

DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN QUADRICÒPTER



Pseudònim: Tyro99

Data de presentació: Desembre de 2020

Departament: Ciències i Tecnologia

Grup: 2n de Batxillerat

ABSTRACT

Drones are unmanned aerial vehicles which are remotely controlled and they have become very popular in the last years. But the origins of this innovative technology are in warfare for military uses. However, drones can be very helpful for civil applications, from audiovisual production to the agriculture field.

On the other hand, apart from studying the history, the applications and the future of the drones, the other or the main objective of this project is to learn as much as possible about drones, by constructing a quadcopter from the beginning.

The project describes the procedure of assembly, the functions of each part of the drone, the physics part and how the drone can fly, and finally, you the results after the flight tests. After the effort of hours, days and months in this work, my main objective has been achieved.

I am satisfied with the results since the drone was able to fly safely. However, lots of aspects can be still improved, because this technology is in a phase of constant investigation, experimentation and development. After all, I am pleased and proud of the results, because before I started I knew that it was an ambitious project.

RESUMEN

Los drones son vehículos aéreos no tripulados que se controlan remotamente. En los últimos años, se han popularizado de una manera viral, gracias a sus constantes innovaciones, i sobre todo por sus nuevas aplicaciones. Pero, los orígenes de esta tecnología surgieron en las guerras. Sin embargo, los drones son muy útiles para muchas aplicaciones civiles, desde la producción audiovisual, pasando por la vigilància y la seguridad, hasta el sector agrícola.

El objetivo principal de este trabajo, aparte de estudiar la historia, las aplicaciones actuales y el futuro de los drones, era aprender tanto como fuera posible sobre los drones, a partir de construir un quadricóptero desde cero.

En este trabajo se verá el procedimiento de ensamblaje de todas las piezas, las funciones de cada parte del dron, la física y la aerodinámica del quadricóptero, que explican por qué este puede volar, y finalmente, los resultados de las pruebas de vuelo.

Tras muchas horas, días y meses de trabajo constante y persistente, se ha cumplido el objetivo principal, el quadricóptero ha sido capaz de volar de manera estable y segura. Estoy satisfecho con los resultados, pero creo que hay muchos aspectos a mejorar. Sin embargo, estoy orgulloso de los resultados, porque antes de empezar este trabajo, sabía que era un proyecto ambicioso y que no iba a ser nada fácil.

ÍNDEX

1-Introducció	7
1.1-Motivacions	7
1.2-Hipòtesis	7
1.3-Objectius	8
2-Introducció al dron.....	9
2.1-Què és un dron?	9
2.2-És el mateix un aeronau RC que un dron?	9
2.2-Per què serveix aquesta tecnologia ?	10
3-Història dels drons.....	11
3.1-Nikola Tesla va inventar els drons	11
3.2-Quan va sorgir el dron?	12
3.3-D'on prové el nom d'aquest aparell?	13
4-Aplicacions civils dels drons.....	14
4.1-Cartografia	14
4.2-Emergències i salvament	15
4.3-Presa d'imatges y vídeos aeris	15
4.4-Seguretat pública i vigilància	16
4.5-Logística i comerç electrònic	16
5-Tipus de drons	17
5.1-Drons d'ala fixa	17
5.2-Drons d'ala rotatòria.....	18
6-Normativa i reglamentació d'Espanya (AESA).....	20
6.1-Prohibicions generals per volar un dron	21
6.2-Prohibicions per volar un dron professionalment.....	21
7-El futur dels drons	22
7.1-Què es preveu pel futur dels drons?	22
7.2-Quins sectors es poden beneficiar de l'ús de drons?	22

8-El funcionament del dron i les funcions de cada part	26
8.1-Funcionament bàsic d'un quadricòpter	26
8.2-Per què vola un dron?	27
8.3-L'esquelet del dron.....	29
8.4-Sistema moto-propulsor	30
8.4-La placa controladora i el <i>software</i>	33
8.5-La font d'alimentació del dron	34
8.7-Elements de control del dron.....	35
8.8-Sistema de transmissió de vídeo	37
8.9-Càmeres d'alta resolució	38
9-Procediment de construcció del quadricòpter.....	39
9.1-Muntatge i connexió de totes les parts	39
9.2-Programació i configuració	48
10-Disseny i impressió 3D	56
10.1-Dissenyar les peces	56
10.2-Els dissenys 3D pel meu dron	57
10.3-Impressió de les peces 3D	59
10.4-Resultats de les impressions 3D	60
11-Proves de vol.....	61
11.1-Primera prova de vol	61
11.2- Segona prova de vol	62
11.3-Tercera prova de vol.....	63
11.4-Imatges obtingudes de les proves de	64
12-Pressupost del treball	65
12-Conclusions del treball.....	68
13-Infografia	69
ANNEXOS.....	73
Annex I: Entrevista a Jordi Santacana	74
Annex II: Galeria d'imatges	78

AGRAÏMENTS

En primer lloc vull agrair a la meva tutora, que amb els seus coneixements i suport m'ha guiat a través de cada una de les etapes d'aquest projecte, per acabar assolint els objectius que buscava.

També vull agrair a l'institut per haver-me donat l'oportunitat de fer aquest treball, per haver-me facilitat els seus recursos i pel suport que m'han donat tots els professors i companys durant el projecte.

Finalment, vull agrair a tots els companys i a la meva família, per donar-me suport en els moments més complicats del projecte. En especial, vull agrair als meus pares, que sempre han estat allà per donar-me ànims i per ajudar-me en tot el que he necessitat.

1-Introducció

1.1-Motivacions

Sempre m'ha agradat aquest món, i crec que aquest treball és una bona oportunitat per experimentar el procés tecnològic. El disseny i la construcció d'aparells tecnològics sempre m'ha fascinat i m'ha cridat l'atenció.

Principalment volia fer el treball sobre algun tema relacionat amb el món del motociclisme, ja que també en sóc un apassionat i recentment m'havia comprat la meva primera moto. Però aquest tema presentava certes limitacions i no em va acabar de convèncer per fer un treball de recerca. Ja que les motos no són un tema recent, la meva intenció era estudiar un tema actual i amb molt futur al davant.

Aleshores em vaig pensar la idea de construir un dron des de zero, concretament un quadricòpter, que és el tipus de dron que utilitza quatre motors, col·locats estratègicament per aconseguir un vol estable i segur. Considero que és un tema actual i que té molt futur en la tecnologia, penso que les seves aplicacions són múltiples i cada vegada se'n desenvolupen de noves. A més a més, és un tema que tracta moltes tecnologies i penso que és una bona oportunitat per aprendre, per formar-me i per experimentar el procés tecnològic.

1.2-Hipòtesi

En aquest treball, la meva hipòtesi és que puc construir des de zero, un quadricòpter que funcioni i que pugui volar de manera estable. La meva idea és que seré capaç de construir-lo i programar-lo jo mateix amb els materials mínims perquè sigui un dron estable i segur. A més a més, penso que puc fer part de l'aeronau, utilitzant la tecnologia d'impressió 3D, ja que també m'agrada el disseny, i aquesta és una bona oportunitat per formar-me, aprendre i fer tot el possible per assolir els meus objectius d'aquest projecte.

1.3-Objectius

L'objectiu global del projecte és familiaritzar-me i aprendre el màxim possible sobre el sector dels drons, el qual, està en auge i cada vegada té més aplicacions. Per dur a terme aquest treball, s'utilitzaran diferents metodologies. Per una banda, en la part teòrica, l'objectiu és analitzar l'evolució general del dron fins a l'actualitat, mitjançant la recerca d'informació en fòrums, articles i llibres especialitzats en aquest tema.

Pel que fa a la part més pràctica, l'objectiu és experimentar el procés tecnològic que es duu a terme per construir un dron pas per pas. Quant al mètode, la idea és consultar i obtenir l'ajuda dels tutorials i consells de professionals en el muntatge de drons, els quals, comparteixen els seus coneixements i projectes a través de les xarxes (fòrums *online*, YouTube...).

1.3.1-Part teòrica

1. Estudiar la història dels drons, des dels seus orígens fins a l'actualitat.
2. Analitzar les aplicacions civils actuals dels drons i els seus projectes de futur.
3. Estudiar i el funcionament de cada una de les parts que componen el quadricòpter i entendre com s'enllacen perquè aquest pugui volar.

1.3.2-Part pràctica

1. Construir pas per pas un dron de tipus multi-rotor o quadricòpter.
2. El principal objectiu, és que aquest aparell pugui volar de manera estable i segura.
4. El segon objectiu és aprendre a dissenyar una part del dron mitjançant un programa de disseny en tres dimensions.
5. Utilitzar la impressió 3D per millorar les característiques tècniques del quadricòpter, i principalment, per afegir-li un càmera i poder obtenir imatges aèries i contingut audiovisual.

2-Introducció al dron

2.1-Què és un dron?

Un dron és tot aquell vehicle aeri que vola sense tripulació i per control remot o autònomament, les agències de seguretat aèria i organismes oficials utilitzen les següents sigles en anglès per referir-se als drons, RPAS¹ (Remote Piloted Aircraft System) o UAV² (Unmanned Aerial Vehicle).

UAV Average Assessed Costs



Figura 1 Tipus de drons. Font: www.uasmagazine.com/

2.2-És el mateix una aeronau RC que un dron?

Cal destacar que els aeronaus RC³ controlats exclusivament per control remot, com per exemple un helicòpter de control remot comú, en realitat no són drons, ja que els drons també poden volar sense cap intervenció humana durant el seu funcionament, encara que sempre estan connectats a un control d'emergència. És a dir, que els drons poden volar autònomament seguint un programari configurat anteriorment a la seva memòria sense que algú els hagi de pilotar.



Figura 2 Helicòpter RC
Font: <http://blog.model-space.es/>

¹ Sistema d'aeronau pilotada a distància

² Vehicle aeri no tripulat

³ Ràdio control

2.2-Per què serveix aquesta tecnologia?

En aquest apartat, l'objectiu és fer un resum general i superficial sobre les aplicacions que pot tenir aquesta innovadora tecnologia, per tal d'introduir el tema i aconseguir que s'entengui que aquesta tecnologia té un gran potencial.

Els drons són una eina molt útil per a molts àmbits, gràcies a la seva característica principal, que és el fet que es poden controlar de manera remota i en alguns casos es poden programar per realitzar vols autònoms segurs. Aquesta característica fa que es redueixi o que pràcticament elimini el risc per a les persones que controlin l'aeronau. Per aquest motiu, els drons tenen un paper important en el control d'incendis forestals. A més a més, actualment la majoria de drons incorporen càmeres d'alta resolució, no només els drons cinematogràfics. És per això que també s'utilitzen per realitzar exploracions de terrenys inaccessibles, per exemple, els drons que es fan servir en la mineria. Pel que fa als vols autònoms programables, n'és un exemple clar l'ús dels drons en sector de l'agricultura.

Cal destacar que un dron té un valor d'almenys seixanta vegades inferior a un helicòpter. A més a més, no requereix combustibles contaminants i no posa en perill la vida de qui el controla, com pot arribar a passar en un helicòpter.



Figura 4 El dron aplicada la construcció
Font: <https://biblus.accasoftware.com/>



Figura 3 DJI Inspire 2 (dron cinematogràfic). Font: store.dji.com

3-Història dels drons

3.1-Nikola Tesla va inventar els drons

Primerament, cal destacar que Nikola Tesla va patentar la idea dels drons com a màquines o vaixells que podrien ser guiats sense cables ni conductors elèctrics, és a dir, que podrien ser controlats a distància. L'enginyer alemany tenia clar el seu objectiu: aconseguir la pau en el món gràcies al seu poder destructiu. Però, aquesta idea va caure en mans del sector militar i aleshores es van començar considerar els drons com a tecnologia militar.

Tesla veia en els drons un gran potencial, i no només per a enviar paquets i provisions com els drons que està desenvolupant actualment Amazon Prime Air. En la patent, l'enginyer va considerar que podrien utilitzar-se per portar objectes, per realitzar exploracions, per establir comunicacions, per capturar balenes i altres animals i per molts altres propòsits científics, tecnològics i comercials.

L'enginyer alemany va fer un disseny de vehicle no tripulat, es tractava d'un vehicle bèl·lic de grans dimensions, un vaixell no tripulat. Tot i que com s'ha explicat anteriorment, cal insistir que l'objectiu de Nikola Tesla no era que s'utilitzés injustament en guerres, sinó que s'utilitzés per a mantenir la pau permanent entre les nacions.



Figura 6 Dron nàutil ideat per Nikola Tesla.
Font: <https://vadebarcos.net/>

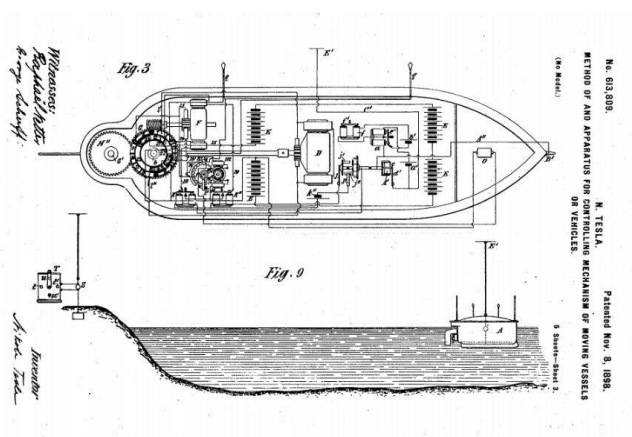


Figura 5 Plànol del dron nàutil de Tesla.
Font: <https://www.soy502.com>

3.2-Quan va sorgir el dron?

La idea d'avió no tripulat no és tant antiga. Els petits avions no tripulats coneguts com a drons van ser creats per a usos militars als Estats Units, tot i que la idea la va patentar Nikola Tesla, no va poder portar-la a la pràctica. Es pot dir, que el dron, sempre ha estat el somni de tot militar, ja que, permet aconseguir informació de l'enemic a distància i evitar pèrdues humanes.



Figura 7 Primer dron míssil.

Font: <http://eldrone.es/historia-de-los-drones>

Aquesta idea va començar fa poc més de cent anys, l'any 1916, quan un militar científic anomenat Archibald Low, va dissenyar un míssil aeri que es pilotava amb un control mitjançant senyals de ràdio. L'invent no va tenir èxit però la idea ja hi era. Poc després, entre 1917 i 1918, es va dur a terme la primera demostració de control remot d'un avió convencional carregat amb explosius, un vehicle que accionat per un mecanisme de rellotgeria havia de plegar les ales en un lloc programat i caure sobre l'enemic com una bomba.

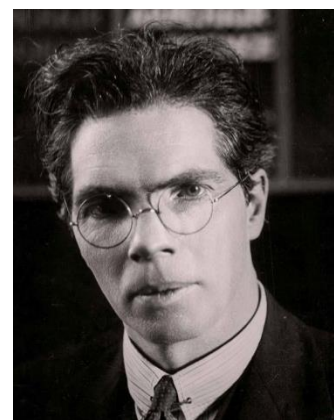


Figura 8 Archibald Low.

Font: cybermotorcycle.com

Després, vindria la Segona Guerra Mundial, i amb ella, la indústria bèl·lica va començar a buscar noves maneres de guanyar a l'enemic. Va ser aquí on van sorgir models com el B-24, el qual que es controlava per ones de ràdio i es va utilitzar en algunes missions per bombardejar els alemanys. Aquest model va ser dissenyat per l'empresa Consolidated



Figura 9 Consolidated B-24 Liberator.

Font: <http://www.aviation-history.com>

Aircraft de San Diego i per a l'exèrcit dels EUA.

A Vietnam, també es van utilitzar altres models, com el Ryan Firebee. Aquest, va introduir una nova idea, la càmera de fotos, aquesta idea va ser un gran avenç per a espionar al bàndol contrari i per tal d'organitzar millor les estratègies d'atac. Més endavant, l'empresa General Atomics, de Sant Diego, Califòrnia, originària dels Estats Units d'Amèrica, va introduir un salt en el desenvolupament dels drons, quan va introduir les càmeres de vídeo, amb això, va començar una nova etapa en el món dels drons.

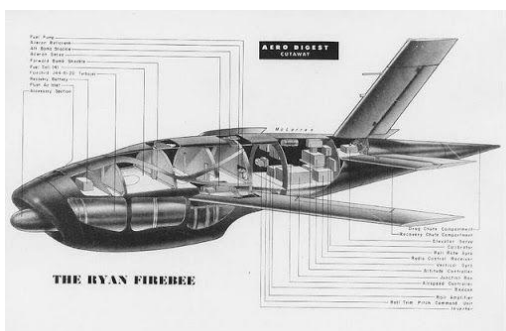


Figura 10 Esquema del Ryan Firebee
Font: <http://eldrone.es/historia-de-los-drones>



Figura 11 Prototip del Ryan Firebee.
Font: www.pinterest.es

3.3-D'on prové el nom d'aquest aparell?

El seu nom prové de l'anglès, la paraula «drone» es refereix a l'abella mascle o abellot, en anglès "male bee", van ser els militars dels EUA els que van decidir el nom de "drone", per diversos motius, alguns investigadors diuen que és pel fet que els drons seguien un sistema de navegació similar al dels insectes, uns altres diuen que és pel fet del soroll que feia un dron, similar al d'un abellot.

drone <i>n</i>	(male bee)	zángano <i>nm</i>
	Drones have no sting, and do not make honey.	
	Los zánganos no pican y no fabrican miel.	

Figura 12 Traducció de la paraula "drone" de l'anglès al castellà. Font: www.wordreference.com

4-Aplicacions civils dels drons

L'aparició dels drons ha marcat sense cap mena de dubte una revolució en l'àmbit tecnològic. Durant els últims anys aquesta tecnologia ha avançat en tots els sectors, gràcies al gran potencial que té, inclús realitzant tasques que abans eren impensables.

Tot i que la llei no afavoreix al desenvolupament d'aquesta tecnologia per motius de privacitat o altres, grans multinacionals, com per exemple Amazon, Walmart o Facebook, volen evolucionar en aquest camp, ja que saben que aquesta tecnologia és una gran inversió pel futur.

4.1-Cartografia

L'ús de drons en cartografia ha proporcionat una gran oportunitat i oferta de treball pels especialistes d'aquest àmbit. Les aplicacions que ofereixen els drons en aquest tema són entre d'altres la possibilitat de dissenyar mapes geogràfics de i estudiar els terrenys detalladament, amb una gran facilitat i reduint notablement el cost de la investigació.

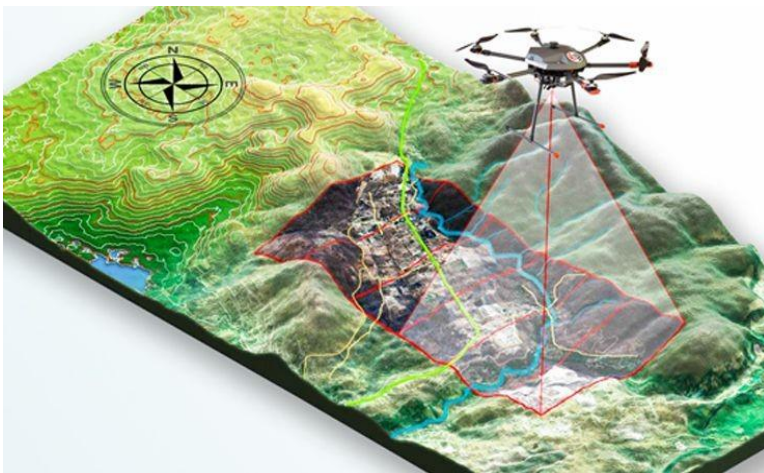


Figura 13 El dron aplicada a la cartografia. Font: <https://arquidron.com/>

4.2-Emergències i salvament

A Espanya l'ús dels drons en aquest sector el podem veure en la feina de salvament marítim, la velocitat i agilitat que tenen aquests aparells, els permet ser els primers a arribar a la zona de l'emergència. En aquest sector s'estudia un gran avenç, ja que la possibilitat de transportar una farmaciola de primers auxilis i arribar ràpidament al lloc on es troba l'incident pot fer que es salvin moltes vides.



Figura 14 El dron en emergències i accidents.
Font: <https://www.techeblog.com/>

4.3-Presa d'imatges i vídeos aeris

La incorporació de càmeres de gran qualitat en drons ha donat resultat a una de les aplicacions més conegudes d'aquesta tecnologia. Sembla que la perspectiva a ull d'ocell fa que veiem el món més atractiu. Des de la publicitat, passant per esdeveniments o casaments i fins a escenes d'acció de pel·lícules. Les imatges que s'obtenen poden ser realment sorprenents i atractives. L'únic que es necessita, és un dron amb una bona càmera estabilitzada.



Figura 15 Imatge aèria obtinguda per un dron.
Font: photolari.com



Figura 16 DJI Inspire 1 (Dron audiovisual).
Font: iberfdrone.es

4.4-Seguretat pública i vigilància

La incorporació de càmeres d'alta resolució i càmeres tèrmiques en alguns drons, fa que aquests siguin cada vegada més utilitzats en el sector de vigilància i seguretat. Els drons de seguretat s'utilitzen en diferents escenaris, amb l'objectiu de protegir la integritat del personal de protecció, ja que, en moltes ocasions, els agents de seguretat han d'exposar-se a certs perills i arriscar la seva vida amb la finalitat de protegir a la població. En conclusió, els drons de seguretat amb càmeres tèrmiques i altres funcionalitats permeten realitzar una vigilància segura i eficaç.



Figura 17 El dron en la seguretat
Font: <https://www.elperiodico.com/>



Figura 18 Dron policia
Font: cbjlawyers.com

4.5-Logística i comerç electrònic

Amazon Prime Air estima que en uns cinc anys es començaran a fer entregues de paquets amb drons. Als Estats Units, ja s'hi han realitzat proves amb drons híbrids, no obstant això, aquest projecte encara es troba en fase d'experimentació, tant per tecnologia, com per la llei. Per aquest motiu, l'empresa americana ha traslladat la seva zona de proves de vol a l'Índia, pel fet que hi ha menys restriccions.

Amazon Prime Air, només és un exemple, però, és l'empresa pionera en aquesta idea de logística. Resumint, es pot dir que en aquest sector, els drons ofereixen una gran reducció en el temps d'espera, la qual cosa genera un augment de satisfacció del client final, i això, afecta positivament al creixement de l'empresa.



Figura 19 Dron de logística d'Amazon.
Font: www.amazon.com

5-Tipus de drons

Actualment molts tipus de drons i classificacions segons la funció que desenvolupen i les seves característiques, però en aquest cas ens centrarem en els dos grans grups que podem diferenciar, així doncs classifiquem els drons segons la seva manera de sustentació, o dit vulgarment “manera de volar”. Els dos grans grups que tenim són els drons d'ala fixa i els drons d'ala rotatòria.

5.1-Drons d'ala fixa

Els drons d'ala fixa tenen un perfil alar que és el que els permet volar a través de l'aire i ser capaç de generar forces sustentadores per a mantenir-se en l'aire. Dit de manera més simplificada, els drons d'ala fixa són els que tenen un funcionament de vol similar als avions. Es mantenen en l'aire per la força sustentadora que genera el motor d'aquests contra l'aire.

La principal característica d'aquest tipus de drons és que ofereixen una gran autonomia i temps de vol, poden estar durant varies hores gràcies a la seva bona aerodinàmica. Per això són utilitzats per treballar en grans superfícies de terreny, ja que amb una única bateria es cobreixen grans extensions de terreny. Són drons molt utilitzats en treballs d'agricultura i topografia.



Figura 20 Dron d'ala fixa
Font: <https://elvuelodeldrone.com/>



Figura 21 El dron d'ala fixa en la topografia.
Font: <https://elvuelodeldrone.com/>

A diferència dels drons d'ala rotatòria, amb aquest tipus de drons no és possible fer treballs que requereixin que el dron es mantingui a una altura i posició determinada, com es fa per exemple en treballs d'inspecció de terrenys.

Una altra particularitat d'aquesta mena de drons, és que no poden enlairar-se ni aterrar en vertical. Per a l'enlairament d'un dron d'ala fixa, es necessita una persona que s'encarregui de llançar-lo amb la mà o disposar directament d'una catapulta. La gran majoria dels drons d'ala fixa actuals ja són capaços de realitzar aterratges de manera autònoma, però cal tenir en compte que es necessita una superfície prou gran i en bon estat perquè el dron no sofreixi cap contratemps.

5.2-Drons d'ala rotatòria

Els drons d'ala rotatòria, o més coneguts com multi-rotors, són el tipus de dron més estesos i més utilitzats pels professionals del sector. Si bé és cert que existeixen altres tipus de drons d'ala rotatòria, solament analitzarem els multi-rotors per ser els drons més comuns del mercat.



*Figura 22 Principals tipus de drons multirotors.
Font: <https://pilotandodrones.blogspot.com/search/label/DRON>*

La principal diferència dels multirotors respecte als drons d'ala fixa radica en la forma en la qual aconsegueixen mantenir-se en l'aire. Mentre que els drons d'ala fixa aconsegueixen la sustentació a través del seu perfil alar, els generen la sustentació a través de les forces que generen les hèlixs dels seus rotors.

Segons el nombre d'hèlixs, els dron poden classificar-se en diferents tipus:

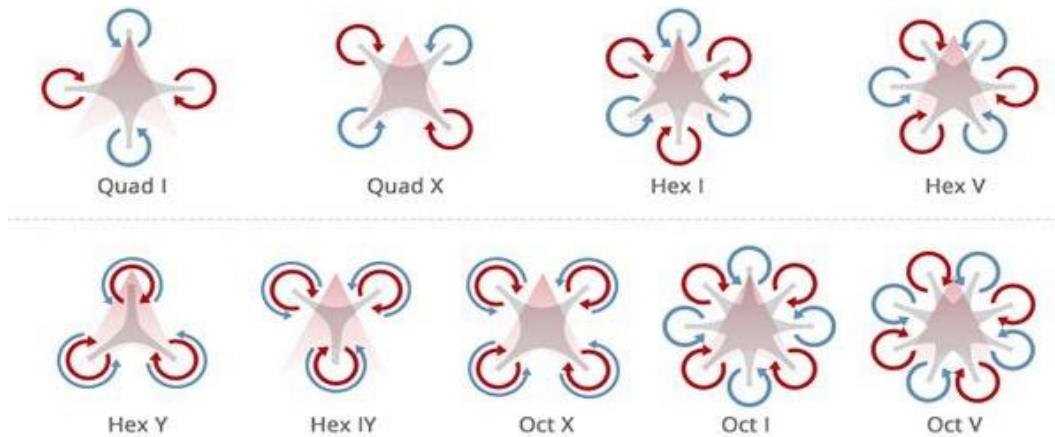


Figura 23 Esquema bàsic de funcionament dels tipus de drons multirotors
Font: <http://dronespain.pro/tipos-de-drones-aereos/>

La principal característica dels multirotors és la seva versatilitat. D'una forma senzilla se li poden instal·lar diferents tipus d'accessoris que permeten realitzar un gran ventall de treballs. A més a més, amb aquesta mena de drons es poden realitzar vols estacionaris, els quals permeten fer uns certs treballs que amb un dron d'ala fixa seria impossible realitzar, com per exemple, gravar una escena que requereixi que el dron es quedi estàtic a una determinada altura.

Els multirotors són capaços d'enlairar i aterrar de forma vertical. La posada en marxa d'aquesta mena de drons és molt més ràpida que amb els drons d'ala fixa, ja que poden enlairar i aterrar pràcticament des de qualsevol lloc, gràcies al fet que no necessiten una superfície de terreny adequada per a això.

El principal inconvenient d'aquesta mena de drons és la seva autonomia. Els multi-rotors, tenen un elevat consum energètic a causa de la necessitat que tots els seus rotors han d'estar en funcionament perquè l'aeronau romangui en l'aire. En el millor dels casos ens oferiran uns trenta minuts de vol. Per tant, si es necessiten sobrevolar grans extensions és millor utilitzar un dron d'ala fixa o un híbrid que combini les dues opcions.



Figura 24 Dron híbrid
Font: www.uasvision.com

6-Normativa i reglamentació d'Espanya (AESA)

Des de la revolució i popularització d'aquesta tecnologia, moltes persones es plantegen de comprar-se un dron, però a l'hora de comprar-lo han de tenir en compte alguns aspectes com: si és necessari tenir algun tipus de llicència, si es pot fer servir en qualsevol lloc, o en quines condicions es pot fer volar un dron. Totes aquestes qüestions i més les resol l'AESA⁴.



*Figura 25 Logotip d'AESA
Font: fotografiaydrones.com*

Abans de tot es recorda que l'operador és responsable del dron, de la seva operació i de complir la normativa. I es demana tenir en compte el compliment de la Llei de Protecció de dades, la del Dret a l'Honor, Intimitat i pròpia imatge i les restriccions de prendre imatges aèries.

L'AESA divideix la normativa en dos apartats, l'ús de drons amb finalitat recreativa, i l'ús professional de drons. A continuació veiem les normes bàsiques per volar un dron:

1. Sempre tenir-ho a la vista, no volar a més de 120 m del terra.
2. Només volar de dia, en condicions meteorològiques adequades (sense boira, sense pluja i sense vent) i en zones adequades per a això.
3. No cal ser pilot, però sí que cal volar amb seguretat i sota supervisió d'un adult.
4. Ets responsable dels danys que pugui causar el teu dron.
5. És recomanable tenir una assegurança a tercers.
6. La difusió d'imatges de persones o d'espais privats necessiten autorització d'aquests.

⁴ Agència Estatal de Seguretat Aèria (Espanya)

6.1-Prohibicions generals per volar un dron

1. No volar sobre aglomeracions d'edificis.
2. No volar sobre persones.
3. No volar de nit si el teu dron pesa més de
4. No volar a un mínim de 8 quilòmetres d'aeroports, aeròdroms, etc.
5. No volar en espai aeri controlat ni on es realitzin altres vols a baixa altura (zones de parapent, paracaigudisme, globus, ultralleugers...)
6. No posar en perill o molestar a tercers (altres aeronaus, persones i béns).

6.2-Prohibicions per volar un dron professionalment

1. Volar sobre aglomeracions d'edificis i grups de persones.
2. Volar de nit.
3. Volar a menys distància de la que marca la Llei en les proximitats d'aeroports, aeròdroms, etc.
4. No pots posar en perill o molestar a tercers (altres aeronaus, persones i béns de terra).
5. Volar en Espai Aeri Controlat i Zones d'Informació de Vol.
6. Volar en BVLOS⁵ amb un RPAS de més de 2 quilograms.

A més a més, per volar un dron professionalment:

1. S'ha d'estar habilitat a l'AESA.
2. Tenir una assegurança de responsabilitat civil específic per aeronaus.
3. Ser pilot de RPAS i tenir el certificat mèdic en vigor.

L'incompliment de la normativa o d'alguna de les lleis que es requereixen per volar un dron, pot suposar sancions de fins a 225.000 € en l'àmbit recreatiu, i fins als 4.500.000 € si és una sanció greu en l'àmbit professional.

⁵ Fer volar el dron més enllà de la línia visual

7-El futur dels drons

7.1-Què es preveu pel futur dels drons?

La utilitat dels drons en el futur va en auge i cada vegada es desenvolupa en més àmbits. Grans empreses tecnològiques que confien en aquesta innovadora tecnologia ja hi han invertit, per exemple Facebook, Amazon i Google. També empreses d'immobiliària, indústria agrícola, cinema, fotografia, construcció i sobretot seguretat, emergències i salvament.

7.2-Quins sectors es poden beneficiar de l'ús de drons?

Tal com reconeix el Ministeri de Foment, a Espanya (i en la resta d'Europa) hi ha hagut un gran creixement de l'activitat d'aquest sector. El Ministeri de Foment a Espanya ha elaborat un Pla Estratègic de Drons que reflecteix els sectors en els quals augmentarà l'ús de drons. A continuació, el que s'espera dels drons en cada sector:

7.2.1-Agricultura

Espanya és un gran productor europeu en el sector agrícola, esdevenint el quart productor més gran de la Unió Europea. Per tant serà important l'ús dels drons en l'agricultura de la península. S'estima que l'any 2035 hi haurà 19.500 drons dedicats al sector agrícola d'Espanya.



Figura 26 El dron en l'agricultura. Font: elpais.com

7.2.2-Construcció i mineria:

Els drons tindran un paper important en el sector de la construcció i mineria, ja que ajudaran en el control, supervisió i avanç d'obres i en explotacions mineres, per garantir la seguretat dels miners. L'any 2035 hi haurà uns 6.000 drons per a treballs de mineria i de construcció.



Figura 27 El dron en la mineria.
Font: <https://www.dcgeomatrics.co.za/>

7.2.3-Mobilitat i automoció

La mobilitat aèria no està tant lluny en realitat, ja que està en ple desenvolupament. Actualment, grans multinacionals com Audi i Airbus estan col·laborant per desenvolupar aquesta idea. El projecte Pop.Up Next, es va presentar a Itàlia, al Geneva Motor Show en l'edició de l'any 2018. Es tracta d'un vehicle híbrid no tripulat capaç de circular per terra i per aire, gràcies a un sistema d'acoblament i desacoblament de les diferents parts del vehicle. Aquest, està format per tres parts: El mòdul aeri, la càpsula de transport i el mòdul terrestre.



Figura 29 Projecte Pop.Up Next d'Audi i Airbus.
Font: <https://newatlas.com>



Figura 28 Idea de mobilitat convertible per mòduls
Font: <https://newatlas.com>

7.2.4-Seguretat i salvament

Un altre sector que evolucionarà i millorarà amb l'aplicació de drons és el de la seguretat i salvament. A Nova York ja els utilitzen per vigilar àrees extenses. Per a això, seran necessaris 7.000 drons l'any 2035. S'estima que hi haurà 1 dron per cada 4 cotxes de policia i 1 dron per cada 2 camions de bomber. A Dubai ja s'estan provant drons capaços de transportar almenys una persona, que utilitzaran els cossos policials per realitzar tasques de vigilància. D'altra banda, a Espanya, l'empresa General Motors, amb seu a València, ja ha llançat al mercat l'Auxdron, un quadricòpter equipat amb armilles salvavides dissenyat per dur a terme tasques de salvament i seguretat en ecosistemes marins, tals com platges o ports. L'any passat es va utilitzar a Màlaga, i va ser protagonista del salvament d'algunes víctimes atrapades en les onades de la platja de Fuengirola.



Figura 31 Dron tripulat de la policia de Dubai
Font: www.abc.es



Figura 30 Auxdron, el dron salvavides
Font: www.redbull.com

7.2.5-Comerç electrònic i logística

El futur del servei de logística està en els drons. Amazon està desenvolupant un servei d'entrega amb drons anomenat Amazon Prime Air, pels usuaris disposats a pagar més per un enviament més ràpid. Actualment, grans empreses logístiques com ara, DHL, UPS, Amazon i Correos, estan desenvolupant aquesta innovadora idea de logística. El comerç electrònic està cada vegada més en auge, i la logística és un dels pilars fonamentals per la satisfacció del client final. Per això, s'estima que s'utilitzaran uns 7.000 drons l'any 2035 i 10.000 l'any 2050.



Figura 32 Prototip de dron de Correos
Font: <https://www.aerotendencias.com/>

7.2.6-Energia

Els drons faran treballs relacionats amb la inspecció de les infraestructures de producció i distribució d'energia. Per a obtenir un treball més segur i eficient. En l'actualitat, l'empresa subministradora d'energia Endesa, utilitza drons per inspeccionar els 350 quilòmetres de plaques solars situades en les seves instal·lacions d'energies renovables a Extremadura. D'altra banda, també utilitza aquesta tecnologia per revisar les xarxes de distribució elèctrica d'àrees poc accessibles del territori espanyol. S'estima que l'any 2035 es necessitaran 1.300 drons per a supervisar 40.000 km de línia elèctrica situada per tot el territori espanyol.



Figura 34 Dron en la inspecció de plaques solars.
Font: <https://elperiodicodelaenergia.com/>



Figura 33 Dron en la inspecció de xarxes elèctriques
Font: energiacastillayleon.com

8-El funcionament del dron i les funcions de cada part

8.1-Funcionament bàsic d'un quadricòpter

Els drons són aparells d'alta tecnologia que funcionen gràcies a unes hèlixs i rotors que els permet mantenir-se i propulsar-se en l'aire. Perquè el dron es mantingui estable, dues hèlixs giren en un sentit i les altres dues giren en sentit contrari. Cadascuna de les hèlixs s'impulsa mitjançant un petit motor propulsat electrònicament. Aquest sistema de motors i hèlixs independents és molt útil perquè permet que l'aparell pugui continuar volant en cas que algun dels motors deixi de funcionar durant el vol.

Els drons es piloten per control remot i poden realitzar diferents moviments. Dit d'una manera general, els moviments que fa el dron es controlen ajustant l'energia subministrada a cada motor. És a dir, depenent de l'energia que rebí cada motor, el dron anirà en una direcció o en una altra.

En el següent esquema es pot veure el funcionament bàsic d'un quadricòpter:



Figura 35 Procés de funcionament d'un dron. Font: Pròpia

8.2-Per què vola un dron?

En aquest apartat em centraré en els principis físics bàsics en els quals es basa l'aerodinàmica d'un dron, considerant que es parla d'un quadricòpter.

8.2.1-Teorema de Bernoulli

En termes generals, el principi de Bernoulli, ens diu que si s'incrementa la velocitat d'un fluid, s'aconsegueix que la seva pressió disminueixi. En el cas del d'un quadricòpter, el perfil alar o l'angle d'inclinació de les pales de les hèlixs, provoca una diferència de pressions entre la part inferior i la part superior de l'aeronau, quan l'aire passa a través de les hèlixs. Ja que els perfils de les hèlixs són asimètrics. Com a resultat d'aquesta variació de pressions, es genera el que es coneix com a principi de sustentació. Si considerem que la pressió superior és menor que la pressió inferior, aleshores podem entendre que aquesta pressió inferior genera una força d'embranchida major que és la que permet que el dron es pugui enlairar.

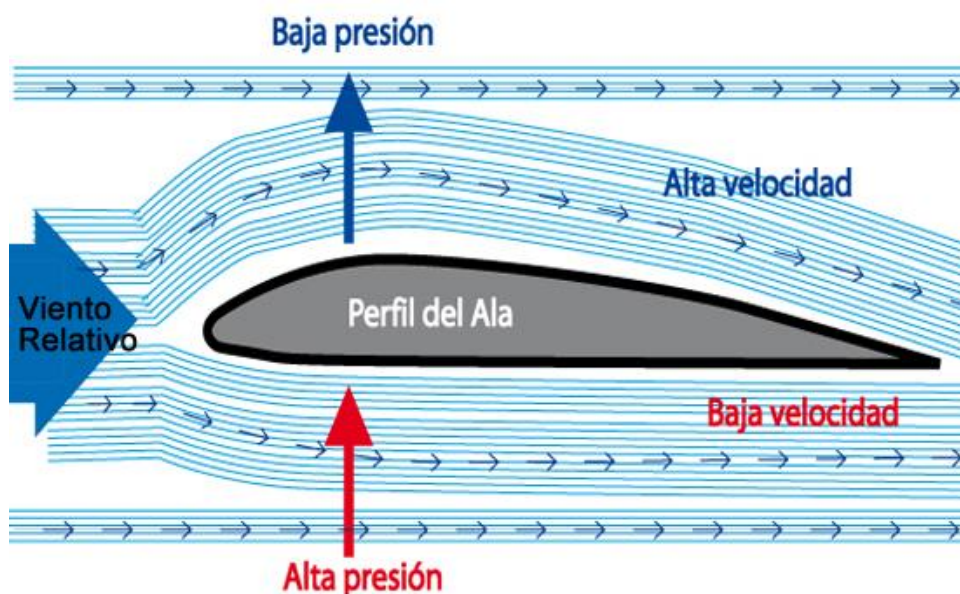


Figura 36 Esquema de principi de Bernoulli. Font; <http://haztudron.com/fundamentos.html>

8.2.2-La tercera llei de Newton

La tercera llei de Newton diu que a qualsevol força d'acció se li oposa una força de reacció d'igual intensitat però de sentit contrari. Per aquest motiu, els helicòpters presenten un motor de cua que compensa la força d'acció del rotor principal. En el cas del quadricòpter, passa exactament el mateix, però, tenim quatre motors, i per aconseguir l'estabilitat que es busca en el vol, el que s'ha d'assolir, és una compensació de les forces d'acció perquè l'aeronau es pugui elevar de manera estable quan els motors actuïn amb la mateixa potència.

Per aconseguir una compensació de les forces d'acció i reacció, s'han de col·locar els motors de manera que dos d'aquests girin en una direcció, i els altres girin en la direcció contrària. D'aquesta manera, aconseguim una força neta que anul·la qualsevol força de reacció que hi pugui haver en el sistema de moto-propulsor.

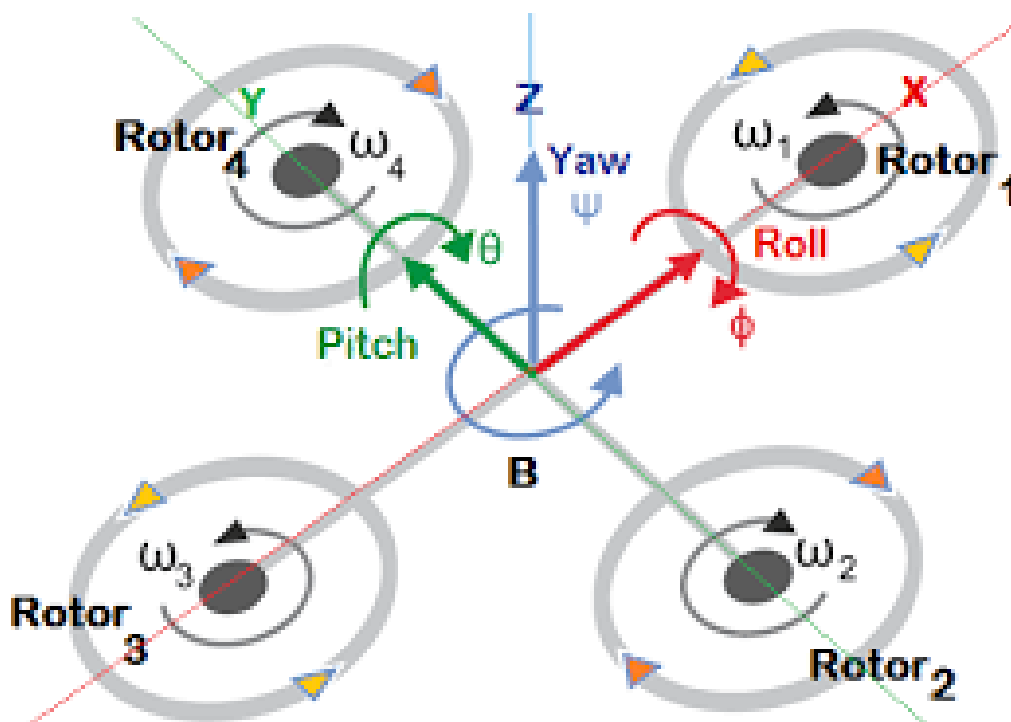


Figura 37 Esquema del sentit de gir dels motors d'un quadricòpter. Font: <https://bibdigital.epn.edu.ec>

8.3-L'esquelet del dron

8.1.1- Estructura i carcassa del dron (*frame*)

Aquesta part es pot considerar l'esquelet del dron, ja que en ell es col·locaran la resta d'elements. Pot estar construït de diferents materials, com ara titani, magnesi o alumini, que és molt més lleuger. Enguany s'han introduït materials fets de fibra de carboni, de vidre i de plàstic. O pot ser un *frame*⁶ combinat, es pot exemplificar amb el model de dron *Tyro99*, un dels primers a presentar un marc d'alumini que protegeix l'electrònica, i d'altra banda la resta de l'esquelet és d'un material semblant a la fibra de carboni.



Figura 38 Vistes del frame. Font: www.banggood.com

8.1.2-Els termoretràctils

Els termoretràctils són tubs de plàstic que es contrauen per adaptar-se a la mida del cablejat i que tornen a la seva forma original quan s'escalfen. S'utilitzen per aïllar els cables i per aconseguir una millor protecció mecànica.



Figura 39 Termoretràctils negres
Font: www.aliexpress.com

⁶ Nomenclatura amb la qual es denomina a l'estructura del dron.

8.4-Sistema moto-propulsor

8.3.1-Motors

Els motors s'encarreguen de generar la força de gir mecànic per mantenir el dron a l'aire fent que es girin les hèlixs. Els més comuns són els de tipus *brushless*⁷. Generalment són de corrent trifàsics, tanmateix, també n'hi ha de bifàsics. Cal remarcar que han de ser revisats de manera regular, per prevenir possibles averies mentre el dron es troba a l'aire, sobre tot els de tipus *brushed*⁸.



Figura 40 Motor brushless
Font: www.banggood.com

8.3.1.1-Tipus de motors segons el seu funcionament

<i>Brushless</i>	<i>Brushed</i>
-No utilitzen escombretes	-Utilitzen escombretes
-Tenen un rendiment de 85-90%	-Tenen un rendiment de 75-80%
-Són més eficients que els <i>brushed</i> , ja que s'utilitzen en drons professionals.	-Són menys eficients que els <i>brushless</i> , ja que s'utilitzen en drons recreatius.
-No necessiten gaire manteniment, ja que presenten un sistema senzill.	-Necessiten manteniment constant, ja que presenten un sistema bastant complex.
-Tenen més vida útil que els <i>brushed</i>	-Tenen menys vida útil que els <i>brushless</i>

8.3.1.1-Tipus de motors segons el seu sistema de corrent

Normalment, els motors *brushless* funcionen amb corrent trifàsica, i els *brushed* amb corrent bifàsica. La principal diferència és que els trifàsics admeten l'electricitat

⁷ Tipus de motor elèctric utilitzat en drons professionals.

⁸ Tipus de motor elèctric utilitzat en drons recreatius.

a través de tres línies elèctriques, mentre que els bifàsics ho fan per dues línies.

8.3.2-Hèlixs

Les hèlixs són les encarregades de transformar l'energia mecànica que proporcionen els motors, en una força d'embranchada que és la que permet al dron mantenir-se i desplaçar-se en l'aire. Aquest procés es pot efectuar gràcies al principi de Bernoulli, el qual, determina que la força d'embranchada que permet volar al dron, s'origina gràcies al perfil alar que presenta cada pala. Segons el nombre de pales, poden ser hèlixs de dues, de tres o de quatre. Solen estar fabricades de niló, de fibra de carboni o de plàstic.

D'altra banda, la direcció i moviments del dron, depenen de la velocitat de gir de les hèlixs. L'aeronau pot efectuar volar en diferents direccions i a diferents altures, tot depèn de la potència que subministri la placa reguladora de velocitat a cada un dels motors.

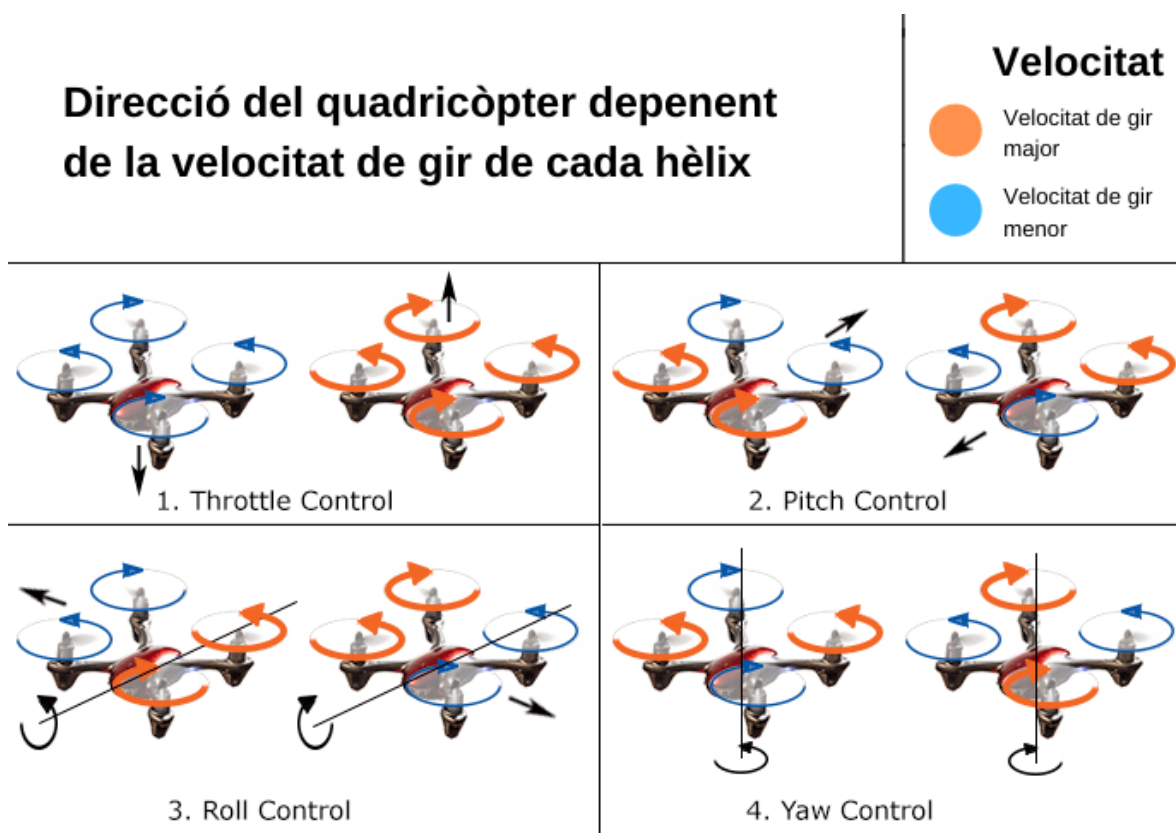


Figura 41 Direcció del quadricòpter dependent de la velocitat de gir de cada hèlix.
Font: www.translatorscafe.com (edició pròpia amb Canva)

8.3.2.1-Explicació dels eixos de gir del dron

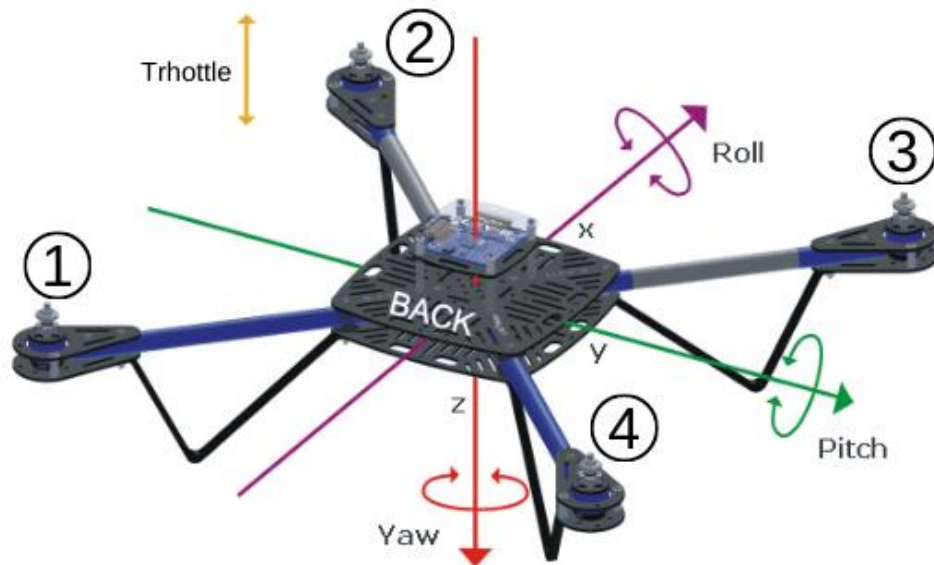


Figura 42 Eixos de gir del dron. Font: <https://www.moritznitsch.de/tag/arduino/> (edició pròpia)

- **Pitch:** Controla el capcineig del dron, és a dir, la inclinació del dron cap endavant i cap enrere respecte a l'eix horitzontal que passa pels laterals del dron. Si els motors 1 i 4 tenen més velocitat, el dron anirà cap endavant. En canvi, si els motors 2 i 3 giren més ràpid, el dron anirà cap enrere.
- **Roll:** Controla el guerxament del dron, és a dir, la inclinació del dron cap als costats respecte a un eix horitzontal que passa per la part davantera i acaba a la part darrera. Si els motors 1 i 2 giren més ràpid, el dron anirà cap a la dreta, en canvi, si els que tenen major velocitat són el 3 i el 4, el dron anirà cap a l'esquerra.
- **Yaw:** Controla la rotació del dron respecte al seu eix vertical. Si els motors 1 i 3 tenen major velocitat, el dron gira en sentit antihorari. Mentre que si els motors 2 i 4 tenen una major velocitat angular, aquest gira en sentit horari.
- **Throttle:** Controla la velocitat dels rotors quan tots els motors giren a l'hora i amb la mateixa potència. La velocitat de gir dels motors, és directament proporcional a l'altura que arriba l'aeronau, és a dir, com més velocitat tinguin els rotors, a més altura arribarà el quadricòpter.

8.3.3-La placa reguladora de velocitat o ESC

La connexió entre la placa controladora i els motors es realitza mitjançant una placa reguladora de potència que realitza diverses funcions:

- Transforma el corrent continu que subministra la bateria en corrent trifàsic, que és el que necessiten els motors per funcionar correctament.
- Regula la potència subministrada a cada motor, el que es tradueix directament a la velocitat del dron.

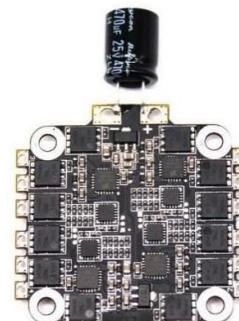


Figura 43 ESC.
Font: www.banggood.com

8.4-La placa controladora i el software

8.4.1-Placa controladora

La placa controladora és el cervell del dron, és l'ordinador que s'encarrega de recollir les dades del sistema electrònic i ordena els moviments que ha de fer cada component mitjançant les senyals que rep des de l'emissora o el comandament. En ella van connectats tots els sensors.

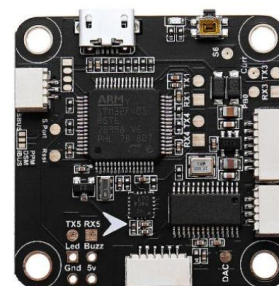


Figura 44 Placa controladora
Font: www.banggood.com

8.4.2-El software de la placa controladora (Betaflight)

Per controlar el dron, es necessita una placa controladora. No obstant això, resulta inservible si no la connectem al receptor i la configurem amb el programa de configuració de drons anomenat Betaflight. Es tracta d'un programari que es connecta al controlador de vol mitjançant un cable Micro USB⁹. S'utilitza per fer volar tota classe de drons, ja que permet configurar fàcilment tot el necessari per a garantir un vol segur. A més a més, permet canviar la configuració lliurement, que això és el que resulta més interessant a l'hora de realitzar proves de vol amb diferents optimitzacions, per intentar assolir la màxima seguretat i eficàcia del vol.

⁹ Tipus de cable utilitzat per connectar la placa controladora a l'ordinador

8.5-La font d'alimentació del dron

8.5.1-Bateria de polímer de liti

La bateria és la font d'alimentació principal del dron. S'encarreguen d'alimentar tot el circuit elèctric i els dispositius electrònics connectats a la placa, com ara la càmera, el *buzzer*¹⁰ o el transmissor de vídeo VTX¹¹, entre d'altres. Actualment s'utilitzen bateries de polímer de liti (Li-Po), ja que ofereixen la millor relació de densitat energètica, potència i vida útil. Les seves capacitats es mesuren en mil·liamperes i són variades. Es componen de cel·les individuals connectades en sèrie. Cada cel·la proporciona un voltatge similar, i el voltatge total és la suma del voltatge de totes les cel·les.



Figura 45 Bateria Li-Po de 1800 mAh
Font: <https://www.bonkapower.com/>

8.5.2-EI BEC i el condensador electrolític

El BEC és un petit circuit electrònic situat en la placa reguladora de vol. La seva funció principal és distribuir i filtrar el voltatge que arriba a cada element de la placa, pel fet que, molts dispositius no suporten l'entrada directa del voltatge que subministra la bateria, a més a més, es redueixen els pics de tensió, els quals poden causar distorsions en les imatges que s'obtenen del conjunt vídeo-transmissor.

Adicionalment, es pot afegir un condensador electrolític. Aquest, proporciona més seguretat al sistema, ja que, fa la funció d'emmagatzemar càrrega elèctrica addicional i subministrar-la quan el sistema ho necessiti.



Figura 46 Condensador
Font: www.banggood.com

¹⁰ Dispositiu electrònic que emet un senyal acústic quan la bateria s'està exhaurint.

¹¹ Denominació que es refereix al vídeo-transmissor.

8.7-Elements de control del dron

El punt següent tracta sobre els elements que permeten un control precís el dron. Actualment, s'utilitza tecnologia de ràdio control avançada. En termes generals es basa en dos elements principals: L'emissora o comandament TX¹² i un receptor RX¹³ compatible connectat a la placa controladora.

8.7.1-Emissora o comandament

Un comandament de ràdio control TX és un dispositiu que permet controlar el dron per mitjà d'ones de ràdio que rep el receptor RX connectat a la placa controladora. I la connexió entre la placa i el receptor és de tipus IBUS¹⁴. Aquest, determina el tipus de comunicació que s'estableix entre els dos elements principals.

El nombre de canals determina quantes accions individuals es poden transmetre des de l'emissora. Els principals, que es controlen amb els *joysticks*¹⁵, controlen els eixos de gir del quadricòpter. D'altra banda, les palanques de control, permeten controlar altres opcions, com ara, els modes de vol que s'hagin configurat, el *buzzer* o el pas de corrent entre la font d'alimentació i el dron, en cas d'emergència.



Figura 47 Esquema de controls de l'emissora (Flysky). Font: Pròpia

¹² Sortida d'informació que s'utilitza per enviar senyals de ràdio des de l'emissora.

¹³ Entrada d'informació que rep les senyals en el receptor corresponent.

¹⁴ Protocol que utilitzen l'emissora i el receptor per comunicar-se amb la placa controladora.

¹⁵ Palanques de control que es poden moure lliurement, no tenen posicions fixes.

8.7.2-Receptor TX

El receptor TX, com s'ha explicat anteriorment, ha d'anar connectat a la placa controladora FC. I la seva funció principal és absorbir les senyals de ràdio que emet l'emissora. D'altra banda, quan rep les senyals, les transforma en informació que poden llegir els diferents dispositius electrònics del dron.



Figura 48 Receptor FS-A8S
Font: www.banggood.com

8.7.3-Buzzer o bronzidor

El *buzzer* és un dels components bàsics per fer volar un dron de forma segura. Es tracta d'un petit dispositiu electrònic que actua com un altaveu. La seva principal funció és emetre un senyal acústic en cas d'accident o pèrdua de control del dron. A més a més, aquest senyal acústic ens permet trobar el dron en cas que no hàgim vist on ha caigut. Per això aquesta referència sonora es pot activar des d'un canal de l'emissora. D'aquesta manera, podem dirigir-nos fàcilment al lloc on ha caigut el dron.

D'altra banda, aquest dispositiu també presenta una altra funció molt important, que és l'alarma de voltatge baix. Podem configurar des del programari de la placa controladora (BetaFlight), que el *buzzer* comenci a sonar quan la bateria baixi a un límit de voltatge.



Figura 49 Buzzer. Font: www.banggood.com

8.8-Sistema de transmissió de vídeo

8.8.1-Càmeres FPV

Les càmeres FPV¹⁶ són petites i lleugeres. Es munten en el dron per enviar senyals de vídeo en temps real a la pantalla de control, mitjançant un transmissor de vídeo VTX. Aquesta càmera permet als drons volar més alt i més lluny. Els drons militars poden arribar a volar milers de quilòmetres utilitzant la tecnologia FPV. D'altra banda, permet tenir un control més precís de l'aeronau, per això els pilots professionals utilitzen aquesta tecnologia.



Figura 50 Càmera FPV
Font: www.banggood.com

8.8.2-Placa transmissora de vídeo (VTX)

El VTX o video-transmissor és part essencial d'un sistema FPV. La seva funció és enviar el senyal de vídeo de la càmera FPV del dron a un receptor VRX¹⁷ autònom o integrat, de manera que la imatge recollida per la càmera pugui ser mostrada en un monitor o en unes ulleres FPV.



Figura 51 VTX
Font: www.banggood.com

8.8.3-L'antena

Les antenes dels drons poden funcionar amb diferents freqüències, com 1,2 GHz, 2,4 GHz¹⁸, etc. Encara que la freqüència més utilitzada sol ser 5,8 GHz, perquè les antenes d'aquesta magnitud són més petites, i són legals en molts països.



Figura 52 Antena
Font: www.banggood.com

¹⁶ Visió en primera persona (First Person View)

¹⁷ Receptor de la pantalla o ulleres d'FPV

¹⁸ Unitat que mesura la freqüència

8.9-Càmeres d'alta resolució

8.9.1-Càmeres d'acció

Les càmeres d'acció, o més ben conegudes com a *action cams*¹⁹, s'utilitzen en molts àmbits pel fet que són fàcils d'acoblar en qualsevol superfície, a més a més, són resistents als impactes, i tenen la possibilitat de ser impermeables a l'aigua i a la pols amb una funda protectora. En els drons, aquest tipus de càmera s'utilitza per obtenir continguts audiovisuals a vista d'ocell, però, el principal inconvenient d'aquest tipus de càmera, és que no incorpora cap sistema d'estabilització o *gimbal*²⁰ que permeti moure la posició de la càmera durant el vol. Normalment, s'utilitza un suport imprès en 3D, per acoblar la càmera a l'estructura del dron.



Figura 53 Càmera d'acció Eken H9
Font: www.aliexpress.com

8.9.2-Càmeres d'acció

Les càmeres cinematogràfiques s'utilitzen per gravar escenes aèries en pel·lícules i documentals. Tenen una alta resolució i permeten obtenir unes imatges realment espectaculars i nítides, gràcies a l'avançada tecnologia d'estabilització que incorporen. A més a més tenen l'opció de canviar la lent de la càmera, per obtenir sempre les millors imatges. A diferència de les càmeres d'acció, aquestes sí que incorporen un mecanisme de rotació o *gimbal* que permet moure la càmera durant el vol per tal d'obtenir imatges els més precises possibles.



Figura 54 Càmera Zenmuse X7
Font: www.dji.com/es/zenmuse-x7

¹⁹ Càmera d'acció en anglès

²⁰ Plataforma motoritzada que permet moure la càmera durant el vol

9-Procurement de construcció del quadricòpter

9.1-Muntatge i connexió de totes les parts

9.1.1-Muntar la part inferior del xassís

Primerament, cal muntar la part inferior del xassís o *frame*, constituïda per quatre potes i un cos central equidistant a cada extrem. Està format per una peça que fa de base i una peça inferior que realitza la funció de reforçar el *frame*. És recomanable tenir les peces ben organitzades, sobretot els cargols, ja que són de diferents mides i cada un ha d'anar col·locat en un forat determinat.



Figura 55 Muntatge del frame inferior. Font: Pròpia

9.1.2-Acoblar la placa reguladora de velocitat o ESC

Segonament s'ha d'encaixar la placa reguladora de velocitat o ESC²¹ a sobre de les torretes de niló, les quals van acollades en els cargols de 14 mm que sobresurten de la base. Aquestes peces s'utilitzen per separar la placa reguladora de velocitat de la base. D'aquesta manera es poden evitar possibles curtcircuits, i a més a més la placa obté una major resistència als impactes.





Figura 56 Acoblament de la placa reguladora de velocitat al frame. Font: Pròpia

²¹ Abreviatura que es refereix a la placa regulador de velocitat.

9.1.3-Acoblar els motors al *frame*

Tercerament procedim a acoblar els motors a la base. Cal recordar que disposem de dos tipus de motors:

Motors de sentit horari (CW)		Motors de sentit antihorari (CCW)	
	-Els motors CW ²² giren en sentit horari de manera predeterminada. -Incorporen rosques d'esquerres ²³ .		-Els motors CCW ²⁴ giren en sentit antihorari de manera predeterminada. -Incorporen rosques de dretes ²⁵ .

És important col·locar els motors de la manera que es mostra en el següent esquema per tal d'aconseguir que el quadricòpter s'equilibri i sigui estable. S'ha de complir la següent configuració de rotació dels motors:

- Motor davanter esquerre → Ha de girar en sentit horari (CW).
- Motor davanter dret → Ha de girar en sentit antihorari (CCW).
- Motor darrer esquerre → Ha de girar en sentit antihorari (CCW).
- Motor darrer dret → Ha de girar en sentit horari (CW).



Figura 57 Esquema del funcionament i sentit de gir dels motors del dron. Font: Pròpia

²² CW (clockwise): Sentit horari, igual a les agulles del rellotge.

²³ CCW (counterclockwise): Sentit antihorari, contrari a les agulles del rellotge.

²⁴ Rosca d'esquerres: La femella s'enrosca en sentit horari (femella platejada)

²⁵ Rosca de dretes: La femella s'enrosca en sentit antihorari (femella negra)

9.1.4-Soldar els cables dels motors a la placa reguladora de velocitat

En quart lloc prosseguim a realitzar les soldadures corresponents als motors. Cal recordar que per aquest necessitem un soldador i estany per soldadura. Primerament s'ha de pelar la punta de cada cable amb l'ajut d'unes alicates, seguidament estanyem la punta dels cables prèviament pelats. Per últim, passem els cables per dins de la placa i procedim a realitzar les nou soldadures, tres per cada motor. És recomanable ajudar-se d'unes pinces per tenir més precisió.

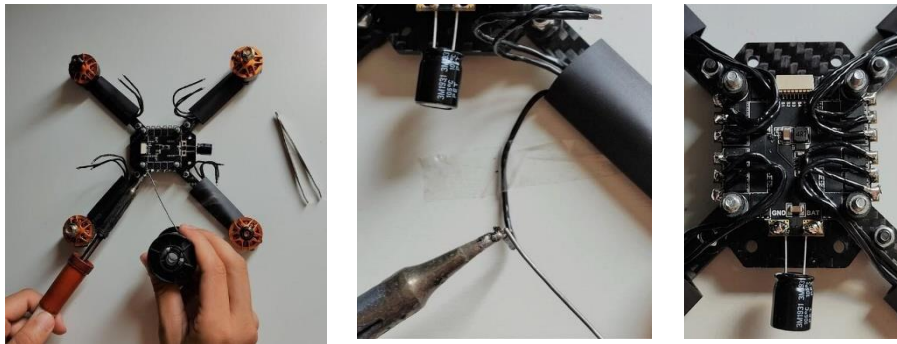


Figura 58 Soldadura del cables dels motors a la placa ESC. Font: Pròpia

9.1.5-Soldar el cable de la bateria a la placa controladora de velocitat

A continuació seguim el mateix procediment del pas anterior per soldar el connector de corrent, que serà el que anirà connectat a la bateria. El més important d'aquest pas és saber on s'ha de soldar cada cable:

Cable vermell → GND²⁶

Cable negre → BAT²⁷

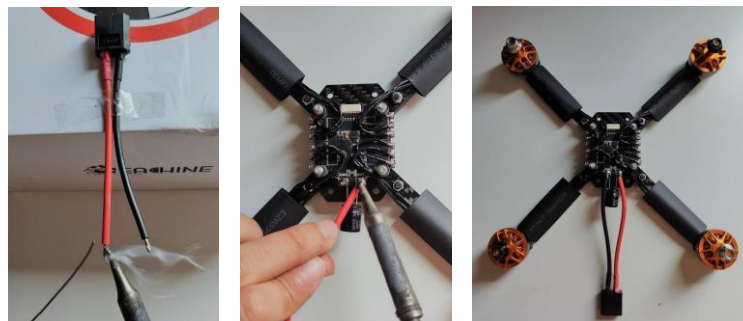


Figura 59 Soldadura del connector d'alimentació. Font: Pròpia

²⁶ Presa de terra d'un circuit elèctric

²⁷ Bateria o font d'alimentació

9.1.6-Instal·lar la placa controladora de vol

Tot seguit, procedim a col·locar la placa controladora a sobre dels separadors de goma que van caragolats en les torretes de niló. Aquests elements fan la funció de separar les dues plaques, per evitar curtcircuits o desperfectes en els components d'aquestes. És important recordar que la placa controladora s'ha de col·locar d'una manera determinada. Per entendre-ho millor, he dissenyat aquest esquema:

Com es pot veure en aquest esquema, en la placa hi ha una fletxa que indica la seva posició correcta, per tant hem de col·locar la placa de manera que la direcció de la fletxa sigui de darrere cap al davant, tal com es veu en l'esquema de la *Figura 60*.



Figura 60 Esquema de posició.
Font: Pròpia

9.1.7-Vincular la placa reguladora de velocitat amb la controladora de vol

En aquest cas no cal fer cap soldadura, ja que en aquest cas les dues plaques es connecten mitjançant un connector JST²⁸ de 7 pins²⁹. Així doncs, cal connectar cada un dels extrems del cablejat en la seva carcassa o femella corresponent. Tot i que en aquest cas és indiferent, ja que els dos cantons són de la mateixa mida i tenen el mateix nombre de pins. Aquest connector elèctric és l'encarregat de transferir electricitat i informació d'una placa a l'altre, per tant, cada cable realitza una determinada funció.

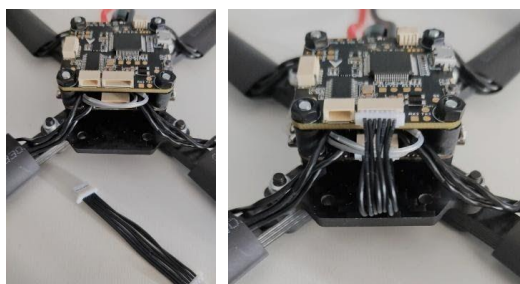


Figura 61. Connexió de les dues plaques.
Font: Pròpia

²⁸ Tipus de connector elèctric que fa la funció de connectar circuits elèctrics sense soldadures

²⁹ Equival al nombre de d'entrades de cables que admet el connector.

9.1.8-Connectar una bateria per comprovar que tot funciona correctament

En acabat el pas anterior, procedim a connectar una font d'alimentació al cable de la bateria. Aquest pas és molt important, ja que es fa principalment per comprovar el funcionament de la part electrònica i per verificar que tots els cables i connectors elèctrics estiguin ben soldats i connectats respectivament. A més a més, és un dels passos més decisius, ja que en cas d'haver-hi algun cable mal soldat, es pot arribar a cremar la placa. Per això, és recomanable revisar totes les soldadures i connexions abans de procedir a realitzar la prova.

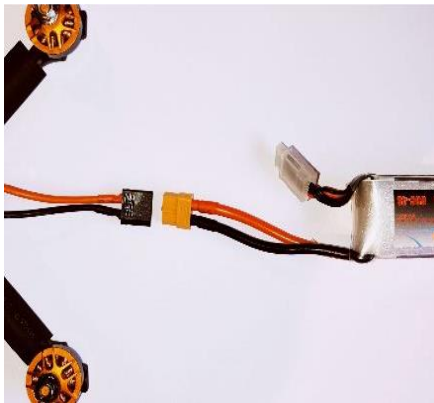


Figura 62 Connexió de la bateria.
Font: Pròpia

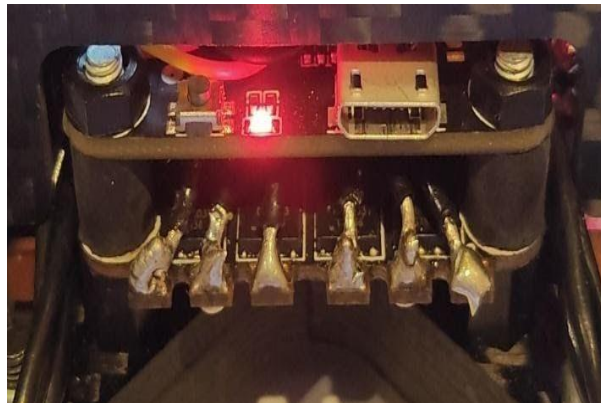


Figura 63 Indicador Iluminós. Font: Pròpia

Per verificar que tots els elements electrònics estan ben enllaçats entre ells, hem d'obtenir els següents indicadors:

- **Indicador Iluminós:** D'una banda, hem de visualitzar que en la part esquerra de la placa controladora de vol, s'hi encén un *led* intermitent de color vermell. Aquest indicador, verifica que l'energia elèctrica es transmet correctament per tot el circuit.
- **Indicador auditiu:** D'altra banda, en el moment de connectar la font d'alimentació, el conjunt electrònic ha d'emetre una melodia. El primer so, indica que la placa controladora de vol i la placa reguladora de velocitat estan ben sincronitzades, el segon, significa que el receptor està activat.

9.1.9-Soldar el receptor a la placa controladora de vol

En penúltim lloc, s'ha de soldar el receptor, l'encarregat de rebre les ordres des de l'emissora i transmetre-les a la placa controladora. El punt més important i destacable d'aquest pas del procediment, és que s'ha de realitzar un pont de soldadura en la placa controladora de vol, pel fet que, de manera predeterminada, aquesta no és compatible amb el receptor IBUS que he escollit pel meu dron. Però si es realitza un pont de soldadura en un punt determinat de la placa, s'aconsegueix que la placa sigui compatible amb el receptor IBUS.

El primer que hem de fer és desconnectar la placa controladora de vol de la placa reguladora de velocitat. Seguidament procedim a realitzar el pont de soldadura. Per fer aquesta soldadura s'ha de tenir molta precisió, ja que només d'aquesta manera serà possible que la placa admeti el receptor IBUS. En aquest model de placa en concret, s'ha de realitzar un punt de soldadura que ha de cobrir el rectangle assenyalat de color vermell en la *Figura 64*, per evitar confusions, podem dir que ha de tancar els dos primers rectangles.

En segon lloc, prosseguim a realitzar les soldadures corresponents al receptor. Igualment, en la *Figura 64* es poden veure clarament les soldadures que s'han de realitzar. D'aquesta manera, el cable blanc, s'ha de soldar al port PPT³⁰, el cable blanc, al port de 4.5V³¹ i el cable negre, al port GND.

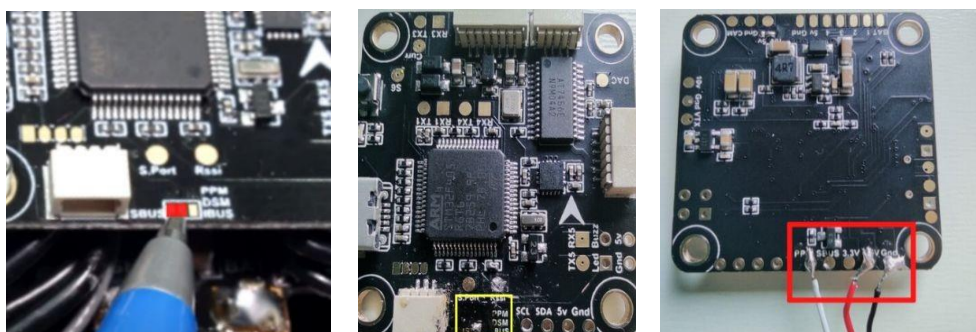


Figura 64 Instal·lació del receptor a la placa. Font: Pròpia

³⁰ Nomenclatura del punt en la placa controladora

³¹ Presa d'electricitat de 4,5 volts

9.1.10-Acoblar les connexions audiovisuals

Per acabar la part electrònica, procedim a connectar la càmera FPV i el VTX a la placa controladora de vol. En aquest cas no s'ha de realitzar cap soldadura, ja que els connectors de la càmera i del VTX són de tipus JST. Així que primerament, cal connectar cada part al port de connexió corresponent, i finalment, s'han d'acoblar les dues parts al *frame*.

La càmera FPV, només s'ha de col·locar al seu lloc i posar-li dos cargols, un per cada costat del *frame*, aquests fan la funció de subjecció i a més a més permeten que es pugui regular l'angle de visió de la càmera.

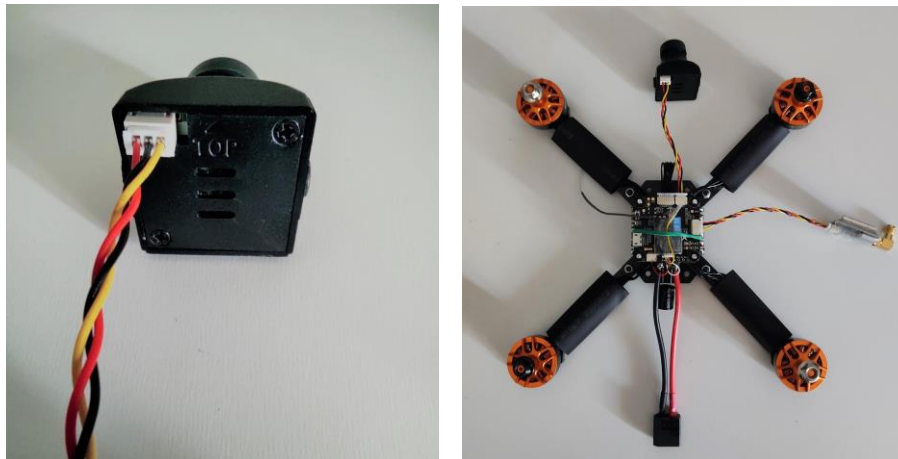


Figura 65 Connexió de la càmera FPV i el VTX a la placa controladora. Font: Pròpia

El VTX, s'ha d'acoblar a una peça del *frame* amb l'ajuda d'unes brides, i a continuació, cal cargolar aquesta peça al *frame*. És important que el VTX estigui ben subjectat per les brides, ja que és una part que no està protegida pel *frame*.

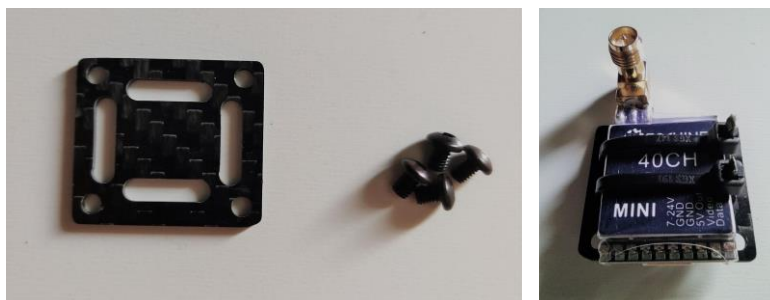


Figura 66 Acoblament del VTX al *frame*. Font: Pròpia

9.1.11- Instal·lar el *buzzer* o brunzidor

A continuació, procedim a soldar els cables del *buzzer* a la placa controladora. És important recordar que abans de procedir a soldar els cables a la placa, cal que estanyem els punts on aniran soldats i la punta de cada cable. D'aquesta manera, serà molt més fàcil soldar els cables a la placa. El següent esquema gràfic de connexions, mostra clarament les soldadures que s'han de fer:

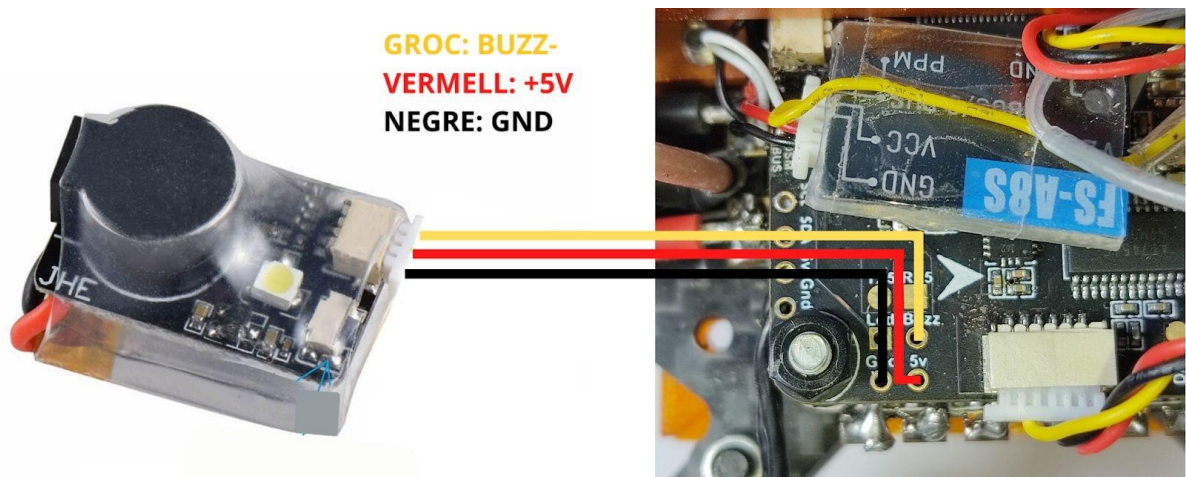


Figura 67 Esquema de connexions del buzzer a la placa controladora. Font: Pròpia

Per comprovar que hem connectat correctament el cablejat del *buzzer*, procedim a connectar la font d'alimentació al dron, i si s'encén un led vermell en el dispositiu, podem dir que ja està ben connectat i només caldrà activar-lo des del programari de configuració de la placa controladora.

El *buzzer* és un element lleuger i de mida reduïda, per això el podem col·locar a sobre del *frame* superior quan acabem de construir-lo. Per fixar-lo en aquesta posició és recomanable utilitzar un adhesiu de doble cara, de manera que una cara quedi enganxada al *buzzer* i l'altre quedi adherida al dron.

9.1.12-Fixar el *frame* superior

Finalment, procedim a muntar la part superior del *frame*, que són els costats i les peces superiors que aguanten els laterals i reforcen l'estructura del *frame*. El primer que cal fer és muntar els laterals, ja que cada un d'aquest està compost per dues peces que s'ajunten amb cargols. En segon lloc procedim a acoblar els laterals al *frame* inferior. És important recordar que abans de col·locar les peces superiors, s'ha d'encaixar la càmera FPV entre les dues peces laterals. Finalment, prosseguim a col·locar les peces superiors i ja tindrem el *frame* casi acabat.

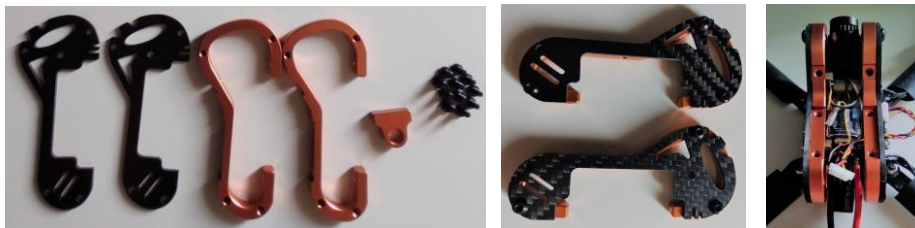


Figura 68 Muntatge del *frame* superior. Font: Pròpia

9.1.13-Connectar l'antena

L'últim que s'ha de fer per deixar enllestit el dron és muntar l'antena. Aquesta, va connectada al VTX. Així doncs primerament acoblem el VTX al *frame*, en segon lloc hem de muntar el seu port de connexió de l'antena, aquest va connectat directament al VTX, mitjançant un cable de senyal. Un cop tenim el port de connexió amb sortida a l'exterior del *frame*, només cal enroscar-hi l'antena i ja podem donar per acabat el muntatge del dron. Per acabar de perfeccionar el muntatge, podem escalfar els termoretràctils amb una pistola de calor o amb un encenedor, d'aquesta manera, els cables dels motors quedaran més ben protegits i aïllats.

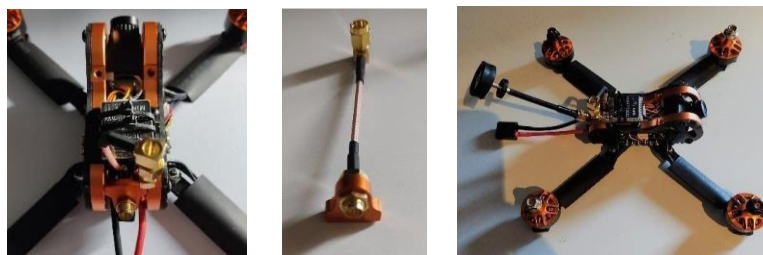


Figura 69 Connexió de l'antena. Font: Pròpia

9.2-Programació i configuració

9.2.1-Descarregar i instal·lar el programa Betaflight

Abans de començar a programar el dron, cal descarregar i instal·lar el programa BetaFlight en qualsevol ordinador. Es tracta d'un programari de control de vol utilitzat per fer volar drons de diversos rotors i drons d'ala fixa.

9.2.2-Connectar la placa controladora de vol a l'ordinador

En primer lloc cal connectar la controladora de vol a l'ordinador mitjançant un cable Micro USB. Un cop connectada la placa, procedim a iniciar el Betaflight i esperem que el programa reconegui la placa.

En el meu cas, no em detectava la placa, aleshores vaig haver d'actualitzar el *firmware*³² a un de més actual i ja em va funcionar correctament. Per actualitzar el *firmware*, deixem la placa connectada, i a continuació entrem a l'apartat "Actualitzar Firmware" i seleccionem la versió més actual.

És important recordar que no tots els cables USB serveixen per connectar la placa al ordinador, ja que, alguns cables només serveixen per transferir energia i no permeten la transferència d'informació. El cable que necessitem per aquest pas del procediment, ha de ser un cable que permeti la transferència d'informació i energia a la vegada. Normalment, el cable que es fa servir per carregar un *smartphone*³³ serveix.

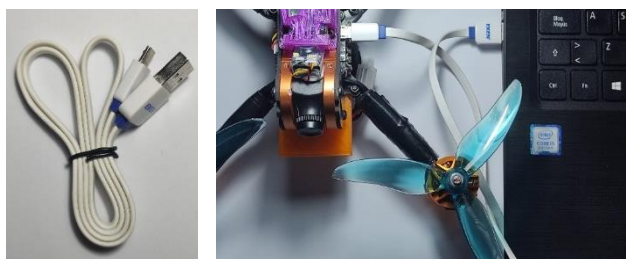


Figura 70 Connexió del dron a l'ordinador. Font: Pròpia

³² Determina la versió del programa.

³³ Telèfon mòbil intel·ligent.

9.2.3-Configuració bàsica

En segon lloc, procedim a realitzar les configuracions bàsiques perquè el dron funcioni correctament:

El primer que s'ha de fer és seleccionar l'opció "Quad X" a l'apartat "mezclador", perquè el programa reconegui el tipus de multirotor que estem programant.

A continuació en l'apartat "Funcionalidades ESC/Motor" seleccionem "DSHOT600", ja que, és el tipus de placa reguladora de velocitat que incorpora aquest dron.

Opcionalment, es pot activar l'opció "MOTOR_STOP" perquè les hèlix no girin automàticament quan engeguem el dron.



Figura 71 Selecció del tipus de dron i del model de la placa reguladora de velocitat. Font: Pròpia

A continuació, cal activar l'opció "acelerómetro". Seguidament, es pot posar nom al dron. En el meu cas li he posat "Tyro99". A l'apartat "Armado", es pot configurar l'angle d'inclinació màxima. Aquesta opció té la finalitat d'assistir el vol i permetre que un pilot principiant pugui controlar el dron perfectament. En el meu cas l'he configurat a un angle màxim d'inclinació de 25°, ja que no m'interessa realitzar maniobres acrobàtiques, i a més a més, sóc un pilot principiant.



Figura 72 Ajustament de l'angle màxim d'inclinació. Font: Pròpia

El cinquè pas és el més important de la configuració bàsica, ja que és quan s'ha de seleccionar la opció "IBUS" en el tipus de receptor. D'una altra manera, el dron no podria operar correctament, perquè no reconeixeria el receptor i es podria connectar posteriorment amb l'emissora.

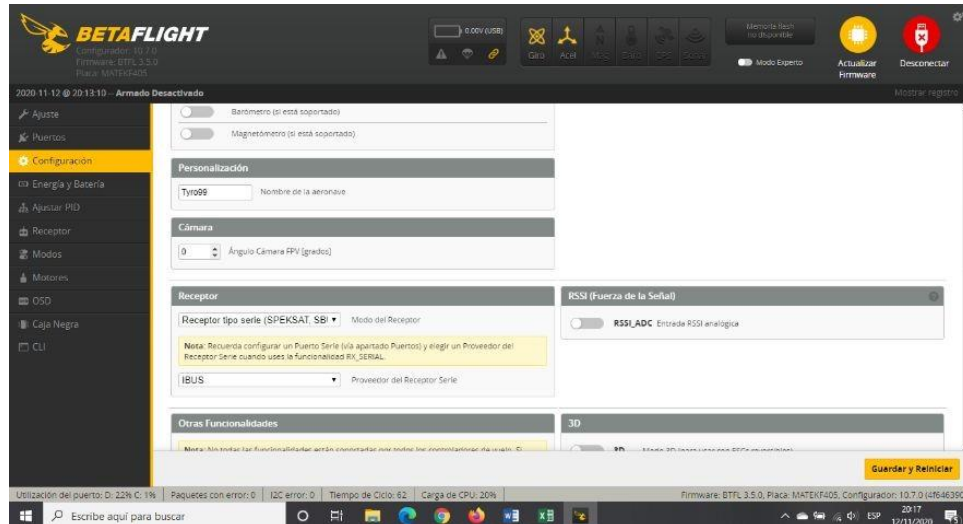


Figura 73 Configuració del tipus de receptor. Font: Pròpia

9.2.4-Configurar els eixos de gir

Normalment, la configuració dels eixos de gir "PID", ve configurada de manera predeterminada. Els seus valors depenen de la placa controladora que s'utilitzi. La seva funció és regular la sensibilitat de control dels eixos de gir del dron.

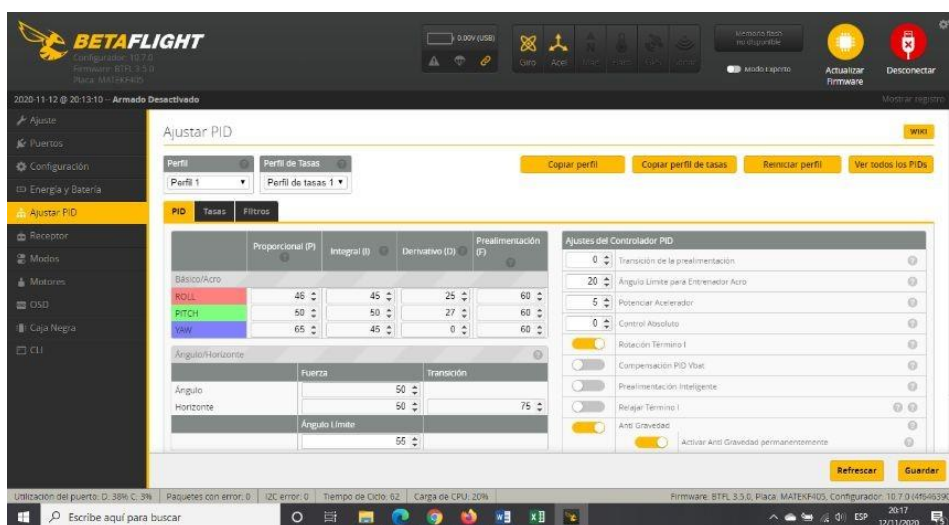


Figura 74 Configuració dels eixos de gir. Font: Pròpia

9.2.5-Configurar el receptor

Aquest apartat serveix per comprovar que l'emissora i el receptor estan connectats correctament. Per validar que tots els controls funcionen correctament, quan movem cada control en l'emissora, hem de validar que en la pantalla els valors de cada canal varin proporcionalment als senyals que s'envien des de l'emissora.

A banda d'això, es recomana regular l'opció "Banda muerta RC" a un valor de "1". Aquesta opció fa la funció de corregir o contrarestar els errors de precisió que sorgeixen als controls de l'emissora, per culpa que a mesura que l'utilitzem, la sensibilitat i la precisió dels controls es desajusta. En termes generals, aquesta configuració fa que el dron sigui més precís a l'hora d'anar en una direcció determinada o realitzar alguna maniobra.

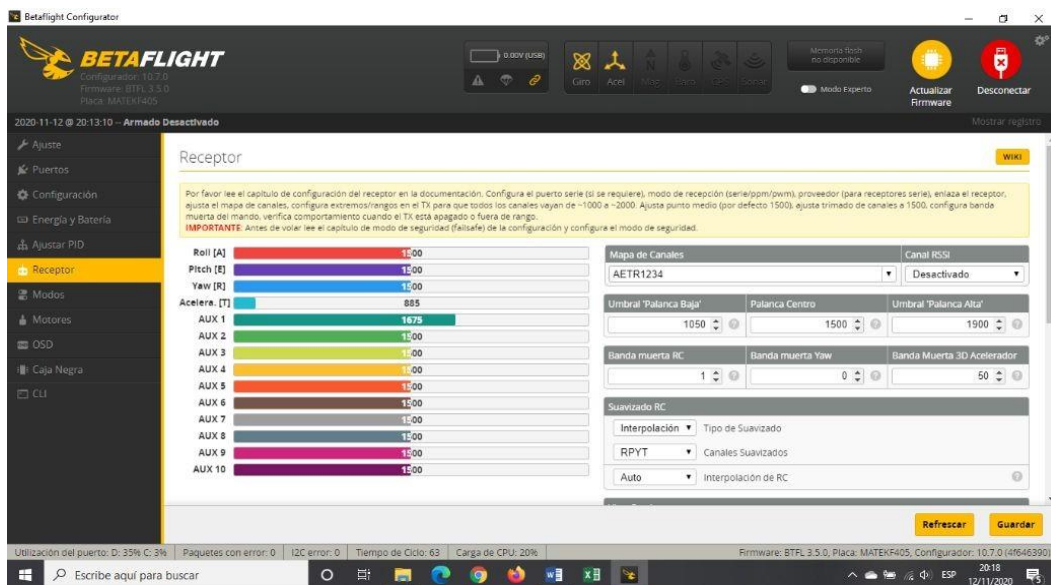


Figura 75 Comprovació del sistema de control del dron. Font: Pròpia

9.2.6-Configurar els modes de vol

A continuació, procedim a configurar els diferents modes de vol, cada un d'aquests correspon a una posició diferent de les palanques de l'emissora:

- **ARM:** Aquesta palanca fa la funció de permetre que l'energia es transmeti o no al dron. Aquest mode de vol correspon a la palanca "AUX1", en la seva posició final.
- **ANGLE:** És un mode de vol assistit que regula l'angle màxim d'inclinació. És un mode de vol ideal per pilots principiants. Aquest mode de vol correspon a la palanca "AUX2", en la seva posició inicial.
- **HORIZON:** És un mode del vol assistit que no regula l'angle màxim d'inclinació, per tant és un mode de vol que es faria servir per realitzar maniobres i acrobàcies. Aquest mode de vol correspon també a la palanca "AUX2", però en canvi, en la seva posició mitjana.
- **ACRO:** El mode "ACRO" és un mode de vol no assistit utilitzat per pilots amb molta experiència. Requereix un bon domini i coneixement de tots els controls i dels aspectes que influeixen en el vol del dron.

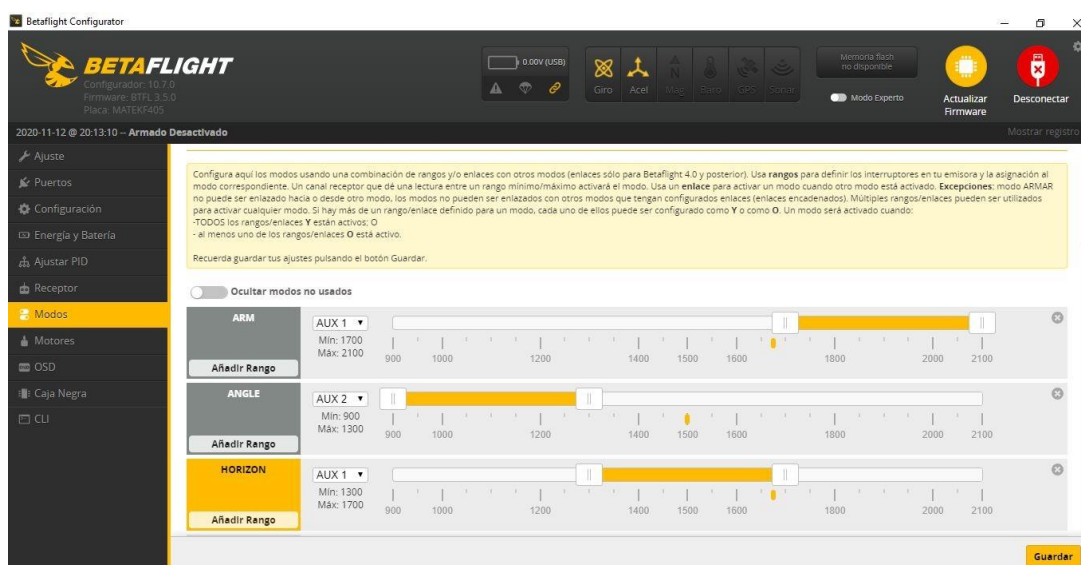


Figura 76 Configuració dels modes de vol. Font: Pròpia

- La palanca SWB³⁴ correspon als modes de vol “ARM” i “HORIZON”. Funciona de la següent manera:
 - Posició 1: El dron està en repòs.
 - Posició 2: S’activa el mode “ARM”, el dron s’encén i ja es pot fer volar.
 - Posició 3: S’activa el mode “HORIZON”, es pot activar durant el vol per fer maniobres.
- La palanca SWC³⁵ correspon al mode de vol “ANGLE” i consta de dues posicions:
 - Posició 1: Es desactiva el mode “ANGLE”, el dron es pot volar però només en mode de vol no assistit, que s’anomena mode “ACRO”.
 - Posició 2: El mode “ANGLE” s’activa. Es pot activar abans o durant el vol.



Figura 77 Les palanques de control SWB i SWC. Font: Pròpia

³⁴ Nomenclatura d’una palanca de dues posicions control de l’emissora

³⁵ Nomenclatura d’una palanca de tres control de l’emissora

9.2.7-Configurar la pantalla d'informació de vol

Seguidament, prosseguim amb l'apartat de la configuració OSD³⁶, que correspon a la configuració de la informació de vol i que és el que ens indica per exemple: el voltatge de la bateria durant el vol o l'altura a la qual està volant el dron. Es pot personalitzar i adaptar a les necessitats de cada pilot.

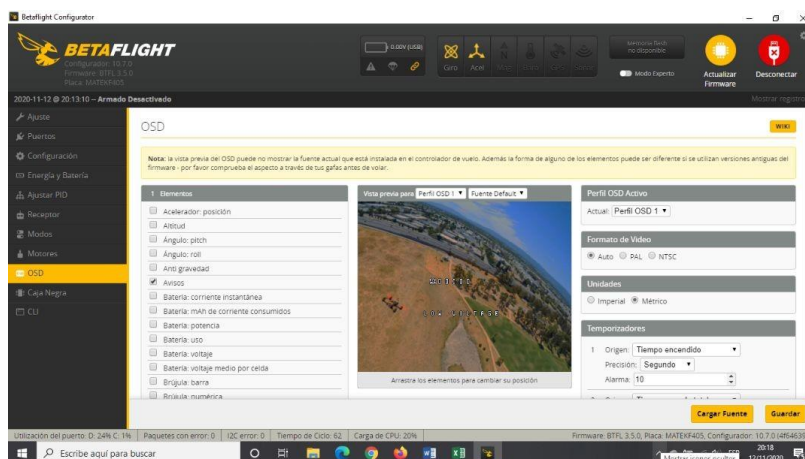


Figura 78 Configuració de la pantalla OSD. Font: Pròpia

9.2.8-Comprovar el funcionament dels motors

Finalment, procedim a realitzar una prova de funcionament dels motors. Però abans de tocar cap regulador, hem de retirar les hèlixs dels motors, perquè el dron no surti volant quan activem els motors. L'opció de configuració de motors permet engegar cada motor per separat per verificar que tots els motors funcionen correctament. A més a més, permet regular la potència que li subministrem a cada motor, per fer-ho, només hem de pujar els reguladors. Per encendre tots els motors a la vegada, hem d'utilitzar el regulador situat més a la dreta, anomenat "maestro".

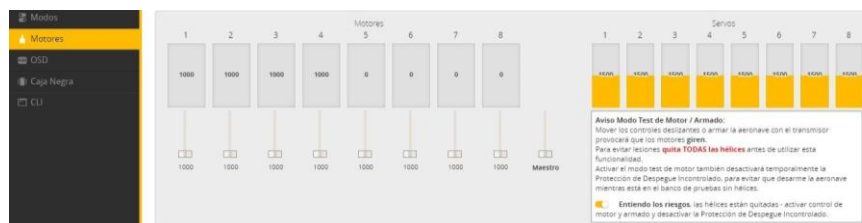


Figura 79 Comprovació de funcionament dels drons. Font: Pròpia

³⁶ Vídeo transmissió en un pantalla o ulleres de realitat virtual. (On-screen display)

9.2.9-Comprovar el sentit de gir dels motors

Un aspecte molt important a revisar, és el sentit de gir dels motors, ja que encara que col·loquem cada motor al seu lloc, a vegades els motors no giren en el sentit correcte. Per verificar i corregir els sentits de gir dels motors, s'ha de descarregar una extensió de Google Chrome anomenada BLHeli-Configurator. Aquesta, permet invertir o corregir el sentit de gir de cada motor perquè el dron pugui volar de manera estable.

Després d'instal·lar el programa, el següent pas és connectar la placa controladora a l'ordinador, com ja s'ha explicat en l'apartat anterior, i l'únic que s'ha de fer és esperar a que el programa reconegui la placa per poder iniciar la configuració.

Per comprovar el sentit de rotació de cada motor, es recomana enganxar un tros de paper en cada motor per poder veure clarament el sentit de rotació de cada un d'aquests. Cal recordar que s'ha de connectar la bateria i sobretot retirar les hèlixs, per evitar que el dron s'enlairi mentre es fan les proves.

En el meu cas, he hagut d'invertir el sentit de gir de tots els motors excepte el motor número 2 (ESC 2), que correspon al motor davanter dret.

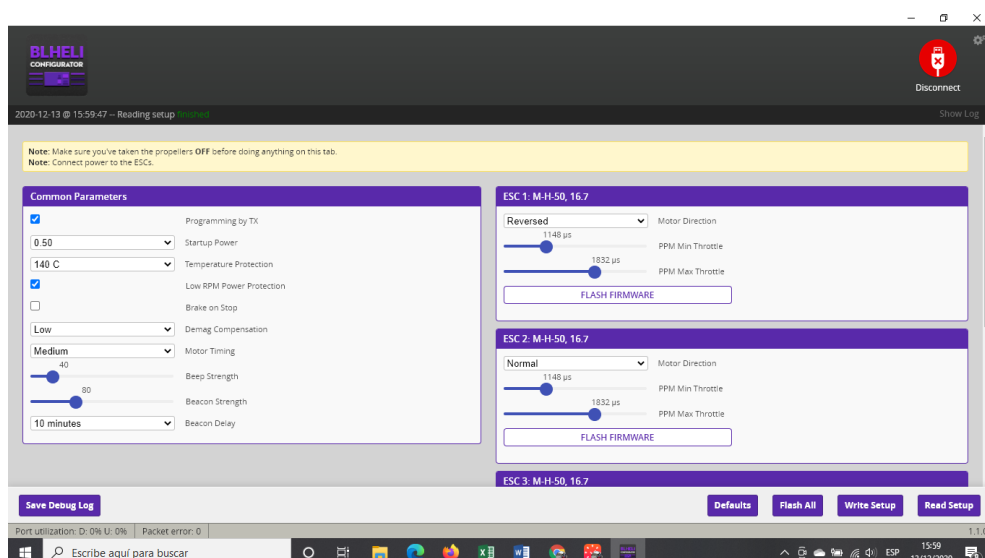


Figura 80 Correcció del sentit de gir dels motors. Font: Pròpia

10-Disseny i impressió 3D

Certament, la impressió 3D és una tècnica molt utilitzada en el món de l'aeromodelisme. D'una banda, perquè permet personalitzar l'aeronau al gust del pilot. De l'altra banda, aquesta tecnologia ens ofereix la possibilitat d'adaptar el dron per poder-li donar més aplicacions i per millorar les seves característiques tècniques.

10.1-Dissenyar les peces

Abans de començar a dissenyar les peces, hem de tenir clar quin programa de disseny farem servir. En el meu cas, vaig escollir el Tinkercad. És un programa en línia, és a dir, que no requereix instal·lar o descarregar cap programa.

A continuació, vaig procedir a buscar idees a la web de Thingiverse. Aquesta, és una plataforma de dissenys 3D, on es poden veure dissenys d'altres professionals. A més a més, permet exportar els dissenys, per imprimir-los directament, o per fer-los servir de disseny base. En el meu cas, vaig exportar algunes peces, i les vaig fer servir com a disseny base, és a dir, que les vaig editar amb el Tinkercad, per adaptar-les al meu disseny.

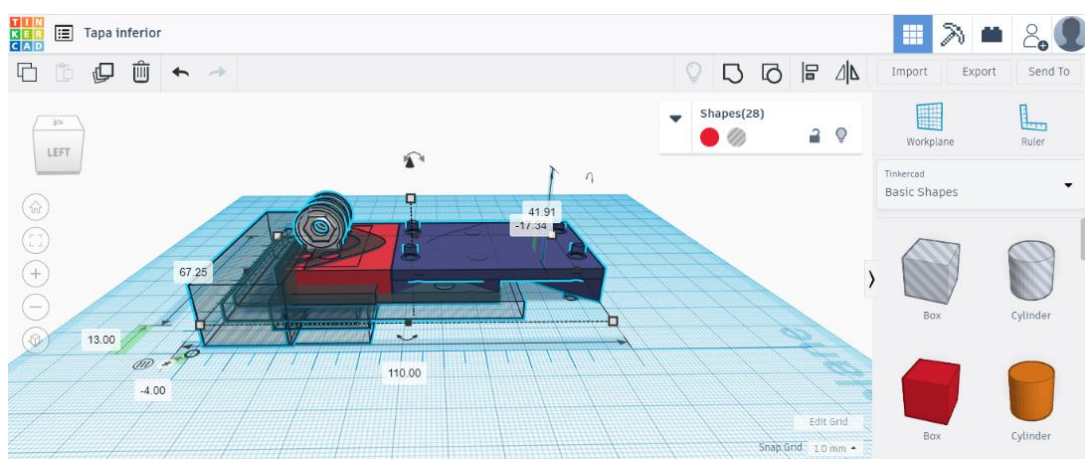


Figura 81 Procés de disseny 3D amb el Tinkercad. Font: Pròpia

10.2-Els dissenys 3D pel meu dron

10.2.1-Tapa inferior

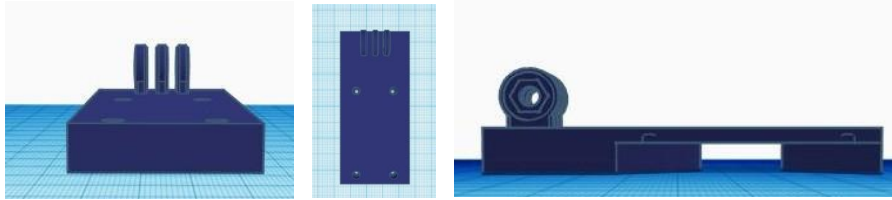


Figura 82 Vistes de la tapa inferior. Font: Pròpia

Peça	Tapa inferior del <i>frame</i>
Material	Filament TPU ³⁷
Funció	Aquesta peça pot tenir diverses funcions, però, la seva funció principal, és el fet de tenir un enganxall compatible amb el de la carcassa de la càmera d'acció, és a dir, que fa la funció de suport o base on va acoblada la càmera. Per ajuntar les dues peces, s'utilitza un caragol que passa per les dues peces, i es caragola amb una femella compatible. Es pot dir que funciona com una frontissa regulable, ja que, permet ajustar l'angle de la càmera manualment.

10.2.2-Suport de la càmera d'acció

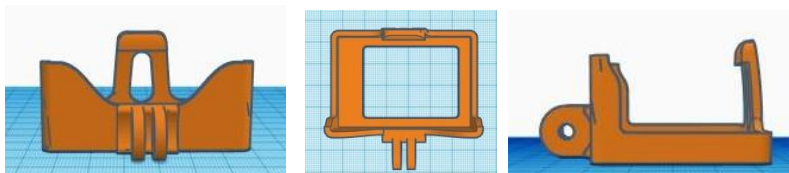


Figura 83 Vistes del suport de la càmera d'acció. Font: Pròpia

Peça	Carcassa o suport de la càmera
Material	Filament PLA ³⁸
Funció	Aquesta peça és un suport per a la càmera d'acció. Realment, hi ha carcasses millors i impermeables, però, l'objectiu principal d'aquesta carcassa era reduir el pes del dron, ja que una carcassa convencional pesa uns 60 grams, mentre que aquesta no supera els 10 grams.

³⁷ Poliuretà termoplàstic (tipus de plàstic tou i transparent)

³⁸ Àcid polilàctic (tipus de plàstic rígid)

10.2.3-Protector del video-transmissor VTX



Figura 84 Vistes del protector del VTX. Font: Pròpia

Peça	Protector del VTX
Material	Filament TPU
Funció	La principal funció d'aquesta peça és proporcionar una major protecció al video-transmissor VTX, ja que, és una peça important i no està protegida per la carcassa que protegeix tota l'electrònica.

10.2.4-Potes protectores

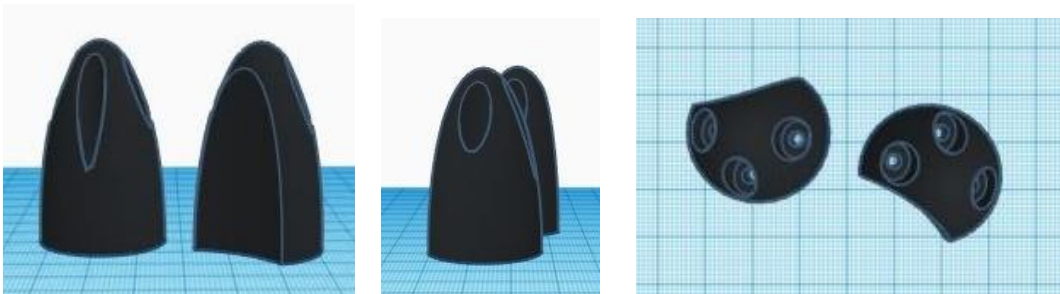


Figura 85 Vistes de les potes protectores d'aterratge. Font: Pròpia

Peça	Potes protectores d'aterratge
Material	Filament TPU
Funció	La funció principal de les potes protectores és suportar el pes del dron en l'enlairament i en l'aterratge, per tal de proporcionar estabilitat i protecció, a més a més, ajuda a fer que el dron s'aixequi verticalment. D'altra banda, protegeix a la bateria, ja que, impedeix que aquesta impacti directament amb el terra en l'aterratge.

10.3- Impressió de les peces 3D

10.3.1-Preimpressió

Abans de procedir a imprimir les peces 3D, primerament, s'ha d'exportar l'arxiu del disseny en format *stl*.³⁹ dissenyat amb el Tinkercad. Seguidament, s'ha de revisar el disseny amb el programa Autodesk Netfabb Ultimate. Aquest, permet corregir possibles errors del disseny, per tal d'estalviar-se errors durant la impressió de les peces. Ja que algunes peces necessiten suports d'impressió per imprimir-se correctament i sense irregularitats. Aquests suports podran ser retirats després de la impressió amb l'ajut d'un cúter.

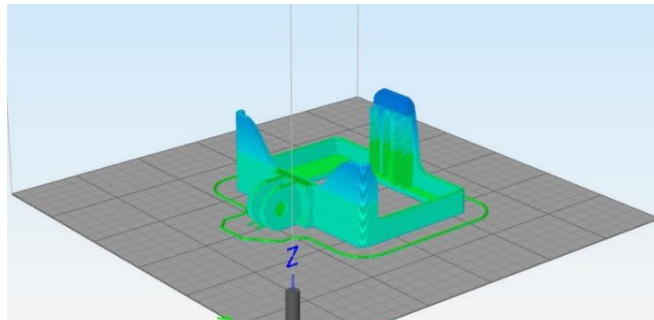


Figura 86 Revisió de la funda de la càmera. Font: Pròpia

Finalment, s'ha d'obrir el fitxer *stl* prèviament revisat i corregit en un programa anomenat Slic3r. Aquest, s'encarrega de generar el codi necessari perquè impressora 3D pugui llegir i imprimir el disseny, aquest últim fitxer, ha de ser en format *gcode*⁴⁰ i ha d'estar optimitzat per la impressora 3D en la que s'imprimirà.

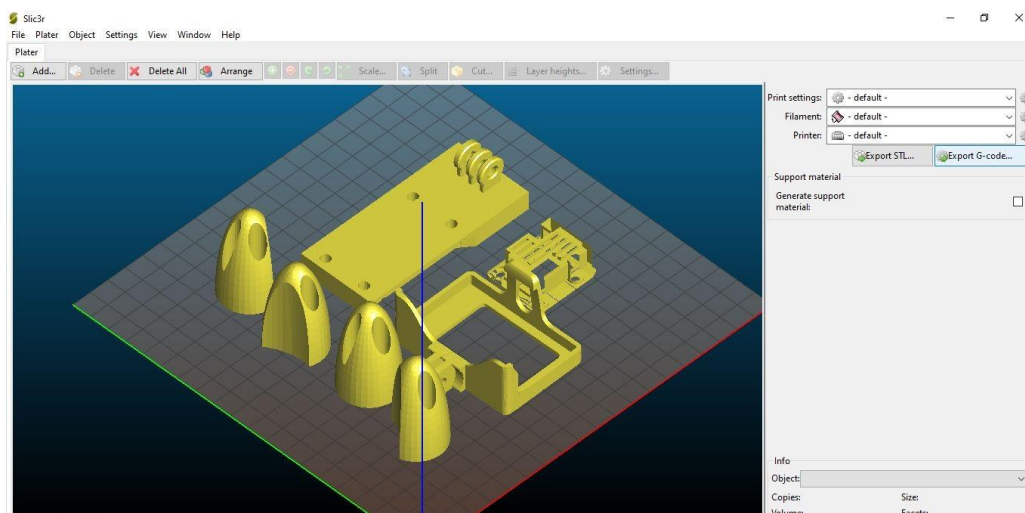


Figura 87 Selecció del model d'impressora per obtenir el fitxer en format *gcode*. Font: Pròpia

³⁹ Format en el que s'exporta l'arxiu d'un disseny 3D

⁴⁰ Format d'arxiu que necessita la impressora per poder imprimir un disseny.

10.4-Resultats de les impressions 3D

En general els resultats han estat molt bons. Les peces compostes encaixen entre si, i la càmera encaixa en el suport imprès. A més a més, el fet d'imprimir les potes amb un material tou com és el TPU, fa que aquestes absorbeixin millor els cops en cas d'algun accident, però, cal comprar uns caragols més llargs per poder acoblar-les al dron. A continuació, es poden veure els resultats de les impressions 3D:



Figura 89 Resultat de les peces de TPU. Font: Pròpia

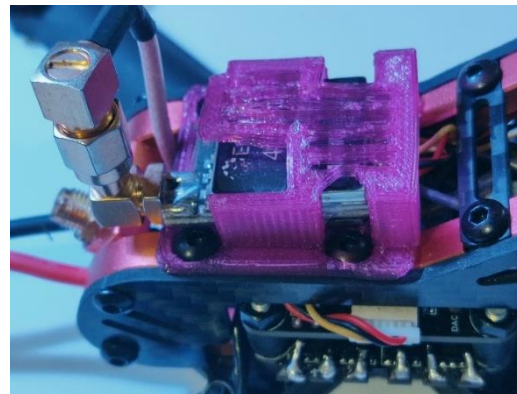


Figura 88 Resultat del protector del VTX. Font: Pròpia



Figura 90 Resultat del suport de la càmera i comparació amb el suport convencional. Font: Pròpia

11-Proves de vol

11.1-Primera prova de vol

RESUM	
Característiques del quadricòpter	Primera sincronització del receptor amb l'emissora, hèlixs de quatre pales i càmera amb subjecció provisional.
Condicions meteorològiques	Favorables.
Modes de Vol	<i>Angle</i>
Duració del vol	9 minuts.
Desperfectes	Cap



Figura 92 Primera prova de vol. Font: Pròpia

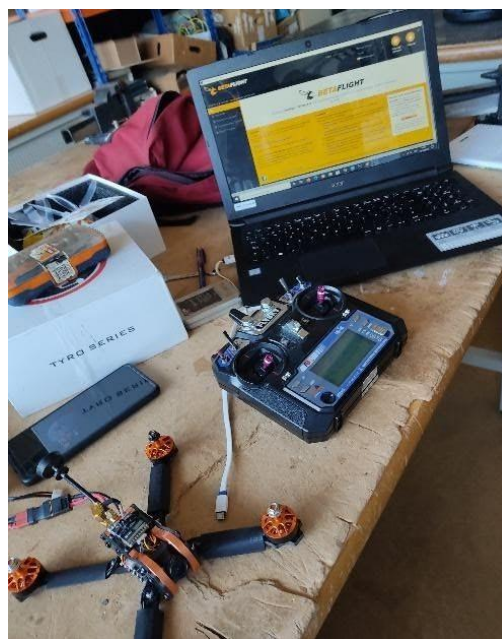


Figura 91 Connexió del dron a l'emissora. Font: Pròpia

11.2- Segona prova de vol

RESUM	
Característiques del quadricòpter	Amb les peces 3D muntades, amb la càmera d'acció incorporada i amb hèlixs de quatre pales.
Condicions meteorològiques	Vent lleuger.
Modes de Vol	<i>Angle i Horizon.</i>
Duració del vol	7 minuts.
Desperfectes	A causa d'un impacte directe amb el terra, utilitzant el mode de vol <i>Horizon</i> , el qual, exigeix una major capacitat de control al pilot, es van trencar les quatre hèlixs i la carcassa de la càmera. La rosca dels motors també va patir desperfectes, però per sort, es va poder solucionar llimant els extrems d'aquests. Finalment, Vaig comprar hèlixs de recanvi i vaig tornar a imprimir la carcassa de la càmera.



Figura 93 El quadricòpter amb les peces 3D muntades i amb la càmera d'acció acoblada. Font: Pròpia

11.3-Tercera prova de vol

RESUM	
Característiques del quadricòpter	Amb les peces 3D muntades, la càmera d'acció incorporada, hèlixs de tres pales i el <i>buzzer</i> sincronitzat.
Condicions meteorològiques	Vent lleuger.
Modes de Vol	<i>Angle</i> .
Duració del vol aproximat	6 minuts.
Desperfectes	El fet de canviar les hèlixs a unes de tres pales, és a dir, menys potents, i a més a més, afegir la carcassa convencional mentre s'imprimia la nova funda 3D, va suposar pel dron un esforç extraordinari. Penso que per aquest motiu, la bateria es va acabar més ràpid, i per consegüent, el dron va patir una caiguda des d'una altura d'uns 2 metres que li va ocasionar una ruptura en un dels braços. Aquest defecte, també va suposar un cost addicional.



Figura 95 El dron amb hèlixs de tres pales.
Font: Pròpia



Figura 94 Vol estable del dron. Font: Pròpia

11.4-Imatges obtingudes de les proves de vol

11.4.1-Imatges de primera prova de vol



Figura 97 Primer enlairament. Font: Pròpia



Figura 96 Imatge aèria obtinguda per la càmera del dron. Font: Pròpia

11.4.2-Imatges de la segona prova de vol



Figura 98 El dron just abans de la caiguda. Font: Pròpia

11.4.3-Imatges de la tercera prova de vol

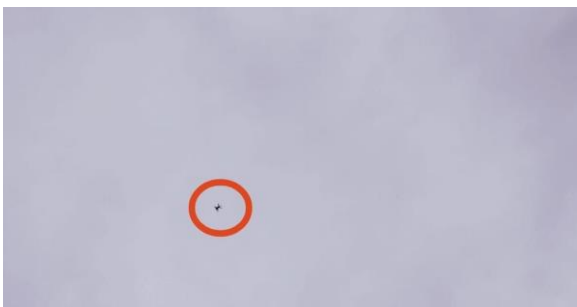


Figura 99 El dron a 50 metres d'altitud. Font: Pròpia



Figura 100. Imatge aèria obtinguda pel dron. Font: Pròpia

12-Pressupost del treball

El pressupost per acomplir aquest projecte es pot separar en 5 parts: Recursos humans, equip i software informàtic, accessoris necessaris per fer volar el dron, eines utilitzades i components del dron.

12.1-Recursos humans

Recursos humans	
Hores dedicades	120 hores
Preu per hora	15 €/hora
Nombre de persones	1 persona
Total	1.050,00 €

11.2-Equip i software informàtic

Equip i software informàtic	
Equip i software	Preu
Ordinador de característiques mitjanes	350,00 €
Windows 10 + Microsoft Office	- €
Betaflight Configurator	- €
BLHeli Configurator	- €
Autodesk Netfabb Ultimate	- €
Silc3r	- €
Total	350,00 €

12.3-Accessoris necessaris per fer volar el dron

Accessoris necessaris per fer volar el dron			
Accessoris necessaris	Unitats	Preu unitari	Preu total
Ulleres FPV Eachine EV800D	1	75,00 €	75,00 €
Emissora Flysky FS-i6	1	35,00 €	35,00 €
Carregador de bateries Charsoon DC-4S	1	10,00 €	10,00 €
Total			120,00 €

12.4-Eines

Eines utilitzades			
Eines utilitzades	Unitats	Preu unitari	Preu total
Soldador d'estany + Estany de soldadura	1	19,00 €	19,00 €
Tornavis de puntes intercanviables	1	9,00 €	9,00 €
Peu de rei	1	2,00 €	2,00 €
Total			30,00 €

12.5-Components del dron

Components del dron			
Components	Unitats	Preu unitari	Preu total
Kit de peces Eachine Tyro99	1	85,00 €	85,00 €
Receptor FS A8S	1	10,00 €	10,00 €
Bateria Li-po Bonka de 1800 mAh	1	16,00 €	16,00 €
Impressió de les peces 3D	1	14,00 €	14,00 €
Càmera d'acció Eken H9	1	30,00 €	30,00 €
<i>Buzzer</i> (bronzidor)		5,00 €	5,00 €
Total			160,00 €

12.6-Pressupost total del projecte

Pressupost total	
Parts	Cost
Recursos humans	1.050,00 €
Equip i software informàtic	350,00 €
Accessoris necessaris per fer volar el dron	120,00 €
Eines	30,00 €
Components del dron	160,00 €
Costos extres per desperfectes i recanvis	30,00 €
Total	1.740,00 €

12-Conclusions del treball

Després de l'esforç de tantes hores, dies i mesos elaborant amb constància i persistència aquest projecte, el meu objectiu principal s'ha complert. Malgrat els inconvenients que m'he anat trobant durant el treball, i sobretot en la part pràctica, finalment, he aconseguit construir un quadricòpter funcional capaç de volar de manera estable i segura, i, a més a més, adaptat per obtenir contingut audiovisual.

Abans de començar aquest treball, sabia que no seria un projecte fàcil, ja que m'interessava el tema, però el desconeixia completament. A més a més, es tracta d'un tema que actualment es troba en una fase de desenvolupament constant.

L'objectiu principal era construir un dron a través d'una metodologia que es basa principalment en la recerca d'informació útil i fiable que altres usuaris comparteixen en fòrums i canals online especialitzats en aquesta tecnologia, ja que les marques que venen les peces no faciliten instruccions ni esquemes elèctrics pel muntatge. Però, cal destacar que per mi el més important d'arribar a assolir aquesta meta no només era el resultat final, sinó que també m'interessava aprendre tot el que pogués sobre els drons. Des de les seves aplicacions, passant pel seu funcionament, fins al seu projecte de futur, "la revolució tecnològica dels drons".

Val la pena dir, que aquest projecte té moltes coses per millorar. Per una banda, en l'àmbit teòric, aquesta tecnologia es troba en una fase d'investigació, experimentació i desenvolupament constant. Pel que fa al projecte pràctic, hi ha bastants aspectes a millorar, per exemple, més endavant m'agradaria incorporar al quadricòpter un sensor GPS perquè pugui realitzar vols autònoms programables.

No obstant això, em sento satisfet i orgullós amb els resultats, ja que abans de començar aquest treball, sabia que era un projecte ambiciós, i que no seria fàcil, però tot i així, vaig seguir endavant. A més a més, convé fer ressaltar que gràcies a aquest treball, tinc més clar que mai, que em vull dedicar a l'enginyeria, i també que m'agradaria aprendre a pilotar el dron, ja que en aquest aspecte sóc principiant.

13-Infografia

13.1-Webgrafia

- Normas básicas para volar drones
<https://www.enaire.es/servicios/drones/normas_basicas>
[consulta: 11 de juliol de 2020]
- Los Mejores Drones Para Seguridad Pública
<<https://www.hobbytuxtla.com/drones-profesionales/drones>>
[consulta: 28 de juliol de 2020]
- Déu ni Dron <<https://www.deunidron.com/que-es-un-dron/>>
[consulta: 3 d' abril de 2020]
- ¿Qué Es Un Drone? <<http://eldrone.es/que-es-un-drone/>>
[consulta: 23 de març de 2020]
- Historia De Los Drones <<http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>>
[consulta: 14 de maig de 2020]
- ENAIRE <<https://www.enaire.es/servicios/drones>>
[consulta: 24 de juny de 2020]
- Innodrone: Usos Más Comunes De Un Drone
<<https://www.innodrone.es/usos-mas-comunes-de-un-drone/>>
[consulta: 11 de juliol de 2020]
- RPP. 2020. Nikola Tesla Ideó El Primer Dron De La Historia
<<https://rpp.pe/ciencia/mas-ciencia/nikola-tesla-ideo-el-primer-dron>>
[consulta: 19 de juny de 2020]

- The Drone Community: El Futuro De Los Drones En España.
<<https://yopilotodrones.com/futuro-drones-espana/>>
[consulta: 30 de juliol de 2020]
- El Blog de Tuenti: ¿Para Que Usaremos Los Drones En 2030?
<<https://www.tuenti.es/blog/futuro-drones/>> [consulta: 2 d'agost de 2020]
- Guía Drones: Cómo funciona un dron con explicación de hélices y motores.
<<https://guiadrones.com/base-de-conocimiento/como-funciona-un-dron>>
[consulta: 8 de setembre 2020]
- Innodrone: Partes de un dron
<<https://www.innodrone.es/partes-de-un-dron/>>
[consulta: 2 de setembre de 2020]
- FpvMax: *Buzzer* para drones
<<https://www.fpvmax.com/uncategorized/buzzer>>
[consulta: 3 de desembre de 2020]
- HispaDrones: ¿Cuáles son las partes de un dron?
<<https://www.hispadrones.com/principiantes/aprendizaje-consejos/partes>>
[consulta: 28 d'agost de 2020]
- Sobre el origen de los drones.
<<https://www.umilesgroup.com/noticia-sobre-el-origen-de-los-drones>>
[consulta: 22 de juny de 2020]
- Ara.cat Drons: la tecnologia (multiús) del futur
<https://www.ara.cat/tecnologia/Drones-tecnologia-multiusos-del-futur_0_1574242740.html> [consulta: 3 d'agost de 2020]

- NacióDigital. El futur dels drons també parla en català.
<<https://www.naciodigital.cat/noticia/126438/futur/dels/drons/tambe/parla/c>>
[consulta: 3 d'agost de 2020]
- Haz tu propio dron. FUNDAMENTOS. <<http://haztudron.com/fundamentos.html>>
[consulta: 3 de desembre de 2020]
- VolarMiDrone. ¿POR QUÉ VUELA UN AVIÓN Y EN PARTICULAR UN DRON O DRONE? <<https://volarmidrone.com/blog/la-gran-pregunta-por-que-vuela-un-avion-y-en-particular-un-dron/>> [consulta: 3 de desembre de 2020]

13.2-Bibliografía

- SIMÓN, F. J. T. (2016). El dron aplicado al sector audiovisual. Tebar Flores.
- ROMERO, J. R. (2008). El treball de recerca. Associació de Mestres Rosa Sensat.

13.3-Documentals, vídeos i fòrums

- Canal de YouTube DeDrones
<<https://www.youtube.com/c/deDrones/videos>>
- Canal de YouTube Drones Baratos Caseros.
<<https://www.youtube.com/c/DronesBaratosCaseros/videos>>
- Fòrum de drons: Foro De Drones <<https://www.forodedrones.com/>>
- Fòrum de drons: Espacio Drone <<https://www.espaciadrone.com/foros/>>
- Documental de YouTube *La era del drone* (2016)
<<https://www.youtube.com/watch?v=QOtBAG7Z6XY>>

13.4-Eines web utilitzades

- Canva. (2012). <<https://www.canva.com/>>
- Tinkercad. <<https://www.tinkercad.com/>>
- Softcatalà: Informàtica i programari en català. <<https://ww.softcatala.org/>>
- Betaflight Configurator <<https://chrome.google.com/webstore/>>
- BLHeli Configurator. (2020) <<https://chrome.google.com/webstore/>>
- Netfabb Autodesk.<<https://www.autodesk.es/products/netfabb/subscribe>>
- Slic3r (2020) <<https://slic3r.org/>>

ANNEXOS

Annex I: Entrevista a Jordi Santacana

Per acabar el treball, vaig tenir la oportunitat de contactar amb un professional en el món dels drons, el *CEO* del *BCN Drone Center*, Jordi Santacana. Sens dubte, un dels pioners de l'impuls de la tecnologia dron a Catalunya. A continuació, es poden veure les preguntes i respostes de l'entrevista que es va duu a terme de manera telemàtica a través de Skype.

1-Què és el BCN Drone Center? Com va néixer aquesta idea?

El BCN Drone Center és una infraestructura de proves, és un centre de proves. Podríem dir que és un aeroport de drons. És una instal·lació que vam crear perquè la necessitàvem, és a dir, ni a Catalunya ni a Espanya hi havia cap instal·lació semblant. I a nivell mundial n'hi havia poques. De fet, la nostra empresa, CATUAV, va néixer al Aeròdrom d'Aviació Esportiva de Moià, però aquest és un lloc dedicat a avionetes tripulades. Per tant, estàvem fent un ús que no era el que estava previst, i abans de crear un conflicte amb l'aeròdrom o tenir certes limitacions, vam decidir crear un lloc ideal per provar tot tipus de drons.

Un exemple que sempre faig, és que el BCN Drone Center és com el circuit de Catalunya per a drons. Una empresa d'automoció, abans de vendre un cotxe, realitza proves de circuit en les millors condicions tècniques, portant el vehicle als límits. Per tal de detectar falles de disseny. Doncs el BCN Drone Center té la mateixa funció, però per provar drons. És un entorn delimitat i segur on les empreses poden provar amb les millors condicions tècniques els nous prototips.

2-En quin moment creus que es va fer popular la tecnologia dron a nivell civil?

A nivell civil, és bastant recent (2007-2009). Els primers drons produïts en sèrie i per un preu raonable van sorgir principalment per aplicacions audiovisuals, és a dir, per generar fotografia i vídeo. I l'èxit ha estat gràcies a l'empresa xinesa DJI. Aquesta, és responsable de bona part de la revolució dron en el sector audiovisual.

3-Quins creus que son els avantatges i desavantatges d'aquesta tecnologia?

3.1-Avantatges:

- És una manera d'eliminar el pilot de l'aeronau, per tant desapareix el perill. S'intenta eliminar el risc de que mori una persona fent una feina.
- Economia: Per exemple: És molt més econòmic fer una fotografia o vídeo amb un dron que amb un helicòpter.
- Mediambiental: Amb el mateix exemple, un helicòpter consumeix moltíssim combustible i fa molt soroll. Els drons pràcticament no contaminen, tenen un consum energètic molt baix, i no són intrusius en el medi.
- Un dron és més versàtil i més ràpid de desplegar. Si hi ha un accident o una emergència, el dron pot arribar ràpidament al lloc. O simplement si hi ha una posta sol, jo puc treure ràpidament el meu dron i en dos minuts estic fent una foto. Amb un helicòpter és molt més complicat.

3.2-Desavantatges:

- Concretament, en l'àmbit audiovisual, la qualitat de les imatges que es poden fer amb un helicòpter que porta una càmera de cinema d'un milió d'euros són molt millors que les que es poden obtenir amb un dron. A més a més, poden portar un operador de càmera amunt.
- El principal inconvenient és la falta de normativa clara. La primera normativa a Espanya va arribar l'any 2014. Abans de la normativa, estàvem en una inseguretats jurídica permanent. Després d'aquesta normativa, el problema és que es van prohibir moltes coses directament. Per exemple: volar un dron de nit o volar sobre una ciutat. És una normativa relativament restrictiva.

4-Què opines de la normativa o reglamentació actual sobre l'ús d'aquests aparells? Creus que ha impedit d'alguna manera l'expansió i desenvolupament d'aquesta tecnologia?

Sí, clarament. Ha limitat durant molts anys el potencial d'aquesta tecnologia. En la nostra empresa, CATUAV, moltes vegades hem hagut de renunciar a feines perquè hi ha algun punt de la normativa que no ho permet. Però, en menys d'un mes (1 de gener), entrarà en vigor una nova normativa europea que serà més flexible i serà vàlida per tot Europa. Perquè abans també hi havia el gran inconvenient que cada país tenia la seva normativa, i clar, si hem d'anar a treballar a Portugal, a França... És molt complicat. Per això, tenim actualment un equip en l'empresa que està treballant en aspectes burocràtics i jurídics.

5-Quin o quins factors consideres més importants a l'hora de construir un dron?

El que és important és no voler inventar des d'un inici, és a dir, et recomano començar per un disseny senzill que sàpigues que funciona. I quan ja et funcioni el primer, doncs anar innovant i experimentant amb nous projectes. Però si hem de parlar d'un aspecte més específic, nosaltres, una de les coses que més busquem és la fiabilitat, és a dir, que l'aparell funcioni sempre, que no falli. I això implica fer moltes proves en diferents condicions (fred, calor, pluja...) per assegurar que el disseny és òptim i segur.

6-Creus que la impressió 3D pot potenciar les aplicacions dels drons?

Sí, de fet ja fa molts anys que ho fa, és molt útil combinada amb els drons. Va molt bé per fer peces concretes o complexes, que d'una altra manera serien molt cares o difícils de fabricar. L'inconvenient d'aquestes peces és que tenen una relació de resistència no tant bona. Aleshores, això fa que no sigui òptim imprimir tota l'estructura del dron amb impressió 3D. Nosaltres ens limitem a imprimir peces com un suport per una càmera o un suport de pilot automàtic.

7-Com t'imagines el futur dels drons?

Personalment penso que la imaginació és el motor, és el que et fa fer l'empresa, és la il·lusió que tens perquè aquell futur que tu t'imagines sigui real. És evident que cada vegada els drons tindran més importància. Jo ho comparo una mica amb la història de l'aviació. L'aviació va començar el 1903, però el 1923 encara no era important, van fer falta molts anys perquè es convertís en una part important per la vida de tots els ciutadans. Amb els drons passa el mateix. Estem en un període d'experimentació, de descoberta, de projectar en el futur què és el que voldrem que facin. M'interessa la ciència que pot ser realitat, no la ciència ficció. Amazon Prime Air té intenció d'innovar, però té la limitació que les bateries dels drons actuals tenen una baixa autonomia, no arriben a recórrer molts quilòmetres i no seria tan eficient com un centre de distribució. Però les noves tecnologies i descobriments científics, poden ajudar a desenvolupar encara més aquesta tecnologia.

8-Conclusions de l'entrevista

Després de l'entrevista amb el Jordi Santacana, no més he pogut obtenir coneixements sobre el dron a nivell de tecnologia, sinó que he arribat a la conclusió que els drons són una tecnologia que es troba en fase de desenvolupament, i que en algun moment o altre, hi haurà una revolució dron en la qual aquesta tecnologia es convertirà en una part quotidiana de la nostra vida. Penso que és un sector amb molt de futur, i per això, m'agradaria estudiar en el futur algun tema relacionat a aquest sector.

0



*Figura 101 Entrevista amb el Jordi Santacana per Skype.
Font: Pròpia*

Annex II: Galeria d'imatges



Figura 102 Primervol del quadricòpter. Font: Pròpia



Figura 103 Imatge capturada pel dron. Font: Pròpia



Figura 104 Imatge del dron volant de manera estable mentre grava amb la càmera d'acció. Font: Pròpia



Figura 105 Imatge obtinguda pel dron a uns 50 metres d'altura. Font: Pròpia



Figura 106 Part posterior del resultat final del quadricòpter. Font: Pròpia



Figura 107 Imatge de perfil del resultat final del dron. Font: Pròpia

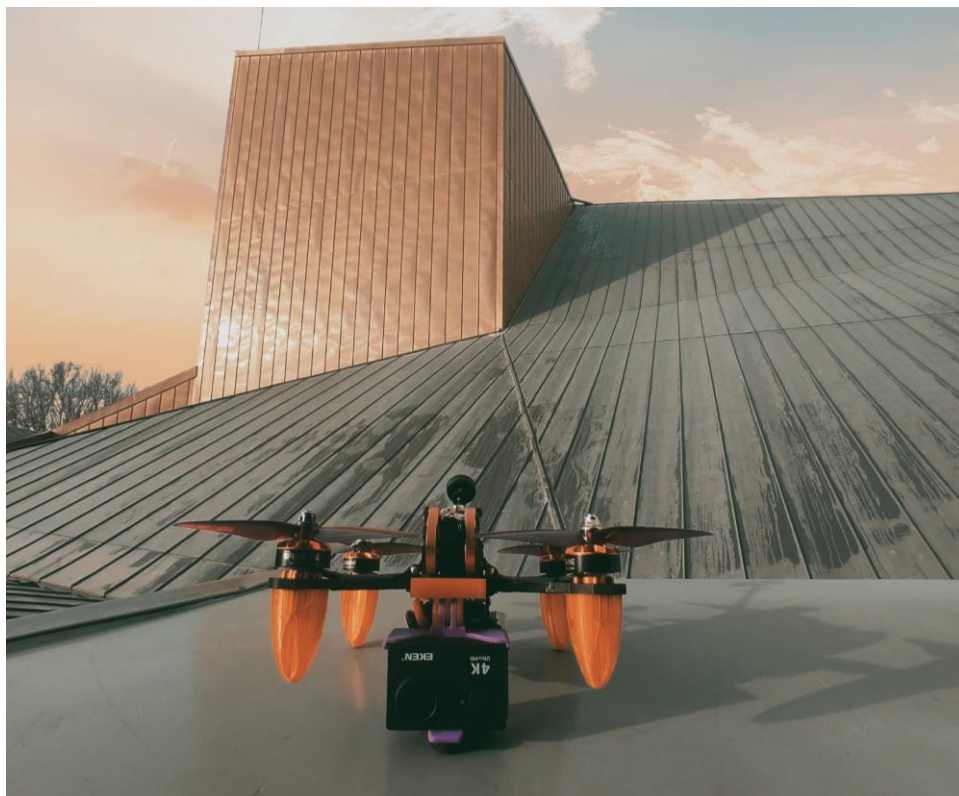


Figura 108 Part davantera del quadricòpter. Font: Pròpia (editada)



Figura 109 Part davantera del quadricòpter. Font: Pròpia



Figura 110 Imatge de la part superior del dron, amb hèlixs de tres pales. Font: Pròpia.