más material incrementa el peso y la resistencia al aire. (Liang, 2017).



*Figura 4.* Clasificación de frames según su forma.  
Tomado de OscarLiang, 2017.

### Consideraciones para seleccionar un Frame

- Rigidez: el material con el que está diseñado el Frame de ser resistente.
- Dimensiones: Limita el tamaño de las hélices y motores.
- Configuración de motores: Se elige entre frames de tres, cuatro, seis u ocho brazos.
- Diseño: irregularidades en la estructura puede dar lugar a vibraciones y el dron debe trabajar más para poder estabilizarse.
- Peso: es un factor extremadamente importante y depende de los materiales con los que fue construido el frame, por lo que extensamente se utiliza la fibra de carbono que es el material más liviano para construir drones.
- Durabilidad: aparte de que los drones sean rígidos se deben proteger los componentes para que no sean expuestos a daños producidos con los impactos físicos, por lo tanto el frame debe tener una estructura adicional para asegurar que los elementos más delicados se encuentren libre de daños.
- Partes separadas: es importante buscar un frame que proporcione la opción de reemplazar las partes estropeada por el uso del dron

#### 1.2.2. Sistema de Propulsión

El sistema de propulsión proporciona la fuerza para que el dron pueda despegar del suelo. En este sistema intervienen hélices, motores brushless y controladores de velocidad.

### 1.2.2.1. Hélices

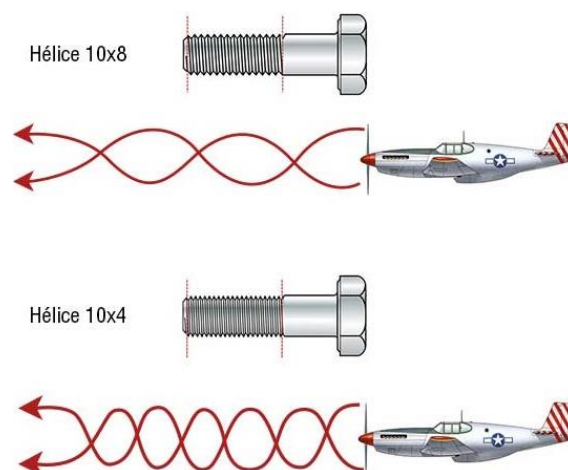
Las hélices permiten obtener el mejor rendimiento del motor o un resultado desastroso, por lo que es indispensable elegir la hélice adecuada. Es importante escoger en el rango de hélices recomendadas por el fabricante del motor.

Existen muchos tipos de hélices en el mercado como bipalas o tripalas, sin embargo, las bipalas son más utilizadas para construir drones de carga.

En cuanto al material se pueden encontrar hélices de tres tipos, de plástico, madera y de fibra de carbono. Las de fibra de carbono son las más resistentes y más ligeras, pero a su vez, más costosas.

En los multicopteros, la mitad de las hélices giran en forma horaria y la otra mitad en forma anti horaria, por lo que la geometría de las hélices debe ser adecuada al sentido del giro, además deben estar totalmente equilibradas para evitar vibraciones inesperadas.

Las dimensiones están en pulgadas, por ejemplo 1004, donde los primeros dos números indican la longitud y los dos finales el paso de la hélice en pulgadas. El paso mide lo lejos que la hélice se movería a través del aire por cada vuelta del motor, para entenderlo mejor se puede asemejar a cuanto avanza un tornillo por cada vuelta, como se observa en la Figura 5. Se debe tener en cuenta que el paso es teórico y varía de acuerdo al entorno en que se encuentre la hélice.



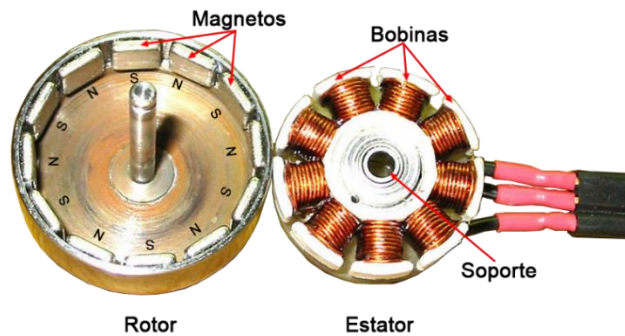
*Figura 5.* Paso de la hélice. A mayor paso se obtiene mayor desplazamiento. Tomado de *dronesdecarreras*, 2015.

### Consideraciones para seleccionar una Hélice

- Dimensiones: Para escoger la dimensión de la hélice se debe guiar del tamaño máximo de hélice permitido por el frame y de la hélice recomendada por el motor
- Material: El material más resistente y ligero para elaborar hélices de drones es la fibra de carbono.

#### 1.2.2.2. Motores Brushless

En los motores se conectan las hélices y su finalidad es hacerlas girar para generar la suficiente fuerza de aire que eleve al dron. El motor gira gracias a los electro-magnetos o bobinas que están conectadas de forma alterna como se observa en la Figura 6.



*Figura 6.* Partes internas de un motor brushless.  
Tomado de Quadrino, 2015.

Un motor está compuesto por el rotor y el estator. El rotor es la parte que rota y tiene los magnetos siguiendo un patrón N-S-N-S como se muestra en la Figura 6. El estator es la parte estacionaria en la mitad del motor y es donde están las bobinas.

#### **Kilo Voltio (KV)**

Con el KV se puede calcular las Revoluciones por Minuto (rpm) utilizando la fórmula.

$$Rev[rpm] = KV * Voltaje \quad (1)$$

Por ejemplo, cuando se enciende un motor de 2300kv con una batería LiPo 3s (12.6 V), usando la ecuación 1, el motor deberá girar sin hélices a  $2300KV * 12.6$

$V = 28980$  rpm. Una vez que se instalan las hélices, las revoluciones disminuyen debido a la resistencia de aire. (Liang, 2017).

El tipo de dron define la cantidad de KV que se debe utilizar, para drones acrobáticos o de carreras se requiere motores con alto KV, esto es porque las hélices pequeñas deben girar más rápido para generar el empuje adecuado que levante el dron, sin embargo, los motores con alto KV consumen más y son más inestables. (Liang, 2017).

Con bajo KV las hélices no giran muy rápido, sin embargo, bajo KV significa incremento de torque, lo que permite mover hélices más grandes haciendo que el dron sea más estable, este aspecto es ideal para drones de carga. (Liang, 2017).

Para determinar el valor del KV se utiliza el número de bobinas en el estator del motor y la fuerza magnética de los imanes. Generalmente, menor número de vueltas en la bobina aumenta el KV y con mayor número de vueltas disminuye el KV del motor. (Liang, 2017).

Al utilizar motores con alto KV y hélices muy largas el motor consume mucha corriente sin lograr que el movimiento de las hélices sea lo suficientemente rápido, adicionalmente se debe considerar que el alto consumo de corriente puede hacer que los motores dejen de funcionar. (Liang, 2017).

### **Tamaño del motor**

El tamaño de un motor está indicado por 4 dígitos como se observa en la Figura 7, los dos primeros indican el ancho y los dos siguientes indican el alto en milímetros. Por lo general motores más altos indican mayor rpm mientras que motores más anchos indican mayor torque y menor rpm. (Liang, 2017).



*Figura 7.* Dimensiones de motor brushless. Motor LS 2206 2300KV  
Adaptado de RC groups, 2017.

El tamaño del motor está directamente relacionado con su peso. Motores muy pesados impiden el cambio adecuado de velocidad angular del dron, es decir son más lentos a las órdenes del piloto porque necesita más tiempo cambiar las rpm. (Liang, 2017).

### **Configuración magnética NP**

La letra N muestra el número de electro magnetos que existe en el estator y la letra P indica el número de imanes permanentes del rotor. La configuración más usual en los motores es de 12 N 14 P. (Liang, 2017).

A mayor número de electro magnetos e imanes permanentes, permiten mayor eficiencia y generan mayor torque, pero también incrementa el precio. (Liang, 2017).

### **Motores CW y CCW**

Son las abreviaturas de “Clockwise” and “Counter Clockwise”. Eso no quiere decir que los motores giran en una u otra dirección, en realidad los motores giran en las dos direcciones y tanto CW como CWW indican en qué dirección se ajustan las hélices.

### **Relación empuje peso**

Una vez definida la aplicación que tendrá el dron, se debe seleccionar el frame, con el tamaño del frame se puede saber el tamaño máximo de las hélices y



gracias a esto es posible estimar los motores. Al sumar el peso de cada elemento y la carga útil se obtiene el peso total de la aeronave. (Liang, 2017).

Con el peso total de la aeronave, se puede calcular el empuje que necesitan realizar los motores. Para escoger un motor es necesario encontrar una tabla de empuje que es publicada por los fabricantes, estas tablas contienen información de pruebas realizadas con los motores utilizando determinadas hélices, voltaje y amperaje, como se puede ver en la Tabla 2. Los valores que se deben considerar en estas tablas son:

- El voltaje de trabajo (Volts) es para saber que batería se debe utilizar: de 11.1 v, 14.8 v, 22.2 v etc.
- En el apartado propeller (Prop) indica las hélices con las que se hicieron las pruebas
- El throttle indica el porcentaje de potencia enviado a los motores, mientras más alto es, envía más corriente a los motores haciendo que estos giren más rápido. El control del throttle se realiza con la palanca izquierda de la radio transmisora.
- La columna de amperaje (Amps) indica la cantidad de corriente consumida con un determinado porcentaje de throttle.
- El empuje (Thrust) es la cantidad de carga que puede levantar un motor.

Tabla 2.

*Tabla de pruebas del motor brushless 6012 260KV*

Item No.	Volts (V)	Prop	Thrott	Amps (A)	Watts (W)	Thrust (g)	Efficiency (g/W)	Operating temperature (°C)
6012 260 KV	22.2	21*6	50%	4.37	97.90	1190	12.16	38
			55%	5.72	127.90	1450	11.34	
			60%	7.08	157.70	1710	10.84	
			65%	8.54	192.50	1930	10.03	
			70%	10.52	233.70	2230	9.54	
			75%	12.18	270.00	2490	9.22	

			80%	13.85	306.10	2720	8.89
			85%	16.04	353.40	2940	8.32
			90%	18.12	398.30	3280	8.23
			95%	20.62	453.20	3510	7.74
			100%	22.7	496.30	3750	7.56

Tomado de Hobby-Wing, S.F.

Otros valores a considerar son:

- Potencia (Watts): Es la cantidad de energía que absorbe el motor en un determinado momento, se la obtiene multiplicando los amperios por el voltaje.
- Eficiencia (Eficiency): Es la relación entre el empuje y la potencia, se mide en gramos sobre watts. Es importante mirar la eficiencia en todo el rango de throttle porque algunos motores tienen una buena eficiencia en bajo throttle y pueden decaer con corrientes altas, cuando se aproximan a sus límites.
- Temperatura de operación: Indica la temperatura máxima a la que puede ser sometida un motor.

La Tabla 3 muestra una guía de los motores a utilizar según el tamaño de las hélices.

Tabla 3.

*Recomendación de motores conociendo el tamaño del Frame.*

Tamaño del Frame	Tamaño del Motor	KV
150mm	1105 -1306	3000KV
180mm	1806	2600KV – 3000KV
210mm	2204-2208, 2306	2300KV-2600KV
250mm	2204-2208, 2306	2000KV-2300KV
350mm	2208	1600KV
450mm	2212	1000KV

550mm	2600 - 3508	580 KV
670mm	3508 - 4010	380 KV
710mm	4110 - 5008	340 KV

Adaptado de OscarLiang, 2017.

El dron debe volar a la mitad del throttle con el fin de guardar el empuje extra para controlar de forma eficiente el multirrotor. Si se incrementa el peso y el throttle llega al 70%, el dron responde menos a las órdenes y se vuelve inestable.

Con un cuadcóptero que pesa 800 gramos, el empuje total de los motores, al 100% de aceleración, deberá ser al menos 1.6 Kg o 400 gramos por motor. Es importante tener en cuenta que no se debe exceder el empuje, de lo contrario, el dron puede ejecutar las ordenes enviadas por el piloto de forma brusca.

### **Factores que muestran el desempeño de un motor**

- Torque: indica que tan rápido un motor puede cambiar sus rpm, esto indica que tan preciso y que tan bien responde el dron en el aire. A mayor torque se obtiene menor rpm, sin embargo, un motor con bajo torque que intenta mover hélices muy grandes consume mucha corriente y no consigue tener las rpm necesarias para elevar el dron
- Tiempo de respuesta: es producida por el torque, mientras el torque sea más grande el tiempo de respuesta es menor. Para medir el tiempo de respuesta se debe ver cuánto le toma al motor llegar de 0 rpm a su máximo rpm, este tiempo varía dependiendo la hélice.
- Temperatura: altas temperaturas desmagnetizan los motores, mientras más fríos estén significa más vida útil.
- Vibración: el desbalanceo en los motores produce vibraciones. Cuando el dron experimenta vibraciones, la controladora de vuelo o Flight Controller (FC), necesita trabajar más para estabilizar la nave. Así como los motores, las hélices también pueden estar desbalanceadas y causar vibraciones. (Liang, 2017).

## **Variables que afectan el desempeño de un motor**

- Tipos de magnetos: algunos magnetos son el n52 o n54, a mayor número, son más fuertes, lo que ayuda a tener alto torque y tener una mejor respuesta a las órdenes.
- Grosor de los cables de las bobinas: los cables gruesos tienen menos impedancia por lo que permiten la circulación de una gran cantidad de corriente mientras que los cables delgados permiten menos corriente y produce una gran resistencia. Con cables delgados se pueden dar más vueltas por lo que se reduce el KV.
- Distancia entre los magnetos permanentes y el estator: con una distancia menor no sólo maneja la energía de forma más eficiente, sino que permite al motor tener más torque.
- Bobinado: el bobinado del motor determina la corriente que consume, en pocas vueltas existe menos resistencia y más corriente puede pasar, lo que provoca altos KV. El problema de esto, es que se reduce el campo magnético y no tiene mucho torque, además que los motores que tienen poco bobinado tienden a calentarse.

Para evitar todos estos problemas, los motores deben tener más vueltas en el bobinado y utilizar cables más gruesos. De esta manera, se reduce la resistencia eficientemente, y se mejora el rendimiento del motor. Se debe tener en cuenta que cables más gruesos y mayor número de vueltas, implican motores más grandes y pesados. (Liang, 2017).

## **Consideraciones para seleccionar un Motor Brushless**

- Dimensiones: Es la primera propiedad que se debe considerar para seleccionar un motor, muchas veces al seleccionar el frame se recomienda las medidas que debe tener el motor. Motores más grandes implican más torque pero también mayor peso.
- KV: Determina la velocidad con la que puede girar un motor, mientras más alto más gira y tiene menor torque. Es importante recordar que para drones de carga, el torque más alto es mejor.

- Configuración NP: A mayor NP, mayor eficiencia pero mayor precio
- Voltaje: Determina la elección del voltaje de la batería.
- Corriente consumida: El motor consume cada vez que se aumenta el throttle para hacer girar los motores más rápido.
- Hélices soportadas: En las especificaciones del fabricante se indica el tamaño máximo de las hélices.
- Empuje: Es el factor principal para seleccionar un motor. Gracias al empuje se puede saber si el dron será capaz de volar.
- Temperatura de operación: Si un motor sobrepasa la temperatura establecida por el fabricante, puede disminuir la vida útil del mismo o incluso quemarlo al instante.

#### 1.2.2.3. Controladores de velocidad (Electronic Speed Controller ESC)

El ESC recibe las señales del controlador de vuelo y proporciona la potencia necesaria a los motores para que estos giren a una determinada velocidad. Para controlar la velocidad se modifica el ancho de pulso de las señales PWM (Pulse Wide Modulation) enviadas por el controlador de vuelo. Al variar la velocidad varía la carga consumida por el motor. (Orna & Dávila, 2015). A continuación se ven los factores que influyen para la correcta selección de un ESC.

#### **Índice de corriente**

Corriente continua: indica la cantidad máxima de amperaje que el ESC puede manejar de forma continua. La máxima corriente no puede ser aplicada por un periodo largo de tiempo porque puede causar daños irreparables sobre el motor. (Liang, 2017).

Ráfaga de corriente: permite manejar corrientes altas por un periodo corto de tiempo, menos de 10 segundos. (Liang, 2017).

Todos los ESC tienen un límite máximo de corriente, si se consume más amperaje de lo que soporta un ESC, pueden sobrecalentarse y fallar.

Las siguientes son las causas que pueden sobrecalentar un ESC:

- Motores con alto KV
- Motores muy grandes
- Hélices muy grandes

No se debe confundir el índice de corriente con el amperaje que será aplicado en los motores.

## **Firmware**

SimonK and BLHeli: Fueron los firmwares pioneros para ESC, creados por RC hobbyists y en un principio estándar para todos los ESC, sin embargo, uno no era compatible con el otro. La mayoría de las personas empezaron a utilizar más BLHeli en vista de que tiene una interfaz de programación más amigable. (Liang, 2017).

A continuación se muestra algunas versiones de firmware:

- BLHeli\_S: Diseñado para procesadores Busybee de ESC. Aumenta el número de interfaces de usuario.
- BLHeli\_32: Diseñado para ESC de 32 bits más precisos y confiables.
- KISS ESC Firmware es de código cerrado y es de exclusiva para ESC KISS. (Liang, 2017).

## **Protocolos ESC**

Los protocolos determinan la velocidad con la que es enviada la señal de los controladores de vuelo a los ESC. El protocolo original PWM tiene un retraso de 2ms, actualmente se utiliza Multishoot que reduce el retraso a 12 us. (Liang, 2017).

La siguiente lista muestra los protocolos con sus velocidades:

- Standard PWM (1000us – 2000us)
- Oneshot125 (125us – 250us)
- Oneshot 42 (42us – 84us)
- Multishot (12.5us – 25us)

- Dshot
  - Dshot150 150,000 bits/s (106.8us)
  - Dshot300 (53.4us)
  - Dshot600 (26.7us)
  - DShot1200 (13.4us)
- ProShot 1000 (16 us) nuevo protocolo. (Liang, 2017).

## Procesador

Existen tres procesadores en el mercado para ESC: ATMEL, SILABS y Atmel ARM Cortex

- ATMEL 8-bit: Soportado por los dos firmwares: SimonK y BLHeli.
- SILABS 8-bit: Solo pueden correr BLHeli o BLHeli\_S.
- Atmel ARM Cortex 32-bit: Puede correr BLHeli\_32.

## Características que mejoran el desempeño de un ESC

- **Peso y tamaño:** El peso estándar de los ESC es de alrededor de 4 a 6 g. Es importante saber que los ESC más pequeños tienden a calentarse más rápido.
- **Voltaje de entrada:** Algunos ESC trabajan con baterías de 22.2 V o 14.8 V, el exceso de voltaje puede causar fallos y daños en los ESC y también en los motores.
- **Battery Elimination Circuit (BEC) - Opto ESC**  
 BEC provee 5 voltios que puede ser utilizado para cualquier otro dispositivo electrónico dentro de la aeronave.  
 Opto ESC: son los ESC que no tienen BEC. Opto se refiere a que tienen un opto-isolador integrado, que es un componente óptico que transfiere señales utilizando la luz, separa el alto voltaje con el bajo voltaje y ayuda a que el ESC no se estropee debido al cambio de voltajes  
 Los ESC que no tienen BEC son más ligeros pequeños y menos ruidosos, además los FC y los receptores requieren de una fuente separada. (Liang, 2017).

## Conexión de ESC con Motor

Los ESC reciben señales del Flight Controller y estos a su vez envían señales trifásicas de voltaje que proporciona la potencia necesaria a los motores para girar a una determinada velocidad. En la Figura 8 se observan la conexión ESC-Motor.

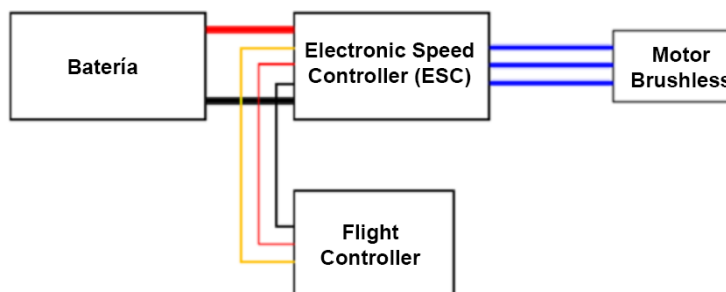


Figura 8. Diagrama de conexión entre motor, ESC, Controlador de vuelo y Batería.

## ESC integrados

Los motores pueden integrar un ESC lo que permite guardar espacio y peso, no obstante, los motores con ESC integrados son difíciles de reemplazar. Si el motor o el ESC falla, entonces se deben reemplazar los dos elementos. Otro inconveniente es que no se puede actualizar un elemento de forma individual. Lo mismo ocurre con los 4 en 1 ESC que son 4 ESC en una placa, ayuda a ahorrar peso y espacio pero si se estropea un elemento, se debe reemplazar toda la placa. (Liang, 2017).

## Marcas de ESC comerciales

- Arris
- Armattan
- Castle
- DYS
- EMAX
- Favourite
- Flycolor
- FPVModel
- Gemfan
- KISS
- Lumenier
- Racerstar
- Rotorgeek
- Sunrise
- TBS
- T-Motor
- Turnigy

## Auto timing o timing manual



Para que un motor gire, se debe producir un proceso de inducción. Este proceso se logra introduciendo una corriente a través de las bobinas del estator, de modo que crea una fuerza magnética y atrae a los magnetos del rotor.

Cada vez que se aplica corriente a las bobinas toma un tiempo para construir un campo magnético y alcanzar el nivel deseado, cuando se corta la corriente de igual forma, toma tiempo para que el campo magnético disminuya y desaparezca.

El objetivo del timing es encender a tiempo la bobina para tener el campo magnético al instante adecuado. Si se enciende la bobina de un estator muy temprano las rpm del motor incrementarán, es decir, tendrá mayor KV con bajo torque. Por otro lado, si la bobina es encendida muy tarde cuando el magneto casi está cerca, entonces se incrementará el torque, pero se reducirá el rpm.

La inducción de los motores depende de muchos factores de fabricación por lo que los motores requieren diferente timing. En este caso es utilizado el auto timing de los ESC, puesto que estos deciden qué timing utilizar. Los ESC que permiten utilizar auto timing son del tipo Kiss y los que el usuario debe ingresar un timing son BLHeli.

### **Cómo seleccionar un ESC**

Lo primero que se debe buscar es la corriente consumida de los motores con determinadas hélices, para esto se puede realizar pruebas preliminares de campo o seleccionar de tablas de los fabricantes, que permitan evidenciar el valor de corriente consumida.

En una Tabla se puede encontrar que, por ejemplo, si se quiere utilizar un motor 2206 y una hélice 5030 con una batería LiPo 4S se consume 10 amperios al 100% de throttle, por lo que es suficiente seleccionar un ESC con 12 amperios para un correcto funcionamiento. Si se escoge una hélice 6045, la corriente máxima puede aumentar a 16 amperios, por lo que es recomendable utilizar un ESC con 20 amperios. Es importante no sobredimensionar el amperaje, por lo

que si se utiliza un ESC de 40 o 30 amperios perjudica el desempeño del dron. (Liang, 2017).

Para escoger un ESC, se debe asegurar que la capacidad en Amperios debe ser mayor al amperaje máximo que consume el motor por lo menos en un 30% a 50%, sin embargo, escoger un ESC con un amperaje que exceda demasiado la capacidad del motor podría sobrecalentar excesivamente el motor debido a que el ESC no detecta un sobre amperaje y no impide pasar el exceso al motor. (Liang, 2017).

### **Consideraciones para seleccionar un ESC**

- Índice de corriente: Indica la cantidad máxima de corriente que el ESC permite pasar a los motores.
- Protocolos: Indican la velocidad con la que los ESC envían la señal a los motores.
- Voltaje: Se debe elegir un ESC que trabaje con el mismo voltaje que el de los motores.

#### 1.2.3. Sistema de Navegación

##### Controlador de vuelo FC

El FC es el cerebro de la aeronave, está construido con sensores que detectan los cambios de orientación, recibe órdenes y controla los motores para mantener el dron en el aire. (Orna & Dávila, 2015).

Según su aplicación se los clasifica en dos grupos:

- Para drones de carrera: Son básicos, ligeros y con un alto procesamiento, por otro lado admiten pocos sensores y pocos modos de vuelo.
- Para drones de carga: Son complejas, admiten un gran número de sensores y varios modos de vuelo. En estos prima la flexibilidad y su robustez. (Escanciano, 2016).

En cuanto a configuración, existen dos tipos de controladores de vuelo:

- Programables: Permiten modificar el código fuente lo que las hace muy flexibles y personalizables, son más difíciles de configurar teniendo en cuenta que se necesita conocimientos previos de programación.
- Comerciales: Tiene código cerrado, sin embargo su configuración es sencilla e ideal para principiantes. Por otro lado, no puede ser personalizable y tampoco es escalable.

Los controladores de vuelo cuentan con sensores que miden magnitudes físicas y las transforman en señales eléctricas. A continuación se muestran los sensores básicos que debe tener un FC para estabilizar el dron.

- Acelerómetro: Mide la aceleración lineal en los tres ejes de coordenadas, es utilizado para detectar vibraciones y la posición de la aeronave. (Camille & Foundation, 2014).
- Giroscopio: Mide la aceleración angular, es decir, mide los ángulos de inclinación del dron en el aire. (González, 2016).
- Magnetómetro: Mide la fuerza y dirección de un campo magnético, permite determinar el frente del dron durante el vuelo, actúa como una brújula digital. (Ingenio Triana, 2015).

Gracias a estos sensores los flight controllers pueden tener modos de vuelo, entre ellos:

- Atti o Angle: Emplea los sensores para estabilizarse y establece un ángulo máximo de inclinación, este modo es ideal para los principiantes con drones de carreras.
- Horizon: Emplea los sensores para estabilizarse pero no tiene un límite de inclinación, es muy utilizado en drones de carreras para hacer acrobacias.
- Manual o Acro: no tiene ayuda de ningún sensor, el control total lo tiene el piloto.
- GPS: El dron utiliza los sensores para estabilizarse y permite mantener una posición aun cuando exista viento. (Bello, 2017)

La tendencia de los FC es que sigan disminuyendo su tamaño y aumentando su procesamiento. (Liang, 2017).

### **Regulador de voltaje integrado**

Gracias a este elemento es posible conectar el FC directamente a la batería LiPo, además puede ofrecer voltajes de 5v y 12v para otros elementos. El FC adicionalmente puede monitorear el estado de la batería sin cables innecesarios. (Liang, 2017).

### **Consideraciones para escoger un FC**

- **Aplicación:** Es importante que el FC este acorde a la aplicación que se le asignó al dron.
- **Personalización:** Implica si el dron es programable o no.
- **Sensores:** Más sensores implican mejor control y estabilidad.
- **Voltaje:** Existen FC que se conectan directamente a una batería de 22.2 V y otros que trabajan solamente a 5 V, en el segundo caso es necesario la instalación de un PDB
- **Firmware:** Se debe escoger un firmware con los modos necesarios según la aplicación. Los firmwares pueden ser configurados mediante un software de computadora o Smartphone, cada firmware tiene una interfaz de usuario diferente.
- **CPU:** existe con frecuencias desde 72MHz a 216 MHz
- **Puertos UART:** puertos donde se conectan los sensores, de 2 a 8 UARTs

#### 1.2.4. Sistema de Control

### **Control de Radio Frecuencia**

Este sistema consiste en un transmisor que permite al piloto manipular el dron de forma remota, para esto, el transmisor envía una señal de control a un receptor ubicado en el dron, el receptor decodifica la señal de Radio Frecuencia (RF) y la envía al FC, a través de cables, en forma de pulsos eléctricos.

A continuación se muestran los parámetros que se deben considerar para seleccionar una Radio Transmisora.

## Hardware

En hardware es importante mirar el display que es donde se muestra información importante como batería de la RT, modo de vuelo, telemetría, etc. En tanto a calidad de construcción es importante revisar el material con el que está construido el RT, este debe ser resistente y ligero. Es importante buscar una RT lo suficientemente ergonómica para el piloto.

## Canales

Determina el número de acciones que se pueden controlar de un dron. Los 4 canales básicos (o sticks) de toda emisora son: Throttle para controlar el empuje vertical, Aileron para el alabeo, Rudder para la guiñada y Elevator para el cabeceo. A estos cuatro canales básicos se les puede añadir todo tipo de señales analógicas y digitales, como pueden ser interruptores, ajuste de parámetros con ruedas variables, gatillo de apagado de emergencia (failsafe). En la Figura 9 se muestra los controles que debe tener un Control RF. (Liang, 2017).



*Figura 9.* Canales básicos de una radio transmisora. Los cuatro canales básicos controlan Pitch, Roll, Yaw y Throttle.

Los transmisores pueden tener canales adicionales llamados canales auxiliares, estos canales se los representa como potenciómetros o switches y se los puede

configurar para cambiar los modos de vuelo o lanzar funciones de vuelo permitidos por el FC. (Liang, 2017).

## Modos

Existen cuatro modos los cuales son determinados por la configuración de los dos sticks principales como se muestra en la Figura 10.

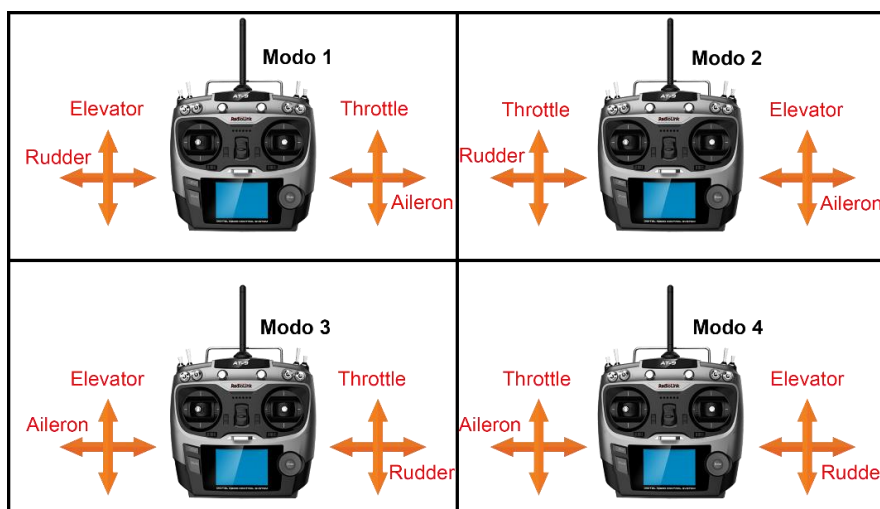
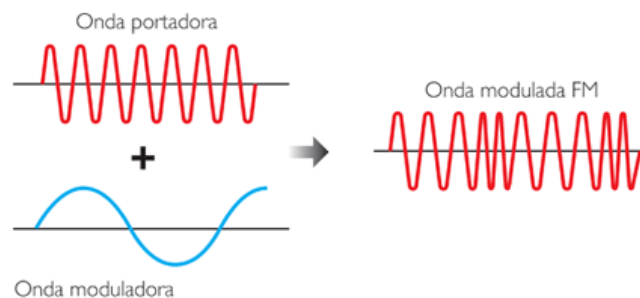


Figura 10. Modos de una Radio Transmisora.

El modo más habitual es el Segundo Modo que permite controlar el throttle y la guiñada (Rudder) con la mano izquierda, y el cabeceo y alabeo (Elevator y Aileron) con la mano derecha. La palanca de la derecha está centrada en los dos ejes mientras que en la palanca de la izquierda tiene centrado solo el eje horizontal de la guiñada, por otro lado el eje vertical permite tener posiciones fijas para tener un throttle constante. (Liang, 2017).

## Frecuencia

Por lo general los controladores utilizan modulación FM para enviar la señal, en esta, la información es transportada a través de una portadora variando su frecuencia como se observa en la Figura 11. Se utiliza FM con el fin de evitar interferencias con señales AM Ruido. (Liang, 2017).



*Figura 11.* Modulación FM. La onda portadora cambia su frecuencia si hay un cambio en la onda moduladora.  
Tomado de Antonio Rodríguez, 2015.

La frecuencia más popular para los transmisores es 2.4 GHz sin embargo es posible trabajar en frecuencias más bajas para manejar equipos más grandes y tener una mayor área de control. Algunas de estas frecuencias adicionales son 27MHz, 72MHz, 433MHz, 900MHz y 1.3GHz siempre teniendo en cuenta la normativa de cada país. (Liang, 2017).

Las transmisoras como cualquier equipo de radiofrecuencia, en la actualidad utilizan un método de multiplexación de acceso al medio. La multiplexación permite enviar dos o más canales por el mismo medio sin que se interfieran entre ellos. Gracias a esto es que se puede mover el dron de forma diagonal, o ir hacia adelante mientras asciende.

Actualmente todas las Radio Transmisoras utilizan protocolos que permite escanear los canales disponibles y, en caso de interferencia saltan al siguiente canal disponible. Otra ventaja es que más de dos pilotos pueden estar volando en el mismo lugar sin producir interferencia entre ellos. (Liang, 2017).

### **Trimado**

Es un proceso de calibración en tiempo real para evitar que el dron tenga movimientos no deseados. El desvío de movimiento se produce debido a las diferencias de revoluciones de cada uno de sus motores, otro factor para producir movimientos indeseados son las caídas o el paso del tiempo. Por esta razón es recomendable emplear una RT con botones de trimado, como se muestra en la Figura 12, para corregir el movimiento. (Liang, 2017).



Figura 12. Botones de trimado en una Radio Transmisora TCTIC.

### Radio Receptores

Una RT por lo general dispone de un receptor, es importante saber que un RT solo funciona con un receptor de la misma marca. Existen receptores para drones pequeños y otros para drones más complejos. (Liang, 2017).

La telemetría es una característica que se debe tener en cuenta al momento de seleccionar un receptor. La telemetría permite al piloto monitorear la aeronave en pleno vuelo, se puede leer los ángulos de inclinación, además se muestra alertas de batería baja, pérdida de algún motor o pérdida de señal GPS. (Liang, 2017).

También se debe considerar los protocolos con los que puede trabajar un receptor, entre ellos están: PWM, PPM y SBUS. En PWM se requiere un cable por canal haciendo que la conexión sea más compleja. PPM y SBUS usan comunicación serial, es decir, en el receptor todos los canales pasan por un solo cable. SBUS es mejor que PPM porque tiene menor latencia. (Liang, 2017).

### Emparejar Receptor con Transmisor

Este paso es necesario solo la primera vez que se configura un nuevo receptor, para esto se debe mirar el manual de cada fabricante porque cada uno tiene un procedimiento distinto para emparejarse. Algunos transmisores permiten enlazar varios receptores, pero una vez que un receptor está enlazado este ya no puede trabajar con otro transmisor. Se pueden crear perfiles para cada aeronave lo que permite guardar diferentes configuraciones para cada modelo.



## Radio Transmisoras comunes

Tabla 4.

*Comparación entre diferentes Radio Transmisores disponibles en el mercado.*

Nombre	Canales	Precio [\$]
Flysky FS-i6	6	44
Spektrum DXe	6	67
Quanam i8	8	62
Turnigy Evolution	8	70
iRangeX IR8M	8	80
Turnigy 9X	9	73
Spektrum DX9 Black	9	450
TBS Tango	10	279
Radiolink AT9S	10	110
Futaba 10J	10	323
FrSky Taranis X9D Plus	16	229
FrSky Horus X12S	16	500

Adaptado de OscarLiang, 2017.

### Consideraciones para seleccionar una RT

- Número de canales: Esto varía según la aplicación, sin embargo, es recomendable tener 5 o 6 canales mínimo.
- Frecuencia de operación: Es importante buscar transmisoras que trabajen en bandas libres.
- Receptores compatibles: Por lo general las transmisoras disponen de un receptor. Sin embargo es importante saber con qué receptores puede trabajar la transmisora que se utilizará.
- Protocolos de comunicación entre transmisor y receptor: SBUS, PPM, PWM.
- Modo: Indica la posición de los sticks en la transmisora.
- Alcance: Indica la distancia máxima de separación entre la transmisora y receptora.

- Tipo de modulación: Indica la forma en que es codificada las señales para enviarlas por el aire: AM, FM, PSK, QPSK, etc.
- Tipo de acceso al medio: Permite enviar varios canales a la vez, por ende varias órdenes, sin causar interferencia entre ellos. Algunos tipos de acceso al medio son: TDMA, FDMA, DSSS, FHSS, etc.

### 1.2.5. Sistema de Alimentación

Un dron al ser un vehículo eléctrico móvil, requiere de una fuente de alimentación portátil instalada en el frame, que sea capaz de abastecer de energía a todos los sistemas. (Orna & Dávila, 2015). El sistema de alimentación está conformado por la batería y la placa de distribución de potencia (Power Distribution Board PDB).

#### 1.2.5.1. Baterías

Las baterías más populares para drones son las baterías fabricadas con Polímero de Litio, conocidas como LiPo. Su alta densidad de energía, alta velocidad de descarga y peso ligero hacen de esta batería la ideal para funcionar con multicópteros. (Liang, 2017). La Figura 13 muestra los principales parámetros para seleccionar una batería LiPo.

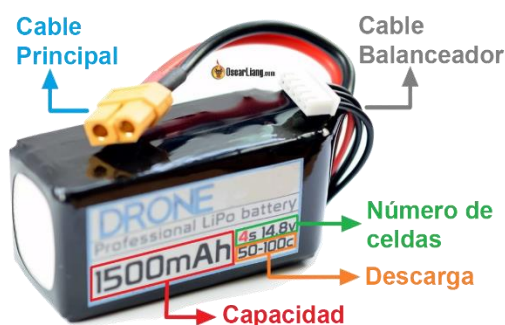


Figura 13. Partes de una batería LiPo.  
Adaptado de OscarLiang, 2017.

#### Número de celdas y Voltaje

Las baterías LiPo son construidas con celdas conectadas en serie identificadas con la letra "S", cada celda tiene un voltaje nominal de 3.7 V y a mayor número

de celdas conectadas en serie se aumenta el voltaje, en la Tabla 5 se muestra la configuración de celdas en una batería.

Tabla 5.  
*Voltaje por número de celdas en una batería.*

Símbolo	Número de celdas	Voltaje (V)
1S	1	3.7
2S	2	7.4
3S	3	11.1
4S	4	14.8
5S	5	18.5
6S	6	22.2

Tomado de Erle Robotics, S.F.

El voltaje afecta directamente a las rpm del motor, a mayor voltaje, el motor girará más rápido. Se debe tener en cuenta que los demás elementos del dron deberán trabajar en el voltaje que aporta la batería. (Liang, 2017).

Cada celda está diseñada para tener un rango de voltaje seguro de entre 3V a 4.2V. Descargar una celda menos de 3V puede causar daños irreversibles en la batería. Sobre cargar una batería a más de 4.2V puede ser peligroso debido a que el material con la que están compuestas puede sobrecalentarse y explotar. (Liang, 2017).

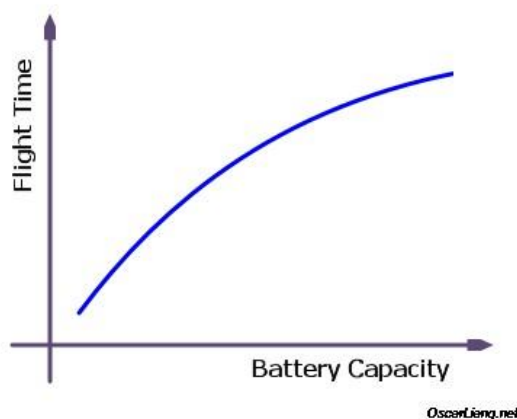
Es aconsejable dejar de descargar cuando la batería alcance los 3.5 V para mantener su vida útil. Por ejemplo, un dron con una batería 4S (14.8V) se debe aterrizar cuando la batería esté en 14V (3.5 V por celda). (Liang, 2017).

### **Capacidad**

Es un indicador de cuánta corriente puede extraerse de una batería completamente cargada en una hora, tiempo en el que termina de descargarse, la medida está expresada en mili Amperios por hora (mAh). Por ejemplo para una batería LiPo 2200 mAh, tarda una hora descargarse si alimenta constantemente un circuito de 2.2 A. Si el circuito consume el doble 4.4 A, la

duración bajará a la mitad ( $2.2/4.4=0.5$  de hora). (Liang, 2017). Las baterías pueden ir conectadas en paralelo para aumentar la capacidad y cada batería conectada se la representa con la letra “P”. Por ejemplo 3S2P, indica que hay 2 baterías conectadas en paralelo y cada batería tiene 3 celdas. (ElreRobotics, s.f.).

Para tener mayor tiempo de vuelo se incrementa la capacidad pero hay que tener en cuenta que, también se incrementa el peso y tamaño de la batería. Mientras las baterías se vuelven más grandes, el incremento de tiempo de vuelo se vuelve inefectivo, como se muestra en la Figura 14. Mayor peso en la batería implica mayor consumo de los motores lo que hace que la batería termine descargándose más rápido, incluso puede llegar a un punto en el que en lugar de ganar más tiempo se pierde al usar baterías muy grandes. Es importante tener una buena relación entre capacidad y peso. (Liang, 2017).



*Figura 14.* Comportamiento de las baterías con mayor capacidad frente al tiempo de vuelo. Baterías con más capacidad no aporta suficiente tiempo de vuelo. Tomado de OscarLiang, S.F.

### Tasa de descarga

Con la tasa de descarga y la capacidad de la batería es posible calcular la máxima corriente que se puede descargar de una batería LiPo de forma continua, para esto se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Descarga máxima} = C * \text{Capacidad} \quad (2)$$

Donde  $C$  es la tasa de descarga. Por ejemplo una batería de 2200mAh y 50C, tiene una descarga de corriente máxima de 110A de forma continua.

Algunas baterías tienen dos tasas de descarga  $C$ : “descarga continua” y “ráfagas de corriente”, las ráfagas de corriente solo pueden usarse en periodos cortos de tiempo en el orden de los segundos, por lo general menor a 10 segundos. (ElreRobotics, s.f.)

Si la tasa de descarga es muy baja, las baterías usarán más tiempo para liberar la corriente que necesitan los motores, incluso las baterías pueden sufrir daños si se excede la corriente de descarga máxima. (Liang, 2017).

Si la tasa de descarga es muy elevada, no se obtiene mejor rendimiento de las baterías, al igual que la capacidad, las baterías son más grandes al tener mayor  $C$ . La tasa de descarga debe estar acorde al consumo total del dron. (Liang, 2017).

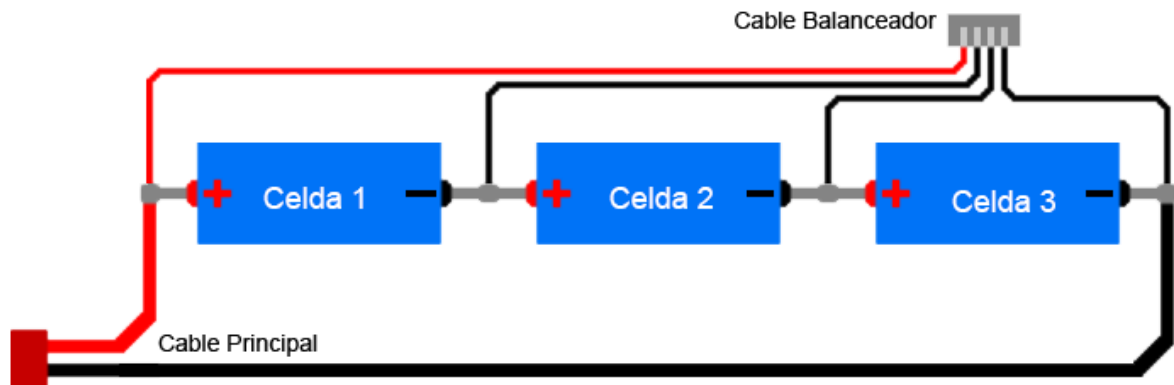
### **Conectores**

Las baterías LiPo disponen de dos cables: cable principal y cable balanceador. El cable principal alimenta a todo el dron y es por donde pasa el alto voltaje. El cable balanceador es utilizado para asegurar que la carga en todas las celdas este igual. En el caso de las baterías de una celda, tiene solamente un cable por lo que no requiere balanceo de más celdas y maneja bajo voltaje, en la Figura 15 se muestra una batería de una celda. (Liang, 2017).



*Figura 15.* Batería de una celda. 850 mAh a 3.7V.  
Tomado de Amazon, S.F.

La función del cable balanceador es monitorear el voltaje de las celdas de la batería, para esto se utiliza un hilo conectado al polo negativo de cada celda, como se muestra en la Figura 16. (Dedalo, 2010).



*Figura 16.* Diagrama de conexión interna de una batería. Batería 3S = 3 celdas conectadas en serie.  
Adaptado de Dedalo, 2017.

El número de hilos en un cable balanceador empieza en 3 (dos negros y un rojo) para las baterías de 2S, y por cada celda adicional, se incrementa un hilo como se puede observar en la Figura 17. (Quiroga, 2016).



*Figura 17.* Número de hilos en el cable balanceador. 2S = 3hilos, 3S=4hilos, 4S=5hilos, 6S=7hilos.  
Tomado de Gonzalo Quiroga, 2016.

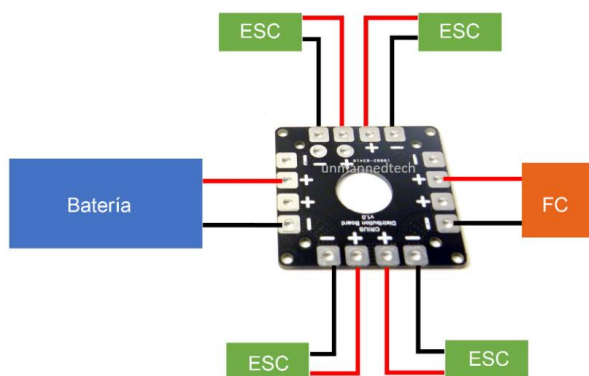
### Consideraciones para seleccionar una Batería

- Voltaje: La batería debe trabajar en el voltaje de los motores y ESC que se han elegido.

- Dimensiones: Depende del tamaño del frame que se ha elegido. Se busca dimensiones reducidas con el fin de ahorrar espacio en el dron.
- Peso: Se busca que la batería tenga un bajo peso para que la autonomía aumente.
- Capacidad: La capacidad es directamente proporcional a la autonomía, pero a mayor capacidad más peso, por lo que se debe buscar una buena relación capacidad-peso.
- Tasa de descarga: Con este valor se calcula la descarga de corriente máxima y esta debe estar acorde al consumo total de la aeronave.

#### 1.2.5.2. Placa de Distribución de Potencia (Power Distribution Board PDB)

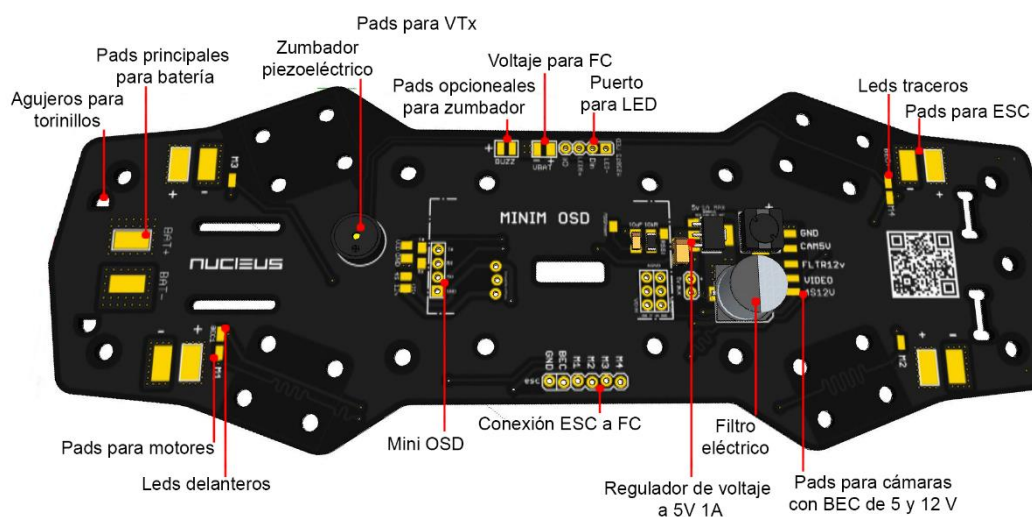
Un PDB distribuye el voltaje de la batería por todos los elementos electrónicos que requieren de alimentación, entre ellos ESC, FC, leds, servo motores, receptores, etc. Sus pads soldables permiten tener una instalación más ordenada por lo que es más sencillo encontrar un fallo. En la Figura 18 se muestra la conexión de elementos electrónicos al PDB. (Alex, 2015).



*Figura 18.* Diagrama de conexión de un PDB. El PDB se conecta a los elementos electrónicos del dron.

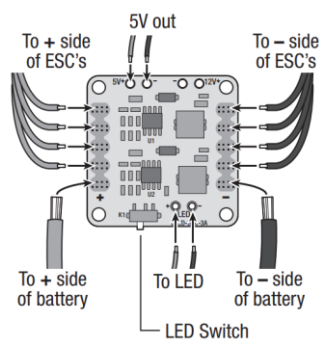
Existen frames que tienen el PDB integrado, como se muestra en la Figura 19, por lo que es una tarea sencilla unir mediante cable la batería y los ESC. Al tener pistas repartidas por toda la base del frame es posible ahorrar cable y mejorar la distribución de potencia. Estas placas tienen pads para conectar leds, motores, medidores de batería por celda, puerto para el cable de balanceo, alarmas de bajo voltaje, Regulador de voltaje, circuito vista de primera persona (First Person

View FPV). Adicionalmente se pueden encontrar ESC integrados. El principal inconveniente de este tipo de PDB es que al dañarse alguno de sus componentes, se debe reemplazar la base completa que representa la mayor parte del frame. Por esto, es recomendable utilizar PDB modulares en lugar de PDB integrados en el frame. (Liang, 2017).



*Figura 19.* Cuerpo de un frame con PDB integrado. PDB ZMR 250. Adaptado de RCGroups, 2017.

Los PDB independientes, al igual que los PDB integrados al frame, tienen BEC que permite trabajar con voltajes de 3, 5 y 12 voltios. Este voltaje es usado generalmente para alimentar a cámaras, transmisoras de video, FPV o motores de un gimbal. En la Figura 20 se muestra la distribución de los pads de un PDB independiente, de los cuales se puede disponer de salidas de 5 y 12 voltios, salidas de alta potencia, salidas de alimentación y señal para cámara y transmisión de video, así como salidas para leds. (Rcpapa, 2015)



*Figura 20.* Diagrama de conexión de un PDB independiente. Tomado de Horizonhobby, S.F.



La tendencia de los PDB es que sigan reduciendo su tamaño y a su vez integren más componentes como alarmas y monitoreo de voltaje.



*Figura 21.* Evolución de PDB's.  
Tomado de Mobus, S.F.

#### Consideraciones para seleccionar un PDB

- Corriente soportada: Es importante asegurarse que el PDB pueda manejar el total de corriente que requiere el dron, caso contrario los PDB pueden dejar de funcionar y quemar elementos importantes que provoquen colisiones.
- Número de pads: Se debe seleccionar un PDB acorde a las características del dron, es decir, para un octocópteros es necesario disponer de 8 pads que manejen alta potencia.
- Regulador de Voltaje: Proporciona voltaje a equipamiento auxiliar como leds, alarmas, FPV, etc.

#### 1.2.6. Accesorios

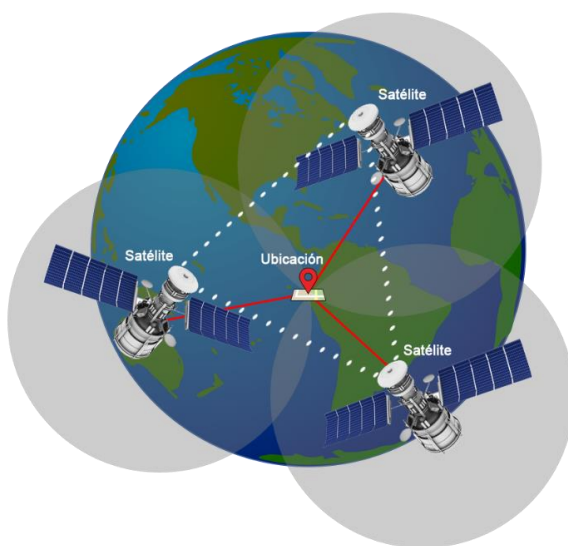
Los accesorios permiten dar una funcionalidad específica al dron, por ejemplo, se puede equipar con un sistema para; transmitir videos, evitar obstáculos, geolocalización, detectar incendios, entre otros.

#### **Sistema de Posición Global GPS:**

GPS es un sistema de radio receptor que recolecta señales de satélites ubicados en la órbita terrestre. Este sistema de navegación permite conocer la posición de un objeto solamente con unos metros de error, a medida que se integran más satélites al sistema, el error se reduce a centímetros. Los circuitos integrados hacen posible que esta tecnología sea asequible a la mayor parte del mercado,

por lo tanto, es utilizado por varios dispositivos entre ellos los drones. (DRONEMEGA, 2017).

Para determinar un punto en la tierra, el sistema GPS utiliza el proceso de triangulación. La triangulación indica que la ubicación de un receptor puede ser determinada midiendo la distancia desde el receptor a diferentes fuentes de señales en la órbita terrestre (satélites). Para determinar la locación de un punto en la tierra se utilizan por lo menos tres satélites, donde el primer satélite mide la distancia hasta el receptor y traza un círculo con el radio hasta el receptor, un segundo satélite mide la distancia hasta el receptor y de igual forma traza un círculo que se intersecta con el anterior, en este momento ya se tienen dos puntos que pueden ser la locación, para descartar una, se utiliza un tercer satélite que de igual forma mide la distancia hacia el receptor y traza un círculo, de tal manera que el punto donde se intersectan los tres círculos es la locación del objeto en la tierra. El resultado es como se muestra en la Figura 22. Para mejorar la precisión se utiliza un cuarto satélite, en el caso de los drones intervienen más de 6 satélites para triangular una posición. (DRONEMEGA, 2017).



*Figura 22.* Triangulación del sistema GPS. Situados en la órbita terrestre.

Las funciones que permite un Sistema GPS en un dron son:

- Mantener posición: Permite mantener el dron a una altura y locación específica.

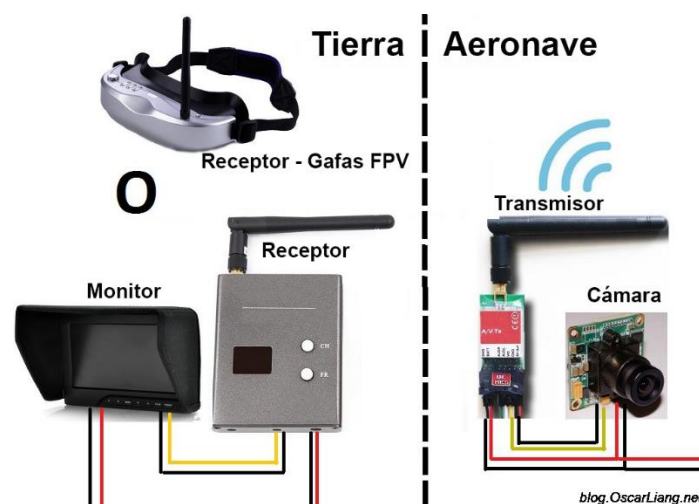
- Regreso a casa: Que el dron almacene el lugar de donde parte, en donde permite que pueda regresar en caso de pérdida del enlace con la transmisora o cuando el piloto ordene al dron retornar.
- Vuelo autónomo: Se puede definir el camino que recorrerá el dron, estableciendo puntos de referencia.



*Figura 23.* Sistema GPS montado en un cuadricóptero. Tiene una antena que se comunica directamente con el FC. Tomado de X heli, S.F.

### Vista en Primera Persona (FPV)

Consiste en una cámara y un transmisor de video en tiempo real montado en el dron que permite al piloto controlarlo como si estuviera en el dron. Esta perspectiva de primera persona es enviada a gafas FPV, smartphones, tablets o monitores como se muestra en la Figura 24.



*Figura 24.* Elementos en un sistema FPV. La cámara y la antena se alimentan de la batería del dron a través de un PDB. Adaptado de OscarLiang, 2017.

FPV es un sistema completamente separado de los sistemas que permiten que el dron vuele, solamente se integra con el Sistema de Alimentación para poder energizar la cámara y el transmisor de video.

#### Funcionalidades de FPV

- Vuelo más ágil: el sistema FPV permite a los drones alcanzar velocidades de vuelo muy altas, ideal para los pilotos de competiciones.
- Control preciso: la perspectiva en primera persona permite ver obstáculos o incluso algún movimiento inadecuado del dron, lo que desde tierra, con el método tradicional, sería casi imposible.
- Mayor capacidad de vuelo: Una persona no es capaz de ver el dron a Kilómetros de distancia, sin embargo, con el sistema FPV es posible tener el control como si estuviera a unos cuantos metros de distancia.
- Mejora la experiencia de vuelo: la perspectiva de vuelo desde el aire es totalmente diferente a la perspectiva de tierra. (Liang, 2017).



*Figura 25.* Funcionalidad de sistema FPV. Tomas fotográficas.  
Tomado de Parrot, S.F.

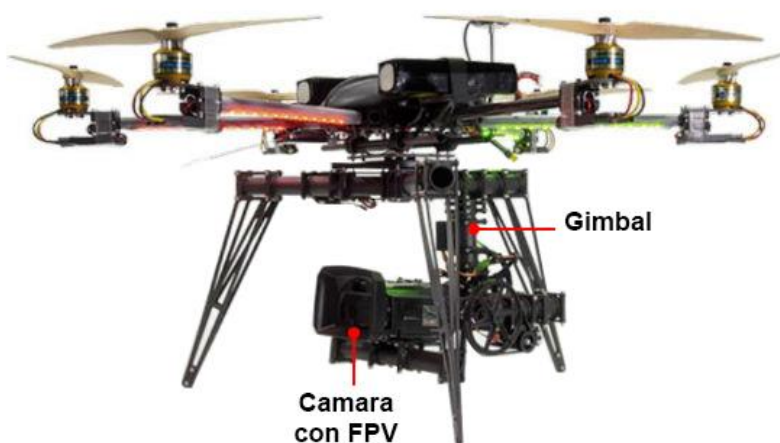
#### **Sistema para Fotografía Aérea**

Antiguamente se conocía a fotografía aérea al acto de subirse a un helicóptero, globo o avión para realizar tomas fotográficas o de video. Con los drones es posible realizar tomas fotográficas desde tierra y al utilizar equipamiento más

pequeño se reducen los costos del servicio haciendo de este un método más fácil y menos costoso que el tradicional. (Grau, s.f.).

Existen dos formas de hacer fotografía aérea con drones: vista desde el suelo y vista en primera persona. Hacer fotografías desde el suelo no es recomendable porque se utiliza la perspectiva del piloto en el suelo en lugar de la perspectiva del dron. La mejor opción es realizar fotografía con vista en primera persona utilizando el sistema FPV. (Grau, s.f.).

El sistema para fotografía aérea consta de: gimbal, cámara, sistema FPV. El gimbal permite una mayor estabilización y ayuda a eliminar las vibraciones de la cámara. La cámara es el elemento principal de este sistema, la cámara debe tener la resolución adecuada dependiendo la aplicación, es importante seleccionar cámaras compatibles con el sistema FPV. El sistema FPV como se comentó anteriormente ayuda a tener un mejor control del dron y en este caso permite capturar la foto en el lugar y momento exacto. Al igual que el sistema FPV, el sistema para fotografía aérea requiere de las baterías del dron para poder funcionar, o bien tener un sistema de alimentación separado, se debe considerar que este aspecto implica mayor peso y consumo que debe ser contemplado en el cálculo para seleccionar los elementos que formarán parte del dron. (Grau, s.f.).



*Figura 26.* Sistema de fotografía aérea profesional.  
Adaptado de SVQ DRONE, S.F.

## 2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En esta sección se revisan los requerimientos de diseño para la construcción del dron, lo cual es la base para filtrar las diferentes alternativas. Más adelante se seleccionan los elementos más adecuados para la construcción del dron. Por último, se detallan los pasos que se deben seguir para construir un dron con los elementos seleccionados.

### 2.1. Requerimientos de diseño

En la Tabla 6, se listan los sistemas que integran el dron con la importancia para el diseño del dron. Los sistemas con mayor importancia tienen un método de selección más meticuloso que los sistemas con menor importancia. Al ser un prototipo de carga se centra mayor atención en los sistemas de propulsión por el empuje y en la alimentación por la autonomía. Los sistemas con menor importancia son: 1) sistema estructural, actualmente el material con el que se construye un frame es resistente a caídas y choques; 2) sistema de control, el prototipo requiere solo de los cuatro movimientos básicos con un alcance de solo 200 m; 3) sistema de navegación, es importante seleccionar un sistema de navegación con GPS para estabilizar el dron adecuadamente, sin embargo, el objetivo de la tesis no se basa en el estudio de los FC.

Tabla 6.

*Importancia de los sistemas en la selección de elementos.*

Número	Requerimiento	Importancia relativa [%]
1	Sistema estructural	10%
2	Sistema de propulsión	30%
3	Sistema de navegación	20%
4	Sistema de control	10%
5	Sistema de Alimentación	30%
TOTAL		100%

### 2.1.1. Selección del sistema estructural

Lo primero que se debe seleccionar es el “frame” del dron. Para seleccionar entre un tricóptero, cuadricóptero, hexacóptero u octocóptero se tiene en cuenta la aplicación que tendrá el dron. La aplicación para este prototipo es levantar una carga útil de por lo menos 1.3 Kg por un tiempo de 10 minutos. Al ser un dron netamente de carga necesita tener los siguientes requerimientos:




- Robustez: Debe tener la capacidad de soportar caídas y proteger los elementos electrónicos implementados sobre el frame.
- Ligero: El peso es directamente proporcional a la autonomía, mientras más ligero mejor.
- Protección contra fallo de motor: Por lo general los drones de carga son equipados con elementos costosos, por ejemplo, cámaras o sensores. Es importante que el dron pueda aterrizar de forma segura en caso de algún fallo.

En cuanto al número de motores que pueden instalarse en el frame, se ha descartado la opción de hacer un cuadricóptero por la razón de que no presenta protección contra fallos de motor y su comportamiento con cargas elevadas es ineficiente. Los hexacópteros son más estables y levantan más peso que un cuadricóptero, además tienen redundancia de motores. Los octocópteros son diseñados para aplicaciones de carga pero el precio se incrementa en un 30% frente a un hexacóptero. (Lg, 2011).

Para la implementación, se selecciona un hexacóptero porque tiene mejores características que un cuadricóptero y representa menos costo de adquisición que un octocóptero. Un hexacóptero puede cumplir los objetivos planteados, siempre y cuando la selección de los elementos electrónicos y mecánicos sea la correcta.

En la Tabla 7 se muestra información de tres frames que cumplen las características mencionadas anteriormente.

Tabla 7.  
 Tabla comparativa de Frames.

Nombre	Quanum 680UC	Tarot FY680	ARRIS M700
Imagen			
Material	Fibra de carbono y aluminio	Fibra de carbono	Fibra de carbono
Peso [g]	851	600	1600
Diámetro [mm]	680	680	710
Plegable	Si	Si	SI
Partes separadas	Si	Si	Si
Motor recomendado	2212 a 4006	4006 620 KV	35XX a 41XX Series
Aspas [in]	10-13	10-13	13
ESC	20 - 30 A	20 - 30 A	40 A
Baterías	11.1 - 14.8 V 3000-5000 mAh	3-4S 4000-5000 mAh	15C, 22.2V, 10000-20000 mAh
Precio \$	161	109	299

### Selección Frame

El tamaño del frame influye directamente en su peso, en los requerimientos se menciona que el frame debe ser lo más ligero posible así que el frame adecuado es Tarot FY680. Se ha seleccionado este frame por; su material de construcción, bajo peso, tamaño, y costo. Para este caso de frame el fabricante recomienda la siguiente configuración para la construcción de un hexacóptero, esta información servirá de base para seleccionar los elementos del prototipo. (Helipal, 2017)

- 6 X Motores Brushless (Recomendado serie 40XX to 41XX)
- 3 X 13" Clowckwise hélices



- 3 X 13" Counter-Clockwise hélices
- 6 X 30A ~ 40A ESC
- 1 X GPS + Flight Controller
- 1 X Radio Transmisora
- 1 X 4S to 6S 4000~5000mah LiPo
- 1 X 4S to 6S cargador de batería LiPo
- 1 X Sistema FPV (opcional)
- 1 X DJI iOSD Mini para despegar datos del vuelo (opcional)

### 2.1.2. Selección del sistema de propulsión

En la selección del sistema de propulsión se debe conocer el peso total del dron, incluida la carga útil. Como dato fijo se dispone del peso del frame que es de 600 gramos pero se le agrega un margen de error del 5% dando como resultado 630 g. Los pesos de los elementos adicionales son un promedio recuperado de características técnicas de los fabricantes. En la Tabla 8 se muestran los pesos de cada elemento y finalmente se presenta el peso total del dron con la carga útil.

Tabla 8.

*Peso de cada elemento, empuje al 50% y 100% de throttle.*

	Peso Unitario g	Cantidad	Peso g
<b>Sistema de Propulsión</b>			
Motores	110	6	660
Aspas	20	6	120
ESC	30	6	180
<b>Sistema Estructural</b>			
Frame	630	1	630
<b>Sistema de Alimentación</b>			
Baterías	1500	1	1500
PDB	25	1	25
Cable	80	1	80
<b>Sistema de Navegación</b>			
FC KIT	100	1	100
Receptora controlador	25	1	25
<b>Sistema de Video</b>			
Carga útil	1300	1	1300
<b>Peso total</b>			<b>4620</b>
<b>Empuje al 50% throttle</b>			<b>770</b>
<b>Peso * 2</b>			<b>9240</b>
<b>Empuje al 100% throttle</b>			<b>1540</b>

Para construir un hexacóptero se necesitan 6 motores, 6 aspas, 6 ESC. Para los elementos adicionales se requiere de una unidad. La suma del peso de todos los elementos es 4620 g.

#### 2.1.2.1. Motores y Aspas

Para calcular el empuje al 100% de throttle de cada motor se utiliza la siguiente formula:

$$\text{Empuje 100\% throttle} = \frac{\text{Peso total} * 2}{\text{Número motores}} \quad (3)$$

$$\text{Empuje 100\% throttle} = \frac{4620 * 2}{6}$$

$$\text{Empuje 100\% throttle} = 1540 \text{ g}$$

Para conseguir el empuje al 50% de throttle se utiliza la siguiente formula:

$$\text{Empuje 50\% throttle} = \frac{\text{Peso total}}{\text{Número motores}} \quad (4)$$




$$\text{Empuje 50\% throttle} = \frac{4620}{6}$$

$$\text{Empuje 50\% throttle} = 770 \text{ g}$$

Es recomendable trabajar con el throttle de 100% porque algunos fabricantes muestran el empuje que proporciona el motor a su máximo throttle.

A continuación se muestra una tabla donde se comparan características de los motores que pueden ser utilizados en el frame seleccionado, teniendo en cuenta que el tamaño máximo de las hélices es el máximo permitido por el frame, es decir, de 13 pulgadas y que el empuje debe ser mínimo de 1540 g.

Tabla 9.  
Tabla comparativa de Motores.

Característica	Tarot 4008 380kV	Multistar 4006 -740KV	ARRIS 4010PRO 380KV
Imagen			
Dimensiones [mm]	40 x 8	40 x 6	40 x 10
Peso [g]	93	93	82.5
KV	380	740	380
Configuración	24N22P	18N24P	24N22P
Voltaje [V]	22	14.8	22
Aspas soportadas	13*3.5	13*5.5	APC13*4.7
Empuje/motor [g] a 100% throttle	1620	2008	2150
Consumo [A]	12.4	28	15
Temperatura de operación [°C]	44	NA	55
Precio [USD]	25	36.86	56

La Figura 27 muestra los ítems cuantificables en un valor del 0 al 100% para que la comparación entre las tres alternativas resulte más clara.

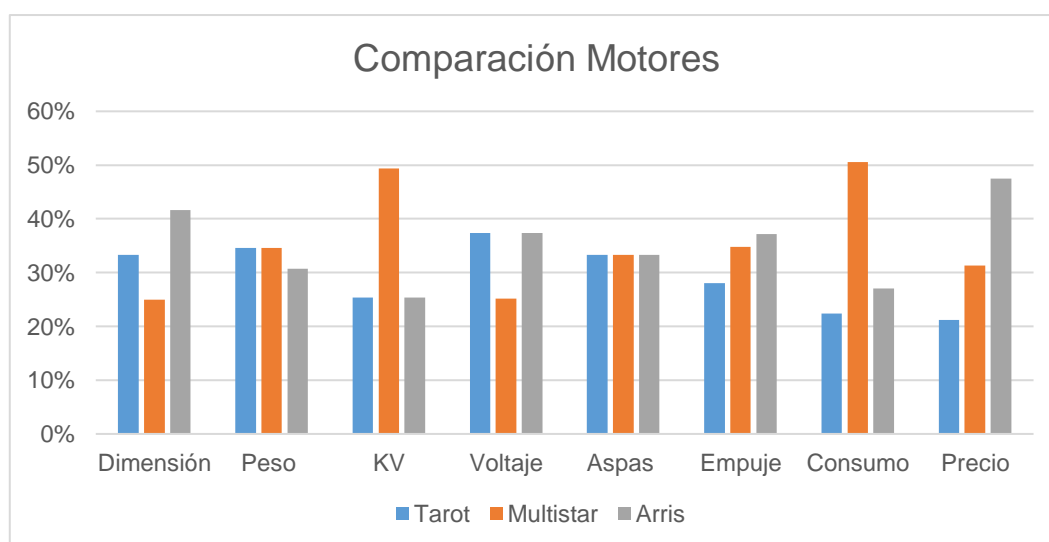


Figura 27. Gráfica comparativa de motores usando valores cuantificables.

## **Selección de Motor y Aspas**

Los parámetros evaluados en la selección del motor son:

**Dimensiones:** El motor Arris es el motor con mayores dimensiones, seguido del motor Tarot. Se considera que los motores más grandes proporcionan mayor torque, lo cual es conveniente para drones de carga.

**Peso:** El motor con menos peso es Arris. El peso influye directamente en la autonomía del dron por lo que se requiere motores livianos.

**KV:** A menor KV se genera más torque por lo que es ideal buscar un motor con bajo KV, en este caso, los motores Arris y Tarot son los que lideran este parámetro de selección.

**Voltaje:** Los motores que trabajan a mayor voltaje son los motores Arris y Tarot. Se considera que motores a mayor voltaje giran más rápido pero consumen más corriente.

**Aspas:** Los tres motores pueden utilizar hélices de 13”.

**Empuje:** El motor Tarot cumple con los requerimientos mínimos de empuje con 1620 g y el motor Arris tiene el mejor empuje con 2150 g.

**Consumo:** El consumo por parte del motor Multistar es muy elevado a comparación de los otros motores evaluados, esta es una razón para descartar a este motor de la selección. Consumo elevado provoca calentamiento del motor haciendo que los imanes se desgasten y el motor se deteriore más rápido. El motor que tiene mejores características de consumo es Tarot.

**Precio:** El motor Tarot tiene un costo de \$25, el cual es el más bajo en comparación de los otros dos motores. El motor Arris cuesta el doble.

En conclusión, el motor Tarot satisface los requerimientos para levantar una carga de 1.3 Kg, sin embargo las características están muy ajustadas a los cálculos realizados, es por esto que se ha decidido adquirir el motor Arris 4010

que aunque cueste más, presenta características superiores en la mayoría de los parámetros. Del sistema de propulsión, el elemento más crítico es el motor por esta razón se debe tener cuidado al seleccionarlo. El sobredimensionamiento de empuje del motor Arris influye directamente en la autonomía del dron de forma positiva.

#### 2.1.2.2. ESC

Tabla 10.




*Cálculo de índice de corriente de ESC de ESC's.*

Calculo ESC a 22 V	
Consumo/Motor Arris [A]	15
+50%	22.5
Amperaje del ESC [A]	30

Para el cálculo del índice de corriente para los ESC's se parte con el máximo consumo de los motores seleccionados. En la Tabla 10 se determina que el consumo de los motores Arris al 100% de throttle es de 15 Amperios. A este valor se le agrega el 50% debido a los picos de corriente consumidos cuando se ejecuta una maniobra evasiva o peligrosa, estos picos pueden doblar el consumo máximo del motor. El resultado del consumo máximo obteniendo es 22.5A, como se observa en la Tabla 10. Los ESC comerciales para 22.5A son de 25A y de 30A. El ESC de 30A es más común, por ende más fácil de conseguir, por lo cual se selecciona un ESC con índice de corriente de 30A. En el Anexo 1 se puede observar que el consumo al 100% de throttle, con otra configuración de hélices, es de 20 A y aumentándole el 50% da como resultado 30A.

A continuación, se muestra la comparación entre los ESC con un índice de corriente de 30A.

Tabla 11.  
Tabla comparativa de ESC's.

Características	ARRIS Simonk 30A	DYS XS 30 <sup>a</sup>	Hobbywing platino 30A
Imagen			
Peso [g]	25	8.65	31
Tamaño [mm]	55 x 19 x 10	45 x 16.5 x 5.8	55 x 25 x 12
Corriente [A]	30	30	30
Ráfaga de corriente [A]	45	NA	40
Modo BEC	Opto	Opto	Opto
Celdas de Batería [S]	2 – 6	3 – 6	2 – 6
Firmware	Simonk	BLHeli_S	BLHeli
Frecuencia [Hz]	600	50000	432
Precio [USD]	9.33	10.98	14.59

En la Figura 28 se representa los valores cuantificables de la tabla comparativa.

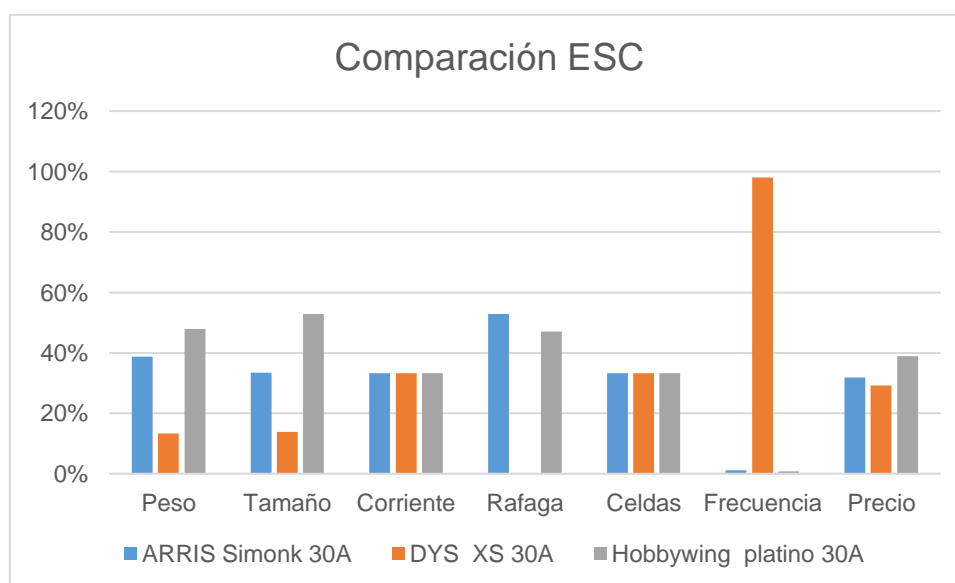


Figura 28. Gráfica comparativa de ESC's usando parámetros cuantificables.

## **Selección del ESC**

Analizando cada parámetro se tiene:

**Peso:** Se busca el menor peso en los elementos con el fin de reducir el peso de todo el dron. El ESC DYS es el que presenta menor peso.

**Tamaño:** ESC pequeños calientan más rápido y ESC grandes ocupan espacio y peso en el dron, se debe buscar un equilibrio en el tamaño. El ESC Arris cumple mejor esta característica.

**Corriente:** Al principio de la selección del ESC se definió que deben tener un índice de corriente de 30A.

**Ráfaga de corriente:** Las ráfagas son en caso de que los motores requieran más amperaje que el de los cálculos. El ESC Hobbywing tiene una ráfaga moderada.

**Celdas:** Los tres ESC trabajan de 2 a 6 celdas.

**Frecuencia de trabajo:** La frecuencia de refresco determina el tiempo en que un ESC ejecuta una orden. A mayor frecuencia, menor tiempo en ejecutar la orden. El ESC DYS tiene la mayor frecuencia, sin embargo el FC seleccionado trabaja solamente a 400Hz haciendo que cualquiera de los tres ESC's se comunican a la misma velocidad.

**Firmware:** BLHeli actualmente está ganando terreno en el mundo de los ESC esto es por su facilidad de programar. Simonk cada vez tiene menor presencia en el mercado debido a que cada vez existen menos actualizaciones, sin embargo, aún existen ESC que trabajan con este firmware, tal es el caso de los ESC Arris.

**Precio:** El ESC Arris es el más económico.

## **Selección ESC**

El ESC seleccionado es Arris por su tamaño, ráfaga de corriente y precio.

### 2.1.3. Selección del sistema de navegación

#### **Flight Controllers**

A continuación se presentan características de los FC que se comparan, en el Anexo 2 se lista información adicional de cada controladora. Posteriormente se realiza una tabla con las propiedades más importantes y finalmente se selecciona la alternativa que se ajusta a los objetivos del prototipo.

#### **SPRacingF4EVO**

Controladora diseñada para ofrecer gran rendimiento y de fácil instalación. Cuenta con un regulador de voltaje interno (BEC) lo que le permite ser compatible con baterías de alto voltaje. Tiene un procesador potente ideal para drones de carreras. (SeriouslyPro, 2017).

#### **Naza M V2**

Las características de vuelo son: sin movimientos bruscos, es fácil de volar, control inteligente de orientación y retorno al punto de despegue. Esto hace que sea bueno para los principiantes, o directores de fotografía que no quieren preocuparse de la programación de un FC. Estos módulos están diseñados para drones medianos, utilizados para filmación, entre ellos cuadrópteros, hexacópteros y octocópteros. (Administracion th, 2015).

#### **3DR Pixhawk**

Pixhawk tiene código abierto y permite hacer alguna modificación en el firmware. El Pixhawk de 3D Robotics es un controlador de vuelo diseñado específicamente para el vuelo Autónomo.

#### **DJI A3**

Combinando máxima fiabilidad con un control de vuelo preciso, la nueva Serie A3 de controladores de vuelo es ideal para exigentes aplicaciones industriales y cinematográficas donde la fiabilidad y la personalización son esenciales.



Tabla 12.  
 Tabla comparativa de Flight Controllers.

Flight Controller	SP Racing F4	Naza M V 2	Pixhawk	A3
Imagen				
Dimensiones [mm]	36 x 36	45.5 x 32.5 x 18.5	81.5 x 50 x 15.5	54 x 39 x 14.9
Peso [g]	5	27	38	186
Consumo	Na	3.15 W (0.25 A @ 12.6 V)	Na	8W -0.66A
Tensión de trabajo [V]	5	4.8 - 5.5	4.8 - 5.4	4.8 - 5.5
Baterías soportadas	2S a 4S	2S a 6S	2S a 6S	3S a 12S
Temperatura de operación	Na	-10 - 50 °C	Na	-10 - 45 °C
Vehículos soportados	I4, X4, I6, V6, Y6, IY6, X8, I8, V8	I4, X4, I6, V6, Y6, IY6, X8, I8, V8	Aeroplanos, barco, autos, multirrotor: I4, X4, I6, V6, Y6, IY6, X8, I8, V8	I4, X4, I6, V6, Y6, IY6, X8, I8, V8
Sistema Operativo	Cleanflight o Betaflight	Propietario de DJI	NuttX	Propietario de DJI
Configuración	Fácil	Fácil	Compleja	Fácil
Asistente para Smartphone	Na	DJI Go GS (Ground Station)	DroidPlanner, MAVPilot AndroPilot	DJI Go GS (Ground Station)

		DJI GS Pro UGCS	SidePilot UGCS	DJI GS Pro UGCS
Actualización en línea	Si	Si	Si	Si
Interfaz	4 UART 1 I2C Entrada Spektrum Satellite JST-ZH 8 PWM Regulador a 3V	iOSD SBUS PPM D-BUS UART 8 Salidas para motores	14 Salidas PWM/ servo 5 UART 2 CAN I2C SPI Entrada Spektrum DSM/DSM2/DS M-X E/S SBUS Entrada de señal PPM Salida RSSI Entrada 3.3 y 6.6 V DC	S-BUS D-BUS-BUS Z15 Ronin-MX S900 S1000 S1000+ iOSD D-RTK DATALINK PRO 8 salidas para motores
Advertencia	Aviso LED Sonido	Avisos LED	Avisos LED Multisonido	Avisos LED
Frecuencia en la salida para ESC [Hz]	168000	400	400	400
Procesador	STM32405	DJI	32 bits ARM Cortex-M4	DJI
Sensores	Barómetro Acelerómetro Giroscopio	GPS Giroscopio Acelerómetro Barómetro	Giroscopio Acelerómetro Magnetómetro Barómetro	GPS Giroscopio Acelerómetro Barómetro

Posibilidad de programar código	Si	No	Si	No
Precio [USD]	67.16	159	109.75	899

### Selección de Flight Controller

En la Tabla 12 se presentan dos tipos de controladoras, unas que tienen código abierto (Pixhawk) y la otra con código propietario (DJI Naza). Si bien es cierto, las de código abierto tienen mayor campo de investigación, el objetivo de este proyecto no es ahondar en el funcionamiento de un FC. Como primer punto se compara el tamaño, y como resultado tenemos que la controladora F4 es más pequeña por ende la que tiene mejor peso también. En cuanto a vehículos soportados, las de código abierto ganan terreno porque las controladoras de DJI solamente están diseñadas para drones, mientras que la controladora Pixhawk se la puede emplear en autos, aviones, barcos y drones. En cuanto a configuración, las controladoras de DJI son mucho más fáciles de poner en marcha que la Pixhawk o la F4. Existen más modos de funcionamiento con las controladoras de código abierto, lo mismo sucede con las interfaces e integración con dispositivos de otros fabricantes. El aviso de batería baja o algún fallo en el dron se muestran mejor en la controladora Pixhawk debido a su sistema multisonido. Con respecto a los sensores, todas las controladoras tienen los sensores básicos para funcionar correctamente, se incluye el precio de la controladora incluido el GPS para hacer una comparación más acertada. En cuanto al precio, el FC más económico es F4.

Teniendo en cuenta las características mencionadas, el FC más adecuada es Naza M V2 por su bajo peso, su robustez, el tipo de vehículos que soporta y sobre todo por la facilidad de configuración, es un FC muy completo que ayuda a cumplir con el fin de este proyecto y con poco conocimiento se logra construir

un dron con características profesionales. Se debe tener en cuenta que el precio es un factor limitante para la selección de este FC, pero esto se compensa en el tiempo que se debe invertir para aprender a configurar los otros FC.

#### 2.1.4. Selección del sistema de control

En los objetivos del proyecto se establece tener un rango de control de por lo menos 200 m que es aceptable para tener buena línea de vista con el multirrotor. Adicionalmente, el Flight Controller seleccionado necesita un canal adicional para cambiar entre modos semiautomático, GPS y manual, el Flight Controller tiene dos canales adicionales. X1 y X2 para controlar los movimientos del gimbal en caso de que posteriormente se requiera de su implementación. En resumen la Radio Transmisora debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Alcance mínimo 200m
- 7 canales mínimo

Tabla 13.  
*Tabla comparativa de Radio Transmisora.*

Radio Transmisora	Quantom i8	Furaba 6K V2	RadioLink AT9
Imagen			
Peso [g]	430	1283	880
Dimensiones [mm]	193 x 184 x 104	Na	183*193*100
Dimensión Pantalla [pulgadas]	Na	128 x 64	240 x 320

Hardware	2 sticks 1 Perilla giratoria de 6 posiciones 6 LEDS para indicar modos de vuelo 1 switch de 3 posiciones	Pantalla 128x64 2 sticks 3 switch de 3 posiciones 1 switch de 2 posiciones	Pantalla 2.8 in 16 colores , 240*320 pxeles 2 sticks 3 switchs de 3 posiciones 4 switchs de 2 posiciones 4 potenciómetros 1 botón de reset
Canales	8	8	9
Voltaje [V]	3.7	Na	7.4~15
Corriente [mA]	170	Na	105
Modo	Modo 2	Modo 2	Modo 2
Frecuencia [MHz]	2400	2400	2400 a 2485
Receptor	Quanum HK-IA8 (incluido con RT)	R3006SB (incluido con el RT)	R9D Receiver (incluido con RT)
Protocolo receptor	PWM CPPM	PWM S.BUS S.BUS2	PWM S.BUS
Telemetría	No	Si	Si
Modulación	Na	Na	QPSK
Acceso al medio	Na	T-FHSS	DSSS
Precio [USD]	61.22	207.88	94.99

## Selección de Radio Transmisora

La Radio Transmisora ideal es Quantum i8 porque el prototipo que no requiere de características avanzadas como telemetría ni una pantalla. El precio es otra razón para adquirir esta RT. Sin embargo, una característica que se menciona en el marco teórico es que una transmisora puede funcionar para varios drones por lo que ir por unas con mejores características es viable si se piensa a largo plazo. Considerando esto es recomendable escoger entre la transmisora RadioLink y Futaba, siendo la transmisora RadioLink la más adecuada en tanto a características, escalabilidad y precio.

### 2.1.5. Selección del sistema de alimentación

#### 2.1.5.1. Baterías

En la selección de los motores, ESC y FC se establece que el voltaje de trabajo será de 22.2V por lo tanto la batería será de 6 celdas (6S).

Para seleccionar la capacidad de la batería, se calcula el amperaje total del dron sumando el consumo de cada uno de sus elementos. En el caso de los motores el consumo al 100% de throttle es de 15A, sin embargo, no estarán trabajando todo el tiempo al 100%, en promedio, los motores trabajan del 40% al 80% de throttle, por lo tanto el consumo se reduce. Para el cálculo del amperaje del motor se usa el consumo al 50% de throttle mostrado en la Tabla del Anexo 1. El consumo del motor es 3.3 A, a este valor se le aumenta el 50% para abarcar el amperaje pico. En la Tabla 14 se muestra la suma del consumo de todos los elementos del dron. (Liang, 2017).

Tabla 14.

*Cálculo de Consumos. Consumo de motor:  $3.3 \times 1.5 = 4.95$*

Datos			
Nombre	A/Unidad	Cantidad	Consumo [A]
Motores	4.95	6	29.7
ESC	0.1	6	0.6
FC	0.22	1	0.22
Receptor Tx	0.1	1	0.1
		Total	30.62

La capacidad de la batería se calcula con la siguiente formula.

$$\text{Capacidad}[Ah] = \text{Corriente consumida}[A] * \text{tiempo}[h] \quad (5)$$

Donde tiempo se le duplica a 20 min = 0.333 h para asegurar la autonomía mínima planteada en los objetivos.

$$\text{Capacidad}[Ah] = 30.62[A] * 0.333[h]$$

$$\text{Capacidad}[Ah] = 10.21 [A]$$

Los cálculos indican la capacidad mínima es de 10000 mAh para volar un tiempo mínimo de 10 minutos y un tiempo máximo de 20.

El cálculo de la tasa de descarga se la hace con la siguiente formula.

$$C = \frac{\text{Corriente Consumida}[A]}{\text{Capacidad de la batería}[A]} \quad (6)$$

$$C = \frac{30.62}{10} = 3.06$$

Con 10000 mAh la tasa de descarga es mínima.

Tabla 15.

Tabla comparativa de Baterías.

Características Bateria	Multistar 1000 mAh	SLS XTRON 10000MAH	JJRC 10000 mAh
Imagen			
Tamaño [mm]	156 x 65 x 53	165 x 64 x 59	163 x 65 x 55
Peso [g]	1189	1350	1200
Capacidad [mAh]	10000	10000	10000

Descarga constante [C]	10	20	5
Ráfaga [C]	20 (10 seg)	40	10
Celdas [S]	6	6	6
Conector	XT60	XT60	XT60
Configuración	6S1P	6S1P	6S1P
Precio [\$]	71.74	168	91

En la Figura 29 se puede identificar de mejor manera los campos evaluados para seleccionar una batería.

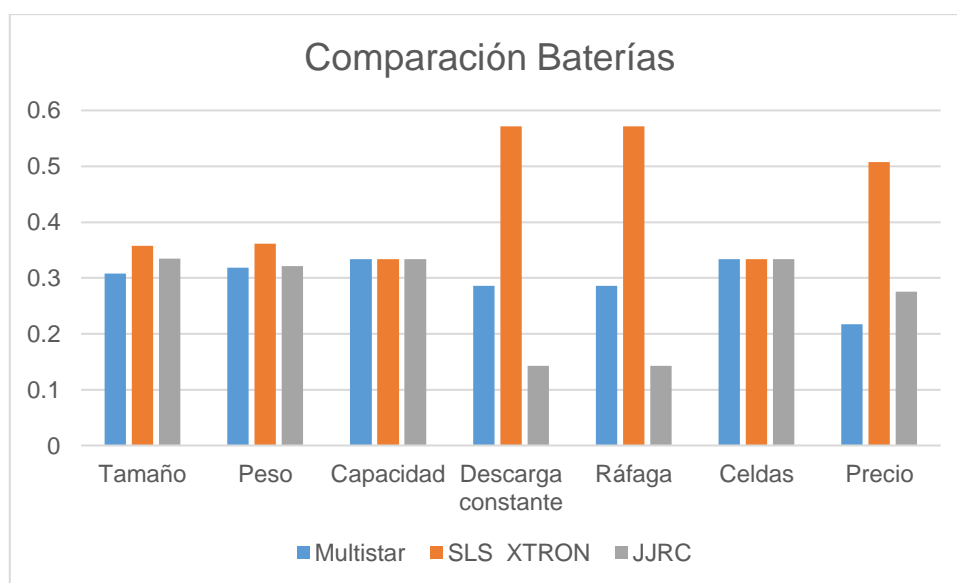


Figura 29. Gráfica comparativa de Batería usando parámetros cuantificables.

### Selección de batería

**Tamaño:** Las baterías con menor tamaño pueden ser fijadas con facilidad en el frame, por lo que se requiere que sean lo más pequeñas posibles. La batería Multistar cumple esta característica.

**Peso:** Menor peso implica mayor autonomía. La batería Multistar es más liviana.

**Capacidad:** Todas las baterías tienen 10000 mAh de capacidad.



Descarga Constante: En los cálculos se determina que se requiere la menor descarga constante, la menor es la de la batería JJRC. Mayor número de descarga constante incrementa el precio de la batería.

Ráfaga: No se requiere ráfagas con la descarga constante y capacidad actual de las baterías.

Celdas: Todas las baterías trabajan a 6S

Precio: La batería más económica es la batería Multistar.

Se selecciona la Batería Multistar por presentar mejores características que las demás, entre ellas destaca el tamaño, peso y precio.

La universidad otorga una batería con las siguientes características con el fin de abaratar los costos del prototipo. Al no existir suficiente información relacionada a esta batería, se usa los datos reales medidos en laboratorio.



Figura 30. Batería LiPo Masion 6S 10000mAh 25C.

- Capacidad: 10000 mAh
- Número de celdas: 6S o 22.2V
- Tasa de descarga: 25C
- Dimensiones 160 x 67 x 54 mm

- Peso: 1320 g
- Precio: ~200\$

#### 2.1.6. Costos

En la Tabla 16 se muestra la inversión realizada para tener todos los elementos seleccionados. Cabe recalcar que la Batería y la Radio Transmisora, fueron facilitadas por la universidad, por lo que elementos no tienen costo de adquisición en la tabla presentada. El conjunto Batería Transmisora representan un costo de \$200 y \$94.99 respectivamente, en total \$294.99.

Tabla 16.  
*Inversión.*

Elemento	Precio Unitario USD	Cantidad	Precio USD
Frame	109.00	1	109.00
Motores	56.00	6	336.00
Aspas	6.50	6	39.00
Naza	159.00	1	159.00
Transmisora	0.00	1	0.00
Receptora	15.00	1	15.00
Baterías	0.00	1	0.00
PDB	12.00	1	12.00
Cables	20.00	1	20.00
Repuestos hélices	94.00	1	94.00
Correas de velcro	5.00	1	5.00
Transporte	50.00	1	50.00
Total [USD]			839.00

En la Tabla 16 se determina que la inversión realizada para obtener los elementos seleccionados es de 839.00 USD sin tomar en cuenta el precio de la Batería ni la Radio Transmisora.

#### 2.1.7. Cálculos empíricos vs cálculos teóricos.

A continuación se muestran los datos teóricos para diferenciar los resultados Recuperados por los dos métodos. En el cálculo teórico se usan los pesos

proporcionados por los fabricantes. A continuación se muestran los resultados y en el Anexo 3 se encuentran las respectivas tablas del cálculo teórico.

- Peso de la aeronave: 4224
- Empuje 50% throttle: 735.67
- Empuje 100% throttle: 1471.33
- Consumo de la aeronave: al reducirse el peso se reduce el consumo, es por esto que se le agrega solo el 40% al consumo de los motores. Se obtiene un resultado de: 28.64A.
- Autonomía: 20min.
- Para batería de 10000 mAh con un consumo de 28.64A se obtiene una autonomía de 20.94min.

Para calcular el error relativo del cálculo empírico frente un cálculo teórico, se usa la siguiente formula.

$$Error\ relativo[\%] = \frac{Valor\ Exacto - Valor\ aproximado}{Valor\ Exacto} * 100 \quad (7)$$

Para el peso de la aeronave se tiene:

$$Error\ relativo[\%] = \left| \frac{4224 - 4620}{4620} * 100 \right| = 9\%$$

En la Tabla 17 se muestra el porcentaje de error absoluto en cada parámetro comparado.

Tabla 17.

*Calculo del error entre el cálculo teórico y el cálculo práctico.*

Comparación	Cálculo Empírico	Cálculo Teórico	Error relativo
Peso de la aeronave [g]	4620	4224	9%
Empuje 50% throttle [g]	770	704	9%
Empuje 100% throttle [g]	1540	1408	9%
Consumo de la aeronave [A]	30.62	28.64	7%
Autonomía [min] con batería de 10 Ah	20	20.95	5%

## 2.2. Ensamblaje del prototipo

El diagrama que se muestra en la Figura 31 muestra el diagrama de flujo del proceso que se utiliza para ensamblar el prototipo.

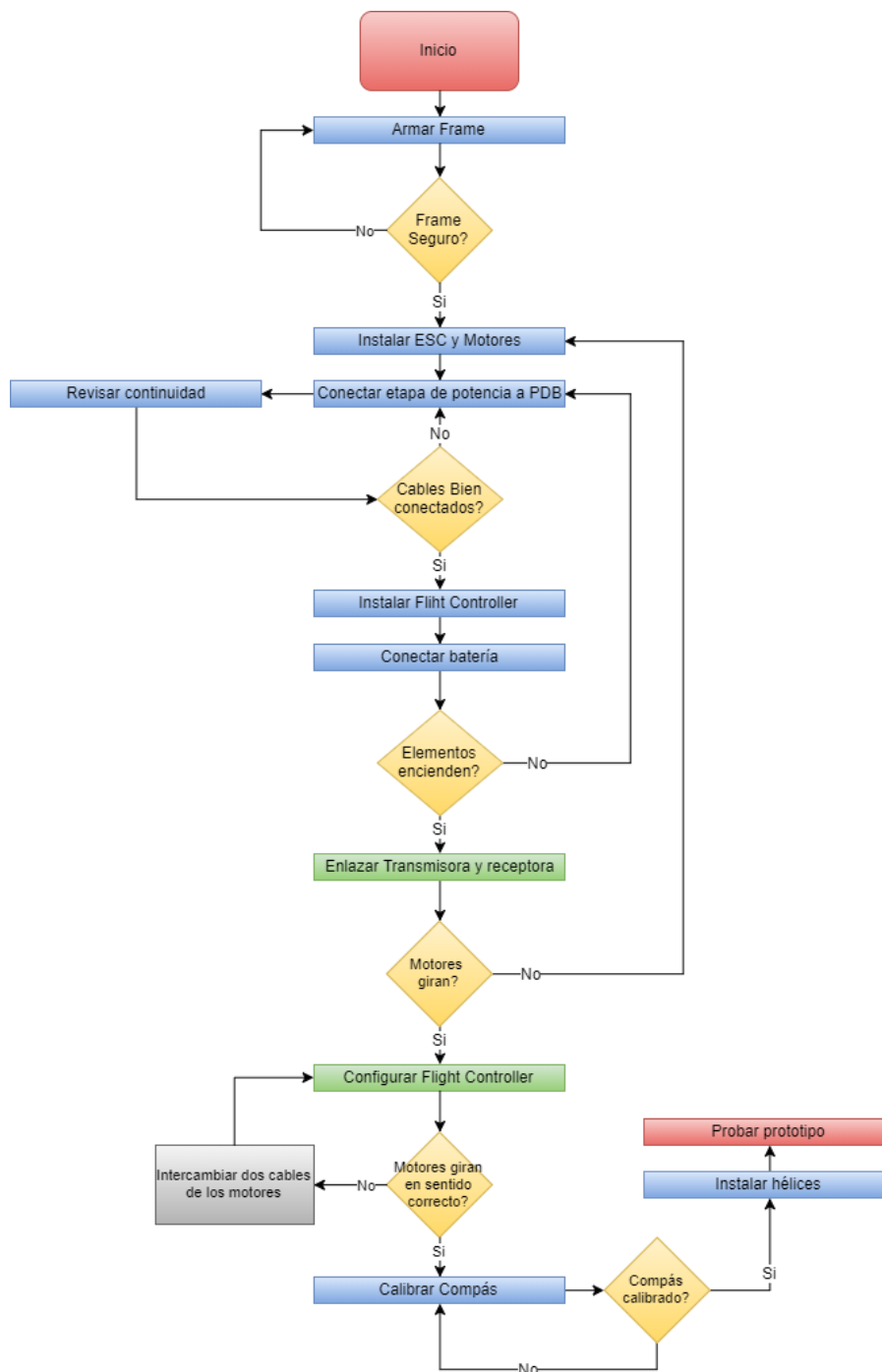


Figura 31. Diagrama de flujo para ensamblar el prototipo.

A Continuación se explica cada paso que se debe realizar para completar las acciones mostradas en el diagrama.

### 2.2.1. Ensamblaje del Frame

Primero se ensambla la estructura que sostiene los elementos. En la Figura 32 se muestra las piezas que forman parte del frame.



Figura 32. Partes del dron sin ensamblar.

Para ensamblar las piezas se comienza por el cuerpo, posteriormente se agregan los brazos, se aseguran las bases para los motores, se instala el tren de aterrizaje, y finalmente, se introducen las barras para sujetar cargas. En la Figura 33 se muestra el proceso utilizado para unir las piezas. En el Anexo 4 se muestra un diagrama estructural donde se visualiza la ubicación de cada pieza.

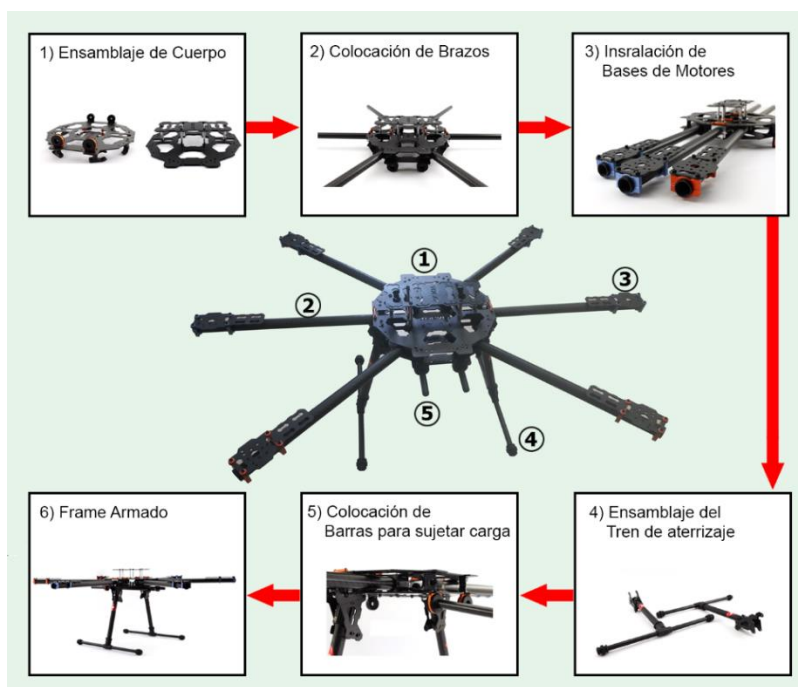


Figura 33. Pasos sugeridos para el ensamblaje del dron.

Para la colocación de los elementos se utiliza el siguiente diagrama, en el que se indica los elementos usados en el prototipo.



Figura 34. Diagrama de ubicación de elementos en el frame.

• Sistema Estructural

1. Frame: Tarot FY 680

• Sistema de Propulsión

2. Motor: Arris 4010 380Kv x 6

3. Aspas: Tarot 1355 x 6

4. ESC: Arris Simonk 30A x 6

• Sistema de Navegación

5. FC: Naza M v2

7. LED: Naza M v2

8. PMU (Power Management Unit):  
Naza M v2

• Sistema de Alimentación

9. Batería: LiPo 10000 mAh 25C

10. PDB: SPMVX9909

• Sistema de Comunicación

11. Receptora: RadioLink R9DS

12. RT: FlySky AT9

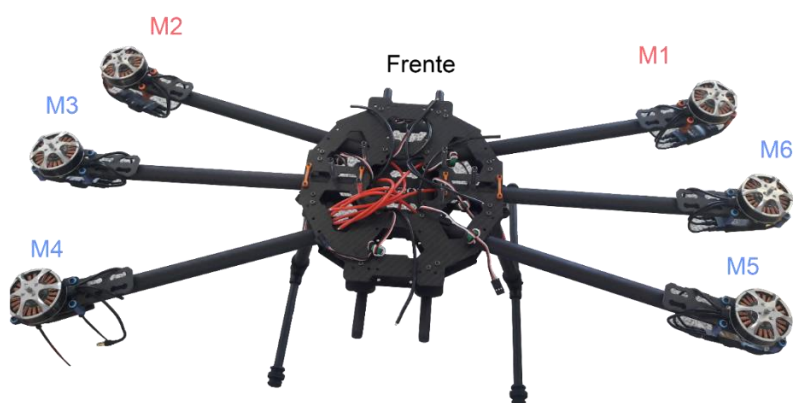
## 6. GPS: Naza M v2

### 2.2.2. Instalación de ESC y Motores



*Figura 35.* Fijación e instalación de motor y ESC.

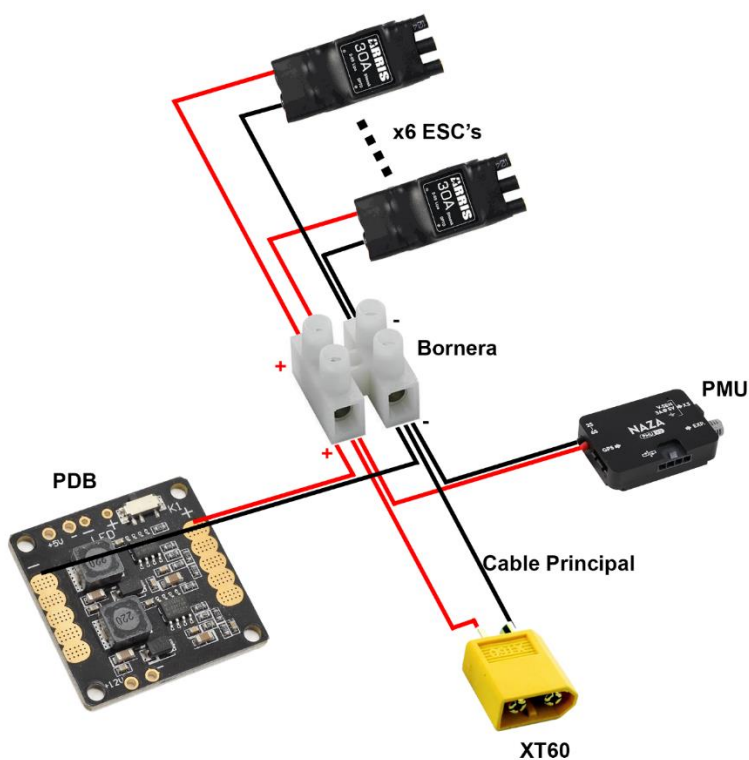
Los motores son fijados en la parte superior de la base de los brazos y los ESC se ubican en la parte inferior. Se recomienda ingresar los cables de señal y de potencia del ESC en los brazos del frame para protegerlos de cualquier daño. Los cables que corresponden a los motores, pueden ser conectados en este paso, adicionalmente en la configuración del FC se asegura que los motores giren en el sentido correcto. Para asegurar el ESC y los cables que aún se mantienen inseguros, se utiliza bridas plásticas. En la figura 36 se muestra el resultado al conectar los motores y los ESC al frame, también se enumeran los motores tomando como primera referencia al motor ubicado al frente derecho del frame.



*Figura 36.* Instalación de todos los motores. Se enumeran los motores teniendo en cuenta que el M1 está ubicado en la parte frontal derecha.

### 2.2.3. Conexión del PDB

En este paso se conecta los cables de potencia en un solo punto con el fin de que al conectar las baterías se energicen; motores, FC kit y radio receptora. En el prototipo se utiliza una bornera de conexionado eléctrico para unir los cables del ESC, batería y FC. Esto se realiza puesto que el PDB adquirido solamente es para cuadricópteros por lo que no cuenta con los pads soldables necesarios para 6 motores, sin embargo, el PDB también se lo incorpora en el prototipo para futuras aplicaciones. El diagrama utilizado para conectar la etapa de potencia es el siguiente.



*Figura 37.* Diagrama de conexión de etapa de potencia.

En la Figura 38 se puede observar que el cable principal que une a la batería tiene, en su terminal, un conector XT60 que es compatible con el de la batería. El PMU se conecta directamente a la batería con los cables rojo y negro, en su puerto X3, provee de 5 v para el FC. Una vez realizadas las conexiones y fijados los elementos, se obtiene el siguiente resultado.



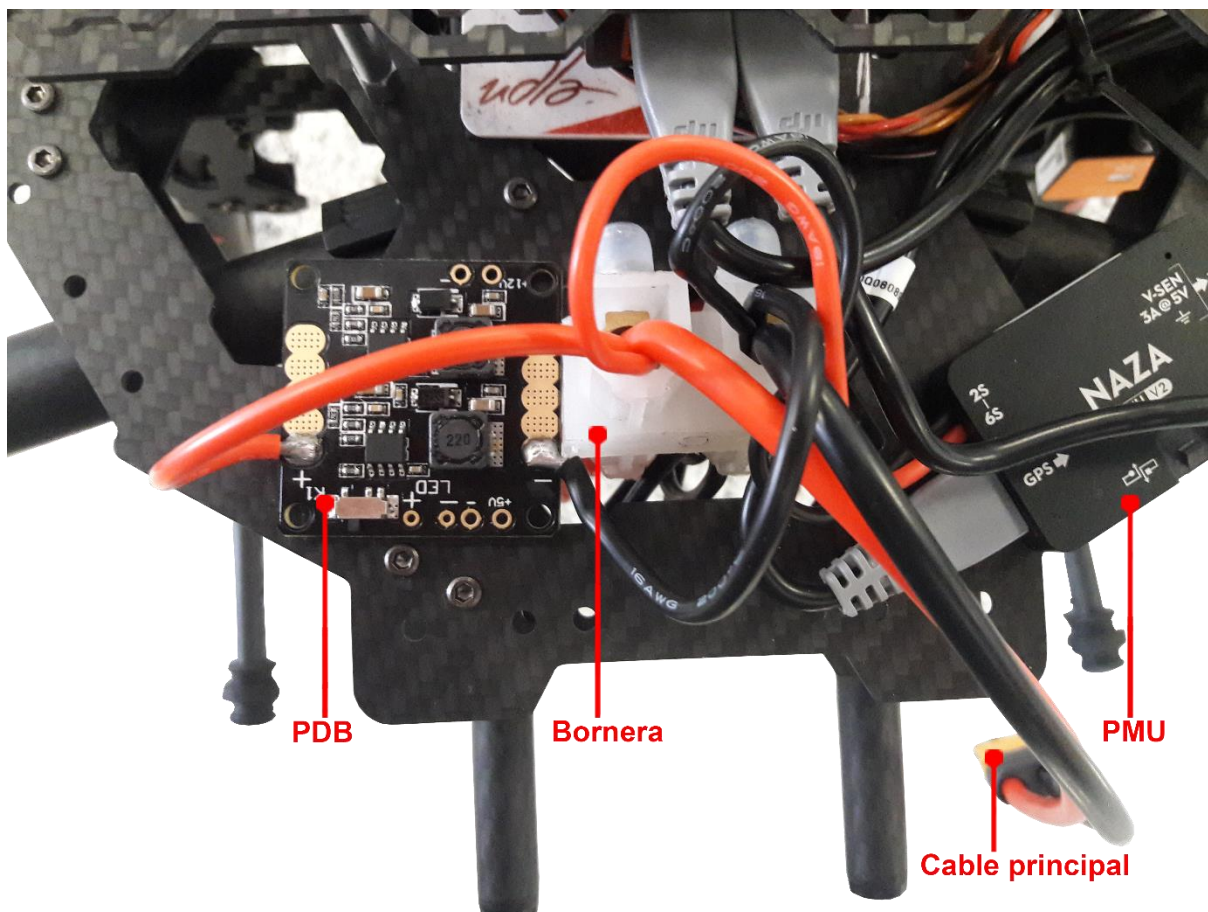


Figura 38. Resultado de fijar y conectar la etapa de potencia en el frame.

#### 2.2.4. Instalación del Kit Flight Controller

En la Figura 39 se muestra el diagrama para conectar el controlador Naza M V2. Se recomienda seguir los siguientes pasos para realizar la conexión de manera sencilla.

- a. Conectar ESC's a la Controladora
- b. Fijar la Controladora en el centro de gravedad (mitad) del dron
- c. Conectar PMU a la Controladora por el puerto EXP
- d. Fijar GPS y conectarlo al PMU
- e. Fijar LED y conectarlo a la Controladora
- f. Conectar puerto X3 de PMU a la Controladora
- g. Fijar R9D y conectarlo a la Controladora por el puerto X2 (S.BUS)
- h. Conectar cable Micro USB entre el LED y la computadora para acceder a la configuración del Flight Controller

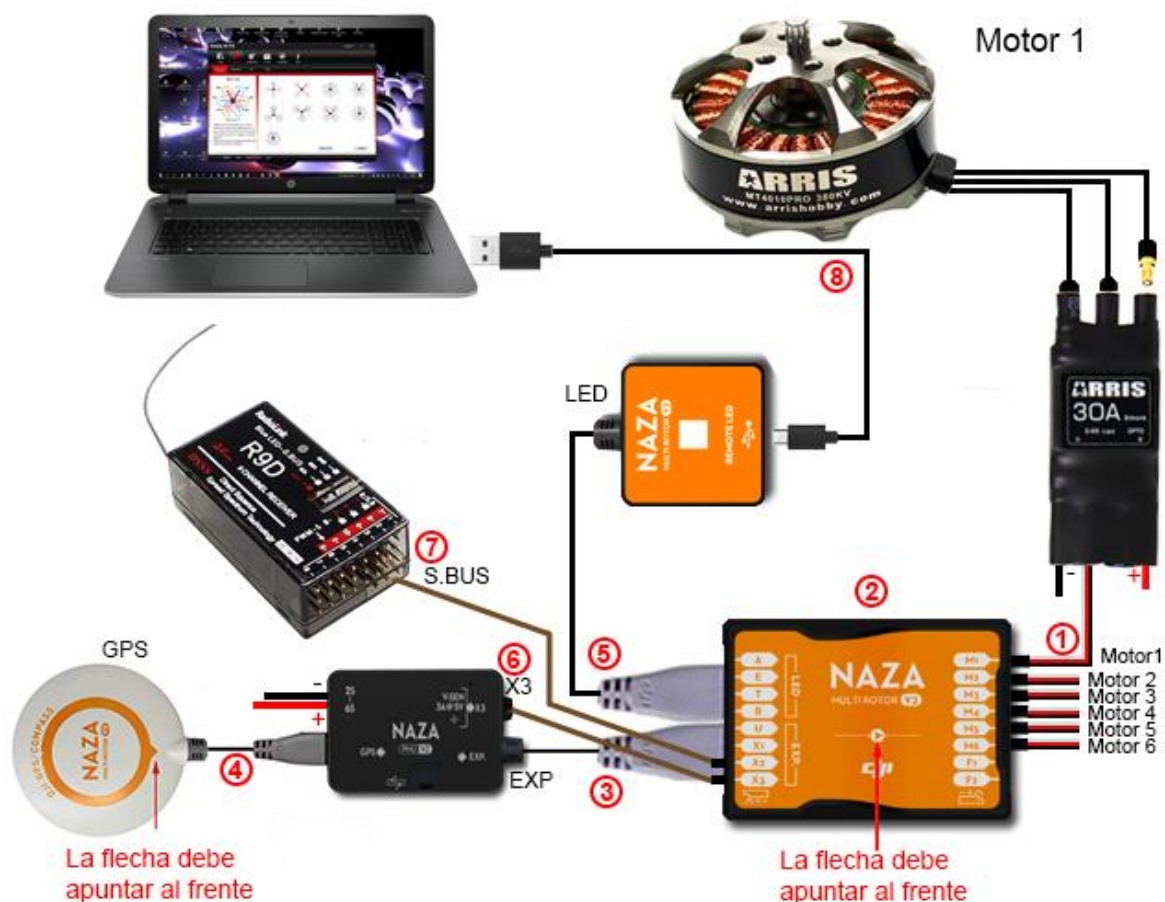


Figura 39. Diagrama de conexión de la controladora Naza M V2

El cable de señal del ESC se conecta en los puertos M1-M6 teniendo en cuenta que el motor 1 es el de la parte frontal derecha del frame.

La Controladora es fijada sobre una base de plástico para tener mejor manipulación de los cables y acercarle a la batería que, al tener más peso, es el centro de gravedad del dron.

El puerto EXP del PMU envía información del GPS a la Controladora, para esto, el GPS debe estar conectado a su puerto en el PMU.

El led se conecta al puerto inferior de la Controladora que tiene el nombre LED. El PMU también se conecta a uno de los puertos inferiores.

La receptora tiene el puerto S.BUS en la parte inferior derecha y debe estar conectada en el puerto X2 de la Controladora.

El led tiene un puerto micro USB para conectar una computadora y configurar la los parámetros de la Controladora.

Una vez conectados los elementos del Kit Naza M V2 se obtiene el siguiente resultado.



*Figura 40.* Dron con motores, ESC, etapa de potencia y kit Naza M V2 ensamblados.

#### 2.2.5. Conexión de baterías

La batería es colocada en la parte superior del dron y se la conecta con el cable principal con la terminal XT60 como se muestra en la Figura 41. Para sujetar la batería se usan tres correas de velcro con el fin de mantenerla firme durante el vuelo.



*Figura 41.* Fijación y conexión de Batería 10000mAh

### 2.2.6. Enlace entre transmisora y receptor

Para el enlace de radio frecuencia se deben cumplir de forma ordenada los siguientes pasos.

1. Encender Radio transmisora AT9.
2. Mantener pulsado el botón de enlace ubicado en la parte lateral del receptor R9D.
3. Energizar el receptor conectando máximo 10 V entre el positivo y negativo de uno de sus puertos.
4. En cuanto se vea una luz roja intermitente, dejar de aplastar el botón de enlace. El enlace estará completo una vez que el led rojo esté fijo.
5. Cambiar de protocolo PWM a S.BUS.



Figura 42. Pasos para enlazar Radio transmisora AT9 con receptora R9D.

En la Figura 43 se listan las partes de la Radio Transmisora y se muestra con color rojo los switches, sticks y potenciómetros asociados a los diferentes canales para controlar el dron.

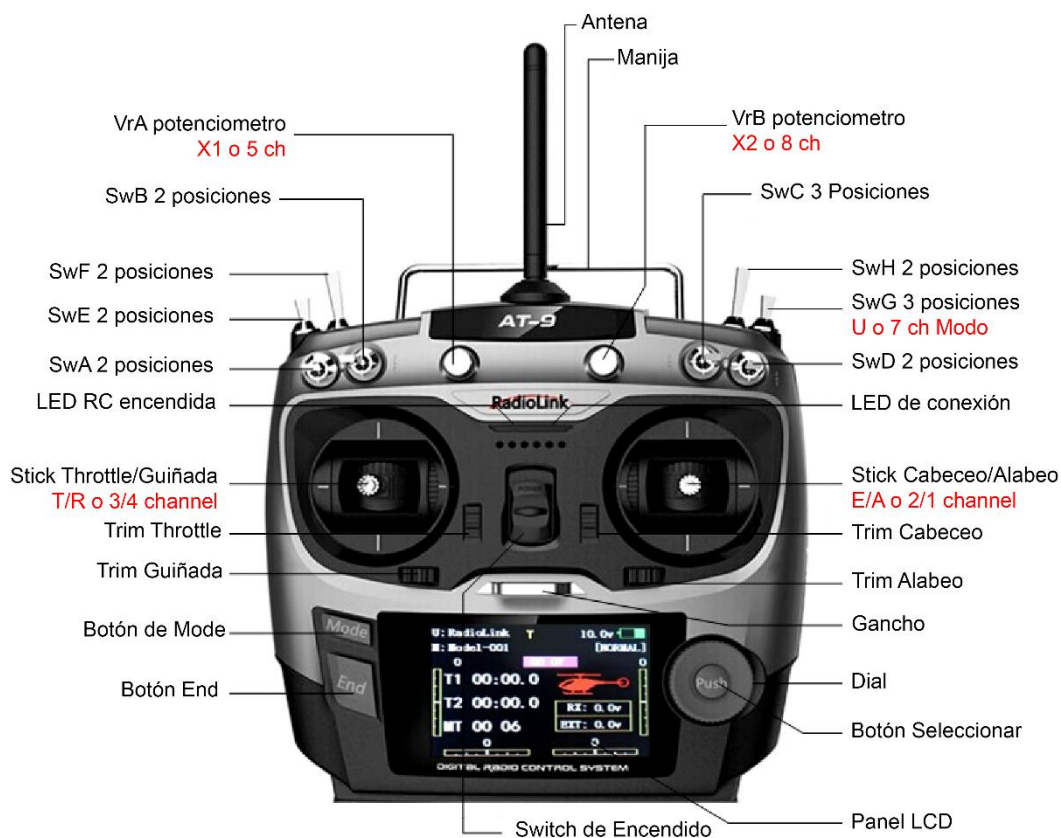


Figura 43. Botones y partes de Radio Transmisora AT9. El texto rojo indica los canales asociados a los sticks, switches y potenciómetros.

### 2.2.7. Configuración de Flight Controller

El software para configurar la Controladora Naza M V2 es “DJI NAZAM Assistant” y la versión más actual en 2017 es la 2.40.

El sistema operativo donde se instalará el software es Windows 10, el cual ha incorporado un sistema de seguridad que prohíbe la instalación de controladores (drivers) que no tienen firmas reconocidas. En el Anexo 5 se muestra los pasos a seguir para la correcta instalación del software y del driver.

Una vez que la computadora pueda comunicarse con la Controladora a través del software, se inicia con la configuración del dron.

El software “DJI NAZAM Assistant” tiene 5 botones principales, a continuación se describe el funcionamiento de cada uno y se indica las configuraciones realizadas para el FC.

### 2.2.7.1. View

Muestra el estado actual del FC:

1. Posición del GPS respecto al centro de gravedad.
2. Configuración de motores.
3. Protocolo usado en el receptor.
4. Niveles de Ganancia (precisión de movimientos).
5. Monitor de canales que se actualizan en tiempo real si existe algún movimiento. en las palancas de la Radio transmisora.
6. Método para apagar motores.
7. Acción en caso de pérdida de señal entre dron y piloto.
8. El eje que toma el dron para orientarse.
9. Uso de gimbal.
10. Parámetros de voltaje.

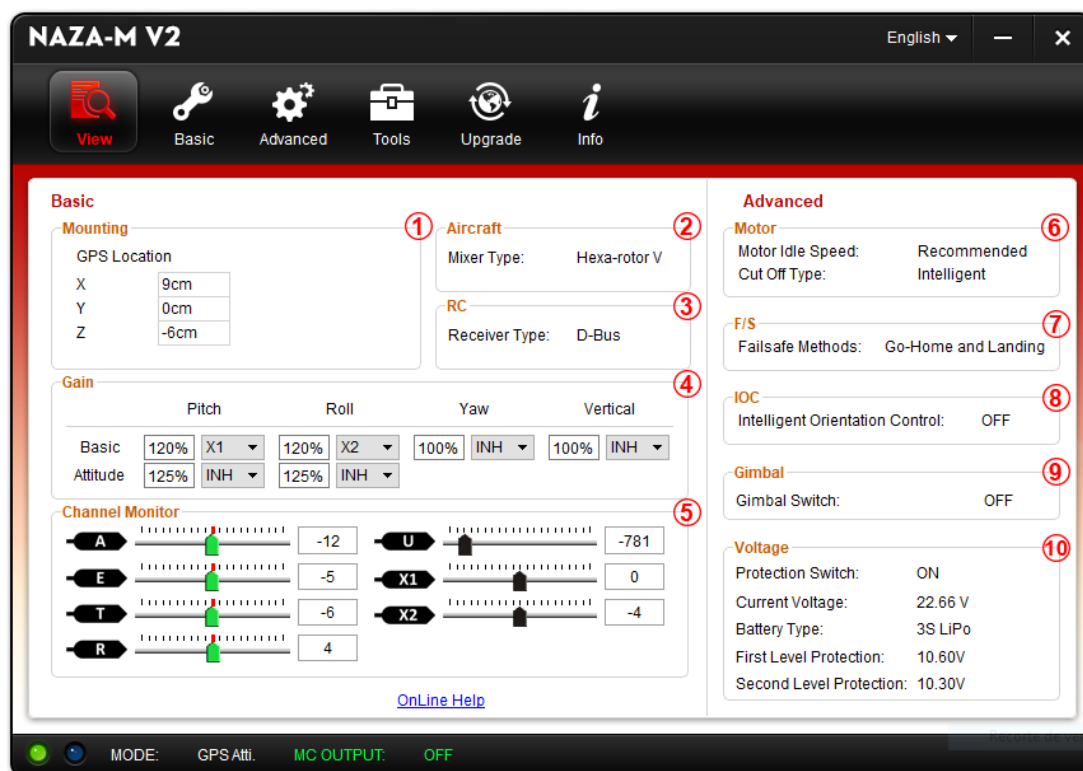


Figura 44. Software de configuración DJI NAZAM Assistant\_2.40. Vista principal.

A continuación se presenta la configuración del FC de forma teórica y en el Anexo 6 se muestran las ventanas configuradas con el fin de facilitar la comprensión del documento.

#### 2.2.7.2. Basic

La vista de configuración básica presenta varias pestañas que tienen las siguientes funciones.

1. Aircraft: configuración y giro de motores.
  - a. Se establece el tipo de configuración de motores para un hexacóptero.
  - b. Esta pestaña permite comprobar que el giro de cada motor es correcto. Teniendo en cuenta que los motores impares giran en sentido anti horario mientras que los motores pares giran en sentido horario.
2. Mounting: indica la posición de FC y GPS.
  - a. Da indicaciones claras de que el FC debe estar en el centro de gravedad del dron.
  - b. Indica que la flecha en el FC debe apuntar al frente del dron.
  - c. En las tres casillas se escribe la posición en centímetros del GPS con respecto al centro de gravedad. El GPS se encuentra a 9 cm en el eje X y -6 cm en el eje Z.
3. RC: enlace de comunicación entre radio transmisora y receptora
  - a. Se selecciona D.BUS como protocolo de comunicación.
  - b. Permite ajustar los límites de los canales acorde la transmisora utilizada. Para calibrar los sticks se presiona el botón start y se mueven los sticks principales en todas direcciones. Cuando la calibración haya terminado, los indicadores verdes deben quedar en el centro.
  - c. Permite configurar los modos de vuelo entre atti (semiautomático), manual y failsafe (perdida de señal)
4. Gain: Ajusta la precisión de los movimientos. Basic Gain es la respuesta que tiene el dron a las ordenes enviadas por la RT, ganancias altas hace

el movimiento más brusco mientras que ganancias bajas produce un retardo en los movimientos. Attitude es la respuesta automática que tiene la placa para estabilizarse, Attitude bajo, el dron tarda en estabilizarse y Atti alto hace que el dron se estabilice de forma brusca y con balanceos. La configuración de ganancias cambian de un dron a otro y dependen de factores como: tipo de multirotor, motores utilizados, hélices, tipo de vuelo y gustos del piloto.

- a. Pitch: movimiento hacia el frente, 135 % de ganancia básica y 140% en attitude.
- b. Roll: movimiento lateral, 135% de ganancia básica y 140 % en attitude.
- c. Yaw: movimiento en su propio eje, 125% de ganancia.
- d. Vertical: ascenso y descenso, 140 % de ganancia.
- e. Se les puede asignar a los canales X1 y X2 para configurar la ganancia de forma remota en pleno vuelo.
- f. La velocidad angular se queda por defecto en 150.

#### 2.2.7.3. Advanced

Entre los parámetros avanzados que se puede modificar están:

1. Motores:
  - a. permite seleccionar la velocidad con la que se inician los motores antes de despegar. Se elige la velocidad recomendada.
  - b. Se puede seleccionar entre dos formas de cortar la corriente del motor; inmediatamente y de forma inteligente. Se elige la forma inteligente
2. Fail Settings: en esta ventana se indica que acción se tomará después de perder el control del dron. La acción elegida es regresar al punto de partida.
3. Intelligent Orientation Control: indica el eje de coordenadas por el cual se desplazará el dron.
  - a. El eje del punto de despegue.
  - b. El eje basado en el curso del dron.



- c. Para controlar que eje el dron se utiliza el canal X2.
4. Gimbal: en caso de tener una configuración gimbal-cámara se puede configurar los límites de giro, ganancias y velocidad.
5. H3/4-3D: permite modificar opciones avanzadas del gimbal y FVP.
6. Voltaje: Usado para presentar alertas de voltaje.
  - a. Primera advertencia cuando la batería este a 23.10 V.
  - b. Segunda advertencia cuando la batería este a 22.2 V.
7. Limits: permite establecer el límite de altura y radio. Se establece una altura y radio de 200 m.

#### 2.2.7.4. Tools

- a. Indica los ángulos de medidos por el giroscopio, acelerómetro y compás.
- b. permite calibrar los sensores en caso de algún fallo.
- c. permite guardar e importar los parámetros configurados.

#### 2.2.7.5. Upgrade

Se muestran actualizaciones del firmware del controlador

#### 2.2.7.6. Info

Muestra el usuario que ha iniciado sesión, la versión del software y licencias del producto.

#### 2.2.7.7. Calibración de la brújula

El proceso de calibración debe hacerse una vez antes del primer vuelo. Es una configuración física que consta de los siguientes pasos:

1. Encender la aeronave y la transmisora
2. Mover el switch de modo entre GPS, Atti y Manual por más de 5 veces. Cuando el led esté contantemente en amarillo significa que la aeronave esta en modo calibración.
3. Sostener la aeronave en posición horizontal como se observa en la Figura 45a y girarla, sobre un eje vertical, 360 grados hasta que el led este constantemente verde.

4. Sostener la aeronave en posición vertical como se observa en la Figura 45b y girarla 360 grados hasta que el led se apague.
5. Si la calibración se ha realizado correctamente, la aeronave saldrá automáticamente del modo calibración. Si el led es rojo intermitente indica que la calibración ha fallado. La calibración puede interrumpirse en cualquier momento si se mueve el switch de modo.

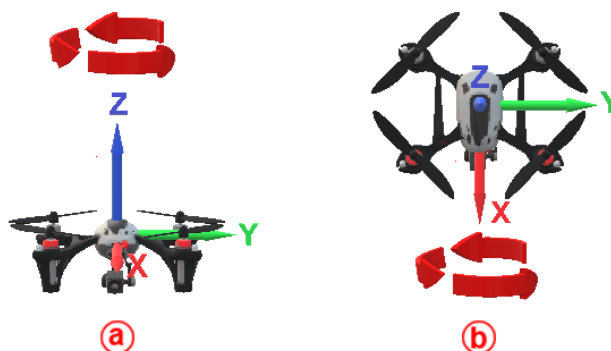


Figura 45. Proceso de calibración. Calibración horizontal (a), Calibración vertical (b).

#### 2.2.8. Instalación de hélices

Como se menciona en la configuración del flight controller los motores pares deben girar en sentido anti horario y los motores impares giran en sentido horario. Para la correcta colocación de las hélices se debe fijar en la caída que tiene. La parte más alta y con mayor grosor debe estar en dirección al movimiento como se muestra en la Figura 46.

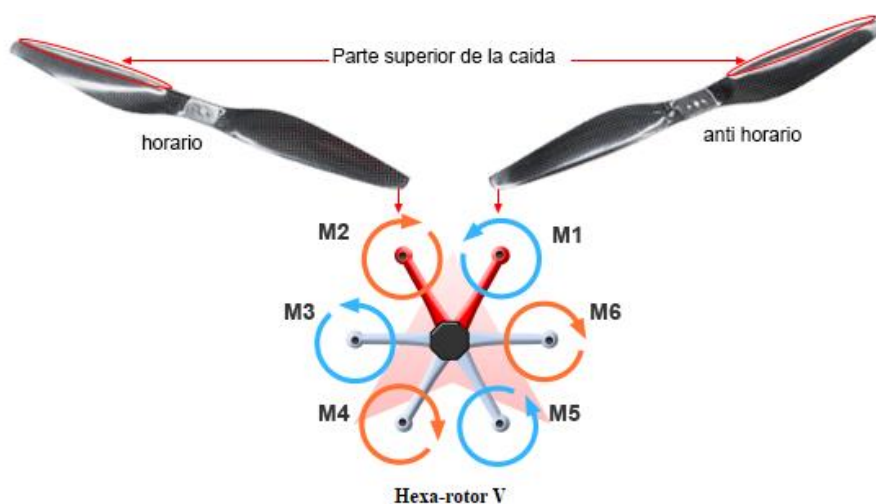


Figura 46. Diagrama para instalar la hélice correcta en el motor. Las hélices se ajustan con dos tornillos que se los ponen sobre una base metálica del motor.

El resultado al instalar todas las hélices al hexacóptero es el siguiente.



*Figura 47.* Hélices conectadas al dron. Prototipo final armado. Autora: Joselin Guevara.

### 3. PRUEBAS Y RESULTADOS

Después de haber calibrado el dron, se procede con la prueba de vuelo inicial. Todas las pruebas se realizan en modo GPS para tener un mejor control de la aeronave.

El campo de pruebas está en la UDLA ubicado en la calle Queri, Quito, Ecuador. Este campo tiene un desnivel promedio de 7.9°C. Con respecto a la altura, las pruebas son realizadas a una altura máxima de 6 metros por motivos de seguridad y los resultados que se buscan son estabilidad y tiempo de vuelo de mínimo 10 minutos con una carga útil de 1.3 Kg.

Para las pruebas de vuelo se utiliza el “Protocolo de Pruebas” elaborado por Dávila y Orna en su tesis “Diseño, Construcción y control de un hexacóptero de monitoreo”:

### **Prueba inicial de vuelo.**

Para verificar que el dron puede despegar y estabilizarse en el aire se realizan las siguientes actividades:

1. Buscar un punto en el lugar de pruebas que permita el despegue del dron.
2. Comprobar que la señal emitida por la radio transmisora sea recibida por el receptor en el dron.
3. Suministrar potencia progresivamente (0-8%) hasta que el dron venza la inercia inicial y se eleve unos pocos cm del suelo.
4. Aumentar la potencia suministrada (10-15%) a los motores hasta lograr que el dron despegue del suelo y se eleve hasta 2 o 3 metros.
5. Verificar la estabilidad del equipo por un minuto a esta altura.
6. Aumentar la potencia suministrada (20-50%) para elevar la aeronave verticalmente hasta una altura de 10 a 200 m.
7. Maniobrar la aeronave a esa altura probando movimiento lateral, frontal y posterior.
8. Disminuir la potencia suministrada a los motores (25-15%) para que la aeronave descienda verticalmente lentamente hasta una altura de 4 metros.
9. Disminuir la potencia adecuada a los motores (15-5%) hasta asegurar que el quipo aterrice de forma segura y equilibrada.
10. Apagar el suministro de energía.
11. Terminar la prueba de vuelo.

### **Objetivo**

- Comprobar la estabilidad del dron con la configuración realizada.

### **Personas a cargo de la Prueba:**

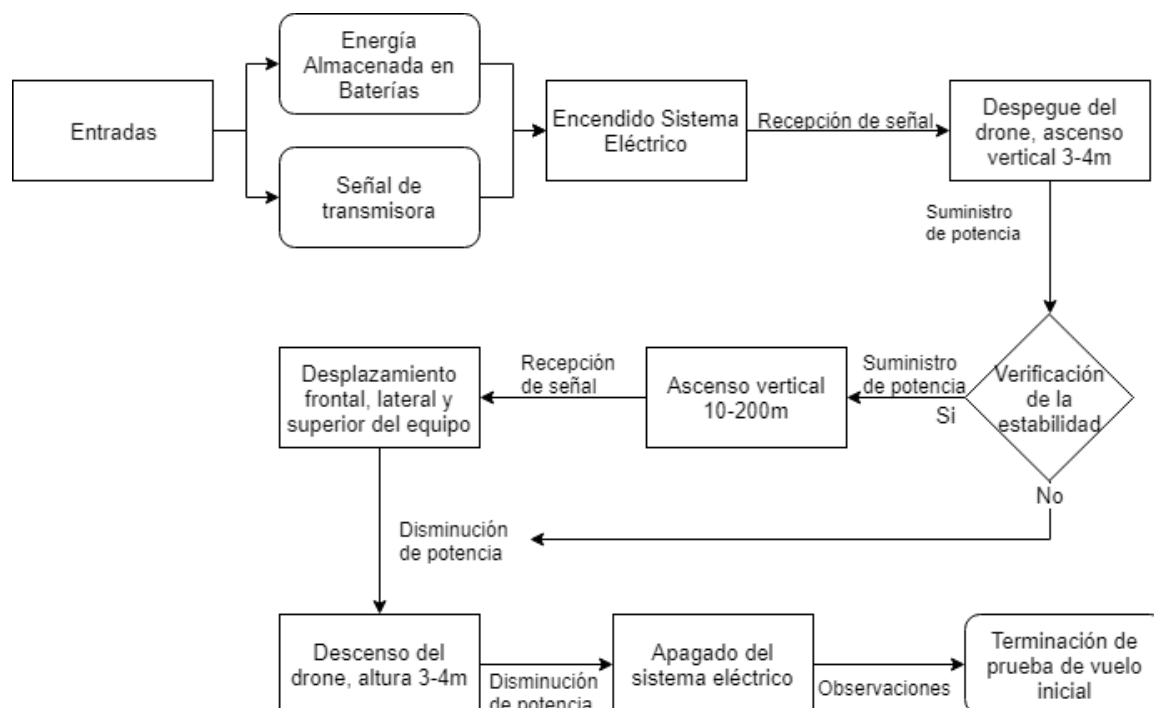
- David Pozo
- Angel Guevara

### **Entradas:**

- Energía almacenada en baterías
- Señal emitida por el transmisor

Salidas:

- Ascenso y descenso del dron
- Desplazamiento, frontal, lateral y superior del equipo



*Figura 48* Protocolo de Pruebas utilizado para verificar el vuelo y estabilidad del dron sin carga útil.  
Adaptado de Dávila y Orna, 2017.

Primer intento

El despegue se lo realiza en un punto con inclinación de  $6.3^{\circ}$ .



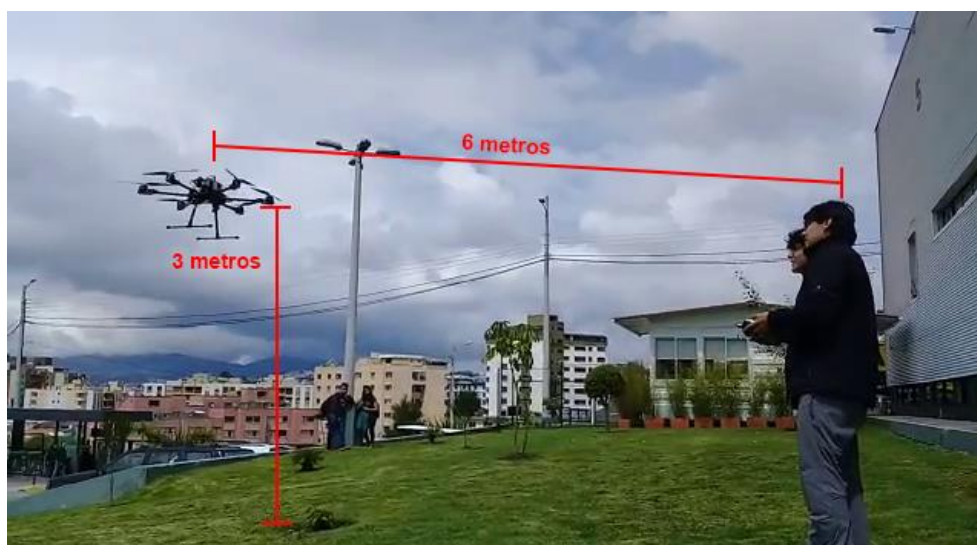
*Figura 49.* Terreno de pruebas, punto de despegue con  $6.3^{\circ}$  de inclinación.

## Observaciones

- El dron pierde el equilibrio debido a que la parte trasera recibe mayor empuje que la parte delantera por el desnivel.
- Se concluye que el tren de aterrizaje del dron es muy corto para hacer despegues en terrenos con 6 o más grados de inclinación.
- Los objetivos no fueron alcanzados en esta prueba.

## Segundo intento

Se buscó el lugar más plano en el área de pruebas para el despegue y aterrizaje. El lugar más plano tiene una inclinación de  $0.5^{\circ}$ .



*Figura 50.* Segundo vuelo a una altura de máximo 3 m y radio de 6 m.

## Observaciones

- El dron logra despegar y se lo prueba a una altura no mayor de 3 metros por medidas de seguridad.
- Los movimientos son muy bruscos lo que indica que los valores de la ganancia configurados están altos.
- Los objetivos no fueron alcanzados en este vuelo.

### Tercer intento

Se reduce el porcentaje de las ganancias con el fin de tener un control más suave. Los nuevos valores se muestran en la Figura 50. Se le asigna el canal X1 al movimiento Pitch y X2 al movimiento Roll para poder configurar las ganancias en tiempo real.

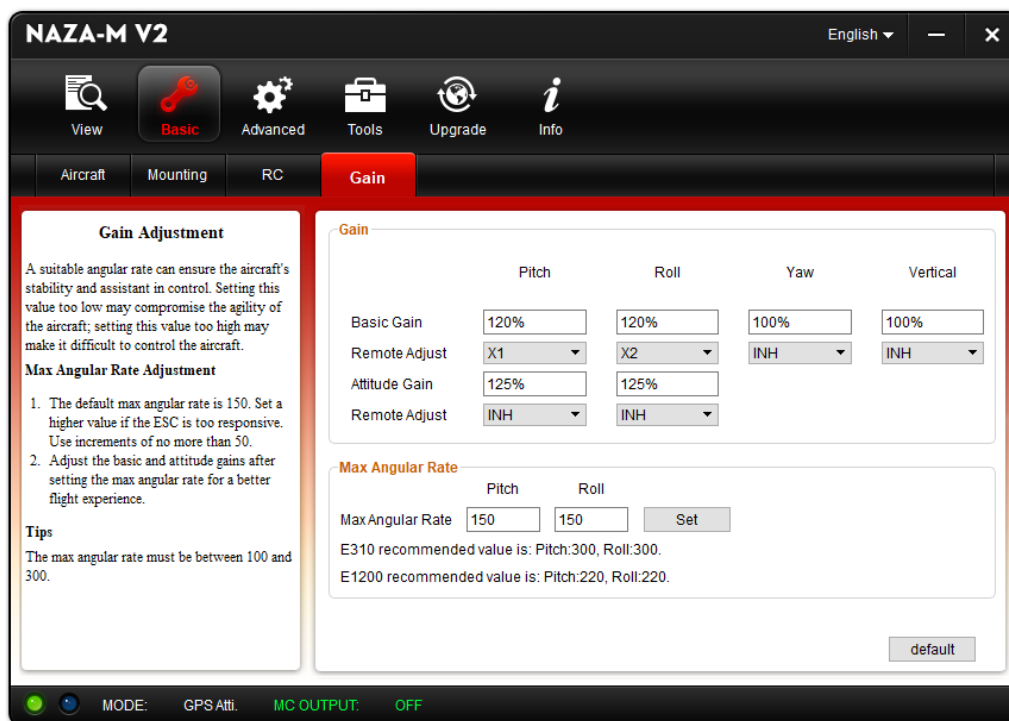


Figura 51. Reconfiguración de ganancias.



Figura 52. Vuelo hasta 6m de altura.

## Observaciones

- En el tercer intento el control es más preciso.
- Se lo eleva a alturas de hasta 6 metros y tiene una autonomía de 19.26 minutos sin carga útil.
- El dron cumple con los objetivos de la prueba de vuelo inicial.
- El dron está listo para realizar la prueba de levantamiento de carga.

## Prueba de vuelo con 1.3 Kg de carga útil.

Para realizar la prueba de levantamiento de 1.3 Kg de carga útil, se utiliza una caja que en su interior contiene arena húmeda. En la Figura 52 se muestra el peso de la caja llena de arena. Para fijar la carga al dron se utiliza tres correas de velcro sujetadas a las barras para cargas del frame.



*Figura 53.* Caja metálica con arena mojada en su interior.

El peso real de la aeronave es de 3.108 Kg sin la carga útil.



*Figura 54.* Peso total de la aeronave sin carga útil. Peso = 3.108 Kg



Incluyendo la carga útil y las correas de velcro, el peso aumenta a 4.424 Kg.



*Figura 55.* Peso del dron incluida la carga útil de 1.3 Kg y correas de velcro. Peso = 4.424 Kg.

Para las pruebas de vuelo se utiliza el “Protocolo de Pruebas” elaborado por Dávila y Orna en su tesis “Diseño, Construcción y control de un hexacóptero de monitoreo”, en el que están las siguientes actividades:

#### Actividades

Para verificar el correcto funcionamiento del dron con una carga útil de 1.3 Kg se realiza las siguientes actividades.

1. Colocar la carga fijamente a la estructura mecánica de forma equilibrada.
2. Comprobar que la señal emitida por la radio transmisora sea recibida por el receptor en el dron.
3. Suministrar potencia progresivamente (0-8%) hasta que el dron venza la inercia inicial y se eleve unos pocos cm del suelo.
4. Aumentar la potencia suministrada (10-15%) a los motores hasta lograr que el dron despegue del suelo y se eleve hasta 2 o 3 metros.
5. Verificar la estabilidad del equipo por un minuto a esta altura.
6. Aumentar la potencia suministrada (20-50%) para elevar la aeronave verticalmente hasta una altura 10 a 200 m.

7. Maniobrar la aeronave a esa altura probando movimiento lateral, frontal y posterior.
8. Medir el tiempo de vuelo de la aeronave con una carga útil constante de 1.3 Kg.
9. Disminuir la potencia suministrada a los motores (25-15%) para que la aeronave descienda verticalmente lentamente hasta una altura de 4 metros.
10. Disminuir la potencia adecuada a los motores (15-5%) hasta asegurar que el equipo aterrice de forma segura y equilibrada.
11. Apagar el suministro de energía.
12. Terminar la prueba de vuelo.

Prueba de vuelo con 1.3 Kg de carga útil.

Objetivo

- Comprobar la estabilidad con carga de 1.3 Kg.
- Medir la autonomía del dron con 1.3 Kg de carga.

Personas a cargo de la Prueba:

- David Pozo
- Angel Guevara

Entradas:

- Energía almacenada en baterías
- Señal emitida por el transmisor
- Carga útil de 1.3 Kg

Salidas:

- Ascenso y descenso del dron
- Desplazamiento, frontal, lateral y superior del equipo
- Tiempo de vuelo del equipo tomando en cuenta 1.3 Kg de carga útil.

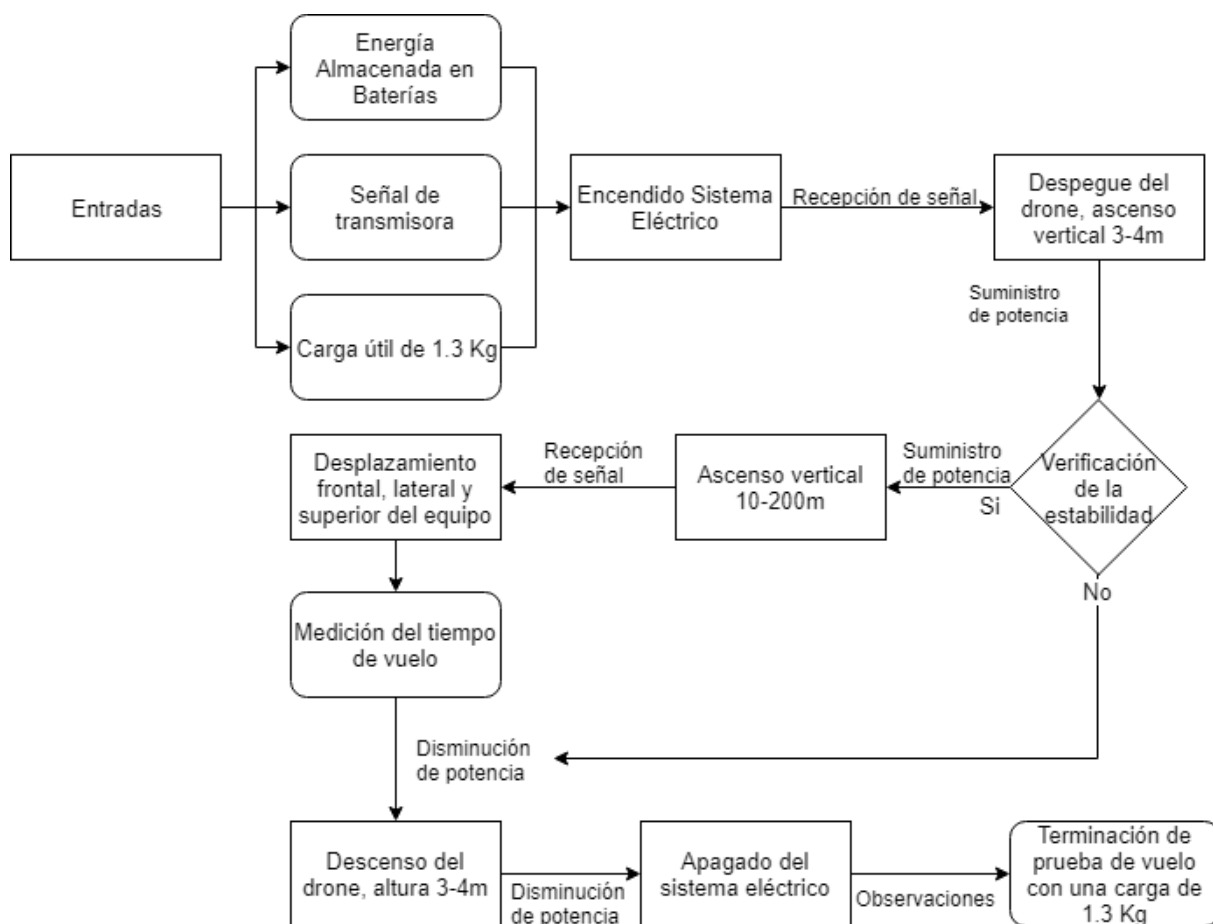


Figura 56. Protocolo de Pruebas utilizado para obtener el tiempo de autonomía del dron con una carga útil de 1.3 Kg. Adaptado de Dávila y Orna, 2017.

### Observaciones

- El dron tiene buena estabilidad y responde correctamente a las órdenes del piloto.
- El tiempo de vuelo llega a los 16 minutos a una altura de 6 metros aproximadamente.
- La corriente descargada en el tiempo de vuelo es del 84 %, es decir, 8400 mA de una batería de 10000 mAh. Esto es porque se debe reservar por lo menos el 15% de corriente para proteger la vida útil de la batería.
- El consumo del dron es:
 
$$\text{Consumo} = \frac{(10[A] * 84\%) * (60[\text{min}] * 84\%)}{16[\text{min}]} = 26.46[A]$$
- El multirotor trabaja en todo el tiempo a un promedio de 50% de throttle.

### Prueba de vuelo con 1.5 Kg de carga útil.

Para realizar la prueba de levantamiento de 1.5 Kg de carga útil, se utiliza una caja más grande que en su interior contiene elementos metálicos. En la Figura 53 se muestra el peso de la caja. Para fijar la carga al dron se utiliza tres correas de velcro sujetadas a las barras para cargas del frame.



Figura 57. Caja metálica con arena mojada en su interior, 1.5 Kg.

El peso real de la aeronave es de 3.108 Kg sin la carga útil.

### Actividades

Para verificar el correcto funcionamiento del dron con una carga útil de 1.5 Kg se realiza las siguientes actividades.

1. Colocar la carga fijamente a la estructura mecánica de forma equilibrada.
  - Comprobar que la señal emitida por la radio transmisora sea recibida por el receptor en el dron.
  - Suministrar potencia progresivamente (0-8%) hasta que el dron venza la inercia inicial y se eleve unos pocos cm del suelo.
  - Aumentar la potencia suministrada (10-15%) a los motores hasta lograr que el dron despegue del suelo y se eleve hasta 2 o 3 metros.
  - Verificar la estabilidad del equipo por un minuto a esta altura.

- Aumentar la potencia suministrada (20-50%) para elevar la aeronave verticalmente hasta una altura 10 a 200 m.
- Maniobrar la aeronave a esa altura probando movimiento lateral, frontal y posterior.
- Medir el tiempo de vuelo de la aeronave con una carga útil constante de 1.5 Kg.
- Disminuir la potencia suministrada a los motores (25-15%) para que la aeronave descienda verticalmente lentamente hasta una altura de 4 metros.
- Disminuir la potencia adecuada a los motores (15-5%) hasta asegurar que el quipo aterrice de forma segura y equilibrada.
- Apagar el suministro de energía.
- Terminar la prueba de vuelo.

Prueba de vuelo con 1.5 Kg de carga útil.

Objetivo

- Comprobar la estabilidad con carga de 1.5 Kg.
- Medir la autonomía del dron con 1.5 Kg de carga.

Personas a cargo de la Prueba:

- David Pozo
- Angel Guevara

Entradas:

- Energía almacenada en baterías
- Señal emitida por el transmisor
- Carga útil de 1.5 Kg

Salidas:

- Ascenso y descenso del dron
- Desplazamiento, frontal, lateral y superior del equipo

- Tiempo de vuelo del equipo tomando en cuenta 1.5 Kg de carga útil.

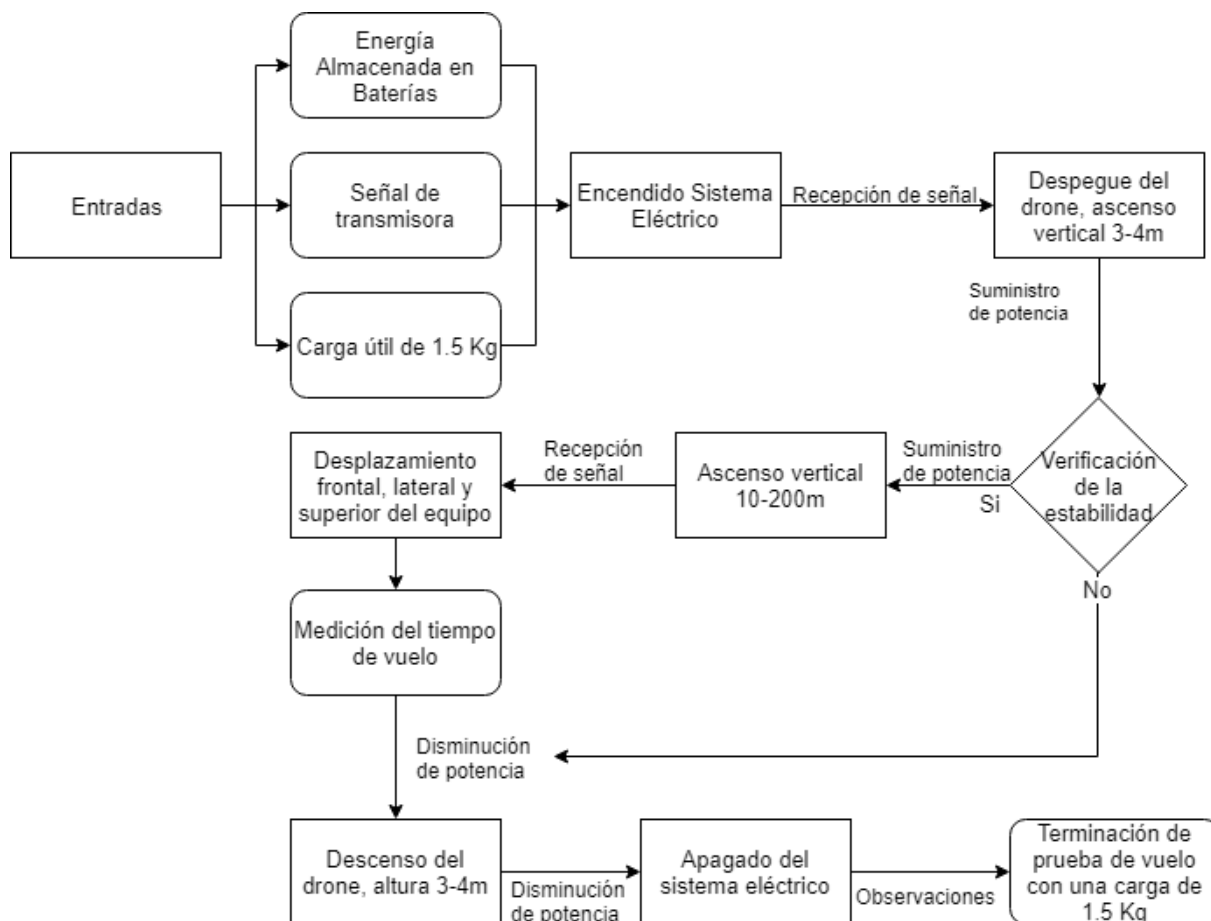


Figura 58. Protocolo de Pruebas utilizado para obtener el tiempo de autonomía del dron con una carga útil de 1.5 Kg.  
Adaptado de Dávila y Orna, 2017.

#### Observaciones

- El dron presenta baja estabilidad pero es controlable, se recomienda utilizar X1 y X2 para modificar las ganancias en tiempo real para asegurar la estabilidad.
- El tiempo de vuelo llega a los 11.30 minutos a una altura de 6 metros aproximadamente.
- La corriente descargada en el tiempo de vuelo es del 76 %.
- El consumo del dron es:

$$\text{Consumo} = \frac{(10[A] * 76\%) * (60[\text{min}] * 76\%)}{16[\text{min}]} = 21.66[A]$$

- El multirotor trabaja en todo el tiempo a un promedio de 50% de throttle.

## Resultados

En la Tabla 18 se presenta un resumen de los resultados de las pruebas realizadas.

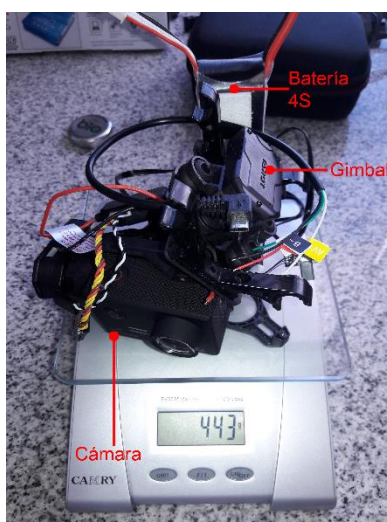
Tabla 18.

*Resultado de tiempo de vuelo con diferentes cargas.*

Prueba	Carga útil [Kg]	Autonomía [min]	Corriente consumida [A]
Vuelo inicial	0	19.26	24
Prueba con 1.3 Kg	1.3	16	26.46
Prueba con 1.5 Kg	1.5	11.3	21.66

Como se puede ver en la Tabla 18, la autonomía disminuye a medida que se aumenta la carga útil, la autonomía varía de acuerdo al consumo de la batería, en el vuelo inicial se consumió solamente el 80% de la batería y en el vuelo con 1.5 Kg se utilizó el 76% de la batería. El viento también influye significativamente en la autonomía ya que los motores utilizan más potencia para poder estabilizarse.

Un sistema de grabación con cámaras tipo GoPro tiene un peso de 443 g incluyendo una batería adicional de 4S para alimentar los motores del gimbal como se puede ver en la Figura 59.



*Figura 59. Peso de cámara tipo GoPro con gimbal y batería 4S.*

A continuación se realiza una comparación entre los cálculos empíricos, teóricos y la realidad con la carga establecida al inicio del proyecto de 1.3 Kg.

### Datos reales

- Peso real: 4.424 Kg.
- Empuje 50% throttle (4424/6): 737.33 g
- Consumo de la aeronave: 8,4 A
- Autonomía con una batería de 1000 mAh: 16 min

En la Tabla 19 se muestran los errores de los cálculos realizados comparados con la realidad.

Tabla 19.

*Error de los cálculos comparados a la realidad.*

Comparación	Cálculo Empírico	Cálculo Teórico	Realidad	Error Empírico-Realidad	Error Teórico-Realidad
Peso de la aeronave [g]	4620	4224	4424	4%	5%
Empuje 50% throttle [g]	770	704	737	4%	4%
Consumo de la aeronave [Ah]	30.62	28.64	26.46	16%	8%
Autonomía [min] con batería de 10 Ah	20	20.95	16	25%	31%

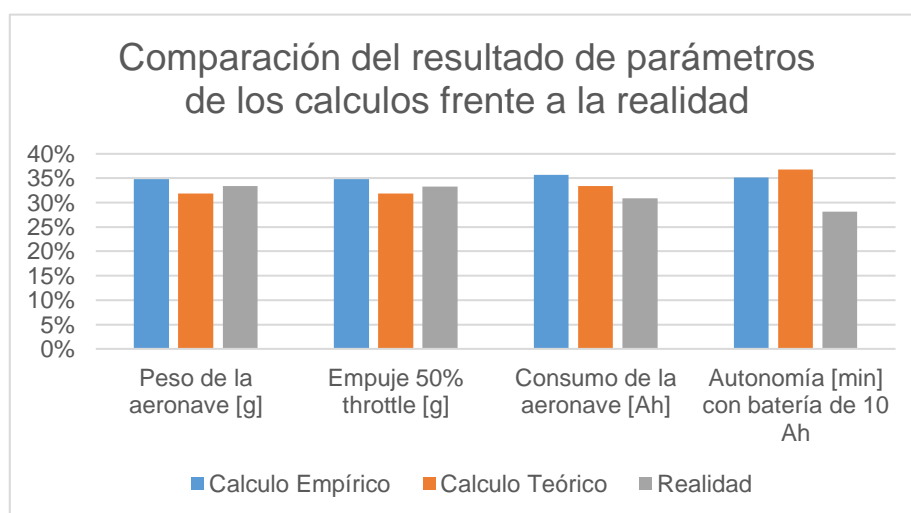


Figura 60. Gráfica comparativa de parámetros calculados con los resultados reales.

Como se puede observar en la Figura 56. El peso en el cálculo empírico es mayor por el método escogido para definir el peso de cada elemento. El cálculo teórico indica un peso mucho menor al de la realidad con una diferencia de 200



g que por los cálculos de error se determina como aceptable al tener un error no mayor al 5%.

El empuje también tiene resultados muy ajustados al de la realidad, el empuje real es un promedio entre los empujes de los cálculos empírico y teórico.

El consumo de la aeronave en los cálculos se acerca mucho a la realidad por lo que se llega a la conclusión de que una buena forma de seleccionar especialmente motores, que son los que tienen más consumo, es guiarse de las tablas de pruebas hechas por los fabricantes.

La autonomía no tiene buenos resultados en cuanto a predicción usando los métodos empíricos ni teóricos. Esto es porque no se ha considerado que la batería debe tener un respaldo de energía, es decir, no se debe descargar la batería al 0% para mantener su vida útil. Se deben considerar estos aspectos desde el principio de diseño y se recomienda hacer los cálculos con el doble de tiempo requerido como se muestra en este documento.

Adicionalmente a los cálculos realizados se puede utilizar una calculadora en línea llamada eCalc, diseñada especialmente para determinar si una configuración de multicoptero puede despegar o no. Esta aplicación permite conocer el tiempo de vuelo, corriente consumida, carga máxima, entre otros parámetros. La simulación con la configuración real del prototipo no pudo ser realizada en esta aplicación porque no cuenta todavía con información de los motores instalados, sin embargo, se hacen logra hacer la simulación con el motor Tarot 4008 380Kv que como se determina en el capítulo de selección, también cumple con las características necesarias para cumplir los objetivos planteados en este documento. Los datos ingresados en eCalc son los siguientes:

- Peso del dron: 4424 g
- Número de rotores: 6
- Tamaño del frame: 680 mm
- Altura del campo: 2850 msnm (Quito)
- Batería: LiPo 10000 mAh – 25/35C

- Configuración: 6S1P
- Descarga máxima: 85%
- ESC: max 30 A
- Motor: Tarot 4008/380Kv (similares características a motor Arris 4010 380Kv)
- Hélice: APC Multirotor MR
- Diámetro hélice: 13 inch
- Paso hélice: 5.5 inch

Los resultados se muestran en la Figura 58.

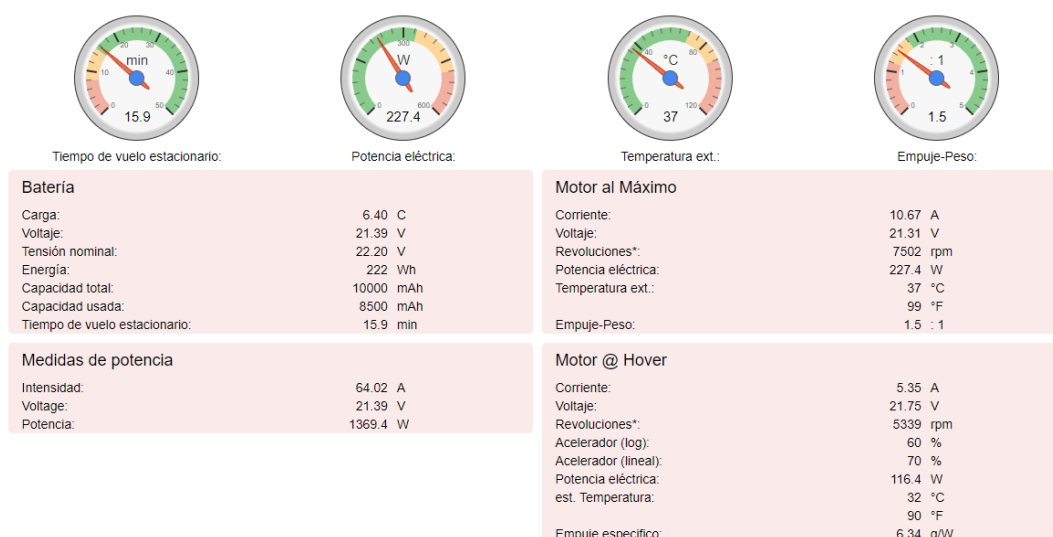


Figura 61. Simulación de eCalc a la configuración frame 680 con motres Tarot 4008 380Kv.

Como se puede ver eCalc es una herramienta muy precisa, esto se puede ver en la autonomía en estacionario de 15.9 minutos, con unos motores de similares características al del prototipo implementado y con datos reales. Otros resultados mostrados en la imagen, son:

- Tiempo de vuelo estacionario: 15.9 min
- Corriente máxima consumida: 10.67A
- Corriente en modo hover: 5.35A
- Revoluciones: 5339 rpm
- Temperatura: 32°C
- Empuje: 6.34 g/W

En el Anexo 7 se muestra los datos ingresados para obtener estos resultados.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

Se construyó un multicoptero de 6 hélices que cumple los objetivos planteados al inicio del presente proyecto, para esto, se analizó e interpretó conceptos teóricos y técnicos relacionados al mundo del aeromodelismo los cuales fueron plasmaos en la construcción de un prototipo capaz de levantar una cantidad de peso especificado por el piloto.

Los principales elementos para la construcción de un dron de carga son las baterías y los motores, esto debido a que se requiere un alto consumo de corriente y a su vez gran autonomía.

Entre los parámetros que se deben tener en cuenta para seleccionar cada elemento de un dron orientado a aplicaciones de carga son: 1) Frame: material de construcción, el tamaño, peso y precio. 2) Hélices: dimensiones, material y precio. 3) Motores: KV, empuje, consumo y precio. 4) ESC: índice de corriente, protocolos, voltaje y precio. 5) FC: Aplicación, Personalización, Sensores, Voltaje, Firmware, CPU y precio. 6) Radio transmisora: alcance, número de canales, protocolo de comunicaciones del receptor y precio. 7) Baterías: Voltaje, Dimensiones, peso, capacidad y tasa de descarga. Adicionalmente en cada elemento seleccionado se debe considerar el precio.

El tamaño del frame es directamente proporcional al empuje, mientras más grande sea el frame permite mayor diámetro de hélices y, con los motores adecuados, se produce más empuje.

Existen FC y versiones ESC que no son compatibles por los protocolos de comunicación, este es el motivo para "flashear" los ESC, que consiste en subir o bajar la versión del firmware para que sea compatible determinado FC. Existen dos firmwares: BLHeli y Simonk siendo los primeros los más fáciles de configurar. En el prototipo no se requirió configurar los ESC debido a que la controladora soporta varios protocolos de comunicación.

Naza M V2 es una controladora de vuelo fácil de instalar y configurar. Al utilizarlo con un hexacóptero se obtiene buena estabilidad y control en aplicaciones de carga.

Las Radio transmisoras son compatibles con receptoras de la misma marca, sin embargo, hay transmisoras que tienen protocolos de comunicación universales que les permite integrarse con otras marcas.

Una celda solo puede llegar a tener 3 V como mínimo, si se usa a ese voltaje se corre el riesgo de dañar permanentemente la celda. Para asegurarse de que no baje del voltaje máximo, se usa “testers” o medidores de voltaje en cada celda, estos dispositivos envían una alerta sonora que indican al piloto que hay batería baja.

Para que un dron sea integrado a una aplicación debe contar con instrumentación adicional como cámaras, sensores, transmisores, etc. Esta es una razón por la cual es necesario saber cómo dimensionar un dron capaz de levantar carga útil adicional a su peso.

Los FC de software libre requieren que el piloto o configurador tenga conocimientos básicos de programación, además de que tienen más parámetros configurables que un FC comercial que si no son bien configurados pueden hacer que el dron tenga un mal desempeño.

La calibración del compás debe hacerse siempre y cuando se tenga conectado el GPS y en campo abierto, libre de interferencias electromagnéticas.

Gracias al proyecto elaborado se concluye que ensamblar un dron es mucho más económico que comprar uno ensamblado, se pidieron proformas en el que un dron de estas características llega a costar más de \$3000 mientras que la implementación del prototipo completo no sobrepasa los \$1500, en conclusión ensamblar un dron cuesta la mitad de lo que cuesta comprar uno armado con similares características.

Los datasheets de los elementos contienen pruebas realizadas a nivel del mar, se debe considerar esto al momento de realizar los cálculos a diferentes alturas. A mayor altura el aire se vuelve menos denso por lo que el dron necesita más potencia para mantenerse en el aire. Ecuador está a 2850 sobre el nivel del mar lo que influye directamente en el tiempo de vuelo.

Para evitar accidentes primero se debe encender la Radio Transmisora y luego conectar la batería y para apagarlo desconectar batería y luego apagar Radio Transmisora asegurándose de tener el control del dron en todo momento.

Es indispensable tener un cargador de batería con balanceador de carga para que todas las celdas se carguen equitativamente, caso contrario pueden dañarse.

Para almacenar una batería por un largo periodo, debe ser descargada a un valor del 20% para mantener su vida útil.

El ajuste de las ganancias para el FC difiere del tipo de multirotor por el peso, tamaño, número de motores, carga útil, etc. Para ajustar las ganancias se aumentan o bajan en intervalos de 10% hasta que el dron este completamente estable y controlable.

Con el cálculo empírico se puede obtener buenos resultados en los cálculos de peso y empuje, sin embargo se debe considerar más factores en el caso de consumo y autonomía, como el 15% de resguardo que deben tener las baterías que no fue considerado en los cálculos.

#### 4.2. Recomendaciones

Para hacer los cálculos basándose en el método empírico se recomienda duplicar el tiempo de autonomía requerida, esto con el fin de cubrir la reserva del 15% de las baterías para prolongar su vida útil.

Para usuarios inexpertos es recomendable iniciar con controladoras Naza porque tiene varias funciones y es fácil de configurar. De igual forma se

recomienda que se inicie con un multicoptero de 4 motores porque tiene un bajo costo de adquisición.

La colocación de las hélices puede llegar a ser más fácil si se observa la caída de la hélice, la parte superior de la caída (por lo general la más gruesa) debe ir en dirección al movimiento del motor. La caída de la hélice guía las corrientes de aire hacia abajo, de esta forma se produce el empuje.

Para ensamblar el frame se recomienda empezar por el cuerpo y los brazos, antes de insertar los brazos, sacar las piezas que sujetan el tren de aterrizaje se sus patas y fijarlas en el cuerpo para ensamblar correctamente los brazos.

Los cables de los ESC deben estar dentro del tubo de los brazos para tener una instalación más limpia y proteger los cables de rozaduras.

Para hacer mediciones de tiempo de autonomía se recomienda instalar un sistema de telemetría para obtener datos en tiempo real, sin tener que aterrizar el dron constantemente para monitorearlo. Además se recomienda contar con un anemómetro y termómetro eléctrico para medir la velocidad del viento y la temperatura de los motores al momento y después de las pruebas.

Antes de hacer la compra, es recomendable leer todas las especificaciones del elemento a comprar, si no el elemento queda inutilizado, tal es el caso del PDB adquirido, este fue diseñado para un cuadricóptero y no contaba con los suficientes pads soldables para los ESC disponibles.

Los cables que conectan ESC y motores deben estar bien fijados a los brazos, esto porque los motores producen muchas vibraciones que pueden desconectar los cables del ESC en pleno vuelo. Para asegurar los cables se los puede ajustar a los brazos con bridas plásticas.

Se recomienda utilizar más de un método hacer los cálculos de peso, empuje, consumo y autonomía del dron, entre estos métodos están cálculos empíricos, cálculos teóricos y simuladores. Se debe tener en cuenta también, que los foros son de gran utilidad para comprender un tema que se desconoce.

Si se requiere hacer un cambio en el dron como cambiar hélices o receptores, se recomienda desconectar las baterías con el fin de no producir ningún corto circuito mientras se manipula el dron.

Existen varias formas para saber si la batería se está agotando, entre ellas: configuración del FC o telemetría sin embargo una solución económica y rápida son los medidores de voltaje o testers con alarmas audibles que permitan saber cuándo la batería está por agotarse.

Se recomienda usar el canal X1 y X2 para configurar las ganancias del FC en tiempo real, sin embargo hay que tener cuidado de manipular estos canales de forma accidental, por ello, una vez calibradas las ganancias, se recomienda desvincular los canales de la configuración de ganancias.

Para la enumeración de motores es recomendable tener como referencia que el motor 1 es el de la parte frontal derecha.

El despegue y aterrizaje de la aeronave debe hacerse desde un lugar firme sin grados de inclinación. Adicionalmente, el campo de pruebas debe estar despejado y alejado de postes o alambres de luz y personas, es mejor estar sobre una superficie blanda como césped o arena para que cuando el dron pierda el equilibrio, el daño no sea grave.

Por norma de seguridad, se recomienda que el primer vuelo no sea mayor a 3 metros de altura y el dron debe tener siempre la misma referencia que el piloto.

Para volar el dron de forma segura se recomienda usar el modo GPS ya que utiliza los sensores del FC para estabilizarse, además con los FC Naza M V2, intervienen por lo menos 6 satélites para mantener la posición del dron.

Los elementos que se encuentran más expuestos a sufrir daños son: motores, hélices, y ESC, es por esto que se recomienda tener repuestos para estos elementos.

## REFERENCIAS

- Abadal, A. (2017). *El beneficio de los drones en las tareas de investigación agroalimentarias*. Recuperado de Hemav Technology S.L: <https://hemav.com/el-beneficio-de-los-drones-en-las-tareas-de-investigacion-agroalimentarias/>
- ACG Drone. (2017). *Aplicaciones profesionales de un rpa*. Recuperado de ACG Drone: <http://www.acgdrone.com/category/aplicaciones-profesionales-de-un-rpa/>
- ACG Drone. (2017). <http://www.acgdrone.com/las-10-mejores-apps-para-planificar-vuelos-con-drones/>. Recuperado de ACG Drone: <http://www.acgdrone.com/las-10-mejores-apps-para-planificar-vuelos-con-drones/>
- Actualidad. (2015). *'Poli-drones' vs "la-drones": Japón revoluciona la lucha contra el terrorismo*. Recuperado de RT sepa más: <https://actualidad.rt.com/actualidad/194174-video-japon-drones-policias-ladrones-terroristas>
- Administracion th. (2015). *Mejor Controlador de Vuelo Dron*. Recuperado de Partes de dron: <https://partesdedron.wordpress.com/2015/06/23/mejor-controlador-de-vuelo-dron>
- Alex. (2015). *Power Distribution Boards - How to choose the right one*. Recuperado de Dronetrest: <http://www.dronetrest.com/t/power-distribution-boards-how-to-choose-the-right-one/1259>
- aliexpress. (NA). *2.4.6 pixhawk px4 32 bits de control de vuelo ublox neo 7 m gps W Brújula Soporte OSD Mini Interruptor de Seguridad Módulo Buzzer 8 GB SD tarjeta*. Recuperado de aliexpress: [https://es.aliexpress.com/store/product/Pixhawk-PX4-2-4-6-32-BIT-Flight-Controller-Board-Safe-Switch-Buzzer-Module-4GB-SD/1291582\\_32293938765.html?spm=a219c.search0301.3.17.cQ970f&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_0\\_10073\\_10152\\_10173\\_10151\\_10557\\_105](https://es.aliexpress.com/store/product/Pixhawk-PX4-2-4-6-32-BIT-Flight-Controller-Board-Safe-Switch-Buzzer-Module-4GB-SD/1291582_32293938765.html?spm=a219c.search0301.3.17.cQ970f&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0_10073_10152_10173_10151_10557_105)
- aliexpress. (NA). *2S-7.4V Lipo Battery*. Recuperado de Henry toy story: [https://es.aliexpress.com/store/product/Lipo-22-2V-10000Mah-Lithium-Battery-EC5-or-T-or-XT60-plug-For-RC-Helicopter-Quadcopter/3000031\\_32819857983.html?spm=a219c.search0306.3.1.Qmiavo&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_0\\_10073\\_10152\\_10173\\_10151\\_10557\\_](https://es.aliexpress.com/store/product/Lipo-22-2V-10000Mah-Lithium-Battery-EC5-or-T-or-XT60-plug-For-RC-Helicopter-Quadcopter/3000031_32819857983.html?spm=a219c.search0306.3.1.Qmiavo&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0_10073_10152_10173_10151_10557_)
- aliexpress. (NA). *F16928/31 2016 Mini M8N NEO-M8N GPS Módulo GPS para APM 2.5/2.6/2.8/CC3D/PX4/SP Racing F3/Naze32 Flip32*. Recuperado de aliexpress: [https://es.aliexpress.com/store/product/F16928-31-2016-Mini-M8N-GPS-Module-NEO-M8N-GPS-for-APM-2-5-2-6/404049\\_32672611541.html?spm=a219c.search0306.3.10.1a7fff428SUVNW&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_0\\_10152\\_10151\\_51102\\_10594\\_10059\\_10312\\_10314\\_105](https://es.aliexpress.com/store/product/F16928-31-2016-Mini-M8N-GPS-Module-NEO-M8N-GPS-for-APM-2-5-2-6/404049_32672611541.html?spm=a219c.search0306.3.10.1a7fff428SUVNW&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0_10152_10151_51102_10594_10059_10312_10314_105)



- Amazon. (NA). *DX9 Black 9-Channel DSMX Transmitter Only, Mode 2*. Recuperado de Transmitter Only, Mode 2: [https://www.amazon.com/gp/product/B072L1RP2V/ref=as\\_li\\_qf\\_sp\\_asin\\_il\\_tl?ie=UTF8&tag=oscar0f7-20&camp=1789&creative=9325&linkCode=as2&creativeASIN=B072L1RP2V&linkId=d8865d5b0bf04047c291e03dd733adb7](https://www.amazon.com/gp/product/B072L1RP2V/ref=as_li_qf_sp_asin_il_tl?ie=UTF8&tag=oscar0f7-20&camp=1789&creative=9325&linkCode=as2&creativeASIN=B072L1RP2V&linkId=d8865d5b0bf04047c291e03dd733adb7)
- amazon. (NA). *Futaba 6 K Aire 2,4 GHz r3006sb*. Recuperado de amazon: <https://www.amazon.com/Futaba-6K-Air-2-4GHz-R3006SB/dp/B0156GJ5HQ>
- Amazon. (NA). *Spektrum DXe Transmitter*. Recuperado de Amazon try prime: [https://www.amazon.com/gp/product/B015ZOEVBVY/ref=as\\_li\\_qf\\_sp\\_asin\\_il\\_tl?ie=UTF8&tag=oscar0f7-20&camp=1789&creative=9325&linkCode=as2&creativeASIN=B015ZOEVBVY&linkId=29fc929ae1ad4c6e83fb8db8800e1248](https://www.amazon.com/gp/product/B015ZOEVBVY/ref=as_li_qf_sp_asin_il_tl?ie=UTF8&tag=oscar0f7-20&camp=1789&creative=9325&linkCode=as2&creativeASIN=B015ZOEVBVY&linkId=29fc929ae1ad4c6e83fb8db8800e1248)
- Amazon. (NA). *Team BlackSheep TBS TANGO (BATTERY UPGRADE) 10CH Digital Remote Control System for FPV*. Recuperado de Amazon: [https://www.amazon.com/gp/product/B01LT9SL2E/ref=as\\_li\\_qf\\_sp\\_asin\\_il\\_tl?ie=UTF8&tag=oscar0f7-20&camp=1789&creative=9325&linkCode=as2&creativeASIN=B01LT9SL2E&linkId=15f8c7367e7821921b5d071b63984f04](https://www.amazon.com/gp/product/B01LT9SL2E/ref=as_li_qf_sp_asin_il_tl?ie=UTF8&tag=oscar0f7-20&camp=1789&creative=9325&linkCode=as2&creativeASIN=B01LT9SL2E&linkId=15f8c7367e7821921b5d071b63984f04)
- Anderson, C. (2010). *The ArduPilot Project*. Recuperado de DIY DRONES: <http://diydrones.com/notes/ArduPilot>
- Ardupilot. (2016). *Choosing a Ground Station*. Recuperado de Ardupilot: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-choosing-a-ground-station.html>
- ARRIS Simonk 30A 2-6S OPTO Brushless ESC. (NA). Recuperado de hobby-wing: <https://www.hobby-wing.com/arris-30a-opto-esc.html>
- Banggood. (NA). *DYS XS 30A 3-6s Lipo BLheli\_S ESC Soporta Oneshot125 Oneshot42 Multishot para Alto KV Motor*. Recuperado de Banggood: [https://www.banggood.com/es/DYS-XS-30A-3-6s-Lipo-BLheli\\_S-ESC-Electronic-Speed-Controller-Support-OneShot42-p-1060355.html?cur\\_warehouse=CN](https://www.banggood.com/es/DYS-XS-30A-3-6s-Lipo-BLheli_S-ESC-Electronic-Speed-Controller-Support-OneShot42-p-1060355.html?cur_warehouse=CN)
- Bello, J. (2017). *Modos de vuelo en un Drone de Carreras – ¿Qué son? ¿Para qué sirven?* Recuperado de deDrones: <https://dedrones.es/modos-de-vuelo/>
- Camille & Foundation. (2014). *La física tras el acelerómetro*. Recuperado de Átomosybit: <http://atomosybits.com/la-fisica-tras-el-acelerometro/>
- Citrix. (2016). *El trabajador en Colombia se está transformando*. Recuperado de El tiempo: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16636416>
- Cuadrícóptero. (2015). *Autopiloto PixHawk PX4*. Recuperado de Cuadrícóptero: <http://cuadricoptero.net/autopiloto-pixhawk-px4/>

- Dedalo. (2010). *TallerDedalo*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de <http://tallerdedalo.es/web/ConexionLipos>
- DJI. (2014). *Naza –M V2 Quick Star Guide v 1.26*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de DJI: [http://dl.djicdn.com/downloads/nazam-v2/en/NAZA-M\\_Quick\\_Start\\_Guide\\_v1.26\\_en.pdf](http://dl.djicdn.com/downloads/nazam-v2/en/NAZA-M_Quick_Start_Guide_v1.26_en.pdf)
- DJI. (2017). *Controlador de Vuelo A3*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de DJI: <https://www.dji.com/es/a3>
- DJI. (2017). *Pixhawk 2 Autopilot*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de DJI: <https://pixhawk.org/modules/pixhawk2>
- DJI. (NA). *A3*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de DJI: [https://store.dji.com/product/a3?site=brandsite&from=buy\\_now\\_bar](https://store.dji.com/product/a3?site=brandsite&from=buy_now_bar)
- DJI. (NA). *Naza-M V2 (Includes GPS)*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de DJI: [https://store.dji.com/product/naza-m-v2?from=buy\\_now](https://store.dji.com/product/naza-m-v2?from=buy_now)
- DroneLab. (s.f.). *VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO*. Quito.
- DRONEMEGA. (2017). *How GPS Drone Navigation Works*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de DRONEMEGA: <http://www.droneomega.com/gps-drone-navigation-works/>
- ELDRONE. (2016). *Historia de los drones*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>
- ElreRobotics. (s.f.). *LiPo Batteries*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de <https://erlerobotics.gitbooks.io/erle-robotics-erle-copter/es/safety/lipo.html>
- EncyklopediaRC. (2013). *Roll, Pitch, Yaw*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de EncyklopediaRC: <http://www.rc.info.pl/slownik/roll-pitch-yaw-katy-rpy/>
- EncyklopediaRC. (2013). *Roll, Pitch, Yaw*. Recuperado de <http://www.rc.info.pl/slownik/roll-pitch-yaw-katy-rpy/>
- Escanciano, Á. (2016). *Consejos para el montaje de drones*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Jornadas de Automática: <http://ja2017.es/consejosdrones.html>
- Futaba. (NA). *8-Channel 2.4GHz Computer Radio*. Recuperado de Futaba: <https://www.futabarc.com/systems/futk6100.html>
- Gómez, M. (2017). *Drones para estudiar huracanes*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Noticias el tiempo.es: <https://noticias.eltiempo.es/drones-para-estudiar-huracanes/>
- González, N. (2016). *Control de un cuadricóptero para navegación en interiores usando un sensor de flujo óptico*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Ingeniero electromecánico:

<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:muKhC9mHp0wJ:https://repositorio.comillas.edu/rest/bitstreams/32124/retrieve+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

Grau, J. (s.f.). *FOTOGRAFÍA AÉREA POR MEDIO DE DRONES: TODO LO QUE DEBES SABER*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de 3lentes: <https://3lentes.com/fotografia-aerea-por-medio-de-drones-todo-lo-que-debes-saber/>

Guerrero, D. (2015). *Los drones se incorporan a los equipos de rescate europeos*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de <http://www.elmundo.es/economia/2015/09/15/55f8239546163fc6598b45c3.html>

Helipal. (2017). *Tarot 680 Pro Hexacopter Build Kit*. Recuperado de <http://www.helipal.com/tarot-fy680-pro-hexacopter-frame-set.html>

Herrera, F. (2015). *Cómo elegir motor y hélices*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Drones de carrera: <http://www.dronesdecarrera.cl/como-elegir-motores-y-helices/>

hobbyking. (NA). *Modo FPV Racer Radio 2 Blanco*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de hobbyking racer radio: [https://hobbyking.com/es\\_es/turnigy-evolution-fpv-radio-mode-2-white.html](https://hobbyking.com/es_es/turnigy-evolution-fpv-radio-mode-2-white.html)

hobbyking. (NA). *Multistar alta capacidad 10000mAh 6S Multi-Rotor Lipo Paquete*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de hobbyking multistar: [https://hobbyking.com/es\\_es/multistar-high-capacity-6s-10000mah-multi-rotor-lipo-pack.html](https://hobbyking.com/es_es/multistar-high-capacity-6s-10000mah-multi-rotor-lipo-pack.html)

Hobbyking. (NA). *Multistar Elite 4006-740KV Multi-rotor del motor*. Recuperado de Hobbyking: [https://hobbyking.com/es\\_es/multistar-elite-4006-740kv-multi-rotor-motor.html?\\_\\_store=es\\_es](https://hobbyking.com/es_es/multistar-elite-4006-740kv-multi-rotor-motor.html?__store=es_es)

hobbyking. (NA). *Quantum i8 8ch 2.4GHZ AFHDS 2A Digital Proportional Radio System Mode 1 (White)*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de The Quantum i8 8ch 2.4GHZ transmitter: [https://hobbyking.com/en\\_us/quantum-i8-8ch-2-4ghz-afhds-2a-digital-proportional-radio-system-mode-1-white.html](https://hobbyking.com/en_us/quantum-i8-8ch-2-4ghz-afhds-2a-digital-proportional-radio-system-mode-1-white.html)

hobbyking. (NA). *Turnigy 9X 9Ch Transmitter w/ Module & iA8 Receiver (Mode 1) (AFHDS 2A system)*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Turnigy 9X 9Ch Transmitter: [https://hobbyking.com/en\\_us/turnigy-9x-9ch-transmitter-w-module-ia8-receiver-mode-1-afhds-2a-system.html](https://hobbyking.com/en_us/turnigy-9x-9ch-transmitter-w-module-ia8-receiver-mode-1-afhds-2a-system.html)

Hobby-Wing. (2017). *EMAX Lite Spec LS2206 2300KV 2550KV Brushless Motor for FPV Racing Drones*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Hobby-wing: <https://www.hobby-wing.com/emax-lite-spec-ls2206-2300kv-2550kv-brushless-motor.html>

- Hobby-wing. (NA). *ARRIS 4010PRO 380KV High Performance Vibration Free Outrunner Brushless Motor for Multi-Copter*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Hobby-wing: <https://www.hobby-wing.com/arris-4010pro-brushless-motor.html>
- Hobby-wing. (NA). *ARRIS M700 Foldable Carbon Fiber Hexacopter Frame W/ Retractable Landing Skid*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Hobby-wing: <https://www.hobby-wing.com/arris-m700-foldable-hexacopter-frame.html>
- hobby-wing. (NA). *Frsky Horus X12S Digital Telemetry Radio*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Digital Telemetry Radio: <https://www.hobby-wing.com/frsky-horus-x12s-digital-telemetry-radio.html>
- hobby-wing. (NA). *Frsky Taranis X9D Plus Radio with X8R Receiver*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Frsky Taranis: <https://www.hobby-wing.com/frsky-2-4ghz-accs-taranis-x9d-plus-radio-with-x8r-receiver.html>
- Hobby-wing. (NA). *RadioLink AT9 9-Channel 9CH 2.4GHz Transmitter + R9D Receiver (with S.Bus)*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Hobby-wing: <https://www.hobby-wing.com/radiolink-at9-9ch-transmitter.html>
- hobby-wing. (NA). *Radiolink AT9S 10 Channel 2.4GHz Radio with R9DS Receiver Free Shipping*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Radio Set Transmitters: <https://www.hobby-wing.com/radiolink-at9s-10-channel-2-4ghz-radio-with-r9ds-receiver.html>
- Hobby-wing. (NA). *Tarot FY680 Foldable Hexa-copter Carbon Fiber Frame TL68B01*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Hobby-wing: <https://www.hobby-wing.com/tarot-fy680-tl6801-hexa-copter-frame.html>
- Ingenio Triana. (2015). *Todo lo que necesitas saber sobre drones*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Ingenio-Triana-blogspot: <http://ingenio-triana.blogspot.com/2015/12/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-drones.html>
- Lg, A. (2011). *Ventajas e inconvenientes: Tri, cuad, hexa y octo -cóptero*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Die Bot Reise: <http://diebotreise.blogspot.com/2011/09/eleccion-del-multicoptero.html>
- Liang, O. (2017). Recuperado el 3 de enero del 2018 de How to choose lipo battery beginner guide for mini QUAD drones and quadcopters: <https://oscarliang.com/lipo-battery-guide/>
- Liang, Oscar. (2016). *QUANUM I8 8CH RADIO CONTROL TRANSMITTER 2.4GHZ*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de OscarLiang: <https://oscarliang.com/quantum-i8-radio-transmitter/>
- Martínez, M. (2014). *Bioestadística Amigable*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Error estadar: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:CMO74Y5mHT0J:htt>

ps://www.unav.edu/departamento/preventiva/files/file/0\_IND.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec

- McFarland, M. (2016). *Domino's entrega pizzas por medio de drones en Nueva Zelanda*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de CNNespañol: <http://cnnespanol.cnn.com/2016/08/26/dominos-entrega-pizzas-por-medio-de-drones-en-nueva-zelanda/>
- Miranda, E. (2017). *PLAN DE NEGOCIOS PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE DRONES PERSONALIZADOS EN LA CIUDAD DE QUITO*. Quito: Universidad de las Américas.
- mobus. (2016). *PDB, para qué sirve y cuál elegir*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de <https://mobus.es/blog/pdb-para-que-sirve-y-cual-elegir/>
- mobus. (2017). *PDB, para qué sirve y cuál elegir*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de mobus: <https://mobus.es/blog/pdb-para-que-sirve-y-cual-elegir/>
- Nosoling. (2014). *Donde procede el termino Dron*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Info geotecno: <http://www.nosolosig.com/articulos/270-de-donde-procede-el-termino-dron>
- Orna, J., & Dávila, P. (2015). *Diseño, construcción y control de un hexacóptero de monitoreo*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Oscar Liang. (2017). *OscarLiang*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de <https://oscarliang.com/>
- Quadrino. (2015). *Motores Brushless*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de <http://www.quadrino.com/guia-2/materiales-necesarios-1/motores-brushless>
- Quiroga, G. (2016). *CARGA DE LIPOS EN SERIE*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de <http://www.dronesdecarrera.cl/carga-de-lipos-en-serie/>
- Rafael. (2017). *Elegir el frame correcto para el drone*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de One thought on Wiki drone: <http://kit-drone.com/wiki-drone-elegir-el-frame-correcto-para-el-drone/>
- Rcpapa. (2015). *Matek Mini Power Hub w/ 5V/12V BEC Power Distribution Board PDB for FPV*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de <https://www.rcpapa.com/products/matek-mini-power-hub-w-5v-12a-bec-power-distribution-board-pdb-for-fpv>
- Rodríguez, A. (2016). *Portadora*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de iris: <http://iris.hdplus.es/dictionary/portadora/>
- Ruipérez, P. (2016). *DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN DRON*. Valencia: Universidad de Valencia.

- Seriously Pro. (2017). *Racing F4 EVO Flight Controller*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Seriously Pro: <http://seriouslypro.com/files/SPRacingF4EVO-Manual-latest.pdf>
- SeriouslyPro. (2017). *SP Racing F4 EVO*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de SeriouslyPro: <http://shop.seriouslypro.com/sp-racing-f4-evo>
- SeriouslyPro. (2017). *SP RACING™ F4 EVO FLIGHT CONTROLLER*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de seriouslypro: <http://seriouslypro.com/spracingf4evo>
- SLS-SPAIN. (NA). *Batería LIPO 6S 10000mah 20-40C SLS XTRON*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de Baterías LIPO, XTRON, 6S 22,2V: <http://sls-spain.com/producto/xtron-6s-10000mah-20-40c-lipo/>
- TRIPULAD, V. A. (s.f.). *VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO*.
- UDLA. (2017). *GRAN PARTICIPACIÓN DE LA UDLA EN EL ROBOT GAMES ZERO LATITUD 2017*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de UDLA: <http://www.udla.edu.ec/2017/06/21/gran-participacion-de-la-udla-en-el-robot-games-zero-latitud-2017/>
- Valentino, E., & Cantero, J. (2015). *Diseño y fabricación de un vehículo*. Barcelona: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona.
- Villareal, J. (2015). *Análisis de la precisión de levantamientos topográficos mediante el empleo de vehículos no tripulados (UAV) respecto a la densidad de puntos de control*. Loja: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA.
- Young, L. (2016). *La primera película rodada solo con drones*. Recuperado el 3 de enero del 2018 de 20minutos: <http://www.20minutos.es/videos/motor/alqxyGW6-la-primera-pelicula-rodada-solo-con-drones/>

## ANEXOS





Tabla de empuje del motor Tarot 4008 380Kv

电压 (V)	旋翼尺寸	电流 (A)	推力 (G)	功率 (W)	效率 (G/W)	转速 (RPM)	温度 (° C)
22.2V	1255	1	260	22.8	11.4	3180	
		2	420	45.6	9.2	4070	
		3	600	68.4	8.7	4630	
		4	720	91.2	7.8	5170	
		5	850	114	7.4	5520	
		6	940	136.8	6.8	5940	
		7	1120	159.6	7.0	6150	
		8	1170	182.4	6.4	6450	
		9	1250	205.2	6.0	6710	
		10	1330	228	5.8	6870	
		10.7	1420	243.9	5.8	7020	38

电压 (V)	旋翼尺寸	电流 (A)	推力 (G)	功率 (W)	效率 (G/W)	转速 (RPM)	温度 (° C)
22.2V	1355	1	260	22.8	11.4	2980	
		2	460	45.6	10.0	3600	
		3	650	68.4	9.5	4230	
		4	770	91.2	8.4	4660	
		5	860	114	7.5	4970	
		6	980	136.8	7.1	5270	
		7	1090	159.6	6.8	5520	
		8	1180	182.4	6.4	5830	
		9	1310	205.2	6.3	5970	
		10	1380	228	6.0	6200	
		11	1440	250.8	5.7	6330	
		12	1530	273.6	5.5	6470	
		12.4	1620	282.7	5.7	6560	44

## Tabla de empuje del motor Multistar 4006 740Kv

Note: Hover power is based on 500g thrust per motor for a fully loaded AUW 450~550 class FPV Quad @ apx 2Kg or fully loaded 600 class Hex @2.5~3Kg. Much higher G/W 16+ efficiency can be achieved with lighter quads in the 1.2KG AUW class

Propeller Data:

### Multistar elite 4006 740KV 12.6V (3s)

Prop:	50% power:	100% power:	Hover power@500g thrust + G/W	
10X3.8	50% 501g 2.9A	100% 770g 9.1A	4.9A	8.19g/w
10x4.7	50% 560g 4.2A	100% 810g 9.4A	4.2A	9.45
11x4.7	50% 600g 5.4A	100% 1002g 11.3A	4.3A	9.24
12x4 M.S.W	50% 590g 5.3A	100% 956g 10.6A	4.1A	9.68
13x5.5	50% 809g 7.9A	100% 1376g 18.3A	3.9A	10.18
14x4.7	50% 938g 9.9A	100% 1420g 18A	3.4A	11.67

### Multistar elite 4006 740KV 16.8V (4s)

Prop:	50% power:	100% power:	Hover power@500g thrust	
10X3.8	50% 751g 6.8A	100% 1250g 13.9A	4.1A	7.35
10x4.7	50% 870g 7.3A	100% 1309g 14.1A	3.9A	7.69
11x4.7	50% 930g 7.9A	100% 1554g 17A	3.3A	9.09
12x4 M.S.W	50% 909g 7.6A	100% 1502g 15.9A	3.4A	8.77
13x5.5	50% 1406g 14.6A	100% 2008g 28A	3A	9.92
14x4.7	50% 1440g 15.2A		2.8A	10.62

## Anexo 2:

### Información de las controladoras de vuelo.

#### **SPRacingF4EVO**

Controladora diseñada para ofrecerte gran rendimiento y es fácil de instalar. Cuenta con un regulador de voltaje interno (BEC) lo que le permite ser compatible con baterías de alto voltaje. Tiene un procesador lo suficiente potente para un dron de carreras. Sirve para competiciones, FPV, drones acrobáticos o fotografía aérea.

- Tiene un sistema de logs que son almacenados en una micro SD instalada en el mismo FC
- Tiene un procesador STM 32 con coma flotante para mejorar los cálculos, su core es ARM-Cortex M4
- Puerto Micro SD para log del vuelo
- Tiene un acelerómetro, giroscopio, magnetómetro conectados por un bus SPI
- Puertos para conectores resistentes a caídas
- USB + OSD + SmartPort + SBus + LED
- Strip + Battery Monitoring + 8 motores + Transponder LED – todos pueden funcionar al mismo tiempo
- 8 DSHOT – ONESHOT - PWM para servos y ESC
- Socke MicroUSB
- I2C para conectar un display Oled
- Monitoreo de voltaje y corriente
- Puerto RSI
- Puerto zumbador para avisos y notificaciones audibles
- Permite la actualización de firmware utilizando dos botones
- Puertos UART, I2C y SWD
- LEDs para 3v, 5v
- Diseño simétrico para una instalación más limpia
- Agujeros estándar de 30.5 mm

- Sistema Operativo Cleanflight
- Soporta OneShot y Dshot
- Procesador: ARM Cortex-M4 168Mhz
- Usa pads soldables
- Cuenta con un puerto USB para configurar el FC y para configurar ESC BLHeli
- Cuenta con 4 puertos de expansión: 1 I2C y 3 puertos seriales. Utilizados para GPS, receptores, retroalimentación de ESC o una pantalla OLED.
- Sus dimensiones son de 36x36 mm
- Soporta receptores con protocolo SBus, SumH, SumD, Spektrum1024/2048, XBus, PPM.
- Cuenta con una entrada para poder monitorear la batería con un sistema de telemetría entre ellos SmartPort/S.Port, HoTT, FrSky, Mavlink, IBus and LTM.
- Leds multicolor ideales para orientación en la noche y programación
- Zumbador para alertas audibles

## **Naza M V2**

Las características de vuelo son: sin movimientos bruscos, es fácil de volar, control inteligente de orientación y retorno al hogar. Esto hace que sea bueno para los principiantes, o directores de fotografía que no quieren preocuparse de la programación de un FC. Estos módulos están diseñados para drones medianos, utilizados para filmación, entre ellos cuadcópteros, hexacópteros y octocópteros.

### Características físicas

- Dimensiones: 45.5 x 32.5 x 18.5 mm
- Peso: 27 g
- Potencia máxima: 3.15 W (0.25 A @ 12.6 V)
- Consumo Medio: 1.64 W (0.25 A @ 12.6 V)

- Tensión de trabajo: 4.8 - 5.5 V
- Operatividad: -10 - 50 °C
- Velocidad máxima de rotación: 200 °/s
- Inclinación: 35 °
- Velocidad máxima de ascenso: +- 6m/s

Naza M V2 tiene un Firmware propietario creado por DJI. Su versión empieza desde la 0.1 la cual tiene las siguientes funciones:

- Modo Manual: Entrega todo el control al piloto
- Atti Mode: Mantiene una altitud específica pero no una posición
- Aterrizaje automático: En caso de fallo el dron aterriza automáticamente
- Quad-rotor I, X; Hexa-rotor I, V: Tipos de drones soportados
- Modo combinado para despegar
- Modo inteligente para aterrizar
- Ajuste remoto de ganancia
- Soporta gimbal de dos ejes
- Soporta S-Bus
- Monitoreo de voltaje

La versión más actual es la 4.06 que incluye, además de las anteriores funciones, las siguientes funciones:

- Vuelos Guiados por GPS
- Modos de vuelo: de control y vuelo inteligente
- Tres tipos de modos de control: GPS Atti. Mode (con módulo GPS)/ Atti. Mode/ Modo Manual.
- Modo a prueba de fallos
- Información del estado del multirotor utilizando un GPS
- Control de orientación inteligente
- Compatible con todos los modelos de gimbal Zenmuse
- Nueve Tipos de multi-rotor compatibles: Quad I, X Quad, Hexa I, Hexa V, Hexa Y, Hexa IY; Octo X, Octo I, Octo V

- Advertencias de bajo voltaje mediante avisos LED
- Protección de un fallo de potencia de un motor (solo con Hexacópteros y Octocópteros)
- La salida del ESC soporta 400 Hz de frecuencia de actualización
- Posibilidad de incluir módulos adicionales como:
  - Sistema de telemetría OSD: (On Screen Display)
  - Unidad de control por Bluetooth
  - Control desde una PC o IOS (iPhone iPad)

Todo-en-uno: in-One Design se integra en una sola placa controladora: giroscopio, acelerómetro y el barómetro, simplificando la instalación y ahorrando espacio.

Aunque el Naza tiene muchas características, permite la actualización de su firmware y se pueden expandir sus puertos de datos.

Tiene un PMU (power management unit) que permite distribuir las corrientes.

### **3DR Pixhawk**

Naza, al tener un firmware propietario, no le es posible modificar características del controlador por lo que su capacidad de expansión es limitada a menos que salga una actualización de DJI. Pixhawk tiene código abierto y hacer alguna modificación en el firmware es permitido. El Pixhawk de 3D Robotics es un controlador de vuelo diseñado específicamente para el vuelo Autónomo.

Características:

- LED exterior de tamaño dual y ángulo completo.
- Procesador avanzado de alto rendimiento de 32 bits ARM Cortex-M4, capaz de correr el sistema operativo de tiempo real NuttX RTOX
- 14 salidas PWM/Servo
- Interfaz de bus (UART, I2C, SPI, CAN)

- Energía de respaldo integrado
- Modo automático y manual
- Provee redundancia en la entrada de la fuente de alimentación y la conmutación por error
- Luz multicolor LED
- Proporciona interfaz de alarma multisonido
- Graba datos de vuelo en Micro SD

#### Procesador:

- Memoria flash 32bit
- Frecuencia principal: 168MHz
- Procesador de respaldo de seguridad 32 bit STM32F103

#### Sensores:

- Giroscopio L3GD20 3 axis digital 16 bit
- Acelerómetro / Manómetro LSM303D 3 axis 14
- Acelerómetro / Manómetro MPU6000 6 axis
- Barómetro de alta precisión MS5611

#### Interfaz:

- 5 UART, una compatible con alto voltaje, dos tienen control de flujo. Universal Asynchronous Receiver-Transmitter. Se trata de puertos serie. Las conexiones son Telem1, Telem2, GPS y Serial4/5
- 2 CAN: Controller Area Network. Se trata de un bus de comunicación industrial serial
- Entrada Spektrum DSM / DSM2 / DSM-X compatible con receptor de satélite
- E/S compatible con Futaba SBUS: Entrada de datos compatible con los receptores de la marca Spektrum

- Entrada de señal PPM: Entrada de señal PPM (Pulse Position Modulation). La suma de todos los canales de un receptor RC se transmite en una única línea de datos
- Salida RSSI (PWM o voltaje): Receive Signal Strength Indicator (PWM o voltaje) Entrada de nivel de señal.
- I2C: De las siglas Inter-Integrated Circuit, se trata de un bus de comunicación serie síncrona. Se utiliza para conectar el sensor airspeed y el magnetómetro externo del GPS.
- SPI: Proviene de las siglas Serial Peripheral Interface. Bus serie local.
- Entrada 3.3 y 6.6V DC
- microUSB: Cuenta con un puerto interno y una conexión externa. Se utiliza principalmente para actualizaciones de firmware, aunque también permite conectar con la consola del sistema.

## DJI A3

### CARACTERISTICAS GENERALES

- Peso: 186g
- Tamaño
  - Controller: 64mm x 42mm x 19.5mm
  - PMU: 51mm x 34mm x 13.5mm
  - External IMU: 34mm x 26.5mm x 20mm
  - GPS-Compass Pro: 61mm (diameter) x 13mm
  - LED: 27mm x 27mm x 8mm
- Consumo de potencia: Max. 8W
- Múltiples modos de control
- Soporta gimbal de dos ejes
- Protección contra bajo voltaje
- Estación de tierra PC & Bluetooth
- Soporta un receptor externo



- Control de orientación inteligente
- Alarma audible
- 4 salidas configurables
- SDK

## VUELO

- Resistencia a vientos de <10m/s
- Velocidad angular máxima en Yaw: 150 °/s
- Max Angulo Tilt: 35°
- Velocidad de ascenso  $\pm 5$ m/s y descenso:  $\pm 4$ m/s
- Presición de Vuelo
  - Vertical:  $\pm 0.5$ m
  - Horizontal:  $\pm 1.5$ m

## FUNCIONES EXTRA

- Puertos PWM: F1-F4 puertos de salida, F5-F8 puertos de I/O
- Almacenamiento de datos por iOSD
- Estación de tierra recomendada: 2.4G/900MHz DATA LINK Pro
- Modos de vuelo inteligentes: Home Lock, Bloqueo del curso, Punto de interés
- Ajuste remoto de parámetros mediante una APP
- Asistente para PC

## PERIFERICOS

- Multirrotores soportados: I4, X4, I6, X6, Y6, IY6, X8,I8,V8
- Frecuencia de ESC soportado: 400Hz
- Batería recomendada: 3S to 12S LiPo
- Temperatura de trabajo: -10°C to +45°C
- Requerimiento de Sistema operativo para el software: Windows XP SP3/7/8/10 (32 o 64 bit)
- Radio recomendada: Lightbridge 2, S-BUS o D-BUSS-BUS

- Otros productos soportados: Z15, Ronin-MX, S900, S1000, S1000+, iOSD, D-RTK, DATALINK PRO etc.

## PROTECCIÓN

- Protección a prueba de fallos de motor: Mínimo 6 axis
- Protección de propulsión: Sobre carga de motor
- Avisos de batería baja

## Anexo 3:

### Tablas del cálculo teórico

#### Cálculo de Peso y Empuje

	Peso Unitario g	Cantidad	Peso Elemento g
<b>Sistema de Propulsión</b>			
Motores	93	6	558
Aspas	14	6	84
ESC	25	6	150
<b>Sistema Estructural</b>			
Frame	630	1	630
<b>Sistema de Alimentación</b>			
Baterías	1310	1	1310
PDB	6	1	6
Cable	80	1	80
<b>Sistema de Navegación</b>			
FC KIT	95	1	95
Receptora controlador	11	1	11
<b>Sistema de Video</b>			
Carga útil	1300	1	1300
<b>Peso total</b>			<b>4224</b>
<b>Empuje al 50% throttle</b>			<b>704</b>
<b>Peso * 2</b>			<b>8448</b>
<b>Empuje al 100% throttle</b>			<b>1408</b>

Cálculo de consumo con 40% adicional en el consumo de los motores al 50% de throttle.

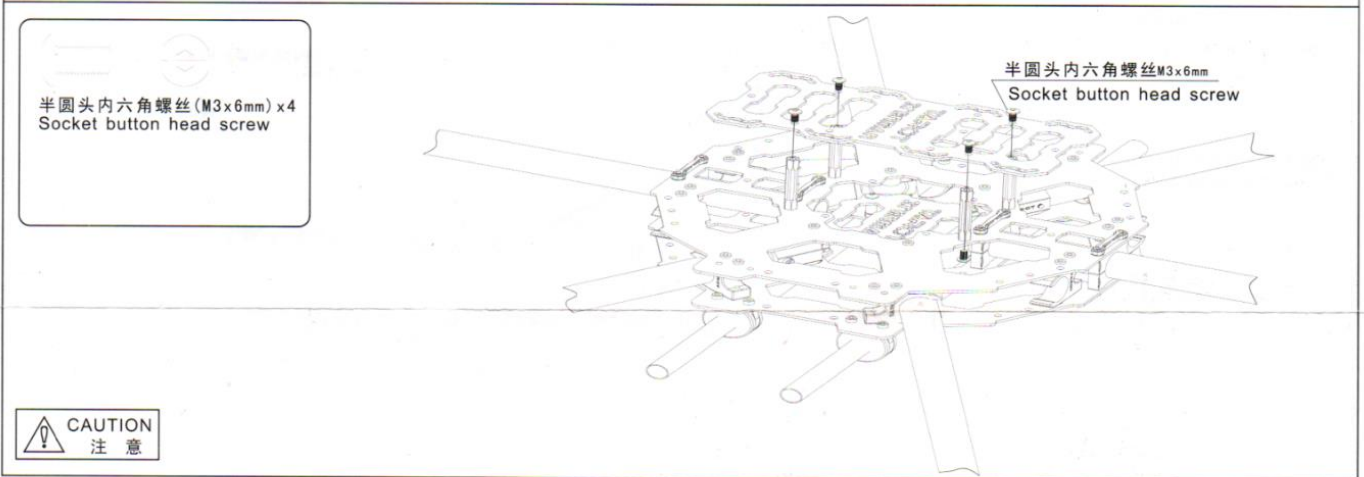
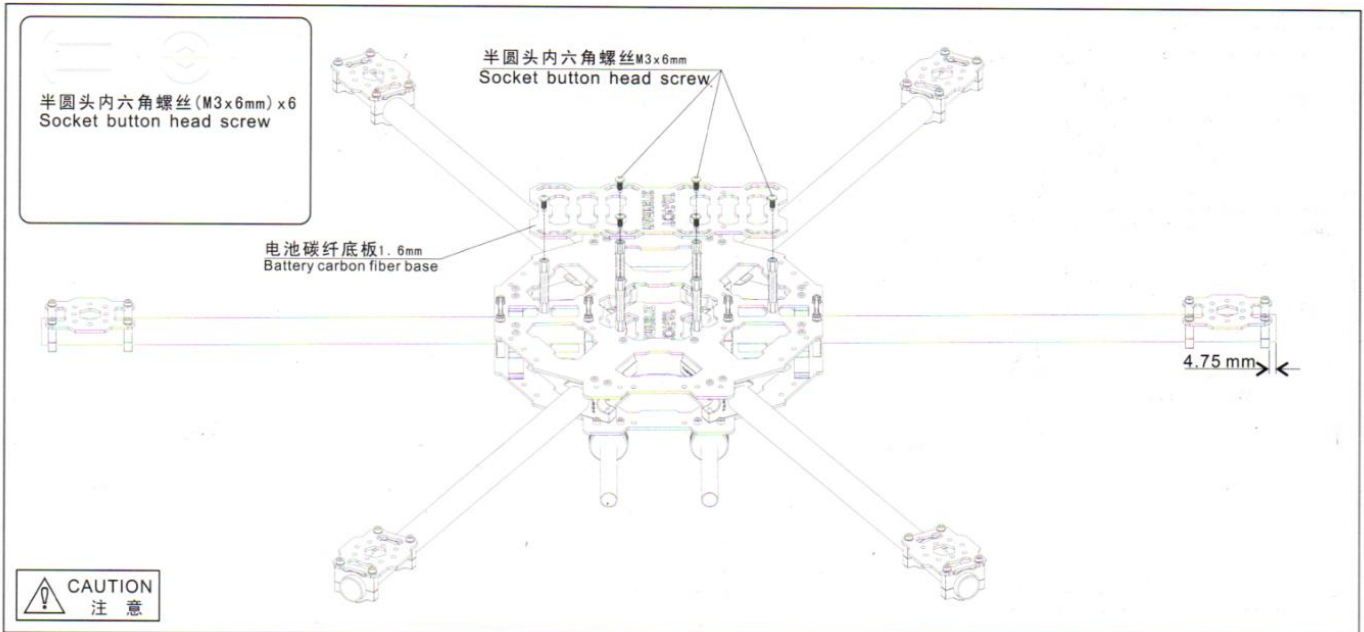
Consumo			
Nombre	A/Unidad	Cantidad	Consumo [A]
Motores	4.62	6	27.72
ESC	0.1	6	0.6
FC	0.22	1	0.22
Receptor Tx	0.1	1	0.1
<b>Total</b>			<b>28.64</b>

#### Calculo Autonomía

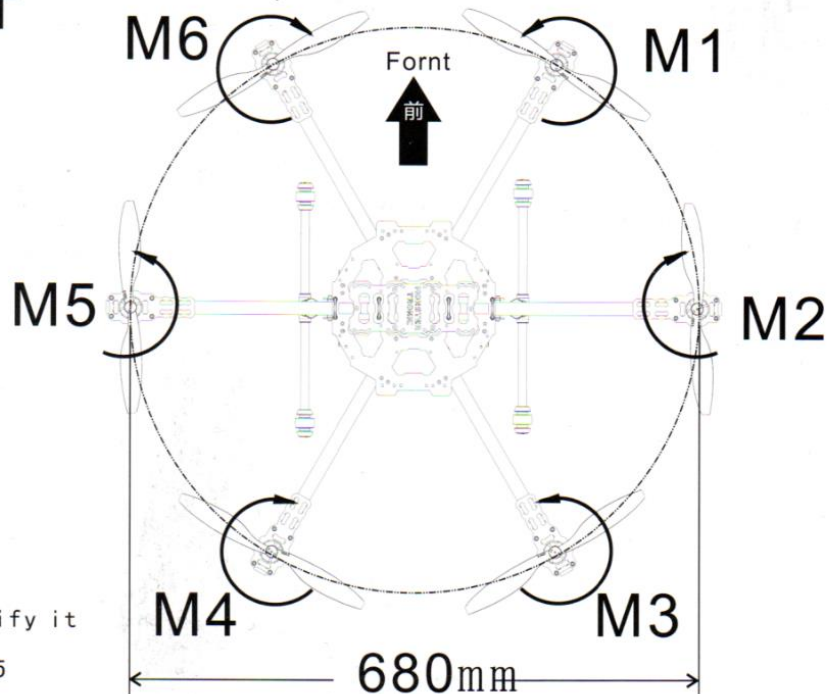
Consumo [A]	Tiempo [min]
10	60
28.64	x

x [min]=	20.9497207
----------	------------

## Anexo 4: Diagrama estructural del frame y Manual estructural del



# TAROT



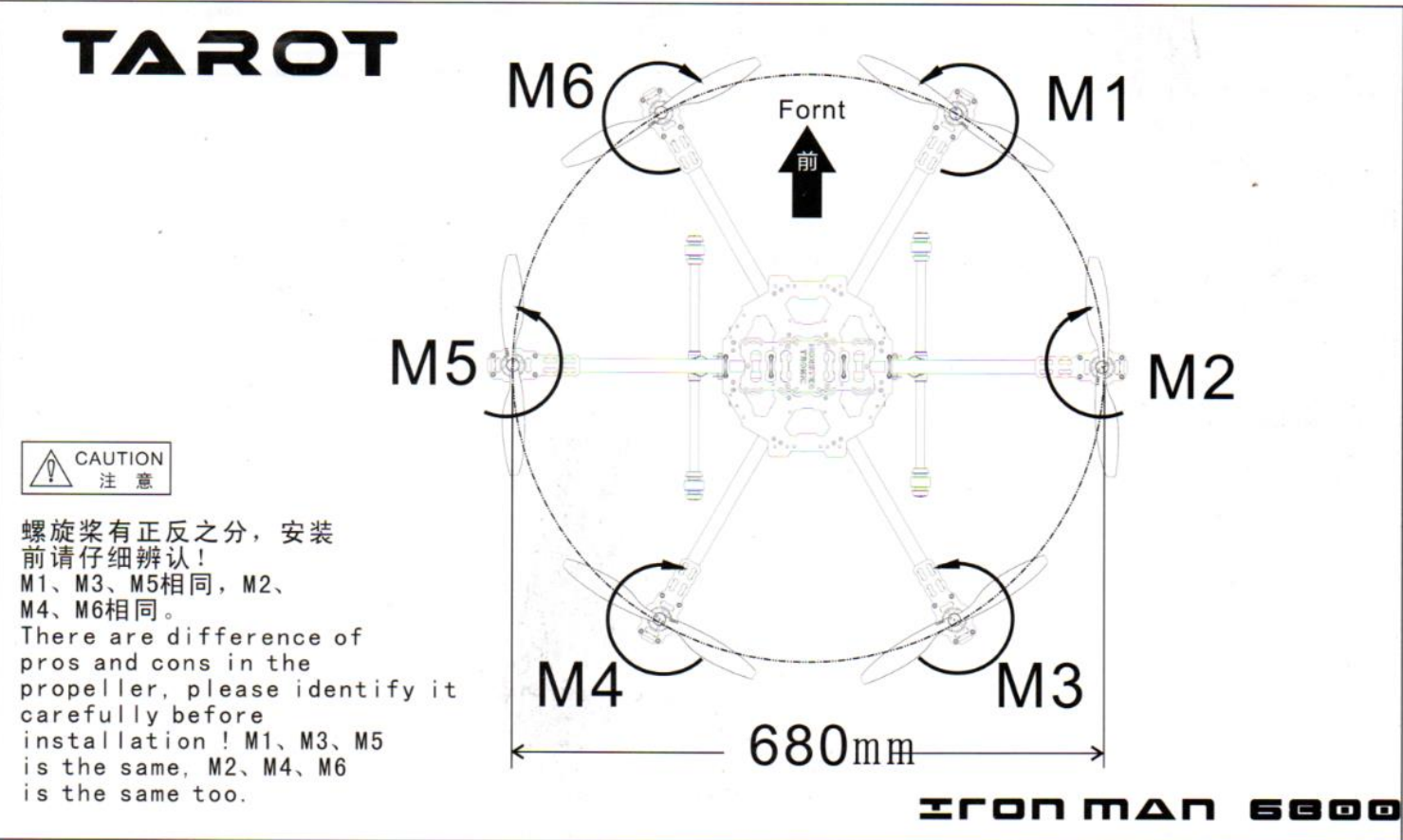
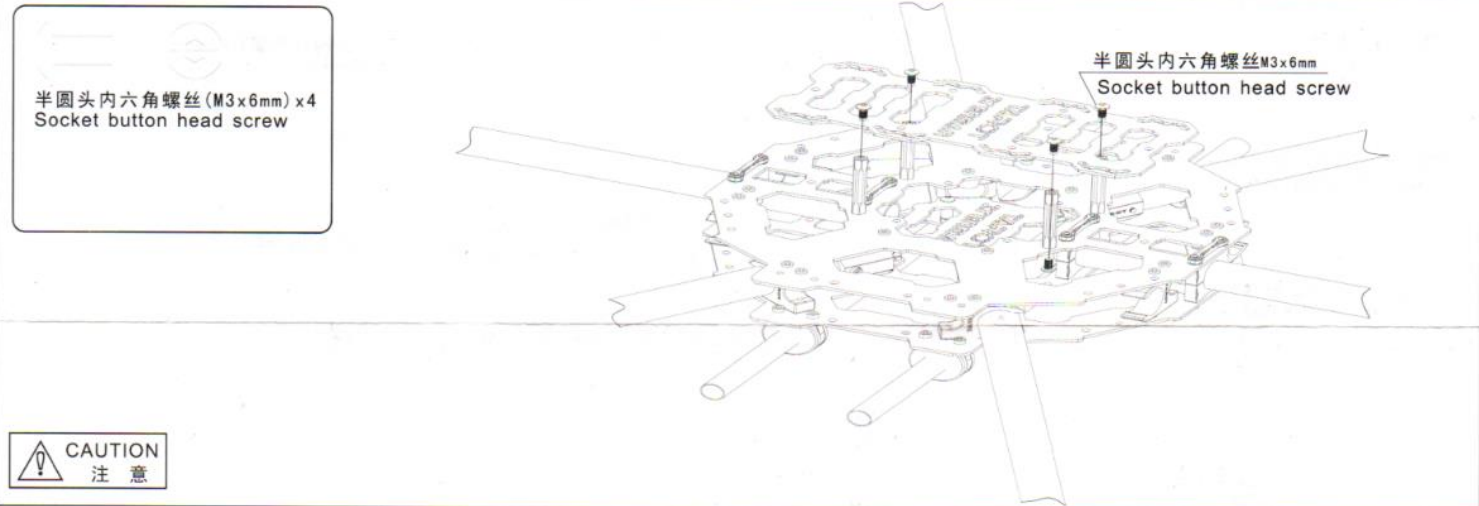
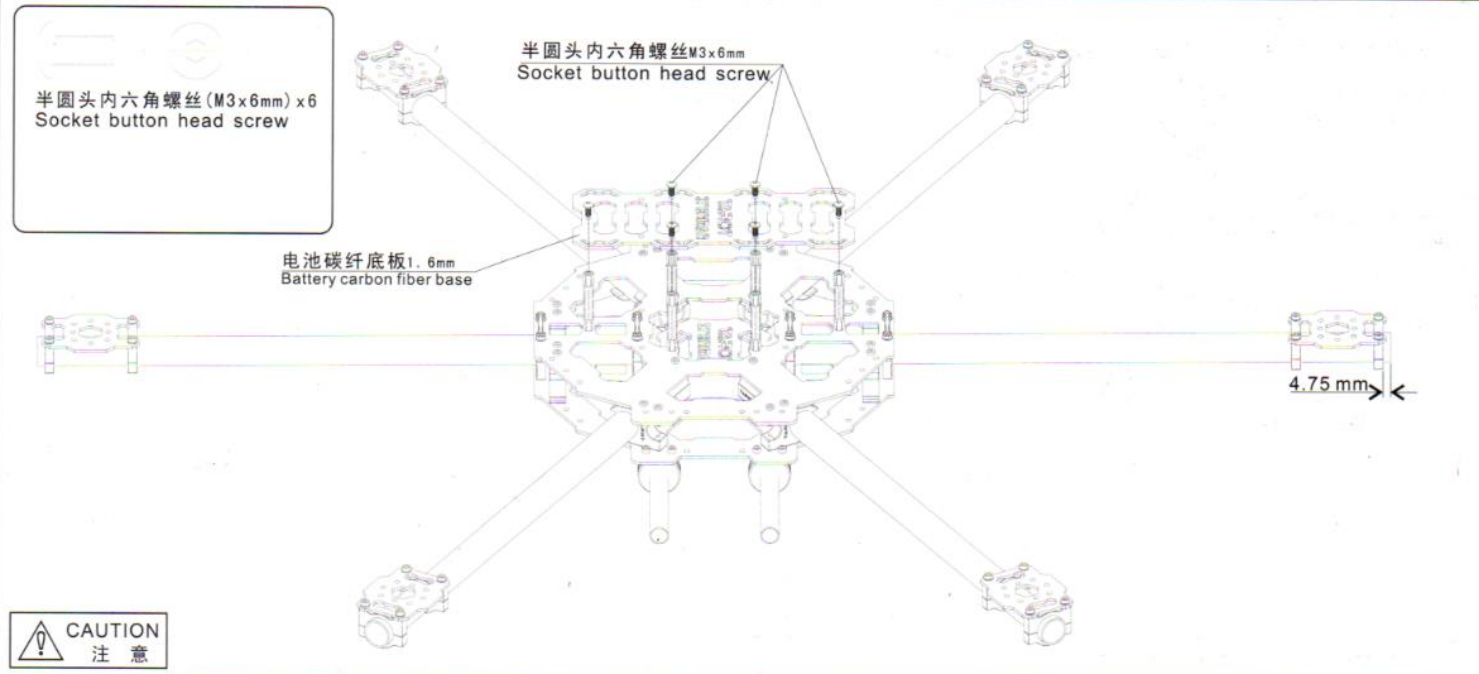
CAUTION  
注意

螺旋桨有正反之分，安装前请仔细辨认！

M1、M3、M5相同，M2、M4、M6相同。

There are difference of pros and cons in the propeller, please identify it carefully before installation! M1、M3、M5 is the same, M2、M4、M6 is the same too.

IRON MAN 6000



**SPMVX9909**  
**Power Distribution Board with**  
**5V and 12V Regulator**

Instruction Manual  
Bedienungsanleitung  
Manuel d'utilisation  
Manuale di istruzioni

**EN NOTICE**

All instructions, warranties and other collateral documents are subject to change at the sole discretion of Horizon Hobby, LLC. For up-to-date product literature, visit [horizonhobby.com](http://horizonhobby.com) and click on the support tab for this product.

**Meaning of Special Language**

The following terms are used throughout the product literature to indicate various levels of potential harm when operating this product:

**NOTICE:** Procedures, which if not properly followed, create a possibility of physical property damage AND a little or no possibility of injury.

**CAUTION:** Procedures, which if not properly followed, create the probability of physical property damage AND a possibility of serious injury.

**WARNING:** Procedures, which if not properly followed, create the probability of property damage, collateral damage, and serious injury OR create a high probability of superficial injury.

**WARNING:** Read the ENTIRE instruction manual to become familiar with the features of the product before operating. Failure to operate the product correctly can result in damage to the product, personal property and cause serious injury.

This is a sophisticated hobby product. It must be operated with caution and common sense and requires some basic mechanical ability. Failure to operate this Product in a safe and responsible manner could result in injury or damage to the product or other property. This product is not intended for use by children without direct adult supervision. Do not attempt disassembly, use with incompatible components or augment product in any way without the approval of Horizon Hobby, LLC. This manual contains instructions for safety, operation and maintenance. It is essential to read and follow all the instructions and warnings in the manual, prior to assembly, setup or use, in order to operate correctly and avoid damage or serious injury.

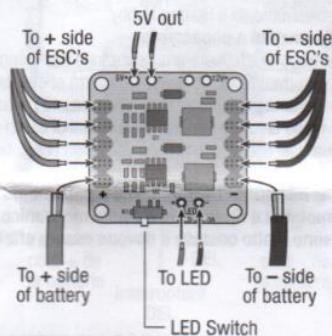
**Age Recommendation: Not for children under 14 years. This is not a toy.**

**Spektrum™ Power Distribution Board**

The Spektrum Power Distribution Board with dual voltage outputs is designed to make wiring your multirotor easier and more secure.

**Connections**

- Solder the + side of the ESC's and LiPo battery to the + side of the board.
- Solder the - side of the ESC's and LiPo battery to the - side of the board.
- Solder the output to either the 5V or 12V outputs noting polarity.
- Solder an LED to the power board and control it with the LED switch



SPECIFICATION	
Input voltage	2-6S
Weight	5.1g
Size	30.5 x 30.5mm
Output Power	3A 5V or 3A 12V

**LIMITED WARRANTY**

What this Warranty Covers - Horizon Hobby, LLC, (Horizon) warrants to the original purchaser that the product purchased (the "Product") will be free from defects in materials and workmanship at the date of purchase.

**What is Not Covered** - This warranty is not transferable and does not cover (i) cosmetic damage, (ii) damage due to acts of God, accident, misuse, abuse, negligence, commercial use, or due to improper use, installation, operation or maintenance, (iii) modification of or to any part of the Product, (iv) attempted service by anyone other than a Horizon Hobby authorized service center, (v) Product not purchased from an authorized Horizon dealer, (vi) Product not compliant with applicable technical regulations, or (vii) use that violates any applicable laws, rules, or regulations.

**Purchaser's Remedy** - Horizon's sole obligation and purchaser's sole and exclusive remedy shall be that Horizon will, at its option, either (i) service, or (ii) replace, any Product determined by Horizon to be defective. Horizon reserves the right to inspect any and all Product(s) involved in a warranty claim. Service or replacement decisions are at the sole discretion of Horizon. Proof of purchase is required for all warranty claims. SERVICE OR REPLACEMENT AS PROVIDED UNDER THIS WARRANTY IS THE PURCHASER'S SOLE AND EXCLUSIVE REMEDY.

**Limitation of Liability** - HORIZON SHALL NOT BE LIABLE FOR SPECIAL, INDIRECT, INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES, LOSS OF PROFITS OR PRODUCTION OR COMMERCIAL LOSS IN ANY WAY, REGARDLESS OF WHETHER SUCH CLAIM IS BASED IN CONTRACT, WARRANTY, TORT, NEGLIGENCE, STRICT LIABILITY OR ANY OTHER THEORY OF LIABILITY, EVEN IF HORIZON HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. Further, in no event shall the liability of Horizon exceed the individual price of the Product on which liability is asserted. As Horizon has no control over use, setup, final assembly, modification or misuse, no liability shall be assumed nor accepted for any resulting damage or injury. By the act of use, setup or assembly, the user accepts all resulting liability. If you as the purchaser or user are not prepared to accept the liability associated with the use of the Product, purchaser is advised to return the Product immediately in new and unused condition to the place of purchase.

**Law** - These terms are governed by Illinois law (without regard to conflict of law principals). This warranty gives you specific legal rights, and you may also have other rights which vary from state to state. Horizon reserves the right to change or modify this warranty at any time without notice.

**WARRANTY SERVICES**

**Questions, Assistance, and Services** - Your local hobby store and/or place of purchase cannot provide warranty support or service. Once assembly, setup or use of the Product has been started, you must contact your local distributor or Horizon directly. This will enable Horizon to better answer your questions and service you in the event that you may need any assistance. For questions or assistance, please visit our website at [horizonhobby.com](http://horizonhobby.com), submit an inquiry to [productsupport@horizonhobby.com](mailto:productsupport@horizonhobby.com) or call the toll-free telephone number referenced in the Warranty and Service Contact Information section to speak with a Product Support representative.

**Inspection or Services** - If this Product needs to be inspected or serviced and is compliant in the country you live and use the Product in, please use the Horizon Online Service Request submission process found on our website or call Horizon to obtain a Return Merchandise Authorization (RMA) number. Pack the Product securely using a shipping carton. Please note that original boxes may be included, but are not designed to withstand the rigors of shipping without additional protection. Ship via a carrier that provides tracking and insurance for lost or damaged parcels, as Horizon is not responsible for merchandise until it arrives and is accepted at our facility. An Online Service Request is available at [http://www.horizonhobby.com/content/service-center\\_render-service-center](http://www.horizonhobby.com/content/service-center_render-service-center). If you do not have internet access, please contact Horizon Product Support to obtain a RMA number along with instructions for submitting your product for service. When calling Horizon, you will be asked to provide your complete name, street address, email address and phone number where you can be reached during business hours. When sending product into Horizon, please include your RMA number, a list of the included items, and a brief summary of the problem. A copy of your original sales receipt must be included for Warranty consideration. Be sure your name, address, and RMA number are clearly written on the outside of the shipping carton.

Provided warranty conditions have been met, your Product will be serviced or replaced free of charge. Service or replacement decisions are at the sole discretion of Horizon.

**NOTICE: Do not ship LiPo batteries to Horizon. If you have any issue with a LiPo battery, please contact the appropriate Horizon Product Support office. Warranty Requirements - For Warranty consideration, you must include your original sales receipt verifying the proof-of-purchase date.**

**Non-Warranty Service** - Should your service not be covered by warranty, service will be completed and payment will be required without notification or estimate of the expense unless the expense exceeds 50% of the retail purchase cost. By submitting the item for service you are agreeing to payment of the service without notification. Service estimates are available upon request. You must include this request with your item submitted for service. Non-warranty service estimates will be billed a minimum of ½ hour of labor. In addition you will be billed for return freight. Horizon accepts money orders and cashier's checks, as well as Visa, MasterCard, American Express, and Discover cards. By submitting any item to Horizon for service, you are agreeing to Horizon's Terms and Conditions found on our website [http://www.horizonhobby.com/content/service-center\\_render-service-center](http://www.horizonhobby.com/content/service-center_render-service-center).

**ATTENTION: Horizon service is limited to Product compliant in the country of use and ownership. If received, a non-compliant Product will not be serviced. Further, the sender will be responsible for arranging return shipment of the un-serviced Product, through a carrier of the sender's choice and at the sender's expense. Horizon will hold non-compliant Product for a period of 60 days from notification, after which it will be discarded.**

5-14-2015

**WARRANTY AND SERVICE CONTACT INFORMATION**

Country of Purchase	Horizon Hobby	Contact Information	Address
United States of America	Horizon Service Center (Repairs and Repair Requests)	servicecenter.horizonhobby.com/ RequestForm/	4105 Fieldstone Rd Champaign, Illinois, 61822 USA
	Horizon Product Support (Product Technical Assistance)	productsupport@horizonhobby.com. 877-504-0233	
	Sales	websales@horizonhobby.com 800-338-4639	
United Kingdom	Service/Parts/Sales: Horizon Hobby Limited	sales@horizonhobby.co.uk +44 (0) 1279 641 097	Units 1-4, Ployters Rd, Staple Tye Harlow, Essex, CM18 7NS, United Kingdom
Germany	Horizon Technischer Service Sales: Horizon Hobby GmbH	service@horizonhobby.de +49 (0) 4121 2655 100	Christian-Junge- Straße 1 25337 Elmshorn, Germany
France	Service/Parts/Sales: Horizon Hobby SAS	infofrance@horizonhobby.com +33 (0) 1 60 18 34 90	11 Rue Georges Chapak 77127 Lieusaint, France

**CE EU Compliance Statement:** Horizon Hobby, LLC hereby declares that this product is in compliance with the essential requirements and other relevant provisions of the EMC Directive.

A copy of the EU Declaration of Conformity is available online at: <http://www.horizonhobby.com/content/support-render-compliance>.



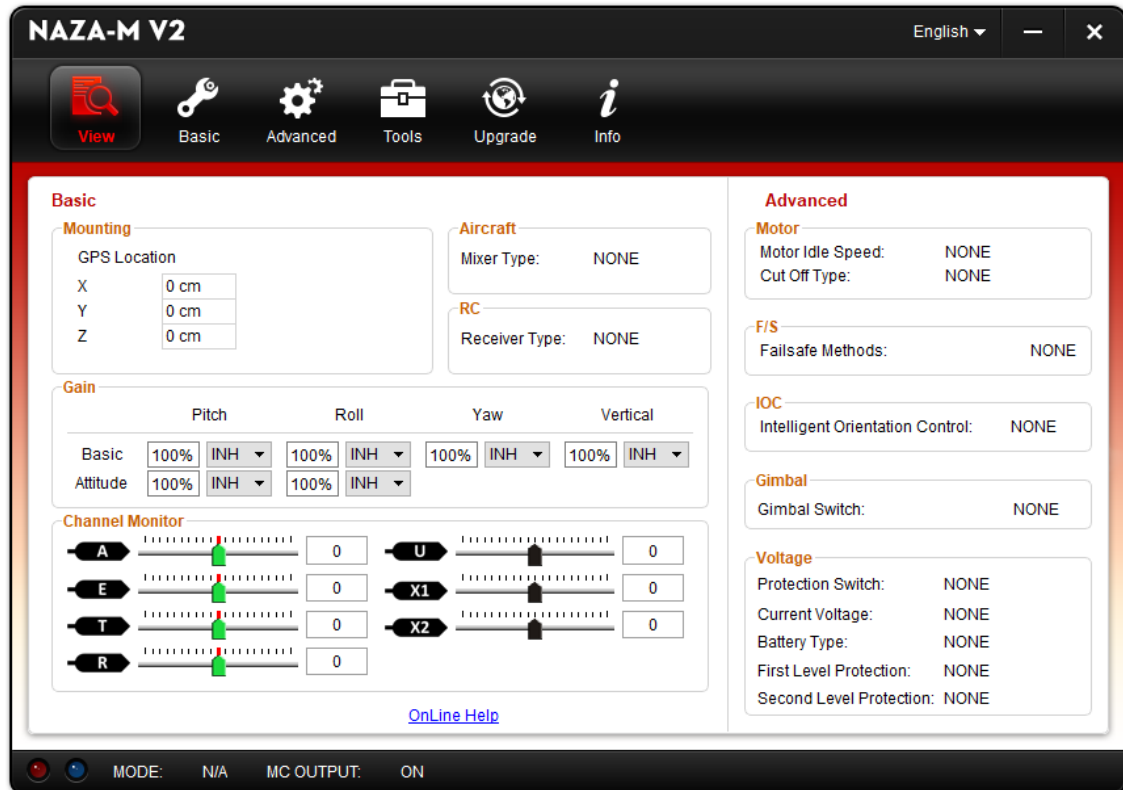
**Instructions for disposal of WEEE by users in the European Union**

This product must not be disposed of with other waste. Instead, it is the user's responsibility to dispose of their waste equipment by handing it over to a designated collections point for the recycling of waste electrical and electronic equipment. The separate collection and recycling of your waste equipment at the time of disposal will help to conserve natural resources and ensure that it is recycled in a manner that protects human health and the environment. For more information about where you can drop off your waste equipment for recycling, please contact your local city office, your household waste disposal service or where you purchased the product.

## Anexo 5:

### Pasos para la instalación del software DJI NAZAM Assistant\_2.40

a) Descargar el instalador de la página del fabricante y seguir cada paso del asistente de instalación.



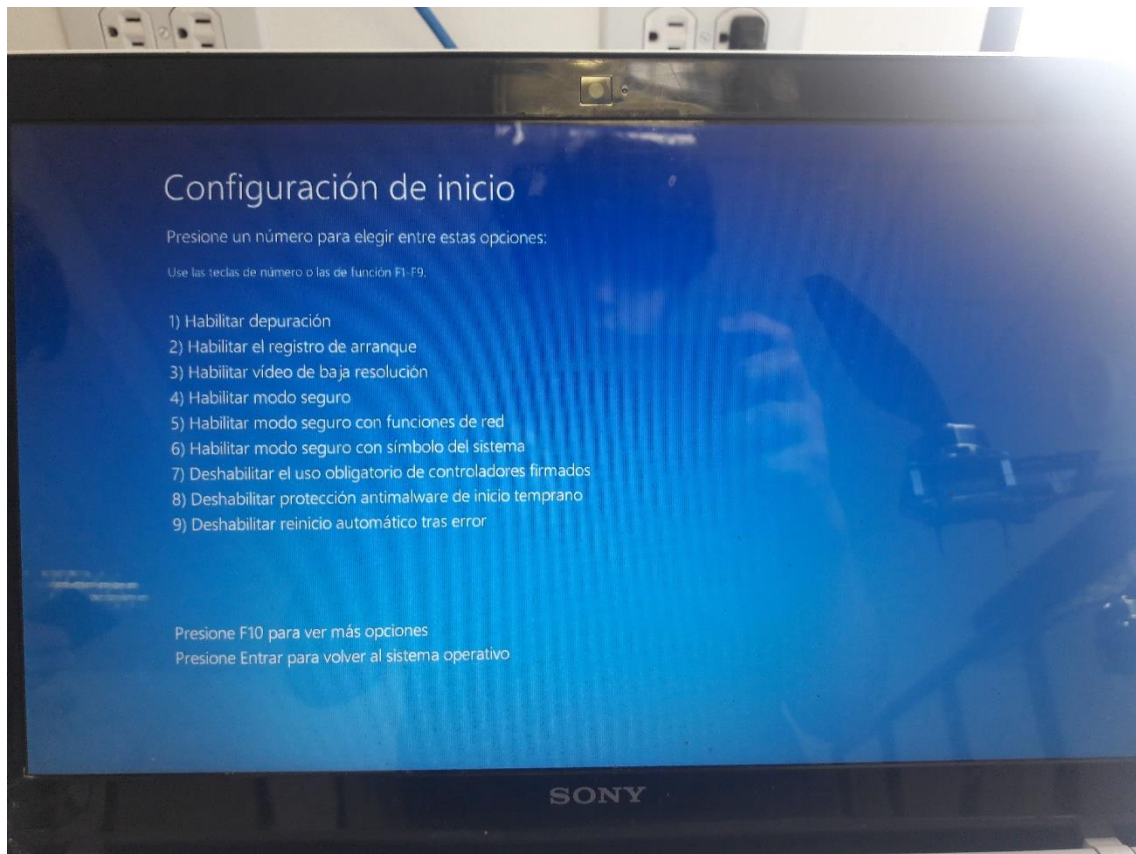
Cuando se conecta la controladora Naza a la computadora se enciende un led verde que parpadea continuamente. Si ningún led se enciende después de conectar la controladora se deben realizar los siguientes pasos.

b) Habilitar el computador para instalar drivers sin firma

Primero se debe entrar a la BIOS de Windows, para esto se hace clic en inicio, clic en Apagar, y manteniendo presionada la tecla shift, se hace clic en Reiniciar.



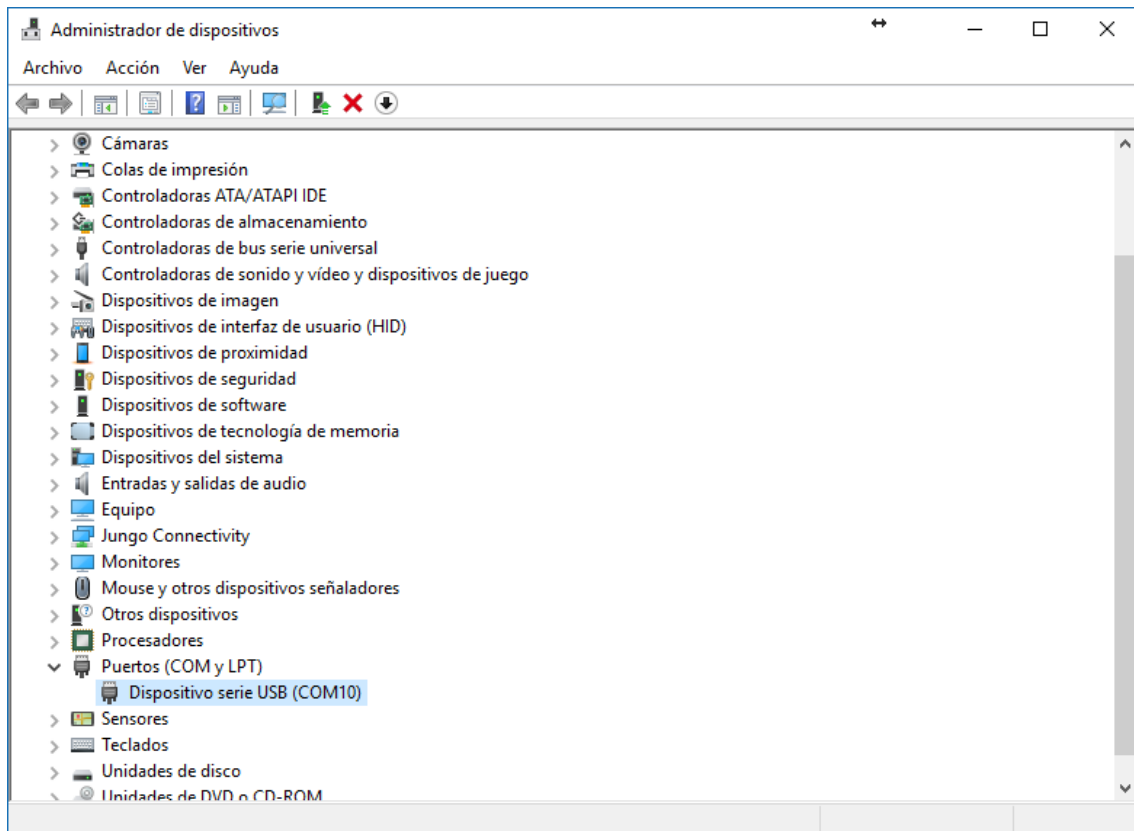
En la BIOS ir a; Solucionar Problemas > Opciones Avanzadas > Configuración de Inicio, y seleccionar la opción “Deshabilitar el uso obligatorio de controladores firmados” presionando la Tecla F7. Una vez hecho esto, el sistema se reiniciará automáticamente con la opción seleccionada. El sistema volverá a la configuración habitual en el próximo reinicio del computador.



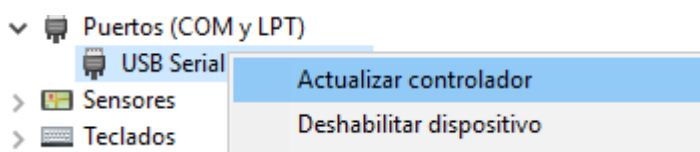
c) Instalar el driver de forma Manual



Entrar a “Administrador de Dispositivos”. Se podrá ver el puerto al que se va a instalar el driver con el nombre “USB Serial Device (COM10)”.



Hacer clic derecho, seleccionar Actualizar Controlador.



Seleccionar la opción “Buscar software de controlador en el equipo”, luego “Elegir en una lista de controladores disponibles en el equipo”

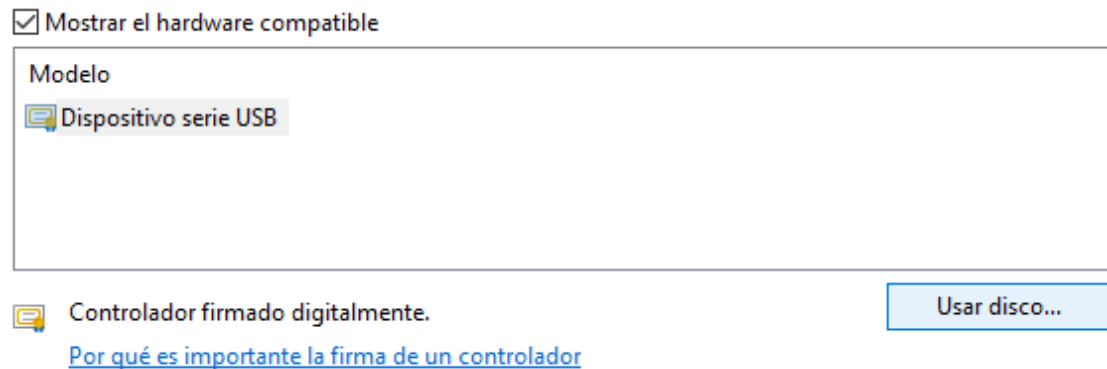
→ Elegir en una lista de controladores disponibles en el equipo  
Esta lista mostrará los controladores disponibles compatibles con el dispositivo y todos los controladores que estén en la misma categoría que el dispositivo.

1

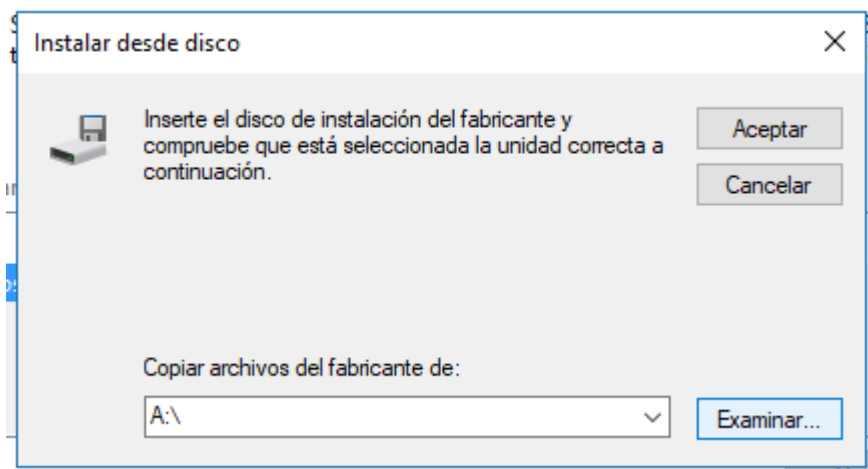
→ Buscar software de controlador en el equipo  
Buscar e instalar el software de controlador de forma manual.

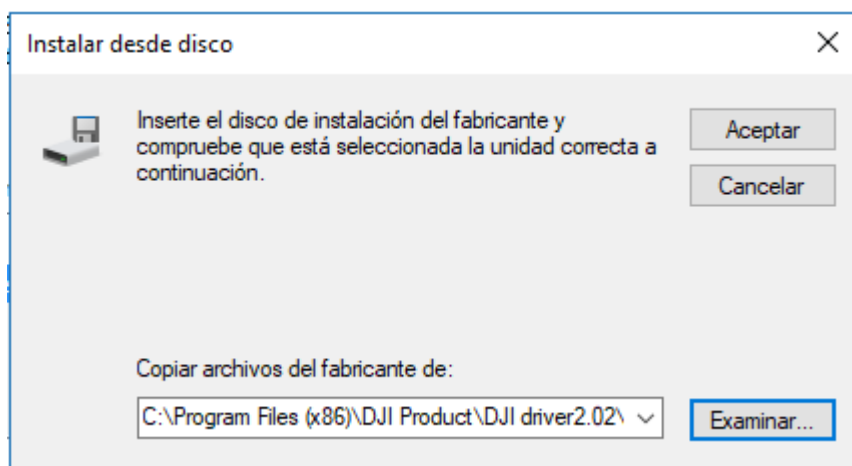
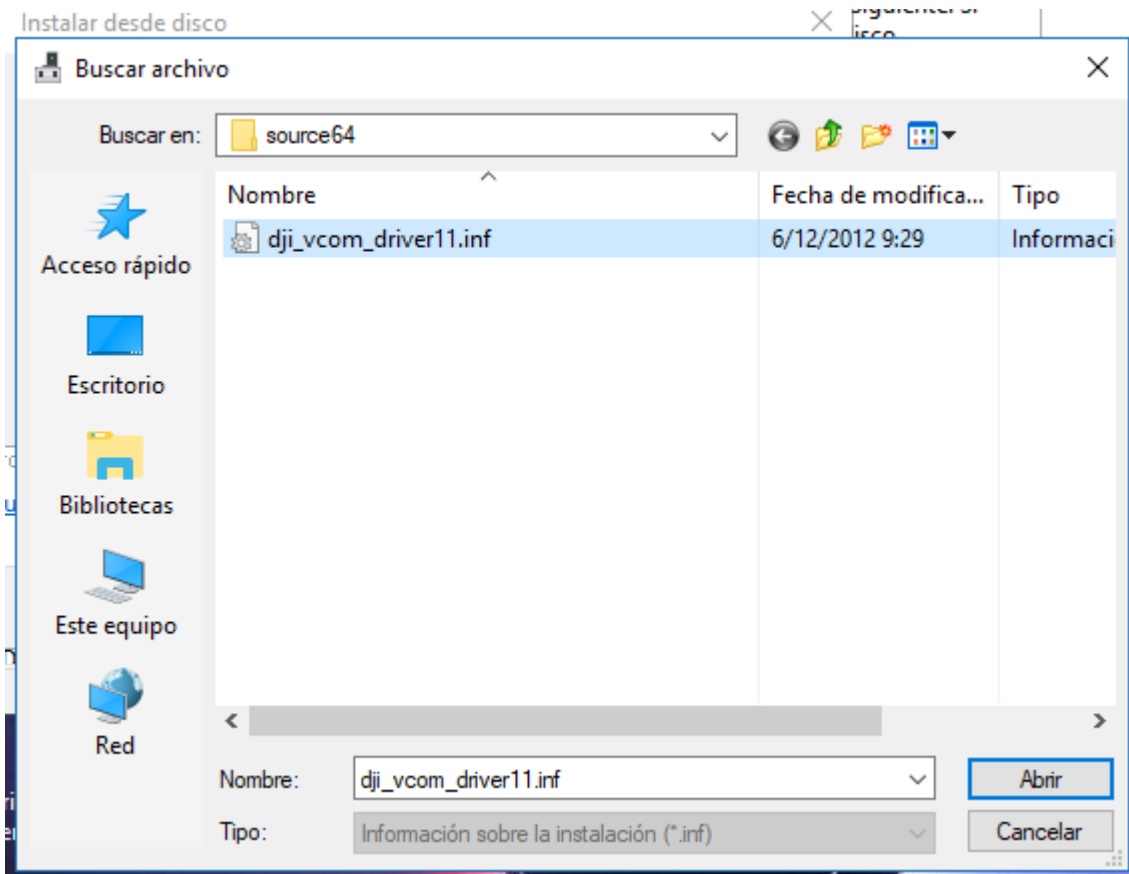
2

Hacer clic en el botón “Usar Disco”

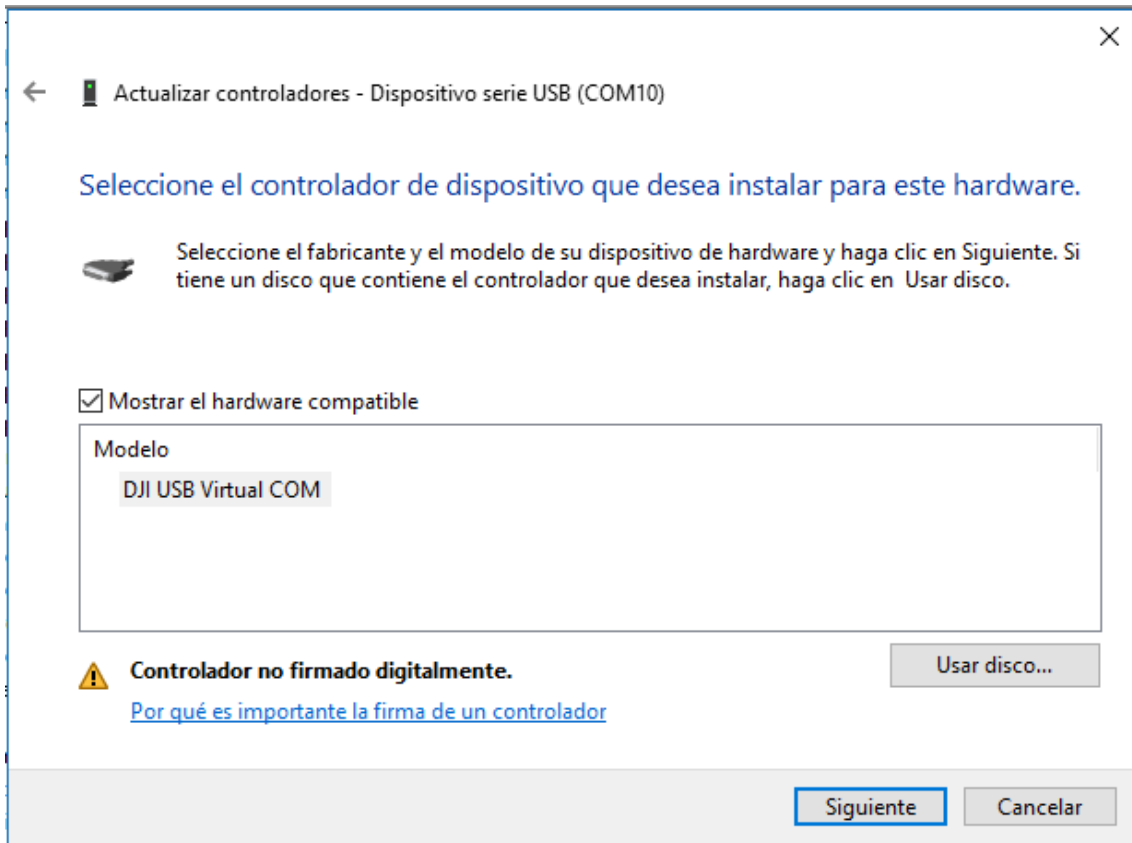


Dar clic en el botón “Examinar”, en la ventana emergente ir al directorio “C:\Program Files (x86)\DJI Product\DJI driver2.02\source64” y seleccionar el controlador DJI “dji\_vcom\_driver11.inf”.

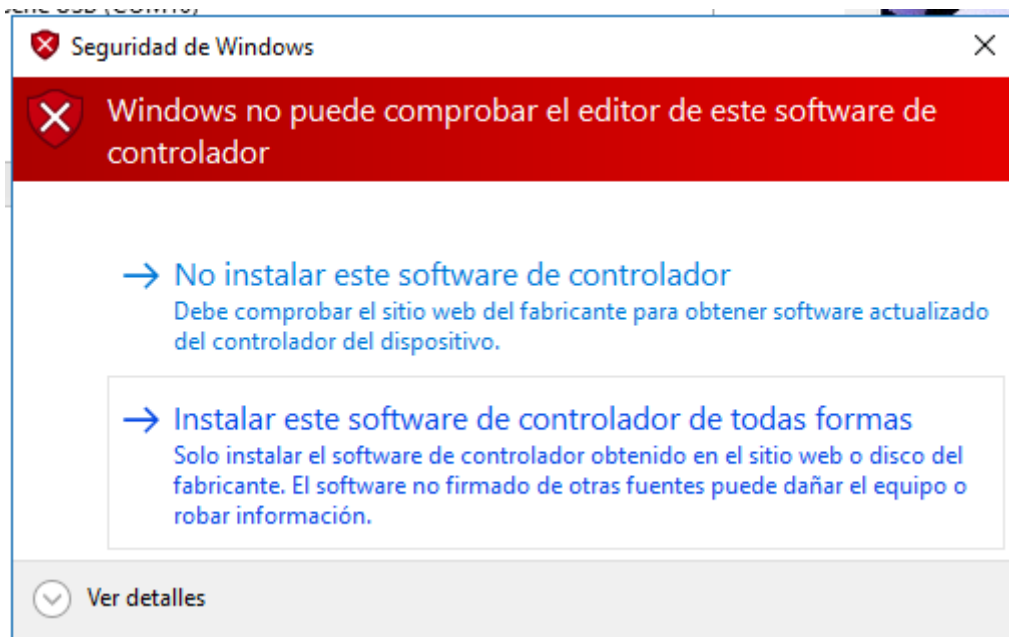








Después de presionar aceptar se cerrará la ventana y aparecerá el asistente de instalación con el nombre del driver a instalar.



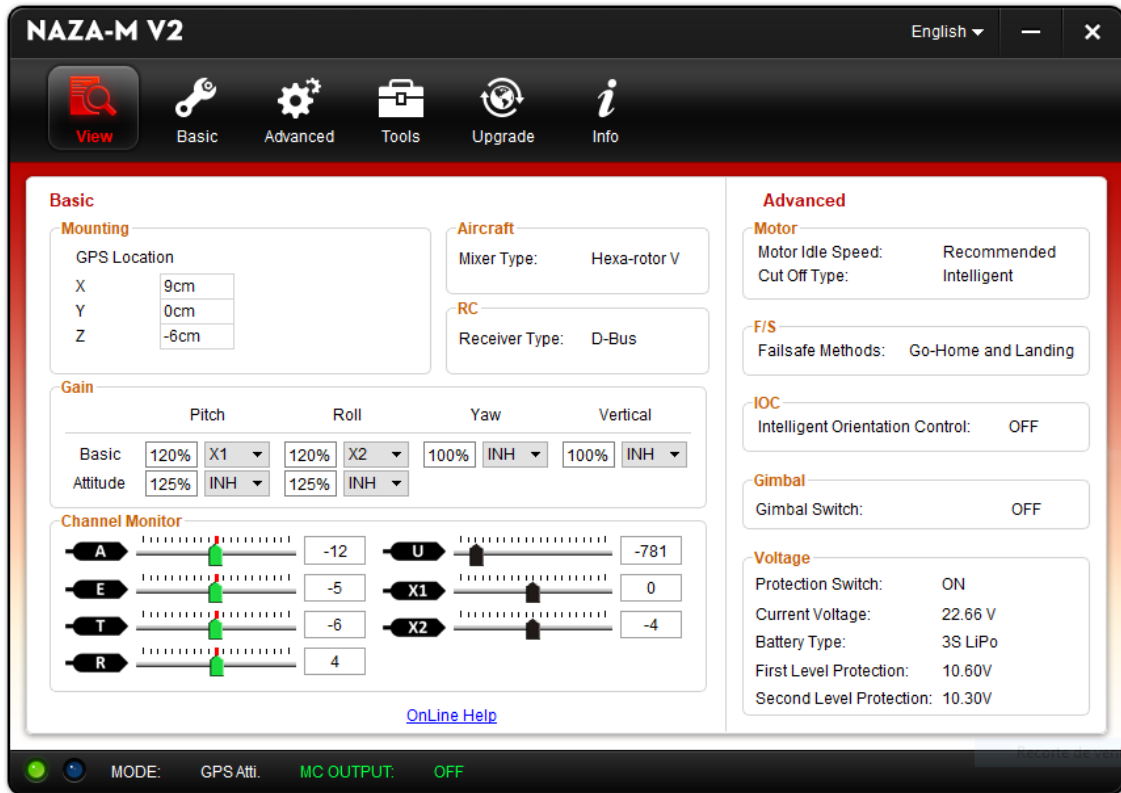
Al dar clic al botón siguiente, aparece la siguiente advertencia en donde se selecciona la opción “Instalar este controlador de todas formas”



El puerto deberá cambiar de nombre a “DJI USB Virtual COM (COM10)”

- ▼  Puertos (COM y LPT)
  - ▶  DJI USB Virtual COM (COM10)
- >  Sensores
- >  Teclados

El software funcionará correctamente cuando se lo ejecute.



# Anexo 6:

## Ventanas de configuración de FC

The screenshot shows the 'Basic' configuration window of the NAZA-M V2 software. The interface includes a top navigation bar with icons for View, Basic, Advanced, Tools, Upgrade, and Info. The 'Basic' window is divided into several sections:

- Mounting:** GPS Location (X: 9cm, Y: 0cm, Z: -6cm).
- Aircraft:** Mixer Type: Hexa-rotor V.
- RC:** Receiver Type: D-Bus.
- Gain:** A table for configuring gain for Pitch, Roll, Yaw, and Vertical axes, with options for Basic and Attitude settings.
- Channel Monitor:** A visual representation of the RC channels (A, E, T, R, U, X1, X2) with their corresponding values.
- Advanced:** Motor settings (Motor Idle Speed, Cut Off Type), F/S (Failsafe Methods), IOC (Intelligent Orientation Control), Gimbal (Gimbal Switch), and Voltage (Protection Switch, Current Voltage, Battery Type, First Level Protection, Second Level Protection).

At the bottom, the status bar shows 'MODE: GPS Atti.' and 'MC OUTPUT: OFF'. A link for 'OnLine Help' is also present.

The screenshot shows the 'Aircraft' configuration window of the NAZA-M V2 software. The interface includes a top navigation bar with icons for View, Basic, Advanced, Tools, Upgrade, and Info. The 'Aircraft' window is divided into several sections:

- Mixer Type:** A diagram showing the rotation directions for six motors (M1 to M6) in a Hexa-rotor V configuration.
- Motor Test:** A grid of 12 icons representing different motor rotation directions, with the selected one highlighted by a red checkmark.
- Motor Test:** A button labeled 'Motor Test' and a 'default' button.

Below the diagram, there are two instructions:

1. Make sure the rotation direction of each motor is the same as the diagram shows. If not, swap over any of two wire connections of the incorrect motor to change its rotation direction.
2. Make sure the type of propeller matches the rotation direction of the motor.

At the bottom, the status bar shows 'MODE: GPS Atti.' and 'MC OUTPUT: OFF'.


## NAZA-M V2

English ▾ — ✕

View **Basic** Advanced Tools Upgrade Info

Aircraft **Mounting** RC Gain

### Location and Orientation




**Check the MC Orientation and Location**

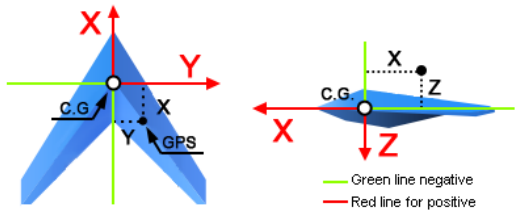
- The output ports of MC should point to the nose direction of the multi-rotor.
- The MC is best positioned near the multi-rotor's center of gravity. **DO NOT** mount the MC upside-down. The MC sides should be parallel to the multi-rotor body.

**Important**  
Please follow the requirements to mount the MC, to avoid abnormal flight.

### Controller Orientation



### Mounting Location



GPS

X	9 cm
Y	0 cm
Z	-6 cm

Green line negative  
Red line for positive

**Mount the MC as close to C.G. as possible**

default

MODE: GPS Atti. MC OUTPUT: OFF

## NAZA-M V2

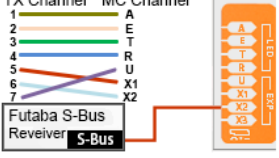
English ▾ — ✕

View **Basic** Advanced Tools Upgrade Info

Aircraft Mounting **RC** Gain

### R/C TX & RX Settings

TX Channel	MC Channel
1	A
2	E
3	T
4	R
5	U
6	X1
7	X2



**S-BUS Receiver Connection**

- Choose the type of receiver connection that you have installed.
- Connect your receiver to the main controller in accordance with the connection diagram.

**Tips**  
The communication of A/E/T/R/U/X1/X2 channels are all through the D-Bus channel.

### Receiver Type

Tradition  D-Bus  PPM

### Command Sticks Calibration

A: NORM  
E: REV  
T: REV  
R: NORM

Calibration START

### Sticks Monitor

X1  
X2

### X1 Calibration

Calibration START

### Control Mode Switch

GPS Failsafe Atti. Failsafe Atti.

U

MODE: GPS Atti. MC OUTPUT: OFF

**NAZA-M V2** English ▾ — ✕

View **Basic** Advanced Tools Upgrade Info

Aircraft Mounting RC **Gain**

### Gain Adjustment

A suitable angular rate can ensure the aircraft's stability and assistant in control. Setting this value too low may compromise the agility of the aircraft; setting this value too high may make it difficult to control the aircraft.

#### Max Angular Rate Adjustment

- The default max angular rate is 150. Set a higher value if the ESC is too responsive. Use increments of no more than 50.
- Adjust the basic and attitude gains after setting the max angular rate for a better flight experience.

**Tips**  
The max angular rate must be between 100 and 300.

#### Gain

	Pitch	Roll	Yaw	Vertical
Basic Gain	120%	120%	100%	100%
Remote Adjust	X1 ▾	X2 ▾	INH ▾	INH ▾
Attitude Gain	125%	125%		
Remote Adjust	INH ▾	INH ▾		

#### Max Angular Rate

	Pitch	Roll	
MaxAngular Rate	150	150	Set

E310 recommended value is: Pitch:300, Roll:300.  
E1200 recommended value is: Pitch:220, Roll:220.

default

MODE: GPS Atti. MC OUTPUT: OFF

**NAZA-M V2** English ▾ — ✕

View Basic **Advanced** Tools Upgrade Info

**Motor** F/S IOC Gimbal H3/4-3D Voltage Limits

### Motor Settings

#### What is Motor Idle Speed

Motor Idle Speed is the lowest speed after motors start. There are five levels from LOW speed to HIGH speed, and the default is RECOMMENDED.

#### How to set

Click the corresponding level to select Motor Idle Speed. RECOMMENDED is the advised level. Set to LOW, the motor idle speed will be lowest. Set to HIGH, the motor idle speed will be highest. You can set it according to the individual requirement.

#### Important

For users whose aircraft takes off at a lower throttle position, please set the idle speed at a low level. For common users, set it to RECOMMENDED or above, since setting idle speed too low may affect motor(s) spool up.

#### Motor Idle Speed

LOW RECOMMENDED HIGH

#### Cut Off Type

Immediately  Intelligent

MODE: GPS Atti. MC OUTPUT: OFF



**NAZA-M V2** English

View Basic **Advanced** Tools Upgrade Info

Motor **F/S** IOC Gimbal H3/4-3D Voltage Limits

### Failsafe Settings

Please select the desired Failsafe method.

**What is Enhanced Failsafe**  
Using the GPS Module, you can select "Landing" or "Go-Home and Landing" (in GPS Mode). Otherwise, only Landing will be triggered when the Main Controller (MC) loses the control signal from the TX.

**What is Home point**  
Before takeoff, current position of multi-rotor will be saved as home point when you push the throttle stick first time, after 6 or more GPS satellites are acquired, for more than 8s. Assure correct recording.

**How to re-gain control**  
Switch to Manual Mode or Atti. Mode to re-gain control of multi-rotor when it is in Failsafe Mode.

**Important**  
The aircraft will not go home if the GPS signal is not good.

**Enhanced Failsafe Methods**

Landing  Go-Home and Landing

MODE: GPS Atti. MC OUTPUT: OFF

**NAZA-M V2** English

View Basic **Advanced** Tools Upgrade Info

Motor F/S **IOC** Gimbal H3/4-3D Voltage Limits

### Intelligent Orientation Control (IOC)

Intelligent Orientation Control

**IOC Setting Procedure**

1. Please choose a 3-positions switch on your transmitter as IOC switch, which is also used for recording the multi-rotor orientation or home position.
2. Make sure to connect the correct receiver channel to X2 port of MC.
3. Click the CheckBox to enable the IOC.
4. Select control mode options.
5. Toggle the IOC switch to move the cursor of X2 to turn the corresponding area blue respectively.

**Tips**

1. If you use S-Bus/PPM receiver, the default X2 channel connection is the 6th channel of the transmitter.
2. If the software does not give the correct response, use end-point fine tuning on your transmitter to adjust the X2 channel.
3. Refer to the Manual for operation info.

X2 Home Lock Course Lock OFF

MODE: GPS Atti. MC OUTPUT: OFF

**NAZA-M V2** English ▾ — ✕

View Basic **Advanced** Tools Upgrade Info

Motor F/S IOC **Gimbal** H3/4-3D Voltage Limits

### Gimbal Setting

**Gimbal Switch**

- Please choose ON to enable the Gimbal.
- Select an Output Frequency in the DropDownList. The chosen output frequency is recommended not to be more than the maximum supported frequency of the servo.

**Important**  
Never connect F1/F2 ports to ESCs wired to motors with propellers, when configuring.

**Gimbal Switch**

ON  OFF Output Frequency: 50hz ▾

**Servo Travel Limit**

	MAX	Center	MIN
Pitch <b>F2</b>	1000	0	-1000
Roll <b>F1</b>	1000	0	-1000

**Automatic Control Gain**

	Gain	Direction
Pitch <b>F2</b>	20.00	NORM
Roll <b>F1</b>	20.00	NORM

**Manual Control Speed**

Pitch **X1** 100

default

MODE: GPS Atti. MC OUTPUT: OFF

**NAZA-M V2** English ▾ — ✕

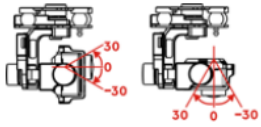
View Basic **Advanced** Tools Upgrade Info

Motor F/S IOC Gimbal **H3/4-3D** Voltage Limits

### Gimbal Setting

**Settings**

- "Tilt Control Gain" changes the movement speed of the gimbal. The higher the value the quicker the gimbal translates controller input.
- Adjust "Horizontal Limit" and "Vertical Limit" to change the gimbal's tilt endpoints. Angle limits are shown below:



- If FPV mode is checked, the gimbal will roll with the aircraft and incur horizon tilt. If FPV mode is unchecked, the gimbal will not roll and try to maintain a level horizon.

**Gimbal Config**

Tilt Control Gain

Horizontal Limit

Vertical Limit

FPV Mode

MODE: GPS Atti. MC OUTPUT: OFF

**NAZA-M V2** English ▾ — ✕

View Basic **Advanced** Tools Upgrade Info

Motor F/S IOC Gimbal H3/4-3D **Voltage** Limits

**Low-voltage Alert**

**Switch Setting**

Select ON if you use the Low-voltage Alert.

**Important**

1. Make sure the connection between the V-SEN port of VU and X3 port of MC is correct; otherwise the low voltage protection will not work properly.
2. The two level protections will only have LED warning under Manual Mode, on other protections.

**Protection Switch**

ON  OFF

**Battery**

Current Voltage

Battery Type

**First Level Protection**

No Load	Loss	Loaded
<input type="text" value="23.10 V"/>	<input type="text" value="0.00 V"/>	<input type="text" value="23.10 V"/>

Safeguard: LED Warning

**Second Level Protection**

No Load	Loss	Loaded
<input type="text" value="22.20 V"/>	<input type="text" value="0.00 V"/>	<input type="text" value="22.20 V"/>

Safeguard: Descending

MODE: GPS Atti. MC OUTPUT: OFF

**NAZA-M V2** English ▾ — ✕

View Basic **Advanced** Tools Upgrade Info

Motor F/S IOC Gimbal H3/4-3D Voltage **Limits**

**Flight Limits**

Flight Limits is aimed to restrict the flight height and distance.

**Settings**

1. Write values in the Max Height and Max Radius boxes to limit the flight height and distance within the range.
2. The default Max Height is 2000m and Max Radius is 2000m.

**Important**

1. Max Height works in the GPS or ATTI control mode. Max Radius works only in the GPS mode and the satellites count no less than 6.
2. If the aircraft flies out of the limits, it's still controllable except flying further away.
3. If the control mode is changed to GPS when the aircraft is out of Max Radius, the aircraft will fly back within the entered ranges.
4. The Failsafe and the Ground Station operations are not restricted to the Flight Limits.

Max Height:  Max Radius:

MODE: GPS Atti. MC OUTPUT: OFF

**NAZA-M V2** English ▾ — ✕

View Basic Advanced **Tools** Upgrade Info

**Tools**

Export Parameters

Import Parameters

Restore default settings

**IMU Calibration** ?

**Gyroscope(degree/s)**

X  Y  Z  **Mod**

**Acceleration(g)**

X  Y  Z  **Mod**

**Compass(raw)**

X  Y  Z  **Mod**

Basic **Advanced**

Check IMU Status

Status: ready Basic Cali

[OnLine Help](#)

MODE: GPS Atti. MC OUTPUT: OFF

**NAZA-M V2** English ▾ — ✕

View Basic Advanced Tools **Upgrade** Info

	Loader	Hardware ID	Firmware	Upgrade
<b>Main Controller</b>	5.2.0.1	██████████	4.06	<a href="#">Latest version:4.06</a>
GPS	---	██████████	6.0.1.2	
PMU	11.0.1.0	██████████	0.2.0.4	<a href="#">No updates</a>

MODE: GPS Atti. MC OUTPUT: OFF



View



Basic



Advanced



Tools



Upgrade



Info

User Info

Current Login User: amguevara@udlanet.ec

[Change User](#)

newsletter

Software Info

Current version: 2.40 [No updates](#)

License

SN

Current S/N: ac9fe87c71ffc0b2f07ec172d126953

Input your new S/N here: You can try (30) times

Enter

© 2011-2014 DJI Innovations. All Rights Reserved.

[OnLine Help](#)



MODE:

GPS Atti.

MC OUTPUT:

OFF

