



UNA TECNOLOGÍA PARA MIRAR AL MUNDO DESDE ARRIBA

LENIN ENRIQUE GARCÍA CARABALLO
lenin.garcia@santotomas.edu.co

JOSE GUILLERMO AMÓRTEGUI
jga469@gmail.com

RESUMEN

Empezar en el mundo de los drones FPV, (First person view, por sus siglas en inglés) drones pilotados en primera persona, puede convertirse en un proceso complejo, porque la mayoría de los proveedores de información emplean una lengua extranjera; las herramientas que el internet brinda no son suficientes, ya que se necesita investigación constante por las actualizaciones y se requiere un conocimiento básico en el campo de la electrónica para comprender la información. El siguiente artículo explorará sus componentes con sus respectivas funciones y recomendaciones, especialmente en drones de 5 pulgadas.

PALABRAS CLAVE

Drones FPV, electrónica, tecnología, aprendizaje

ABSTRACT

Getting started in the world of FPV drones (First person view piloted drones) can be a very complicated task, because most providers of information use a foreign language; the tools that internet provides aren't enough since constant research is needed for updates and basic knowledge in the field of electronics is required to understand the information. This article will address its components with their respective functions and recommendations, especially on 5-inch drones.

KEYWORDS:

FPV drones, electronics, technology, learning

INTRODUCCIÓN

Con el avance exponencial de la tecnología, cada vez nacen nuevos productos para distintas aplicaciones. Uno de los mayores desarrollos tecnológicos son los drones, empleados en diversas áreas dependiendo del objetivo de su uso. Entre sus tipos, se encuentran los FPV, estos permiten ser pilotados en primera persona por medio de unas gafas de realidad virtual que reciben la imagen captada por la cámara, lo que brinda una experiencia inmersiva y mayor precisión a la hora de hacer tomas, pasar entre obstáculos, inclusive, competir en carreras profesionales. En la mayoría de los casos, construir un dron FPV a mano brinda muchos beneficios, por ejemplo, si se llega a requerir reparación en algún momento, el usuario estará en la capacidad de arreglar el daño ya que conoce su propia creación. Este artículo tiene como objetivo brindar las bases necesarias para construir un dron FPV de 5 pulgadas y para que, a la hora de investigar con más profundidad en el hobby, la información sea más comprensible.

COMPONENTES

FRAME:

El marco del dron, está hecho de fibra de carbono. Para su tamaño, se clasifican en la longitud del diámetro de las hélices con los que son compatibles, por ejemplo, un frame de 5 pulgadas usa hélices de 5 pulgadas (no ser tan estricto en esta regla, ya que algunos son compatibles con hélices de 5.1 pulgadas).

Existen distintos tipos de frames de acuerdo al estilo de vuelo del piloto: freestyle, racer, longrange y cinematic.

Los frames de freestyle son robustos, diseñados para hacer acrobacias y vuelos entre obstáculos, tienen un área para montar una cámara para grabar.

Los racer son hechos para carreras, su estructura tiene el objetivo de ser lo más liviano posible y ágil, sólo tienen espacio para montar las partes electrónicas.

Los frames de longrange son usados para recorrer grandes distancias, tratando de disminuir el consumo de batería lo mayor posible, removiendo material para hacerlo liviano.

Los cinematic se emplean para hacer tomas tranquilas y estabilizadas, algunos son grandes para cargar cámaras profesionales, otros, tienen tubos en donde se meten las hélices para volar en espacios cerrados (llamados cinewhoops).





PLACA CONTROLADORA

También es llamada FC, (Flight Controller, por las siglas en inglés) esta es la encargada de controlar todos los movimientos del dron. Esta placa posee un procesador que contiene el código del firmware (es un software base que controla el hardware de un dispositivo para que funcione), procesa todas las señales y comandos que recibe para hacer que la aeronave pueda volar. Hay distintos firmwares para cada FC, entre ellos están: Betaflight, Kiss, Flightone, Inav y Fettec. Liang (2020), recomienda Betaflight, ya que tiene una alta compatibilidad con FC's y tiene la mayor cantidad de usuarios.

Existen diversos procesadores para placas controladoras, mostrados en la tabla 1, cada uno con su respectiva velocidad de procesamiento y memoria:

TABLA 1 Velocidad y espacio de almacenamiento en procesadores de FC's

	F1	F3	F4	F7	H7
Speed	72MHz	72MHz	168MHz	216MHz	480MHz
Memory	128KB	256KB	1MB	1MB	128KB

Fuente: Liang, O. (2020). *FPV*

Drone Flight Controller Explained. <https://oscardliang.com/flight-controller-explained/>

El tipo de procesador también definirá la cantidad de UART's (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter por sus siglas en inglés), Transmisor-Receptor Asíncrono Universal que tendrá cada FC. El UART, es un hardware diseñado para comunicarse con diferentes dispositivos, como el receptor, el

transmisor de vídeo, GPS, entre otros. Cada UART tiene dos espacios para soldar cables: uno para transmitir datos (Tx) y otro para recibirlos (Rx). Por ejemplo, para que la FC reciba la señal, se conecta un receptor a un UART Rx. Mientras más UART's tenga la FC, más periféricos se le podrán conectar.

TABLA 2 En la tabla 2, se muestra la cantidad de UART's según el tipo de procesador: Número de UART's según el tipo de procesador

	F1	F3	F4	F7
No. of UART	2	2-5	2-5	3-7

Fuente: Liang, O. (2020). *FPV Drone Flight Controller Explained*. <https://oscardliang.com/flight-controller-explained/>

Algunas FC son todo en uno, es decir, tienen integrado un controlador electrónico de velocidad para conectarle los motores directamente.

CONTROLADOR ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD

También es llamado ESC (Electronic Speed Controller, por sus siglas en inglés). Se encarga de controlar los motores según las órdenes que recibe de la FC.

Existen dos tipos: los individuales y los 4 en 1. Los individuales son un solo ESC para controlar cada motor, es decir, en un dron con 4 motores, se necesitaría un ESC por cada motor, así como se muestra en la imagen inferior.

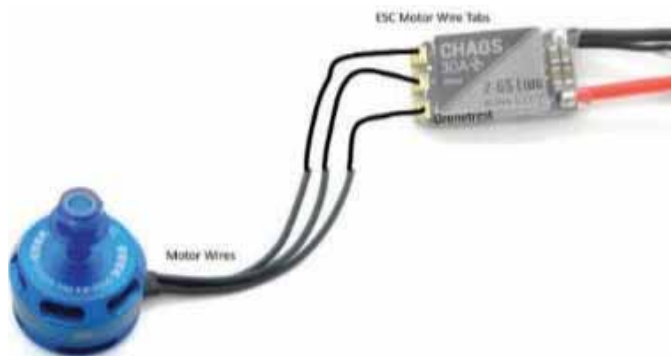


Figura 1. Cableado de ESC individual Fuente: Anónimo. (2018). How to connect quadcopter motors and ESC. Dronetrest. <https://blog.dronetrest.com/how-to-connect-motors-and-esc/>

Los 4 en 1 incluyen 4 ESC's en una sola placa, así como se muestra en la figura 2:

ESC 4 en 1

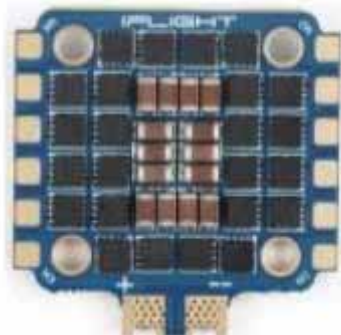


Figura No2

Hay diferentes ESC's que resisten diversas magnitudes de corriente o voltaje, normalmente se recomienda un amperaje de mínimo de 45 para drones de 5 pulgadas, y que se adapte al voltaje de la batería. Al igual que las FC, los ESC también tienen un procesador y un firmware como BLheli 32, Kiss, Fettec y BLheli S.

Para que el ESC se comunice con la placa controladora se usa un protocolo (lenguaje informático que permite la comunicación entre dos dispositivos). Los protocolos recomendados son unos llamados Dshot 300 y Dshot 600.

Fuente: Iflight. (s.f). Succex Mini 45A 2-6S BLHeli_32 Dshot600 4-in-1 ESC. <https://shop.iflight-rc.com/quad-parts-cat20/electronics-cat27/succex-mini-45a-2-6s-blheli-32-dshot600-4-in-1-esc-pro994>

BATERIAS

Las baterías usadas en estos drones están hechas de polímero de litio (Lipo, por sus siglas en inglés, Lithium polymer).

Cada batería tiene una capacidad, un voltaje y un C rating (se explicará más adelante). La capacidad se da en unidades de miliamperios por hora (mAh), esto indica cuánta corriente puede otorgar la batería en una hora antes de agotarse, por ejemplo, una batería de 1300mAh, puede entregar una corriente de 1300 miliamperios durante una hora.

El voltaje de una batería Lipo, está determinado por la cantidad de celdas que contiene, es como una caja con varios paquetes, cada paquete tiene 3.7 voltios, si una batería tiene 2 celdas, su voltaje será de 7,4 voltios, por la suma de esos 2 paquetes. El número de celdas aparece con una "s", indicando que están conectados en

serie, una batería 3S, tiene 3 celdas conectadas en serie. El C rating es la máxima corriente a la que se puede descargar una batería sin dañarla, es decir, una batería con un mayor C rating, puede entregar más energía. Por ejemplo, una batería de 100 C, puede descargarse 100 veces su capacidad. Sin embargo, no hay que fiarse mucho de esta especificación, Liang (2018) plantea que muchos fabricantes de estas baterías usan el C rating como una estrategia de marketing.

Para recargar las baterías, se enchufan al cargador y se selecciona de qué tipo es, cuánto voltaje posee y a cuántos amperios se desea cargar. Liang (2018) recomienda cargar las baterías lipo a 1C, es decir, a una vez su capacidad. Si una batería es de 1100 mAh, y se carga a 1C, se haría con 1.1 amperios ($1.1A \times 1C = 1.1A$).

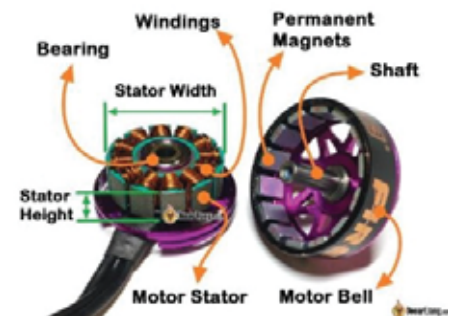


MOTORES

Los motores de drones FPV tienen dos partes: la campana y el estator. La campana contiene imanes permanentes (no cambian su polaridad) en su interior y el estator tiene el embobinado (cable enrollado para generar un campo magnético).

Para diferenciar los tamaños de motores se usan dos pares de números para determinar el diámetro del estator y su altura en milímetros. Por ejemplo, un motor 2207, tiene un estator de 22 mm de diámetro y de 7 mm de altura.

Motor de dron FPV



Fuente: Liang, O. (2019). How to Choose FPV Drone Motors. <https://oscarliang.com/quadcopter-motor-propeller/#where-to-start>

Rosser (2021) plantea que un motor con un diámetro menor mejora la respuesta y agilidad, puesto que su masa está más cerca del eje de rotación, sin embargo, si se elige un motor muy delgado y alto, no tendrá una refrigeración efectiva, disminuyendo el rendimiento.

También el motor se clasifica por KV (cantidad de revoluciones por minuto a la que gira el motor cuando se le aplica un voltio). Por ejemplo, un motor de 1800KV, sin hélice, con una batería 6s (22.2V) girará a 39996 rpm (porque $1800 \times 22.2 = 39996$).

Elegir un motor con un KV excesivamente alto, provocará que se caliente mucho, ya que tratará de mover la hélice más rápido, y se consumirá más corriente. Uno muy bajo no producirá la potencia suficiente. Liang (2019) aconseja que el empuje en relación con el peso del dron, sea de por lo menos de 5:1 para vuelos acrobáticos.



HÉLICES



Normalmente están hechas de policarbonato. Para clasificarlas se usan 3 números de esta forma: AxBxC, el primer número indica el diámetro de la hélice en pulgadas, el segundo el pitch (inclinación de las aspas en términos simples) del asa y el tercero el número de aspas, por ejemplo, una hélice de 5x4.3x3, tiene un diámetro de 5 pulgadas, un pitch de 4.3 pulgadas y 3 aspas.

Un pitch alto es eficiente, tiene menos agilidad y permite que el dron tenga agarre al momento de tomar curvas. Un pitch bajo es menos eficiente, pero tiene más agilidad, empleado principalmente para hacer trucos y acrobacias. Para un dron, el número de hélices que giran a favor o en contra de las manecillas del reloj deben ser iguales, para el caso de un dron común de 4 motores, se eligen 2 a favor y 2 en contra de las manecillas del reloj.



CÁMARA

Para los drones FPV es muy importante reducir el tiempo que tarda en transmitirse la señal (latencia). Las cámaras FPV, tienen una resolución baja para disminuir la latencia, sin embargo, hay sistemas nuevos que han logrado aumentar la resolución sin afectar mucho la latencia. Hay 2 tipos principales: Las análogas y las digitales. Las análogas tienen una calidad de imagen baja para reducir la latencia lo mayor posible. Las digitales son mucho más caras, pero, su calidad de

imagen es notablemente alta, la latencia aumenta un poco, pero es suficiente para poder pilotar la aeronave sin problema alguno.

TRANSMISOR DE VÍDEO

El VTX (Video Transmitter, por sus siglas en inglés), recibe la señal captada por la cámara y la transmite hacia las gafas de realidad virtual. Para que la imagen se vea lo mejor posible y para proteger los componentes, Bardwell

(2021) recomienda soldar un condensador directamente en la entrada de la corriente de la batería, ya que así se reducen picos de voltaje, generados por demanda excesiva de corriente, así como se muestra en la figura 4.

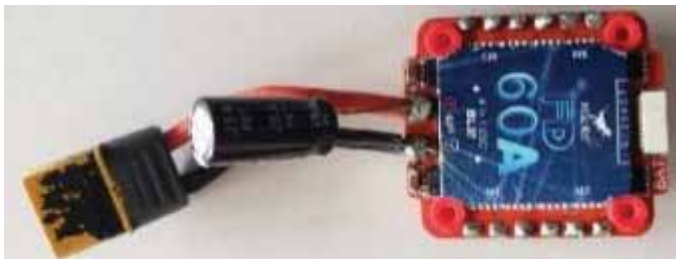


Figura 4 Instalación de condensador en un ESC 4 en 1, Imagen tomada por el investigador

El transmisor de vídeo puede enviar la señal a distintos niveles de potencia medidos en miliwatts (mW), mientras más alto sea este número, más alcance y potencia tendrá la señal.

El VTX para comunicarse con la FC, emplea un protocolo, actualmente existen 2 protocolos: Smartaudio y Tramp (para VTX's análogos). Al igual que las cámaras, hay transmisores de vídeo digitales y análogos, los digitales comúnmente vienen en combo con la cámara. La señal también puede enviarse a distintas frecuencias, esto, para poder seleccionar una frecuencia con la menor interferencia posible.

RECEPTOR

Es el encargado de recibir la señal enviada por el control. Para que el control y el receptor se puedan comunicar, deben tener el mismo protocolo, para simplificarlo, es como 2 personas hablando, y para lograr entenderse, tienen que hablar el mismo idioma. Existen distintos protocolos: Sbus, Flysky, Crossfire (También sirve para Tracer), Ghost, ELRS, entre otros. Los que permiten más alcance son los 3 últimos mencionados, además, hay módulos que se le instalan al control para que puedan comunicarse con los protocolos sin necesidad de comprar otro control.

FUNCIONAMIENTO ENTRE COMPONENTES



- 1) Las señales enviadas por el control son recibidas por el receptor.
 - 2) El receptor envía la señal captada hacia la FC (a través de un puerto UART).
 - 3) La placa controladora envía esos comandos al controlador electrónico de velocidad.
 - 4) El ESC controla los motores según las órdenes de la placa controladora. Hay otros comandos además de los recibidos por el receptor, este es un mecanismo que se llama PID, este es parte del software de la placa controladora, es el encargado de detectar a qué velocidad, cuáles y en qué momento mover los motores para mantener el dron estable en el aire y seguir los comandos del control lo más exacto posible.
- A) La imagen captada por la cámara se transmite hacia la FC.
 - B) La FC envía la imagen hacia el transmisor de vídeo.
 - C) El transmisor de vídeo envía la imagen captada hacia el receptor de las gafas.
 - D) El receptor de las gafas recibe la señal

RECOMENDACIONES DE COMPONENTES

FC:

Escoger una con un procesador F7 o H7, ya que disponen de más UART's. Aunado a ello, tienen un convertidor de señal para los UART's, por ejemplo, receptores de Frsky (con protocolo SBUS), tienen la señal invertida al enviarla a la FC, las FC's mencionadas pueden leer esta señal sin problema alguno, sin embargo, placas como las F4, necesitan un inversor para que puedan leer la señal. Algunas FC's con procesador F4 tienen un UART dedicado para señales invertidas, como es el caso de la Kakute F4. Joshua Bardwell (2022) recomienda las siguientes: RDO JB7, Diatone mamba F722, T-Motor F7 HD, Diatone mamba basic f405 mk3, Aikon F7, Hobbywing Xrotor convertible o la Foxeer mini F722.

MOTORES:

Joshua Bardwell (2022) sugiere el FPVcycle imperial de 25mm o el Iflight Xing 2 2306. Para drones de 5 pulgadas y de baterías 6s se recomienda un KV de 1700 a 1900 y para 4s de 2300 a 2700, para ambas baterías, preferiblemente motores de tamaños 2306, 2207 o 2306.5.

BATERÍA

Se sugiere empezar directamente con baterías 6s, en caso de desear algo más económico, elegir una 4s. Oscar Liang (2022), plantea que la capacidad normalmente usada para drones de 5 pulgadas es de 1300 a 1600 mAh para 4s y de 1000 a 1300 mAh. En cuanto a las marcas, aconseja escoger: GNB, CNHL (China Hobby Line), Dinogy, Infinity, Lumenier, RDO, Rebel, Turnigy Graphene, Tattu R-Line o Thunderpower. Para el conector de la batería, se aconseja escoger uno de tipo XT60.

ESC

En lo posible escoger un combo (llamado stack) que incluya la FC, ya que así se facilita la conexión entre estos dos y asegurarse de que resista el voltaje de la batería.

VTX

Optar por un VTX de por lo menos de 800mW de potencia. Los más recomendados para imagen análoga son los modelos de la marca TBS (Team Blacksheep), Rush Tank e InmersionRc. Para imagen digital, los que han dado mejores resultados son los modelos de la marca Caddx y DJI (hay cantidades limitadas de DJI y Caddx ya que se dejaron de fabricar), son únicamente compatibles con las gafas digitales de DJI. Hay nuevos sistemas digitales como el Walksnail Avatar, o el Hdzero,

pero, es aconsejable esperar a que se terminen de desarrollar por completo y que se revisen más a fondo. Si se elige un VTX análogo, emparejarlo con gafas análogas, si se elige uno digital, comprar gafas para sistema digital (se puede usar un sistema análogo con gafas digitales usando un módulo como el BDI Digiadapter v2). Si se consigue una FC diseñada para VTX's digitales, no habrá necesidad de soldar, ya que disponen de un enchufe para conectarlo directamente.

ANTENA DEL VTX Y GAFAS:



Para escoger las antenas, es importante considerar lo siguiente:

Primero, hay dos variedades de antena: RHCP (Right hand circular polarized) y LHCP (Left hand circular polarized). Los dos tipos tienen el mismo rendimiento, emiten y reciben la señal alrededor de ellas, lo único que cambia es la dirección de las ondas de la señal. Procurar que la antena del VTX y de las gafas sean del mismo tipo para obtener mayor alcance.

También hay 4 tipos de conectores de antenas: SMA, RP-SMA, MMCX y UFL. Este varía según el VTX y las gafas escogidas. Se debe escoger el conector compatible con cada uno de estos.

Además de las antenas RHCP y LHCP, están las patch, las cuales son direccionales, es decir, la señal se recibe de una mejor manera si apuntan hacia el dron. Para estas, no importa si la antena del dron es LHCP o RHCP.

Joshua Bardwell (2022), recomienda las siguientes antenas: Foxeer lollipop v2, Xilo Axii, Lumenier Axii 2, Vas Ion Pro o la Rush Cherry.





HÉLICES

Para un dron de 5 pulgadas, se recomienda escoger unas desde 4.9 pulgadas de diámetro hasta 5.1. Si se quiere conseguir un dron ágil y para hacer acrobacias, Rosser (2021) aconseja hélices de pitch desde 3.1 hasta 4.3, para carreras en circuitos con muchas curvas, recomienda hélices de pitch desde 4.3 hasta 4.7, para longrange o carreras con pocas curvas, hélices de pitch desde 4.7 hasta 5.1. Además, plantea que es fundamental elegir

el pitch correcto para el KV de cada motor, si se elige un motor con un KV alto y con hélices de pitch alto, la batería se agotará rápidamente. Para elegir el pitch, se pueden analizar gráficas de prueba de los motores (se encuentran en internet) al usar diversas hélices o basarse en construcciones de otros pilotos. Entre los mejores fabricantes de hélices están: HQprop, Gemfan y T-motor.

FRAME

Se aconseja empezar con un frame de 5 pulgadas de freestyle. Hay que tener en cuenta la compatibilidad con cada una de las partes, la mayoría de los frames tienen agujeros para montar FC's y ESC's de 30x30 y 20x20 (La

FC va encima de la ESC, atravesadas por 4 tornillos, en el medio del frame). Entre las mejores marcas de frames están: ImpulseRC, FPV Cycle, Rotor Riot, TBS, GEPRC y Lumenier.



RECEPTOR

Para principiantes con un presupuesto bajo, es aconsejable comenzar con un receptor de Frsky, estos usan protocolo Sbus, se puede tornar un poco complicado enlazar el control con el receptor ya que a veces la versión del firmware que trae de fábrica no puede ser compatible con el control, haciendo que sea necesario cambiarlo a un firmware diferente. Para facilitararlo, hay una gran variedad de tutoriales en Youtube. Si se dispone de un presupuesto más alto y se quiere buscar la menor latencia posible a cambio de alcance, es mejor optar por un TBS Tracer o un InmersionRc ghost (este tiene distintos modos para seleccionar entre mayor alcance a cambio de mayor latencia o para obtener menor latencia por menor alcance), es mucho más fácil hacer el enlace. Si se busca el mayor alcance posible, sin aumentar mucho la latencia, hay sistemas como el TBS Crossfire o ELRS (este contiene unos modos parecidos a los de InmersionRc ghost). ELRS es muy complejo de usar, por lo que no se recomienda para principiantes.

Para los receptores de TBS, InmersionRc y ELRS, hay módulos que se conectan al control para poder enlazarse con el receptor (asegurarse de que el módulo sea compatible con el control). En el caso de Frsky, los controles pueden ser compatibles con el receptor sin necesidad de adquirir un módulo. elige un motor con un KV alto y con hélices de pitch alto, la batería se agotará rápidamente. Para elegir el pitch, se pueden analizar gráficas de prueba de los motores (se encuentran en internet) al usar diversas hélices o basarse en construcciones de otros pilotos. Entre los mejores fabricantes de hélices están: HQprop, Gemfan y T-motor.

CÁMARA

Esta tiene que ser análoga o digital según el VTX escogido. Los VTX's digitales se venden en combo con la cámara. Para VTX's análogos, Joshua Bardwell (2022) recomienda: la Runcam Phoenix 2 jb edition, Foxeer micro cat v3 (especial para visión nocturna), Foxeer t-rex micro o la Caddx baby ratel 2 nano para un presupuesto bajo.

Si se requiere más información y críticas sobre los componentes mencionados, visitar la página "FPV Know it all", por Joshua Bardwell donde se exponen las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.



REFERENCIAS

- Bardwell, J. (2021). *Best way to mount your capacitor? On ESC or XT60 plug [Video] YouTube.* <https://www.youtube.com/watch?v=kdPfiZ37nKs&t=71s>
- Bardwell, J. (2022). *Best 5" Freestyle FPV drones & parts. FPV know it all.* <https://www.fpvknowitall.com/fpv-shopping-list-five-inch-freestyle/>
- Liang, O. (2018). *What is C rating of LiPo battery FPV drones.* <https://oscarliang.com/lipo-battery-c-rating/>
- Liang, O. (2019). *How to Choose FPV Drone Motors.* <https://oscarliang.com/quadcopter-motor-propeller/#where-to-start>
- Liang, O. (2020). *FPV Drone Flight Controller Explained.* <https://oscarliang.com/flight-controller-explained/>
- Liang, O. (2022). *The Best 4S and 6S LiPo Batteries for FPV Drone.* <https://oscarliang.com/best-4s-6s-lipo-batteries/>
- Rosser, C. (2021). *How to pick the best motor for your quadcopter, now with physics! [Video] YouTube.* <https://www.youtube.com/watch?v=RXy00orSpfU&t=735s>
- Rosser, C. (2021). *How to choose the right props for your quadcopter: FPV Freestyle, Racing, and Long Range [Video] YouTube.* <https://www.youtube.com/watch?v=epJ6L9MaXOQ&t=869s>

BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo. (2018). *How to connect quadcopter motors and ESC. Dronetrest.* <https://blog.dronetrest.com/how-to-connect-motors-and-esc/>
- Drone Nodes. (s.f). *How to choose ESC for quadcopter | Electronic Speed Controller.* <https://dronenodes.com/drone-esc-electronic-speed-controller/>
- Liang, O. (2019). *How to choose FPV drone motors.* <https://oscarliang.com/quadcopter-motor-propeller/#kv>
- Liang, O. (2020). *Capacitors for noise filtering in mini quad.* <https://oscarliang.com/capacitors-mini-quad/>
- Liang, O. (2021). *How to build an FPV drone from scratch (Analog FPV system).* <https://oscarliang.com/build-fpv-drone-analog/>
- Reid, J. (2019). *C Rating for drone LiPo battery packs. Rotor drone pro.* <https://www.rotordronepro.com/c-rating-drone-lipo-battery-packs/#:~:text=The%20C%20rating%20for%20a,and%20that%20means%20higher%20performance>