

DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN DRONE AUTÒNOM



ALUMNE: Joel Papalini

TUTORS :
Josefa Martínez i Ramon Simó

IES ESCOLA DEL TREBALL

2n Batxillerat Tecnològic

GRUP: 2UTEC

ÍNDEX

1-Introducció	3
1.1-Motivacions	3
1.2-Objectius	3
1.3-Metodologia	4
2-Què és un drone?.....	5
2.1- Història i orígens.....	5
2.2-Aplicacions en l'actualitat	6
2.2.2-Usos militars.....	6
2.2.3-Usos civils	6
3-Construcció i disseny del quadcòpter	8
3.1-Planificació.....	8
3.2-Selecció del sistema de propulsió.....	8
3.3-Components electrònics	10
3.4-Esquema elèctric	14
3.5- Llista de materials i eines per l'estructura.....	15
3.6-Construcció pas a pas	16
3.7- Programació	18
3.8- Disseny Final	20
4-Estudi del funcionament.....	22
4.1-El Vol.....	22
4.2-Modes de Vol.....	24
4.3-Control Manual	25
4.4-Control Automàtic	26
5-Proves de vol.....	28
5.1 Vol 1	28
5.2 Vol 2	29
5.3 Vol 3	30
6-Pressupost i comparativa de preus.	31
7-Conclusions	33
8-Bibliografia.....	35
ANNEXOS	36
ANNEX A: Plànols	37

Agraïments:

Vull començar expressant el meu agraïment a totes les persones que m'han ajudat amb el treball de recerca.

Als professors Ramón Simó, Josefa Martínez i Marc Coll per l'assessorament proporcionat durant els dos cursos.

Als familiars, amics i companys que han compartit experiències amb mi i m'han ajudat a resoldre dubtes.

1-Introducció

1.1-Motivacions

Sempre m'ha motivat molt la tecnologia i les seves aplicacions. Actualment estic cursant el batxillerat tecnològic i en el futur vull estudiar alguna enginyeria.

Ja tenia pensat que el meu treball de recerca possiblement tractaria de la construcció d'alguna màquina o robot, però no va ser fins que vaig veure un reportatge per televisió sobre aquest tema, que vaig decidir fer-lo sobre els *drones*. A més tracta matèries que m'agraden com la robòtica i sobretot l'aeronàutica, així que de seguida em vaig posar a buscar més informació per definir i concretar els objectius que em podia plantejar a partir dels coneixements que tinc.

1.2-Objectius

En aquest projecte vaig decidir desenvolupar un *drone* capaç de realitzar vols autònoms i manuals a l'exterior. Es tracta d'un multicòpter amb quatre rotors (o quadcòpter) que he dissenyat i construït a partir de tots els coneixements adquirits durant la investigació.

M'he plantejat cinc objectius sobre la seva construcció:

- a) Aconseguir que l'aparell voli. Per mi és l'objectiu principal, i més important.
- b) Instal·lar una càmera per filmació aèria. Es tractaria d'una plataforma per filmar en alta resolució.
- c) Fer un disseny en tres dimensions.
- d) Programar-lo per fer vols autònoms.
- e) Fer-lo per un preu econòmic.

Per centrar el treball començaré desenvolupant un marc teòric, amb una breu investigació sobre aquestes màquines per tal d'aclarir que són, quins són els seus orígens i com funcionen.

1.3-Metodologia

Pel que fa al procediment, utilitzaré el mètode DIY (*Do It Yourself*), que es pot traduir com “fes-t'ho tu mateix” i consisteix en elaborar per tu mateix en comptes de comprar, i aplicar-ho a tantes parts com sigui possible. Els principals avantatges del DIY són que sovint es reaprofiten materials i que s'aprèn molt durant el procés.

En el cas d'un aparell d'aquestes característiques, només podré aplicar aquesta metodologia a les parts de l'estructura, ja que les peces electròniques són massa complexes i les hauré de comprar.

2-Què és un drone?

Un *drone*, o més tècnicament un *UAV* (del anglès *unmanned aerial vehicle*) és un vehicle aeri que funciona sense persones a bord. Poden ser avions, helicòpters, globus aerostàtics, etc.

Per poder volar sense un humà a l'interior han de tenir sistemes de comunicació que permeten el control a temps real. Sovint utilitzen càmeres per transmetre vídeo a distància i diversos tipus de sensors per complir les seves tasques.

Podem diferenciar dos classes de UAVs segons el seu funcionament:

-Controlats manualment

L'operari controla el vehicle a distància a temps real com si estigués dintre d'aquest, amb un comandament controla tots els moviments i veu les imatges transmeses per la càmera (si en té) per orientar-se.

Sobretot són utilitzats per fotografia aèria, exploració a distàncies curtes o per substituir a una persona en situacions on hi ha risc.

-Autònoms

No depenen de cap operari per volar, només dels seus sensors i del processador que recull les seves dades, les processa i fa la tasca per la que està programat. Encara que no estiguin pilotats directament estan connectats a alguna central i es poden controlar manualment en qualsevol moment.

2.1- Història i orígens

Com molts altres invents, els *drones* tenen els seus orígens a la guerra, en concret el primer va ser creat a l'any 1916. Era un avió no tripulat fet de fusta i llautó que es carregava amb explosius per llençar contra els zepelins enemics. Encara que es van fabricar uns quants, no es van utilitzar mai en combat.

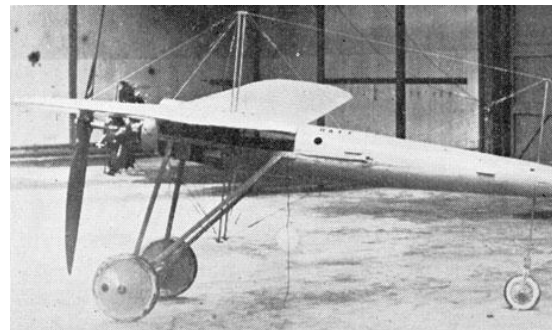


Fig 2.1 Prototip de Archibald Low -1916.

Quan aquesta tecnologia va començar a desenvolupar-se realment, va ser després de la segona guerra mundial en forma de petits avions radio controlats, no només per motius bèl·lics, sinó també com un innovador hobby. Curiosament es creu que la paraula *drone*, que en anglès significa abellot (mascle obrer de les abelles), es va

associar a aquests primers UAVs que portaven petits motors d'explosió, degut al soroll que feien.

Cap a mitjans del segle XX l'armada americana (i posteriorment altres grans potencies) va crear els primers UAVs de reconeixement amb càmeres incorporades. A diferència dels primers, no tenien com a objectiu fer un dany directe amb armes de foc, sinó proporcionar serveis d'intel·ligència com per exemple analitzar el camp de batalla. Van tenir un paper molt important durant la Guerra Freda.

2.2-Aplicacions en l'actualitat

2.2.2-Usos militars

Com ja he dit anteriorment aquesta es una de les aplicacions principals dels UAVs, sobretot són utilitzats per les forces aèries americanes on representen més del 30%



Fig 2.2 MQ-9 Reaper (Predator B).

del total la seva flota d'aeronaus. Els més coneguts avui dia són els MQ-9 Reaper, uns sofisticats avions de combat controlats per satèl·lit que tenen un autonomia màxima de 30 hores. Encara que permeten un atac relativament precís, han estat molt polèmics durant els últims anys per haver causat nombrosos danys col·laterals.

2.2.3-Usos civils

Afortunadament no tots els drones s'utilitzen per la guerra, cada vegada més, s'estan fent servir per multitud d'aplicacions civils com les que explicaré a continuació.

- Fotografia i Cartografia.

La majoria de UAVs civils s'utilitzen per cinematografia, arriben a llocs on les càmeres normals no poden i surt molt més barat que contractar un helicòpter tripulat. Aquests mateixos també es poden fer servir per l'elaboració de mapes de gran definició tant en pla com en relleu, per fer-ho es fan moltes fotografies del terreny i després s'ajunten amb un programa informàtic.



Fig 2.3 Helicòpter no tripulat de filmació.

- Seguretat.



Fig 2.4 UAV de salvament marítim.

Porten sistemes de transmissió de vídeo i es fan servir sobretot per el control de incendis, rescats, tasques policials, inspecció de grans estructures, etc.

El vehicle de la figura 2.4 es capaç de portar i llençar fins a 3 flotadors per salvament a les costes i a alta mar. Actualment s'estan provant a les costes del mar Caspi.

- Transport



Fig 2.5 Prototip de drone de transport de la empresa Amazon

S'han popularitzat molt gràcies a campanyes publicitàries com la de Amazon o Domino's Pizza que prometien enviar-te la teva comanda en un curt període de temps. A part de transport comercial també poden ser molt útils per tasques humanitàries, com enviar medicaments urgents o aliments a zones en conflicte.

- Agricultura

En aquest cas, les càmeres que porten són d'infrarojos i serveixen per detectar quines àrees del cultiu cal regar, fumigar o tractar. Es l'anomenada agricultura de precisió, que a l'hora de millorar la producció proporciona un important estalvi als pagesos.



Fig 2.6 Agricultura de precisió i vista d'un terreny per infrarojos.

3-Construcció i disseny del quadcòpter

3.1-Planificació

El primer pas serà fer un dibuix orientatiu amb la mida aproximada que vull que tingui, això m'ajudarà a determinar quins materials i peces he de comprar. Com es veu a la figura 3.1, farà aproximadament 50 cm de motor a motor.

El segon pas serà escollir els components electrònics, per això, he hagut d'informar-me bé per internet i fer els càlculs que explicaré més endavant (el l'apartat 3.2). Aquests són cars i no em puc equivocar. Després de reunir tot el necessari ja podré començar amb la construcció i programació.

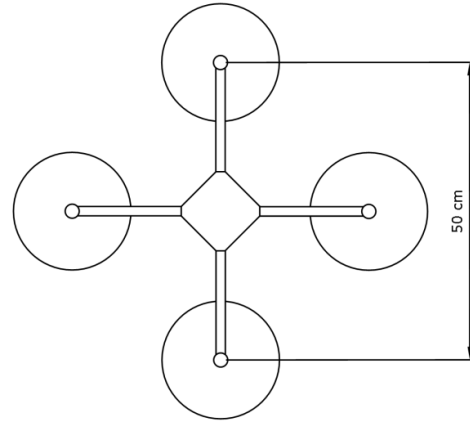


Fig 3.1. Vista de planta, dibuix orientatiu.

Per últim, crearé un disseny final en 3d que incorporaré en el treball en format digital. El disseny inicial probablement canviarà

lleugerament durant la construcció, de manera que al final obtindrè uns plànols definitius que permetran que qualsevol persona pugui reproduir-lo.

3.2-Selecció del sistema de propulsió.

Els càlculs d'aquest apartat tenen com a objectiu trobar una bona combinació hèlixs/motors per aixecar el vehicle del terra.

Després de buscar totes les peces i materials per internet i trobar el pes de cada cosa vaig fer una aproximació del pes total que tindria: entre 1100 i 1500 grams contant tota la part electrònica. Una regla fonamental per que un multicòpter voli bé i amb eficiència és que l'empenta vertical total dels motors funcionant al màxim, sigui aproximadament el doble del seu pes (2200-3000 g). Per tant amb els motors funcionant al 50% tindria que ser suficient per mantenir-lo fix a l'aire, el que es coneix com a vol estacionari. Així que és essencial saber quanta força màxima desenvoluparà cada motor amb la seva hèlix.

Per calcular l'empenta màxima he utilitzat la fórmula de l'empenta estàtica provant amb dues mides d'hèlix (22,8 i 20,3 cm) i els motors SK3 1240 kv que podem veure detalladament al apartat 3.3:

$$E = \frac{F \cdot 1000 \text{ g}}{9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}} \quad F = \rho \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \left(\omega \cdot \text{pas} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right)^2 \cdot \left(\frac{d}{k_1 \cdot \text{pas}} \right)^{k_2}$$

Dades:

E- Empenta (g)

F- Força (N)

ω - Velocitat angular (rpm) = segons el fabricant 10790 i 9830 amb hèlix de 20,3 cm i 22,8 cm respectivament.

Pas (m) = 0.1193 i 0.1143

ρ - Densitat de l'aire = 1.225kg/m³

d- Diàmetre (m) = 0.2286 i 0.2032

k1 i k2- Constants de l'hèlix - k1=3,295 i k2=1,5

Utilitzant les fórmules he trobat la força i l'empenta màximes que donarà el conjunt de rotors amb les dues mides d'hèlix:

-Hèlix de 20,3 cm

Força: 6,65 N x 4 = 26,6 N Total

Empenta: 678,57 g x 4 = 2741,28 g Total

-Hèlix de 22,8 cm

Força: 8,58 N x 4 = 34,32 N Total

Empenta: 876,08 g x 4 = 3504,32 g Total

Aquests són uns càlculs aproximats que no tenen totalment en compte aspectes externs (com l'altitud, temperatura, etc) i els valors anteriors no es corresponen exactament amb la realitat, realment fan una mica menys de força.

Veient els resultats podem arribar a la conclusió de que és un bon sistema amb qualsevol de les dues hèlixs, tot i així he decidit fer servir les primeres i deixar les de 22,8 cm per quan el quadcòpter porti més pes. També s'ha de considerar que com més grans siguin les pales, menys potència caldrà per fer la mateixa força que amb unes petites i el consum de bateria serà menor. Però això té un inconvenient, i és que unes pales grans també comporten més lentitud en el desplaçament degut a que requereix un major esforç i temps variar la velocitat de gir.

3.3-Components electrònics

-El "cervell"

Una placa basada en *arduino* (especial per vehicles radio controlats) s'encarrega de controlar els motors, servomotors i altres dispositius, de l'estabilització i del control automàtic.

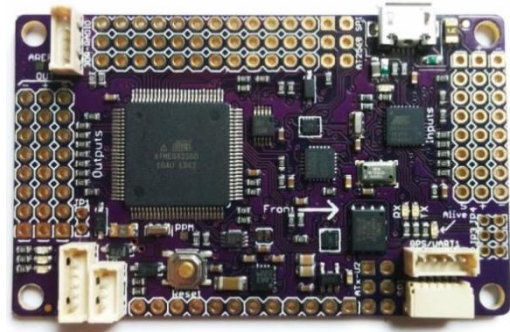


Fig 3.2 Placa APM 2.5.2

Arduino es una plataforma de hardware lliure que consisteix en una placa amb un microcontrolador i diferents connexions que s'utilitza en gran varietat de projectes d'electrònica i pot ser programada amb un software gratuït.

Per realitzar tots el càlculs i processos porta incorporat una sèrie de sensors :

-Sensor giroscòpic de 3 eixos: Detecta la inclinació en els tres eixos, és imprescindible per l'estabilització.

-Magnetòmetre: Mesura la força i direcció dels camps magnètics i serveix per corregir errors dels altres sensors.

-Acceleròmetre: Mesura les acceleracions, es a dir, els canvis de velocitat del quadrocòpter.

-Baròmetre: Mesura la pressió atmosfèrica i s'utilitza per calcular l'altitud, com més gran es l'altitud més petita és la pressió. Aquestes dades poden ser combinades amb un GPS extern per millorar la precisió.

-Brúixola digital: Detecta la orientació, igual que qualsevol brúixola tradicional.

A més permet connectar una gran varietat de sensors externs compatibles amb arduino com per exemple el GPS (imprescindible per vols autònoms).

Fitxa tècnica :

Nom	ArduFlyer APM 2.5.2
Processador	Atmega 2560-16AU
Voltatge (V)	5.5-5,75
Pes amb carcassa (g)	50

-La font d'energia

Una bateria recarregable de polímer de liti (LiPo) proporciona l'energia a l'UAV amb una autonomia aproximada de 15-20 minuts de vol. Dels diferents tipus de bateries vaig escollir les LiPo degut a la seva excepcional relació capacitat/pes.



Fig 3.2 Bateria LiPo

Fitxa tècnica	
Nom	Zippy Compact
Voltatge (V)	11.1
Descarrega màx. (C)	25
Capacitat (mAh)	4000
Nombre de cel·les	3
Voltatge per cel·la (V)	3.7
Pes (g)	286

-Els motors

Els millors motors per impulsar un *drone* d'aquestes dimensions són els elèctrics gràcies a que tenen una mida reduïda i pesen poc.

Concretament, els que he utilitzat són sense escombretes, els quals presenten grans avantatges respecte els antics motors elèctrics que sí en portaven. Són molt més eficients i precisos, tenen menys vibracions i sorolls, no requereixen pràcticament manteniment i es pot aconseguir més potència amb un motor més petit.



Fig 3.3 Motor sense escombretes (brushless)

Fitxa tècnica	
Nom	Turnigy Aerodrive SK3 2826
Rpm/volt o Kv	1240
Potència (W)	150
Resistència (Ω)	0.095
Corrent màx. (A)	16
Voltatge màx. (V)	12
Diàmetre (mm)	22
Pes (g)	41.5

-Els variadors ESC (electronic speed controller)

Fig 3.4 Variador.

Els variadors serveixen per controlar la velocitat dels motors, cada motor necessita un. Prenen l'energia de la bateria mitjançant una placa de distribució elèctrica .

Fitxa tècnica

Nom	Mystery 20A
Voltatge màx. (V)	12.6
Corrent màx. (A)	20
Pes (g)	20

-El comandament a distància (transmissor i receptor)

El transmissor o emissora, consta de dos petits joysticks (palanques) que s'adapten als polzes de cada mà i interruptors configurables per funcions especials com ara moure la càmera o canviar els modes de vol. El receptor va situat al drone, rep pràcticament al instant les ordres enviades amb l'emissora i les transmet a la placa.



Fig 3.5 Transmissor

Fitxa tècnica

Nom	Turnigy 9x V2
Freqüència (Ghz)	2.4
Abast (m)	2000-3000
Pes del receptor (g)	20

El GPS(global positioning system)

És un sensor extern i va connectat a la placa. Utilitza la xarxa global de satèl·lits (que consta de 24 unitats) per determinar la posició del quadcòpter.



Fig 3.5 GPS.

Fitxa tècnica

Nom	U-blox NEO-6M
Precisió de posició (m)	2
Precisió de velocitat (m/s)	0.1
Pes (g)	12

-La Telemetria

Consta de dues antenes, una es posa a bord de l'aparell i l'altra a un portàtil o smartphone i serveix per transmetre les dades rebudes per els sensors fent un seguiment a temps real. També permet localitzar el drone en el mapa i canviar la configuració durant el vol.

Fitxa tècnica

Nom	RcTimer radio telemetry kit
Freqüència (Mhz)	433
Abast (m)	1500
Potència (W)	0,1
Velocitat de transmissió de dades (kbps)	250
Pes (g)	18 i 25



Fig 3.6 Antenes de telemetria

-Càmera amb estabilització

Per tasques de filmació aèria he instal·lat una petita càmera d'acció model SJ4000 d'alta definició sobre un suport mòbil de fibra de vidre. Dos petits servomotors digitals (de 1,5kg i 5kg de parell) controlats per la placa mantenen la càmera horitzontal (o en la posició desitjada) en tot moment, contrarestant els moviments dels eixos X i Y. Això juntament amb el fet de que el suport porta unes gomes per reduir vibracions provinents dels motors fa que s'obtingui una imatge bastant estable.



Fig 3.7 Estabilització d'imatge per servomotors.



Fig 3.8 Compensació vertical



Fig 3.9 Compensació horitzontal

3.4-Esquema elèctric

Per mostrar d'una manera clara com he realitzat totes les connexions entre els diferents components he fet aquest esquema:

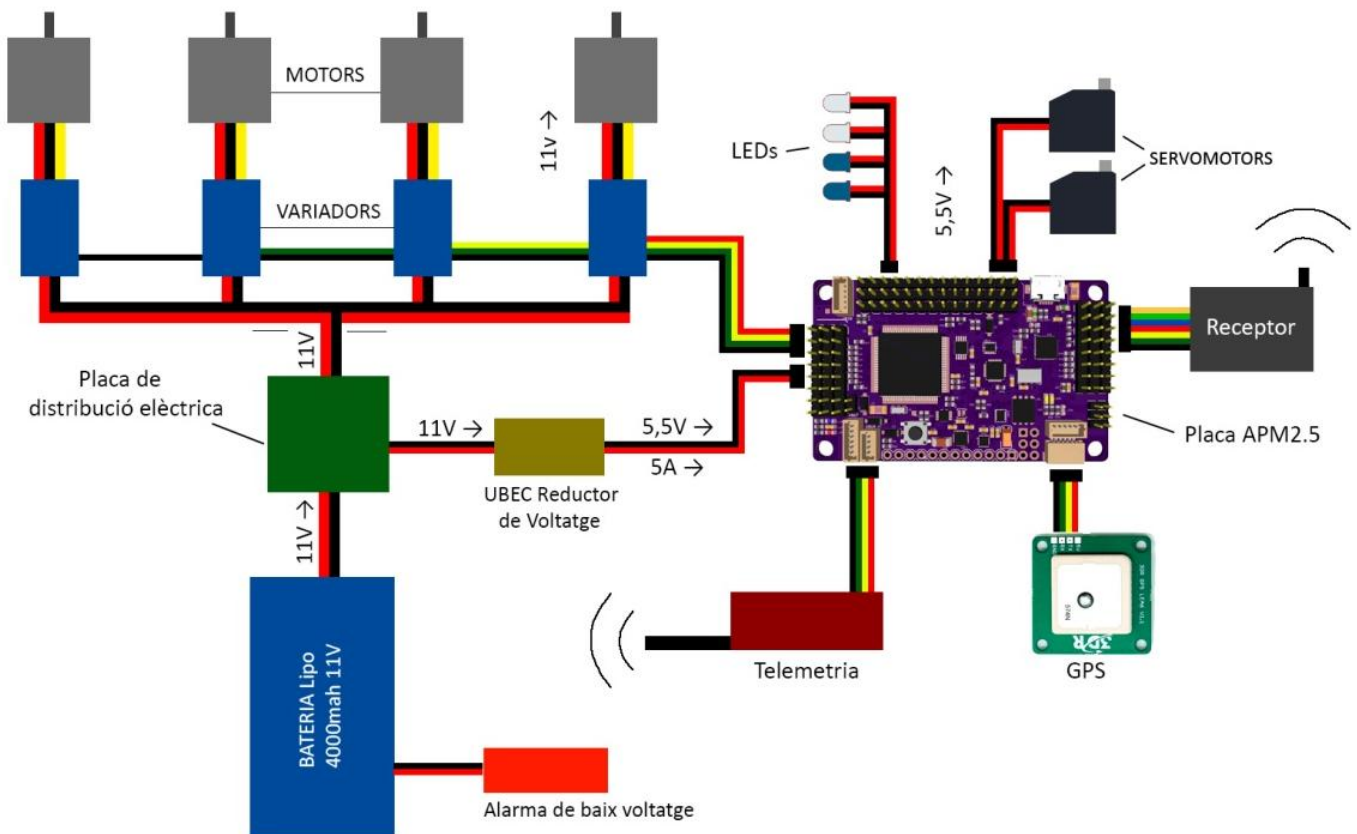


Fig 3.7 Esquema elèctric.

Com es veu al dibuix, el circuit està alimentat per la bateria d'11 volts i això planteja dos problemes:

D'una banda el marge de tensió de la placa APM es de 5 a 5,5 V i qualsevol valor superior la cremaria, això vol dir que no es pot endollar directament a la bateria. Per poder connectar la placa APM he posat un reductor de voltatge UBEC (*Universal Battery Elimination System*) que dona constantment 5,5 volts i una intensitat de 5 ampers que és més que suficient per la placa i tots els elements que té associats.

L'altre problema es que la bateria no sempre dona 11 V, quan esta totalment carregada són uns 12,6 V i quan està descarregada pot arribar als 9 V. Aquest tipus de bateria s'ha de controlar i no deixar que es descarregui per sota de 9 V o es faria malbé, i si es pot evitar que baixi dels 10V encara millor, així allargarem la seva vida útil. Per això, he posat una alarma a la bateria que sonarà quan passi per sota dels 10.2 V

3.5- Llista de materials i eines per l'estructura

Per la construcció de l'estructura del drone he utilitzat materials lleugers i resistents com l'alumini i compòsits de fibra de vidre i de carboni. Totes les eines mostrades a continuació i alguns materials són els que tenia a casa, i no els he hagut de comprar.

Materials:

- Brides
- Cargols de duralumini M3 , volanderes i femelles autoblocants
- Cinta de doble cara
- Espaiadors de niló (x8)
- Paper de Vidre
- Perfils quadrats d'alumini de 13mm (x4)
- Pintura
- Plaques de fibra de vidre tallades de fàbrica (x4)
- Suports per motors (x4)
- Tires de velcro
- Xapa d'alumini d'1 mm

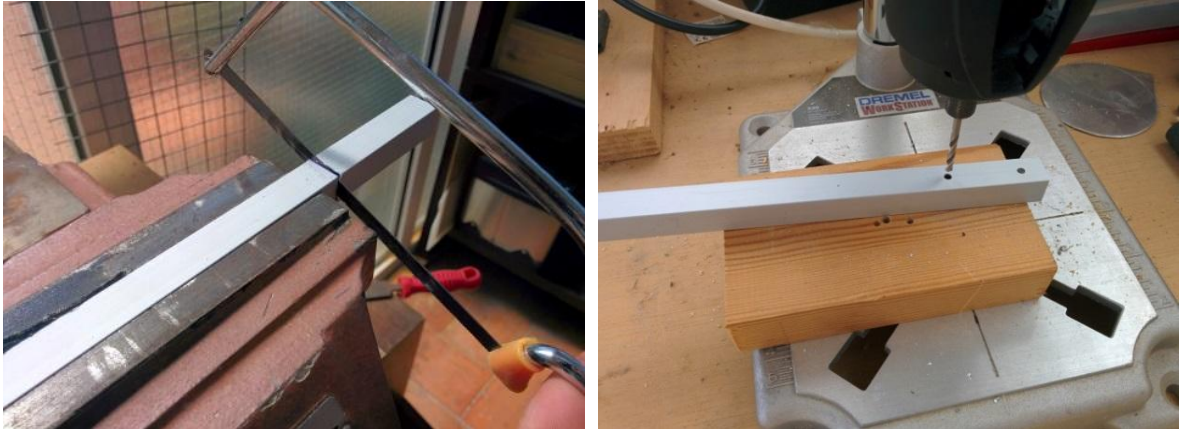
Eines:

- Alicates
- Cargol de banc
- Cúter
- Multímetre Digital
- Serjants
- Serra de marqueteria
- Serra per metalls
- Soldador i estany
- Tisores per xapa d'alumini
- Tornavisos
- Trepant

3.6-Construcció pas a pas

1-Tallar i foradar els perfils d'alumini.

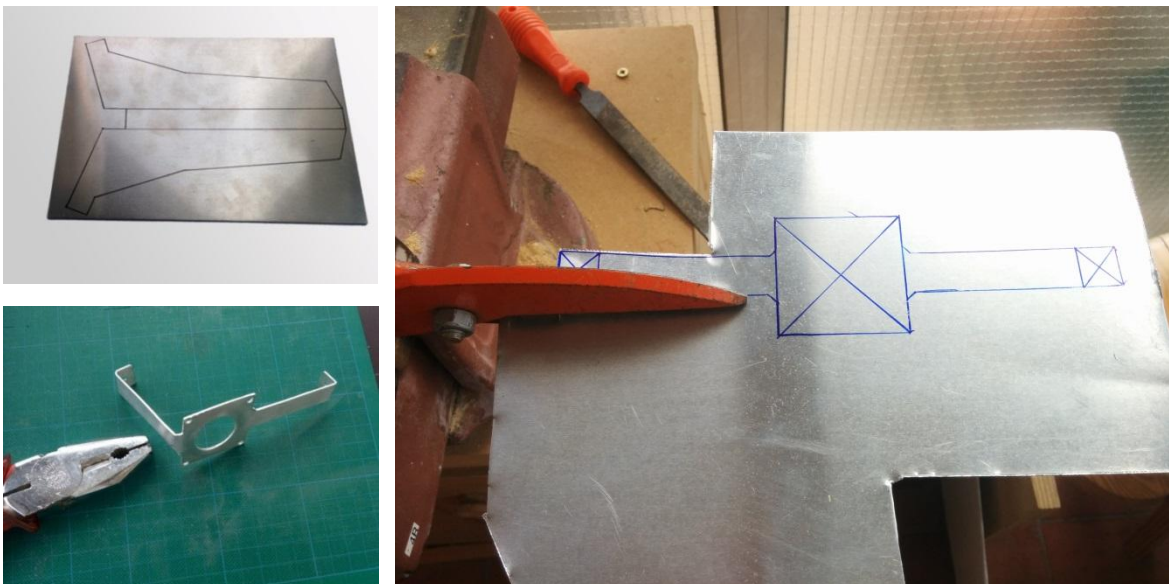
Amb la serra de metalls vaig començar a preparar els perfils per el muntatge tallant quatre peces de 195mm. Per poder passar els cargols vaig fer en totes les peces forats de 3mm amb un trepant fix.



2-Retallar i donar forma a la xapa.

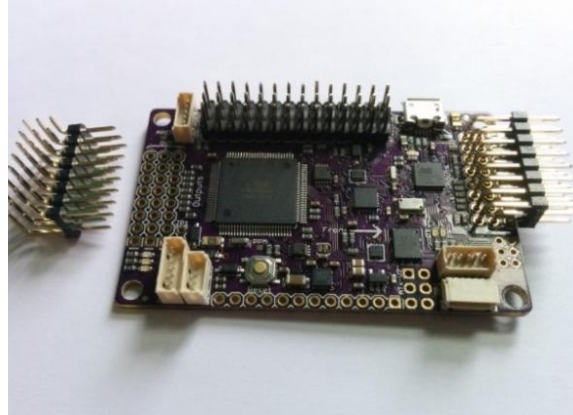
La xapa d'alumini la he utilitzat per fer les potes, que proporcionaran l'espai suficient per posar la càmera i la bateria a la part inferior. També la he fet servir per fer un petit suport per posar GPS a la part més alta, ja que es imprescindible que estigui més elevat que la resta de components per rebre millor el senyal.

yUna vegada fets el dissenys, els vaig marcar i retallar amb les tisores per xapa. Per donar la forma vaig fer els plecs subjectant la peça amb el cargol de banc i amb alicates.



3-Soldar.

Per realitzar totes les connexions electròniques de manera que es puguin treure en qualsevol moment, vaig soldar connectors als extrems de tots els components que no els portaven incorporats.



4-Muntatge.

Amb totes les parts preparades ja es podia començar amb el muntatge, així que després de pintar algunes parts, vaig unir les peces amb els cargols i femelles M3 (mm) començant per la base i els perfils i posteriorment les potes i la resta de suports. A continuació, vaig posar tots els components electrònics al seu lloc amb petits cargols brides i cinta de doble cara i vaig fixar les hèlixs als motors.



5-Instal·lació de la il·luminació.

El sistema d'il·luminació està format per quatre díodes LED situats just sota els motors. En dies de poca llum, ajudaran a distingir la part del davant, on seran de color blanc, de la del darrere, on seran blaus. Per instal·lar-los vaig passar els cables per dintre dels perfils i vaig subjectar els LEDs enganxant-los amb uns plàstics translúcids.



3.7- Programació

El quadcòpter no estarà llest per volar fins que el seu cervell, es a dir la placa controladora, hagi sigut degudament programada. Per fer-ho es necessita el programa Mission Planner, que servirà per carregar un codi informàtic (o *firmware*) especial per multicòpters a la memòria de la placa, calibrar els sensors, fer ajustaments, i preparar missions autònomes. El programa i el codi informàtic es poden descarregar de forma gratuïta a les webs especificades a la webgrafia.

Tot el procés es pot dividir en quatre fases:

Instal·lació del *firmware*. El procés per carregar el codi és bastant senzill, només cal connectar la placa a l'ordinador amb un cable USB, carregar la versió més recent (en aquest cas es l'Arducopter V3.2) i ajustar quin tipus de vehicle es farà servir.

Calibratge de sensors. Per un correcte funcionament és imprescindible calibrar l'acceleròmetre i la brúixola amb l'ordinador seguint unes simples instruccions que surten en pantalla.

Calibratge PID. El PID (*Proportional Integral Derivative*) és un complicat sistema algorítmic de correcció d'errors molt comú en aparells electrònics, en el cas dels multicòpters s'hauran de canviar els valors "P", "I" i "D" fins a aconseguir que el vol sigui el més suau i estable possible. Abans de canviar els res, caldrà fer proves i veure com es comporta. Cadascun dels valors té una funció diferent:

- P (*proportional*). És el valor més important, ja que determina la rapidesa de la estabilització, quant més alt és, més ràpid corregeix la posició. No pot ser massa baix, perquè seria incontrolable i es mouria molt lent ni massa alt perquè provocaria oscil·lacions constants.
- I (*integral*). Determina la rapidesa amb la que torna a la posició horitzontal, molt útil per compensar forces externes com per exemple el vent.
- D (*derivative*). Aquest no es realment necessari i te pocs efectes durant el vol, bàsicament corregeix algunes vibracions provocades en moviments bruscos.



Fig 3.8 Finestra de valors PID a Mission Planner

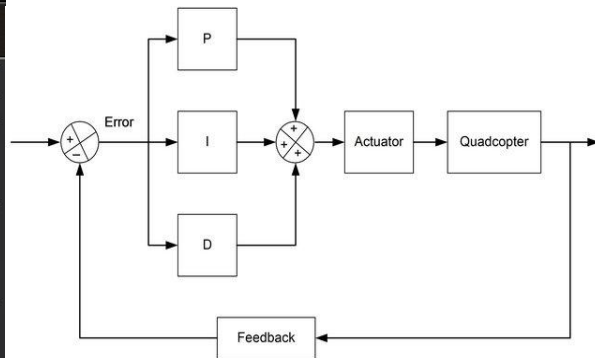


Fig 3.9 Funcionament del sistema PID

Programació de l'estabilitzador de la càmera. Com he dit anteriorment, la càmera s'estabilitzarà amb dos servomotors o servos, els quals aniran controlats per la placa. Els servos es tindran que ajustar des de l'ordinador fins aconseguir que contrarestin correctament els moviments. A més he afegit la opció de control manual que permetrà orientar la càmera a la posició desitjada movent unes rodetes de la emissora.

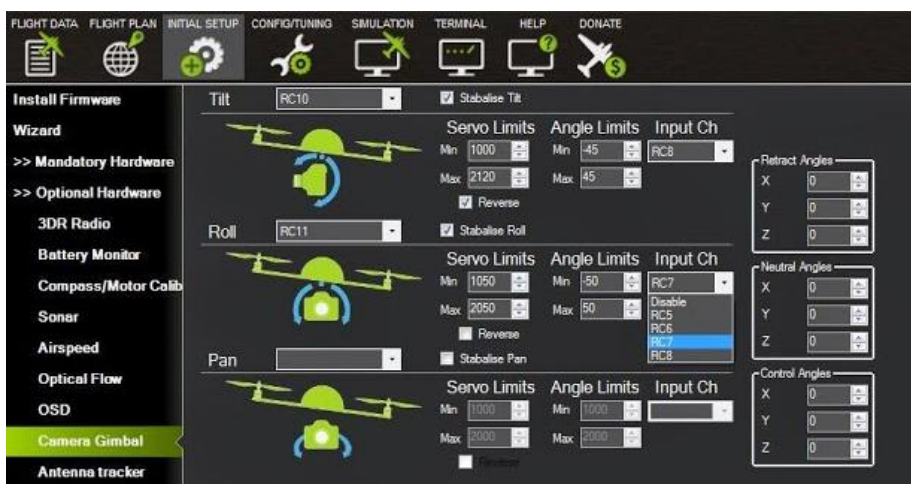


Fig 3.10 Programació dels servomotors.

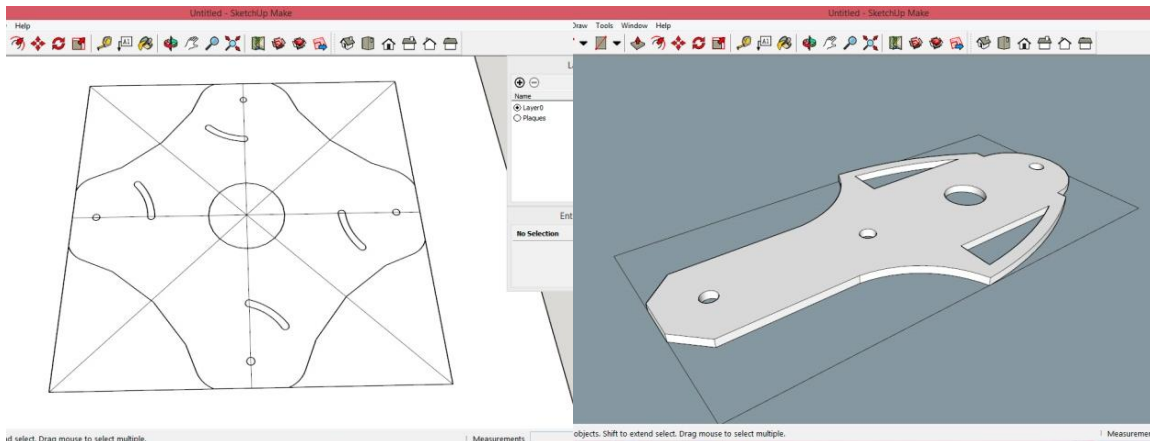
3.8- Disseny Final

He decidit fer el disseny final en 3d per facilitar la comprensió dels plànols i pels molts avantatges que presenta respecte els dibuixos en pla. El fet de poder veure el model des de qualsevol angle fa que tot sigui molt més senzill i a més serà molt útil per afegir millores del disseny en el futur. A més, qualsevol podrà reproduir el drone a partir dels plànols.

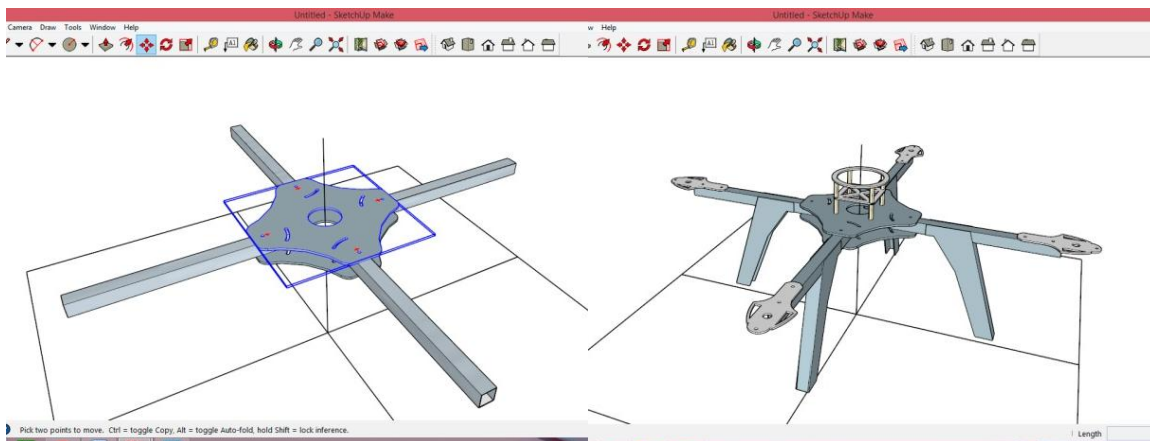
Tot s'ha fet amb el programa Google SketchUp Make 2015, ja que m'ha semblat el més adient per iniciar-me en el dibuix informàtic perquè és gratuït i molt complet.

En les següents imatges podem veure les diferents etapes del modelat 3d:

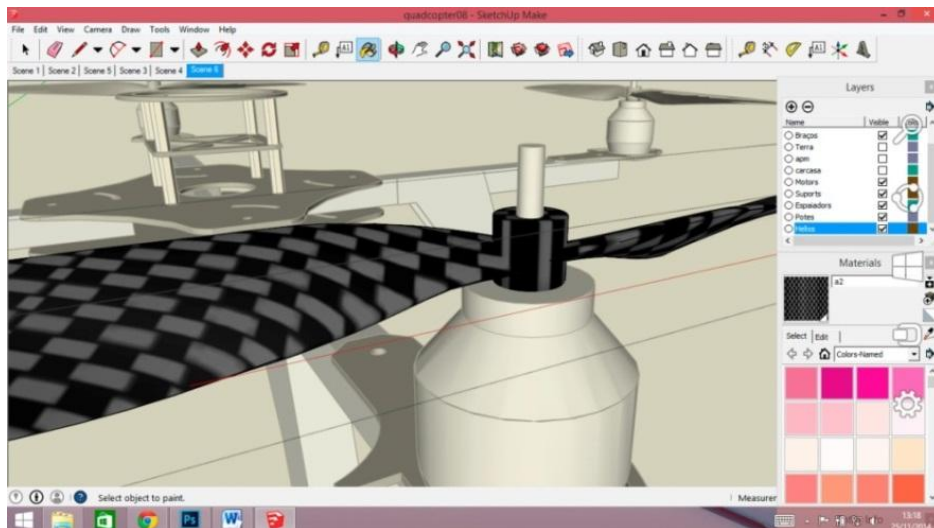
1-Representació de totes les peces. Consistirà en mesurar totes les peces, dibuixar-les amb la màxima precisió possible i guardar-les com a components, d'aquesta manera serà molt més fàcil treballar.



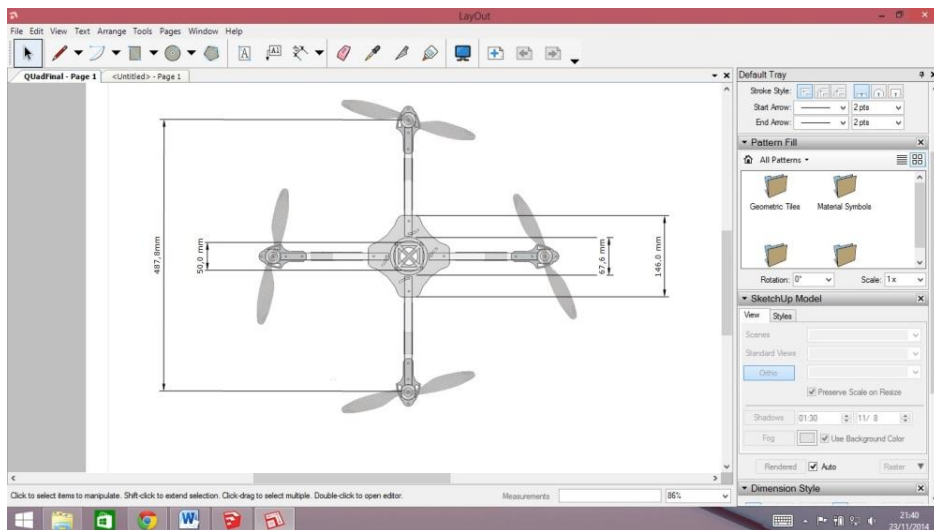
2-Construcció de l'estructura. Serà col·locar tots els components guardats anteriorment al seu lloc



3-Colorejar les peces. Simplement trobar els colors i textures que més s'assemblin als reals, en el cas de les hèlix vaig descarregar la textura de fibra de carboni d'Internet.



4-Acotacions i plànols en 2d. A partir del model 3d també es podran treure plànols a escala amb l'aplicació LayOut que incorpora l'SketchUp.



4-Estudi del funcionament

4.1-El Vol

Els multicòpters, a diferència dels altres tipus d'aeronaus (avions, helicòpters tradicionals, etc.) es desplacen mitjançant variacions en la velocitat dels seus motors. El nombre de motors generalment es un nombre parell es a dir 4, 6, 8 (quadcòpters, hexacòpters, octocòpters) excepte en el cas dels tricòpters que tenen un funcionament diferent.

Un multicòpter en si mateix és molt inestable, i només s'aconsegueix un vol estable quan tots els rotors giren exactament a la velocitat adequada i per aconseguir-ho, la placa té que processar centenars de càlculs per segon.

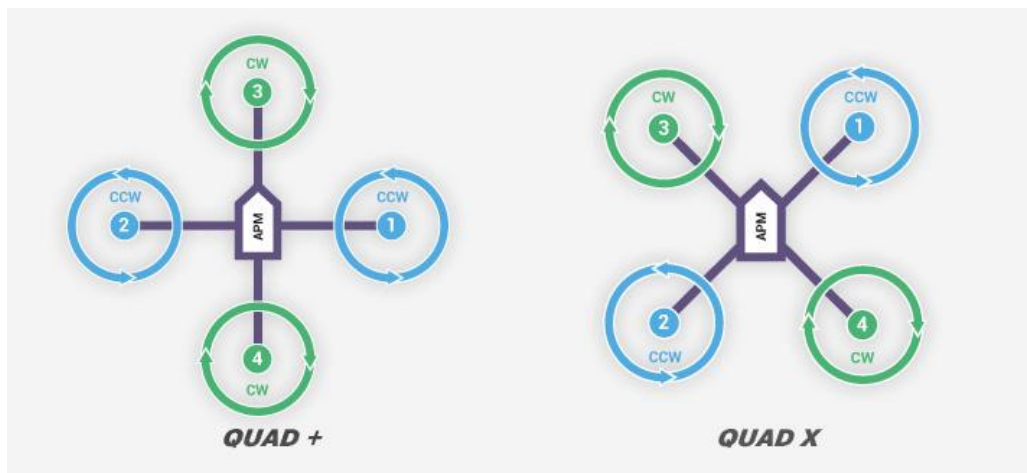


Fig 4.1 Posicions de vol

Com es veu en la figura 4.1, es pot programar de dues maneres, per volar en “creu” o en “X”. En el cas del meu es en “X”.

A fi d'explicar com es mouen utilitzaré l'exemple dels quadricòpters, ja que és el que he construït, encara que tots es basen en el mateixos conceptes.

Exactament com en els helicòpters convencionals, el moviment dels rotors provoca una inèrcia cap a la direcció contrària a la que giren a tot el vehicle. Es per això que no tots els rotors giren en el mateix sentit, si fos així volaria donant voltes sobre si mateix sense control. Així que dos motors giren en sentit horari (3 i 4) i els altres dos en antihorari (1 i 2).

Els tres moviments bàsics respecte l'eix de gir en els quadricòpters i en totes les aeronaus són: el balanceig, el capcineig i la guinyada.

- Eix X: Balanceig o *Roll*

És la inclinació respecte l'eix longitudinal, és a dir, un moviment cap a la dreta o l'esquerra.

Per fer el balanceig, els motors dels laterals varien la velocitat, per exemple al inclinar-se cap a la dreta, els dos motors de la banda esquerra augmenten la velocitat mentre que els altres dos la disminueixen.

- Eix Y: Capcineig o *Pitch*

És la inclinació respecte l'eix transversal, és a dir, es mourà cap endavant i enredera.

Per fer el capcineig, és exactament el mateix mecanisme que en el balanceig però regulant juntament els dos motors de davant i els dos de darrere.

- Eix Z: Guinyada o *Yaw*

És el gir que fa sobre l'eix vertical, sobre si mateix.

Per fer la guinyada s'aprofita la inèrcia produïda per les pales, per exemple al girar cap a la dreta els rotors que giren en sentit horari augmentaran la velocitat i els de sentit antihorari la disminuiran.

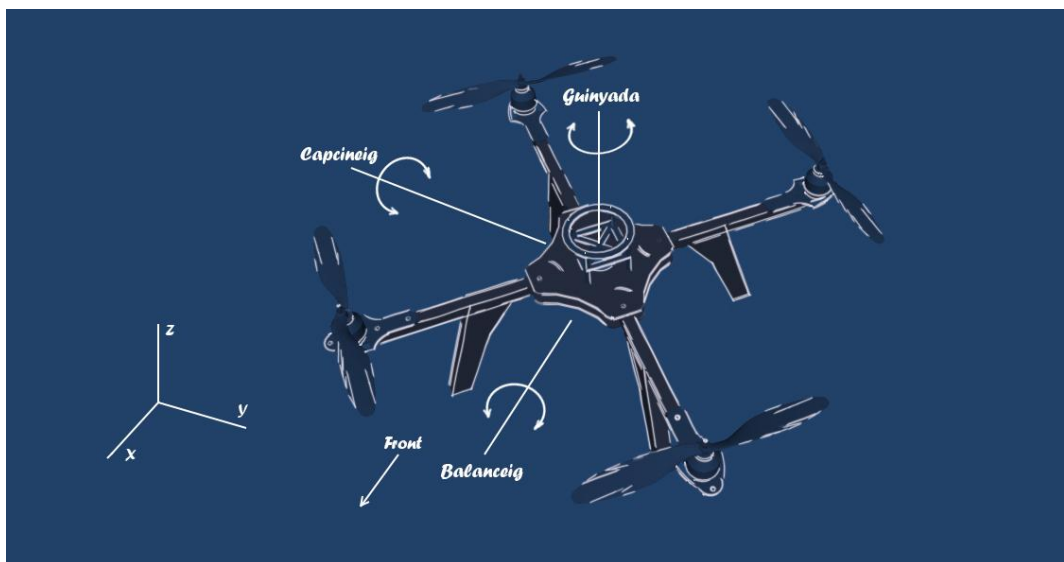


Fig 4.2 Moviments de l'aeronau

4.2-Modes de Vol

Els modes serveixen per canviar el grau de control que es té sobre el vehicle i per fer funcions especials. Es poden canviar durant el vol amb els interruptors dels canals 5 i 6. En total he utilitzat 6 diferents:

- **Stabilize.** Serveix per controlar manualment el vehicle, però amb la ajuda dels sensors de la placa aquest romandrà equilibrat en tot moment. Llavors, el vol serà més fàcil i també més apte per a principiants.
- **Acro.** És com l'anterior però sense cap mena d'auto equilibrat, es a dir, comportarà més dificultat però tindrà menys limitacions.
- **Loiter.** Aquest és un mode de control semi-automàtic, en activar-lo el quadcòpter mantindrà exactament la seva posició i alçada via GPS. El pilot també el podrà dirigir-lo amb el comandament i canviar la posició al lloc desitjat.
- **RTL (Return to Launch).** El lloc des de on s'enlaira, queda gravat a la memòria de la placa i al activar aquest mode, tornarà allà per ell mateix i aterrarà.
- **Auto.** Amb aquest mode activat, volarà de forma totalment automàtica seguint la última ruta carregada.
- **Follow me.** És un altre opció de control automàtic, però només es podrà fer si està connectat a un telèfon mòbil. El drone seguirà des de una certa altura a la persona que porta el mòbil.

4.3-Control Manual

Abans de començar amb el control automàtic cal comprovar que manualment vola sense problemes. Per això s'utilitza el comandament, recordem que aquest envia les ordres al receptor pràcticament a l'instant i segons quina palanca es mogui, l'aeronau farà una moviment o un altre.

La emissora té 9 canals, dels quals he necessitat 8 per fer les diferents accions. Cada canal es pot programar des de la pantalla amb botons que té a la part frontal. Aquesta es la configuració amb la que volaré:

Canal	Funció	Accionador
1	Balanceig	Joystick 2 (J2)
2	Capcineig	Joystick 2 (J2)
3	Pujar/Baixar	Joystick 1 (J1)
4	Guinyada	Joystick 1 (J1)
5	Modes de Vol	Interruptor (2 estats)
6	Modes de Vol	Interruptor (3 estats)
7	Càmera eix Y	Regulador rotatori
8	Càmera eix X	Regulador rotatori

Fig 4.3 Configuració dels canals

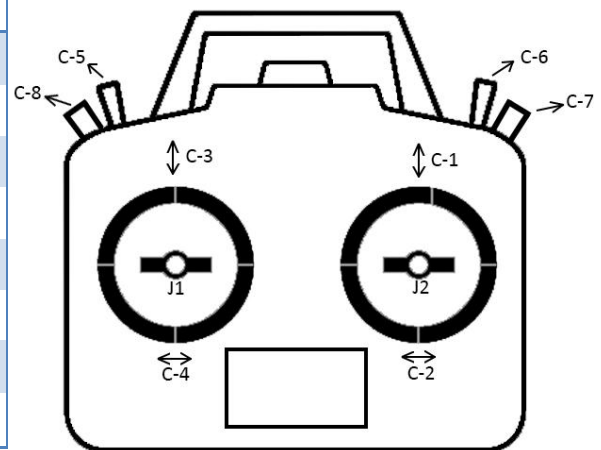


Fig 4.4 Assignació física dels canals.

El control manual requereix certa habilitat, per sort ja tenia una mica d'experiència, però encara i així, durant les primeres proves vaig haver de ser molt cautelós per no xocar.

4.4-Control Automàtic

Aquest mètode consisteix en programar el *drone* per volar automàticament. Per això he fet servir dos programes; *Mission Planner* (ordinador) que ja ensenyat en l'apartat de programació i *Droid Planner* que es pràcticament el mateix però per tableta o mòbil. Tret que són tant similars només explicaré el segon perquè es el que més he utilitzat ja que el mòbil es molt més fàcil de transportar al terreny.



Fig 4.5 Mission Planner (Windows 8).

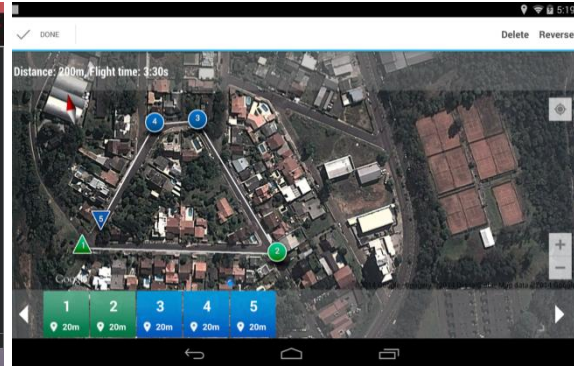


Fig 4.6 Droid Planner (Android).

-Vols Autònoms amb *Droid Planner*.

He observat que és una aplicació molt intuïtiva i senzilla, a més té moltes opcions en quant la configuració de missions autònoms. Aquests són els passos a seguir a l'hora de programar un vol:

Per començar, s'ha d'endollar l'antena de telemetria al telèfon mitjançant un cable OTG USB (fig 4.7) , obrir l'aplicació i prémer el botó de connectar.

A continuació es situa el punt de partida en el mapa, serà el lloc on comenci la missió. L'inici pot ser des de el terra o a partir d'un vol manual sobre la zona, per tant configurarem quina de les dues opcions volem, en l'exemple de les figura



Fig 4.7 Connexió de la telemetria al mòbil.

4.8 es tracta d'un enlairament des de el terreny. El següent pas serà situar els punts de ruta per on volem que voli, ajustant alhora els paràmetres d'altitud i velocitat. Si es tracta d'una ruta tancada com a l'exemple, tornarà a aterrar al punt d'inici però també es possible fer que aterri a un lloc diferent o inclús en diversos llocs. El punt d'aterratament està representat amb un triangle.

Després d'això carregarem la missió i per que comenci a volar només caldrà portar el quadrcòpter físicament al punt d'inici i posar-lo en mode *Auto* amb la emissora.

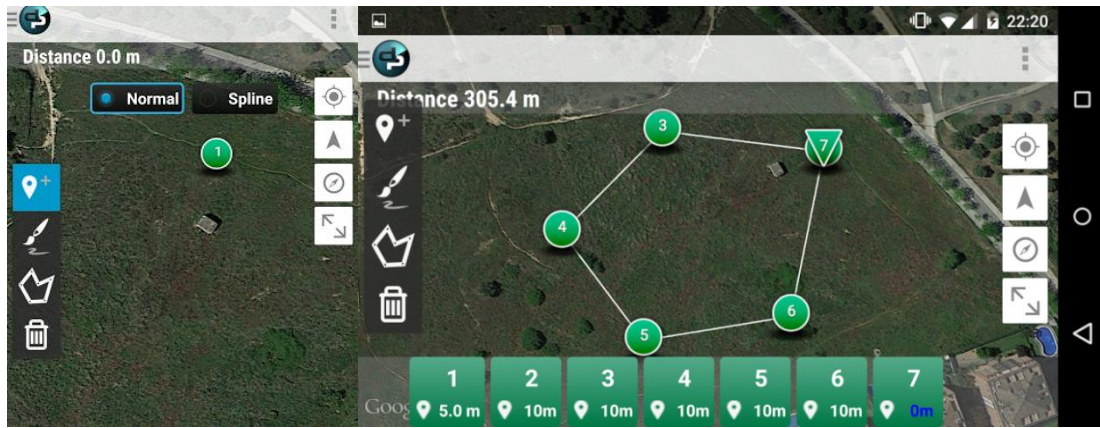


Fig 4.8 Programació de ruta.

A més de les funcions bàsiques de navegació, també es pot ajustar per fer diferents accions mentre passa per un punt de la ruta. Sempre i quan el quadricòpter estigui preparat amb l'equipament adequat podrem ajustar-lo per llençar objectes, orientar la càmera cap a un punt del mapa, fer un mapeig del terreny, o activar qualsevol mena d'accionador mecànic. Realment no he arribat a provar aquestes funcions tan complexes però espero fer-ho en el futur.

5-Proves de vol

En els següents punts veurem la part d'experimentació i la resolució de problemes del observats durant el procés.

5.1 Vol 1

La primera prova la vaig realitzar a l'agost en Castelló aprofitant que estava allà de vacances. El vol em va servir per comprovar si realment funcionava i calibrar la placa. Cal dir que encara no estava del tot acabat i la placa portava la configuració que ve per defecte, però tot i així va volar bastant bé. Pel que fa a la qualitat del vídeo, no va ser gaire bona pel fet que no tenia muntat l'estabilitzador de la càmera i a més hi havia vibracions provinents dels motors.

RESUM	
Alçada màxima assolida	15-20 metres.
Condicions atmosfèriques	Vent lleuger.
Control Automàtic	No.
Control Manual	Sí.
Modes de Vol	<i>Stabilize.</i>
Temps de vol	15 minuts.
Xocs i desperfectes	Sí, va xocar al terra just abans d'aterrar, per sort res es va trencar



Fig 5.1 Primer vol (vista externa).



Fig 5.2 Primer vol (fotografia aèria).

5.2 Vol 2

Aquesta segona prova va tenir lloc a Granollers durant el setembre. Ja estava totalment muntat i vaig fer algunes millores; canviar les hèlixs de plàstic per unes de fibra de carboni molt més resistents i eficients, afegir bases de goma a les potes per esmorteir aterraments intensos i millorar el calibratge. Manualment volava molt bé així que vaig començar a provar alguns modes automàtics on va tenir alguns problemes mantenint la posició i que per tant necessitaven alguns ajustaments. Les imatges obtingudes van ser més millors gràcies a l'estabilitzador però el problema de les vibracions persistia.

RESUM	
Alçada màxima assolida	10 metres (aprox.)
Condicions atmosfèriques	Idònies.
Control Automàtic	Sí. Només mantenir posició.
Control Manual	Sí.
Modes de Vol	<i>Stabilize, Acro i Loiter.</i>
Temps de vol	10 minuts.
Xocs i desperfectes	Sí, va colpejar un cable i va caure al terra. El cop va trencar un dels suports dels motors.



Fig 5.3 Segon Vol

5.3 Vol 3

Va ser a l'octubre en San Just Desvern prop de la muntanya. Tots els problemes anteriors van ser corregits. Vaig descobrir que les vibracions es produïen per una descompensació de pes en les hèlixs i ho vaig solucionar llimant el costat més pesant en cada una. L'absència dels tremolors no només incrementa la qualitat de les filmacions, també evita errors de precisió en els mesuraments dels sensors, un punt clau en els vols autònoms. Gràcies a això, els resultats del experiment van ser molt satisfactoris.

RESUM	
Alçada màxima assolida	20 metres (aprox.)
Condicions atmosfèriques	Vent lleuger. Poc senyal de GPS.
Control Automàtic	Sí. Dos punts de ruta.
Control Manual	Sí.
Modes de Vol	<i>Stabilize, Loiter i Auto.</i>
Temps de vol	15-20 minuts.
Xocs i desperfectes	Cap.



Fig 5.4 Vista aèria durant la tercera prova.



Fig 5.5 Compensació de les pales

6-Pressupost i comparativa de preus.

Producte	Unitats	Preu total (€)
Alarma de voltatge per bateries	1	2.00
Altres accessoris i petits components	-	4.00
Bateria LiPo	1	15.00
Bombetes LED	4	1.50
Cable d'estany per soldar 17g	1	1.00
Càmera d'acció SJ4000 1080p	1	65.00
Cargols, volanderes i femelles	20	4.00
Cinta de doble cara	1	*
Comandament i receptor	1	47.55
Condensador 3300uF	1	1.50
Connectors XT60 i Banana 3mm	8	4.00
Espaiadors de niló	6	1.00
Estabilització i servomotors	1	20.50
Hèlixs de fibra de carboni	8	10.65
Hèlixs de plàstic	4	3.00
Kit -Placa controladora ArduFlyer 2.5.2 + GPS + Telemetria 433MHz	1	90.00
Motors	4	49.50
Peces pretallades de fibra de vidre	7	8.65
Perfils quadrats d'alumini	4	2.00
Placa de distribució elèctrica	1	3.25
Reductor de voltatge UBEC	1	3.25
Tub termoretràctil	1	1.25
Variadors ESC	4	24.00
Xapa d'alumini 1mm	1	*
Enviaments	4	20
TOTAL		382,8 €

*Els elements marcats amb * han sigut reaprofitats de casa i per tant no he tingut en compte el preu.*

El preu aproximat sense contar recanvis es de 382,8 €, i per un quadrcòpter d'aquestes característiques, és molt barat. Per poder aconseguir aquest preu vaig tenir que comparar moltes botigues *on-line* i utilitzar la estratègia DIY mencionada a la introducció, sempre mantenint una bona relació qualitat/preu.

A fi de comparar el *drone* amb uns altres similars del mercat he incorporat la següent taula amb dos dels més coneguts avui dia: DJI Phantom 2 Vision+ i 3DR IRIS+.

Taula comparativa:

	Quadcòpter del treball	DJI Phantom 2 Vision+	3DR Iris+
Preu	382€	1.000€ aprox.	1.100€
Autonomia	15 min màx.	20-25 min	15-20 min
Càmera	SJ4000	Vision +	GoPro Hero 4 Silver
Estabilització de càmera	Sí, amb servomotors	Sí, amb motors <i>brushless</i> (alta precisió)	Sí, amb motors <i>brushless</i> (alta precisió)
Pes	1264g	1242g	1556g
Processador	APM 2.5.2	NAZA-M V2	Pixhawk
Transmissió de vídeo	No, però incorporable per uns 40€	Sí	Sí
Vols autònoms	Sí	Sí	Sí



Fig 6.1 El meu quadcòpter



Fig 6.2 DJI Phantom 2 Vision Plus



Fig 6.3 3DR Iris Plus

7-Conclusions

Després d'acabar el projecte he pogut arribar a certes conclusions en base als objectius proposats a la hipòtesi:

Si fem un repàs a la part d'investigació, es podria dir que els *drones* han experimentat una gran evolució durant el darrer segle, però no ha estat fins ara que s'han buscat noves utilitats allunyades de les guerres. Tot i que moltes de les seves aplicacions civils segueixen en desenvolupament, en un futur proper, podrien arribar a ser molt beneficiosos per la societat.

La part pràctica, ha sigut sens dubte la més complexa i la que més dificultats ha comportat. Aquestes són les conclusions extretes en relació als cinc punts de la introducció:

-L'objectiu principal de la part pràctica era aconseguir fer volar el quadrocòpter, i haig de dir que fins que no el vaig veure enlairar-se per primera vegada em semblava molt difícil, però poc a poc i amb alguns ajustaments s'ha acomplert amb èxit.

-Pel que fa a la càmera i les filmacions, el resultat ha estat força bo i inclús he pensat en millorar-ho en un futur amb un sistema de transmissió de vídeo amb el que resultaria molt útil per diferents tasques. Als annexos digitals del treball he incorporat un petit vídeo de presentació amb fragments dels vols.

- Del disseny a ordinador puc dir que he après molt durant el procés i he descobert que els programes de disseny 3D són unes eines molt útils a l'hora de representar qualsevol mena d'objecte. També ha requerit força dedicació però sens dubte els resultats ho mereixen.

- De les diferents proves de vol automàtic, he pogut comprovar el drone es capaç de realitzar rutes simples i que la subjecció de posició funciona perfectament. També he vist que aquest tipus de proves depenen totalment de la qualitat senyal de GPS que arribi al lloc en el que està volant. Però pel que sembla sempre i quan hi hagin unes bones condicions, el drone tindria que ser capaç de dur a terme qualsevol missió automàtica. En el futur m'agradaria programar vols més complexos i veure totes les possibilitats que té el *drone* en aquest aspecte.

-L'últim objectiu tractava d'aconseguir un bon preu, i com s'ha pogut veure a l'apartat 6 surt bastant a compte construir-se'l per un mateix en comptes de comprar un fet. Considerant totes les utilitats que pot tenir, podria ser una alternativa de baix cost per empreses o sectors dedicats a la revisió de estructures, fotografia, seguretat, vigilància o qualsevol de les mencionades durant el treball.

8-Bibliografia

-Llibres.

- PAREJA APARICIO, MANUEL. *Arduino. Curso práctico de formación*. 1ª ed. 2014.

-Informació en línia.

- ARDUINO. Web de robòtica d'*Arduino*. <www.arduino.cc>
- ARDUPILOT. Software i instruccions per la placa. <copter.ardupilot.com>
- DIY DRONES. Fòrum de drones casolans. <www.diydrones.com>
- ECALC. Calculadora per a multicòpters. <www.ecalc.ch>
- NASA. Formules i càlculs d'utilitat en el treball. <www.grc.nasa.gov>
- PHOTOSHOP TUTORIALS. <www.photoshoptutorials.ws>
- PHYSICS FORUMS. Fòrum de Física. <www.physicsforums.com>
- RC GROUPS. Fòrum de radio control. <www.rcgroups.com>
- SKETCHUP. Web del programa Google SketchUp. <www.sketchup.com>
- SMITHSONIAN MAGAZINE. Revista online <www.smithsonianmag.com>
- UNIVERSITAT TECNOLÒGICA DE MASSACHUSETTS. <www.web.mit.edu>
- 3D ROBOTICS <www.3drobotics.com>

-Botigues web.

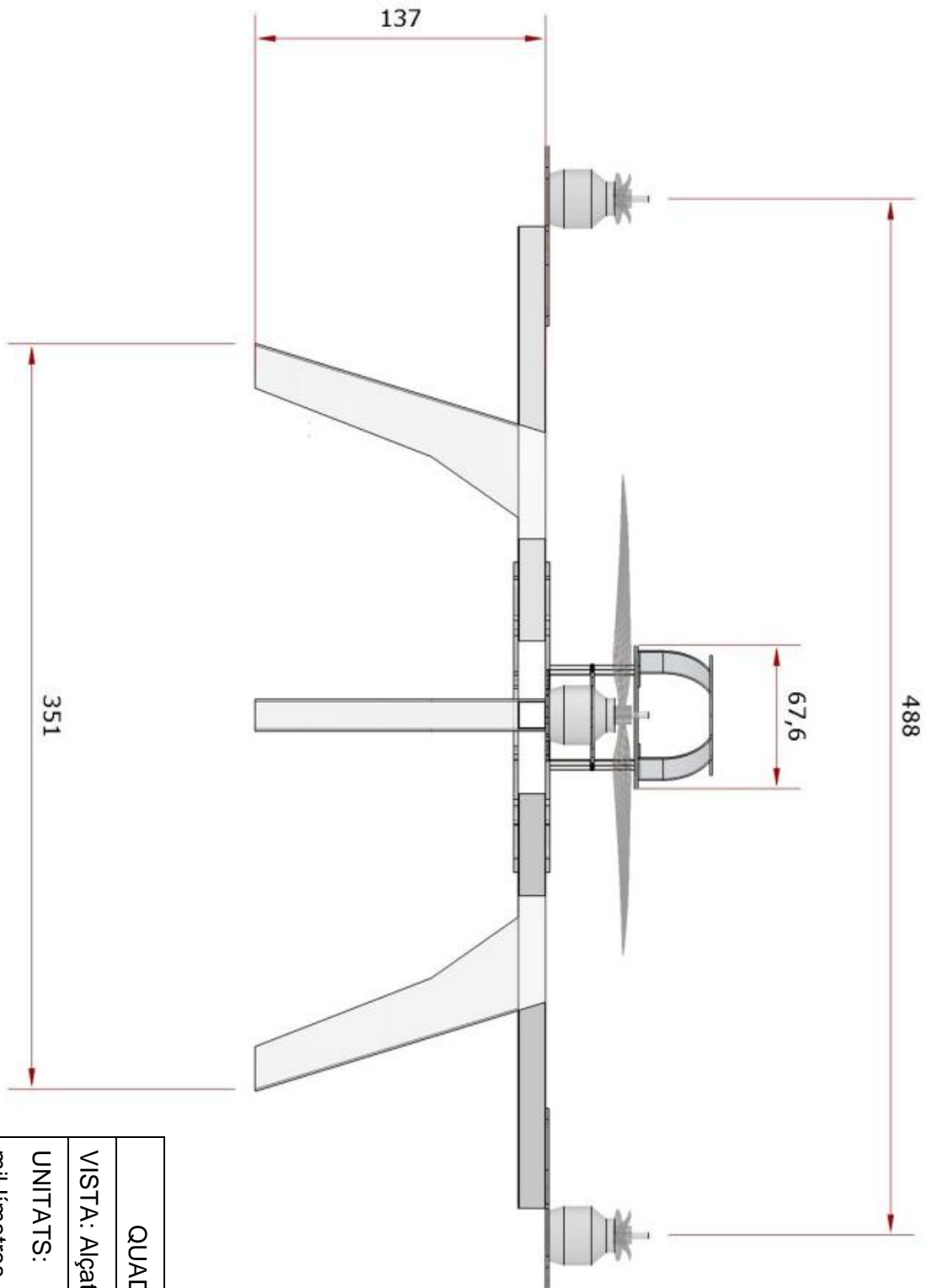
- ALIEXPRESS <www.aliexpress.com>
- HOBBYKING <www.hobbyking.com>
- RCTIMER <www.rctimer.com>

-Vídeos (Conferències).

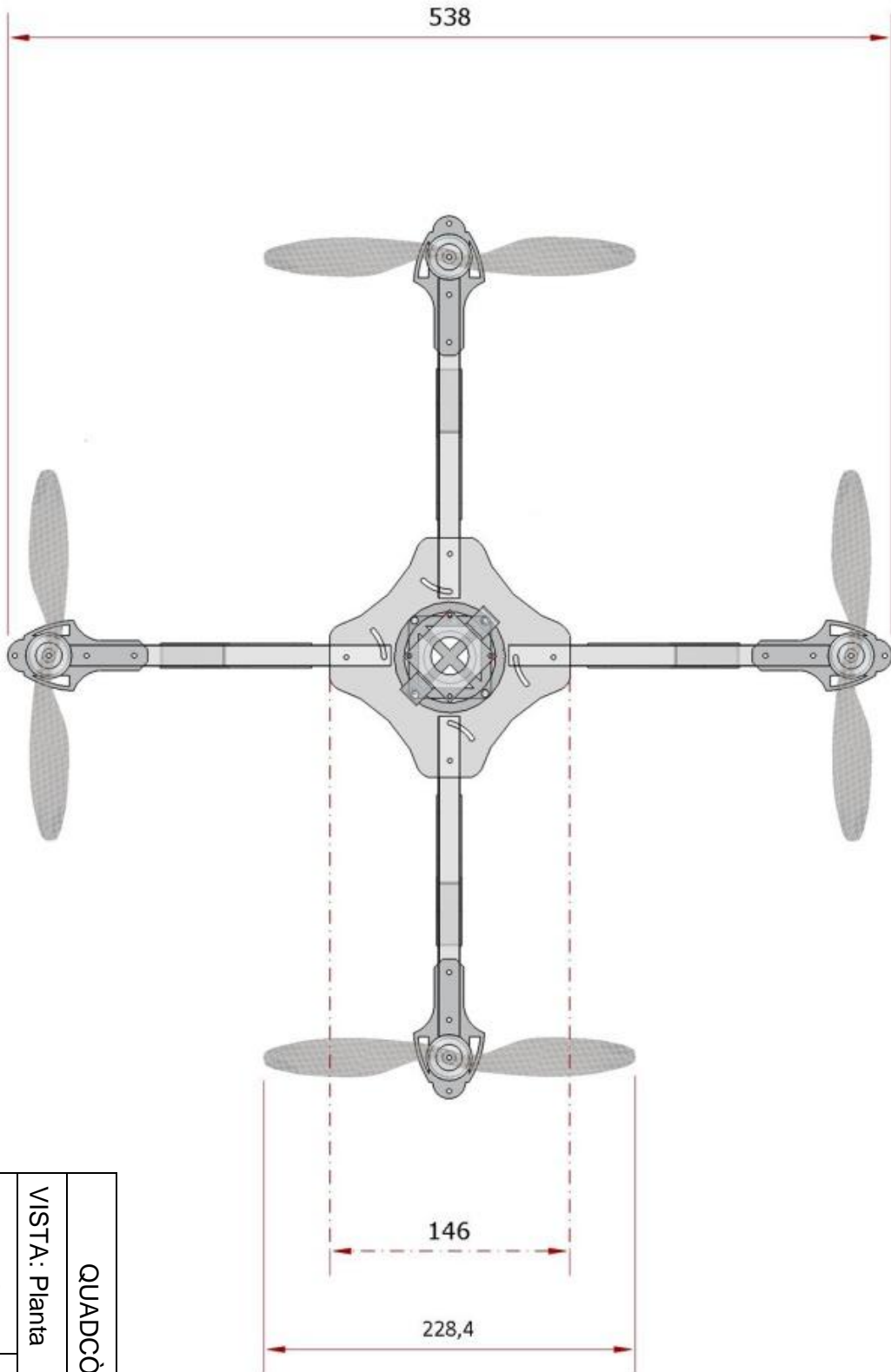
- Prof. RAFFAELLO D'ANDREA. *The astounding athletic power of quadcopters*. Ted Talks 2013 [16 min] <www.youtube.com/watch?v=w2itwFJCgFQ>
- Prof. VIJAY KUMAR. *Robots that fly and cooperate*. Ted Talks 2012 [17 min] <www.youtube.com/watch?v=4ErEBkj_3PY>

ANNEXOS

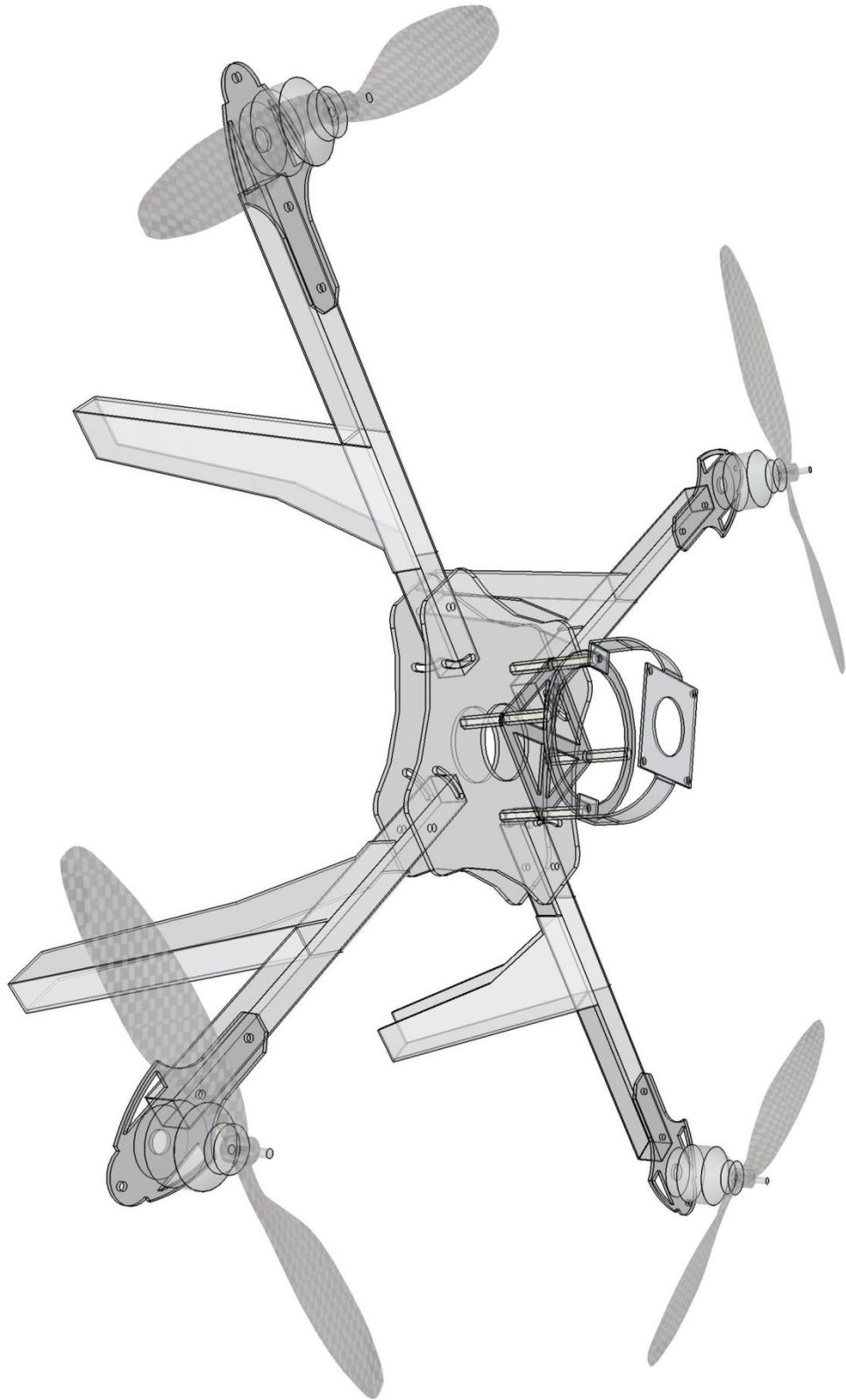
ANNEX A: Plànols



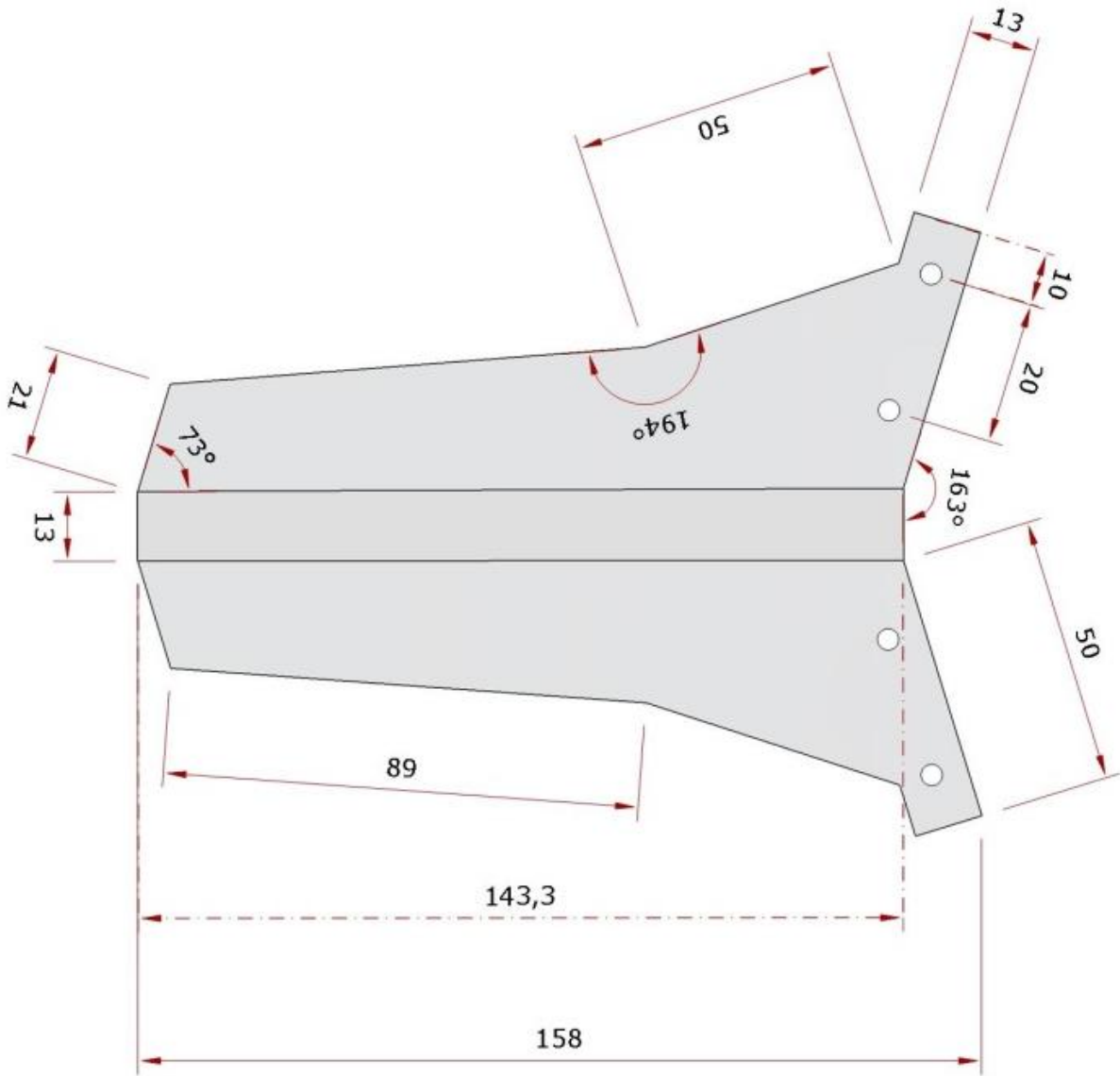
QUADCÒPTER	
VISTA: Alçat	
UNITATS: mil·límetres	ESCALA: 1:3



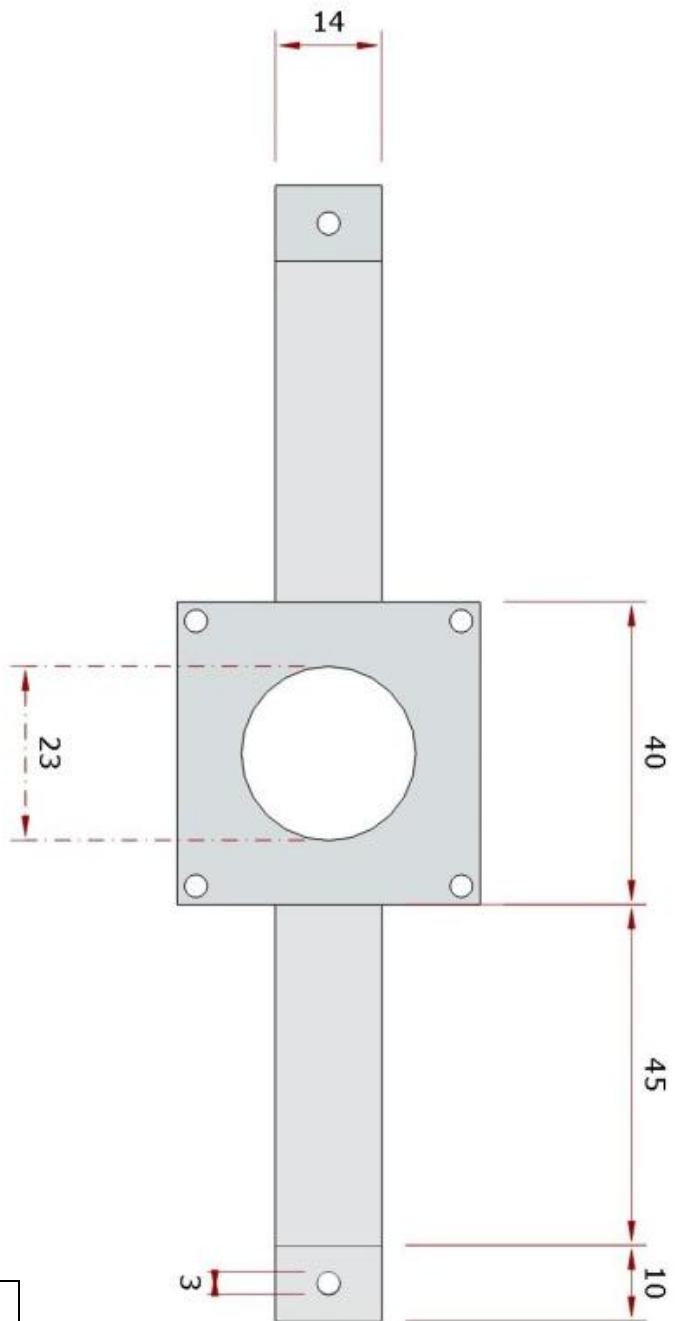
QUADCÒPTER	
VISTA: Planta	
UNITATS: mil·límetres	ESCALA: 1:4



QUADCÒPTER	
PERSPECTIVA	UNITATS: mil·límetres



POTES D'ATERRAMENT	
REPRESENTACIÓ DESPLEGADA	
UNITATS: mil·límetres	ESCALA: 3:4



SUPORT DEL GPS	
REPRESENTACIÓ DESPLEGADA	
UNITATS: mil·límetres	ESCALA: 1:1