



## DESENVOLUPAMENT D'UN DRON CAPAÇ DE MESURAR EL NIVELL DE CONTAMINACIÓ ACÚSTICA

INS Joan Salvat-Papasseit



Manuel Domènech López

Tutora: Anna Graell

09/02/2018

# Índex

<b>0. Presentació del treball .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Part teòrica .....</b>	<b>4</b>
1.1 Drons .....	4
1.1.1. Què són els drons .....	4
1.1.2. Classes de drons .....	4
1.1.3. Aplicacions de caràcter social dels drons .....	7
1.1.4. Legislació .....	10
1.2. La contaminació acústica .....	12
1.2.1. Què són els dB .....	12
1.2.2. Legislació .....	12
<b>2. Part pràctica .....</b>	<b>14</b>
2.1. Dron .....	14
2.1.1. Com ha de ser el dron .....	14
2.1.2. Muntatge del dron .....	23
2.1.3. Configuració del dron .....	28
2.2. Mesurador de dB .....	32
2.2.1. Com ha de ser el mesurador de dB .....	32
2.2.2. Muntatge .....	34
2.3. Proves de vol .....	35
<b>3. Conclusió .....</b>	<b>38</b>
3.1. Conclusió .....	38
3.2. Propostes de futur .....	38
<b>4. Annexos .....</b>	<b>39</b>
4.1. Glossari .....	39
4.2. Entrevistes .....	40
4.3. Agraïments .....	41
4.4. Límit dB establerts per la legislació .....	42
4.5. Bibliografia .....	43

## 0. Presentació del treball

### Hipòtesi:

Els drons poden ser una eina útil i eficient per a mesurar la contaminació acústica de la ciutat.

### Justificació:

La contaminació acústica és actualment un problema freqüent a totes les ciutats, entre elles Barcelona<sup>1</sup>. En concret a Ciutat Vella el soroll afecta negativament la salut i la qualitat de vida de les persones<sup>2</sup>. Malgrat saber-se l'abast del problema és difícil arribar a solucions perquè no s'obtenen mesures fiables en el moment oportú. Agrupacions de veïns han demanat més presència policial als carrers conflictius. Però augmentar el nombre de patrulles a la ciutat es molt car i repercutiria negativament als negocis d'aquests carrers. L'opció del dron, en cas de ser viable, podria ser molt més barata i no significaria necessàriament un inconvenient per als negocis locals.

La necessitat hi és i jo volia comprovar si un dron era una solució tècnicament possible.

### Fases del projecte:

1. Recull d'informació sobre els drons, les necessitats i les limitacions tècniques.
2. Recull d'informació sobre la contaminació acústica

---

1

[http://www.sindic.cat/site/unitFiles/4130/Informe%20oci%20nocturn%20i%20convivencia%20ciutadana\\_cat\\_def.pdf](http://www.sindic.cat/site/unitFiles/4130/Informe%20oci%20nocturn%20i%20convivencia%20ciutadana_cat_def.pdf)

<http://www.sindic.cat/site/files/229/Pag%20158-159%20soroll.pdf>

<sup>2</sup> Estudi de valoració de l'impacte del soroll procedent d'activitats relacionades amb l'oci nocturn sobre la salut de les persones a Ciutat Vella.

3. Recull d'informació sobre la legislació vigent
4. Construcció d'un dron a mínim cost
5. Adaptació del dron per a l'objectiu
6. Proves pràctiques de vol
7. Proves pràctiques de mesura acústica
8. Conclusions

# 1. Part teòrica

## 1.1. Drons

### 1.1.1. Què són els drons

L'IEC defineix dron com a "Aeronau no tripulada que és dirigida per telecomandament o bé que obeeix les ordres d'un programa informàtic.", però en dominis d'especialitat tenim 2 tipus d'aeronaus que entren dins el conjunt d'UAV (Vehicles Aeris no Tripulats):

- Dron: Aeronau programada per ser autònoma.
- RPA (Aeronau Pilotada Remotament): Aeronau controlada remotament



Imatge 1: Home dirigint un RPA en una demostració al MWC. Extret de: El país



Imatge 2: Dron autònom sobrevolant una zona. Extret de: Juguetronica

### 1.1.2. Classes de drons

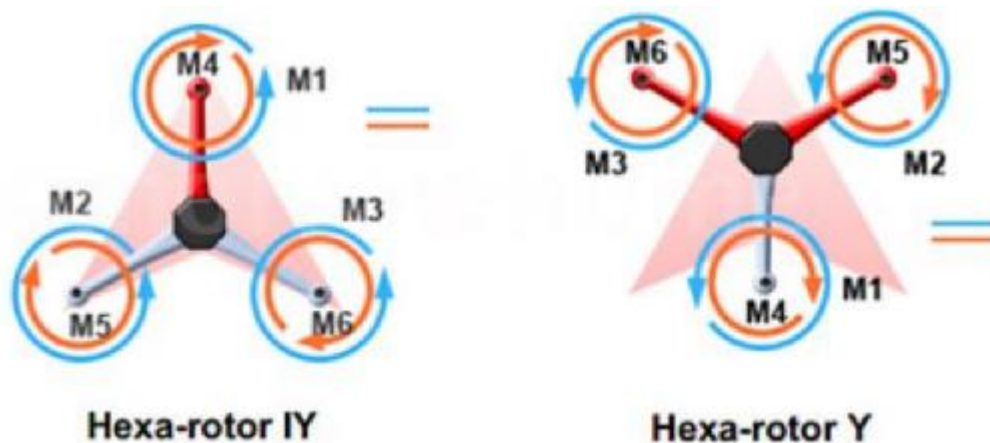
**Multirotors:** Són els més populars i, quan ens parlen de drons, els que imaginem són d'aquest tipus. Es basa en una plataforma aguantada per 3 o més hèlixs que es situen de manera que la distància des de l'hèlix fins al centre de gravetat es la mateixa per a totes les hèlixs.

Es classifiquen segons el número d'hèlix:

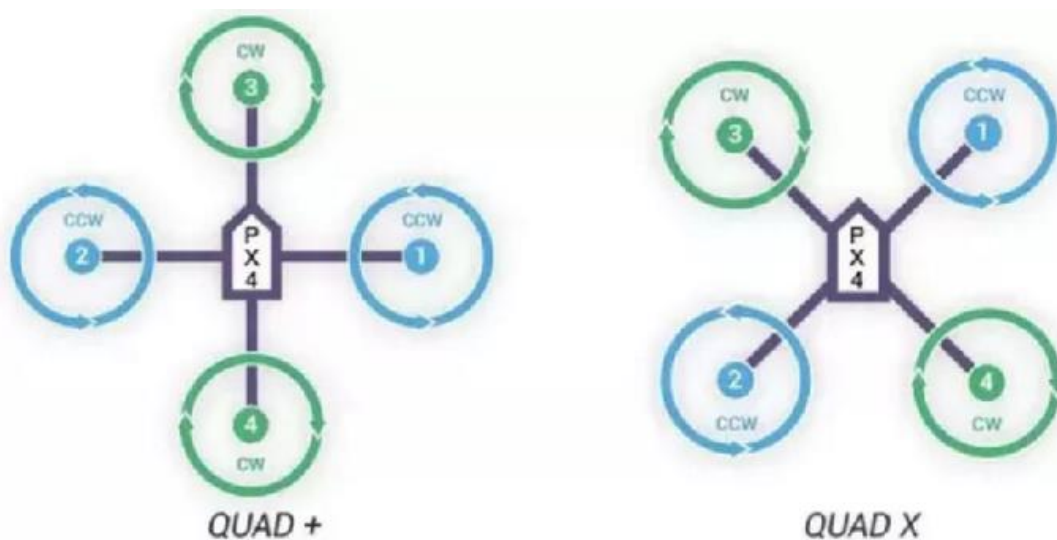
- Tricòpters, 3 hèlixs;
- Quadrocòpters, 4 hèlixs;
- Pentacòpters, 5 hèlixs;
- Hexacòpters, 6 hèlixs;
- Octacòpters, 8 hèlixs.

També es classifiquen segons els braços:

- Y, en forma d'i grega;
- IY (Inverted Y), igual a la configuració Y però invertit (vegeu imatge 1);
- X, en forma d'ix,
- +, en forma de creu (vegeu imatge 2).



Imatge 3: Esquema d'un hexa-rotor IY i d'un hexa-rotor Y. Extret de: Ebay



Imatge 4: Esquema d'un quad-rotor + i d'un quad-rotor x. Extret de: Quora

**Helicòpters:** Els helicòpters normalment tenen dues hèlixs de les quals la més gran, situada sobre l'estructura, funciona com a propulsor i la més petita, situada a la cua, serveix únicament per ajudar a que l'helicòpter s'equilibri o canviï de direcció. Són els més utilitzats en la fotogrametria degut a la seva gran eficiència aerodinàmica i l'abundant autonomia. També destaquen per tenir més capacitat de càrrega que els seus rivals, els multirotors i els drons d'ala fixa.



Imatge 5: Helicòpter autònom amb càmera integrada. Extret de: Drone spain

**Ala fixa:** S'assemblen als avions i normalment tenen únicament una hèlix davant o darrera. S'utilitza sobretot a l'enlairar i després es fa us de l'hèlix únicament quan es necessari. Gràcies a aquest sistema aquests són els drons amb més autonomia i eficiència aerodinàmica i s'utilitzen tant en fotogrametria com en vigilància. L'inconvenient dels ala fixa es que com tot avió necessiten una pista (60m es l'habitual) tant per enlairar com per aterrar, cosa que els priva de versatilitat.



Imatge 6: Dron d'Ala fixa. Extret de: Drone spain

### 1.1.3. Aplicacions de caràcter social dels drons

#### **Per a situacions d'emergència:**

Principalment en fase de proves. Gràcies a la velocitat i versatilitat que ofereixen, els drons són molt importants per cobrir grans distàncies en poc temps o per accedir a àrees de difícil accés. Poden fer un reconeixement de la zona; prevenir i controlar incendis; transportar aliments, medicaments, aigua o bancs de sang; buscar supervivents; i fins i tot poden actuar d'antena per a millorar la comunicació en cas de que aquestes hagin estat destruïdes. L'ús del dron en desastres naturals és un dels més importants però també s'estan fent proves amb drons que portaran desfibril·ladors. De moment, en les proves que s'han fet el temps de resposta es de 5 minuts, 16 minuts més ràpid que els serveis d'emergència habituals; tot i que només funcionen a curtes distàncies i amb condicions meteorològiques bones.



Imatge 7: Dron ambulància amb desfibril·lador. Extret de: Nymag

#### **Missatgeria exprés:**

En funcionament. A Israel i a Rússia ja utilitzen drons per a lliurar pizzes i a Xina l'empresa SF Express ja utilitza els drons per a portar els paquets menys pesats. No obstant, tant a Europa com als Estats Units això no és possible degut a la legislació actual<sup>3</sup>. Les grans empreses com Google i Amazon ja han fet totes les proves necessàries i estan esperant a la modificació de la llei per a portar els seus drons a les ciutats mentre que Walmart i DHL estan en fase de proves encara. Un

---

<sup>3</sup> Als Estats Units està previst que es modifiqui la legislació el 2018.



dels problemes que es troben és l'autonomia ja que, de moment, el dron d'Amazon pot volar un màxim de 24,14km: 12,07 km d'anada i 12,07km de tornada, amb una carrega de màxim 2,27kg. El principal inconvenient legislatiu es la pèrdua de privacitat ja que els drons no només farien us del GPS sinó que portarien una càmera integrada que ajudaria a detectar la casa on ha d'entregar el paquet, així com la zona d'aterratge.



Imatge 10: Dron de missatgeria exprés de llargues distàncies d'Amazon.



Imatge 11: Dron de missatgeria exprés de curtes distàncies d'Amazon

Extretes de: Amazon

### **Vigilància i Seguretat:**

En funcionament. Al poder volar a baixa altura i transportar càmeres de precisió els drons són una bona opció per a la vigilància. L'ús habitual és per a control fiscal com, per exemple, comprovar que un terreny declarat com a erm és efectivament erm i per a la vigilància de fronteres (Espanya els començarà a utilitzar per vigilar les zones costaneres i els Estats Units estan avaluant l'opció per a la frontera mexicana).



Imatge 12: Vista d'un dron des de dalt  
Extret de: Curso de drones



Imatge 13: Policia colombiana fent pràctiques amb un dels 35 drons de seguretat desplegats per setmana santa. Extret de: Web info mil

### **Tasques agrícoles:**

En funcionament. Els drons poden resultar útils als agricultors ja que permeten fer tres tasques: el control del ramat, el seguiment de plagues i malalties i l'escampament de pesticides i fertilitzants.



Imatge 14: Dron escampant pesticida per un camp de conreu  
Extret de: Agroingenia canarias



Imatge 15: Dron vigilant una vaca separada del ramat  
Extret de: Informe agrícola

### **Investigacions arqueològiques i Geologia (en funcionament):**

En funcionament. En les investigacions arqueològiques els drons son molt útils per a buscar i analitzar restes arqueològiques, es poden fer més fotos i millors. També son útils per accedir a zones on l'humà no hi pot accedir o es perillós que ho faci. Com ara, volcans en erupció o, quan està en repòs, l'interior del volca.



Imatge 16: dron gravant un volcà en erupció



Imatge 17: Foto d'un volcà en erupció feta per un dron

Extretes de: Laughing Squid

### 1.1.4. Legislació

Segons el Butlletí Oficial de l'Estat<sup>4</sup> la legislació divideix els drons en dos grups:

Drons per a ús recreatiu:

Es podrà volar sempre i quan sigui a poca altura, no molestin a altres persones, no suposin cap risc i no s'infringeixin d'altres lleis com, per exemple, la del dret a la intimitat. AESA recomana que el dron disposi una assegurança de responsabilitat civil.

**Drons per a ús professional:**

La llei es basa en 3 punts: el carnet de pilot de dron, el tipus de dron i l'espai aeri

- **El carnet de pilot de dron:** Per a pilotar qualsevol tipus de dron no recreatiu es necessitarà un carnet de pilot de dron.
- **El tipus de dron:** Els drons que pesin entre 2kg i 25kg necessitaran estar registrats com a aeronaus i disposar d'un certificat de vol mentre que els drons amb un pes inferior als 2kg no necessitaran cap de les dues coses i podran sobrevolar aglomeracions de gent sempre que estiguin en el camp visual del pilot i a menys de 120m d'altura. Tots dos, per això, han de portar una placa d'identificació en la qual ha de constar el nom del fabricant del dron i les dades fiscals de l'empresa.

---

<sup>4</sup> *Boletín oficial del estado*. [En línia]. Espanya: Gobierno de España, 29/12/2017. <[https://www.seguridadaerea.gob.es/media/4629426/rd\\_1036\\_17\\_rpas.pdf](https://www.seguridadaerea.gob.es/media/4629426/rd_1036_17_rpas.pdf)> [2018, 04 Febrer]

- **L'Espai aeri:** Tot l'espai aeri d'Espanya pertany a AESA i per poder fer-ne us s'ha de demanar un permís amb mínim 5 dies d'antelació. Volar per sobre de grups nombrosos de gent com manifestacions, nuclis urbans, concerts, estadis, etc. està prohibit si el pes del dron supera els 2kg i només es podrà fer amb un consentiment especial d'AESA. També està prohibit volar drons en espai aeri controlat o a un radi de menys de 15km d'un aeroport.

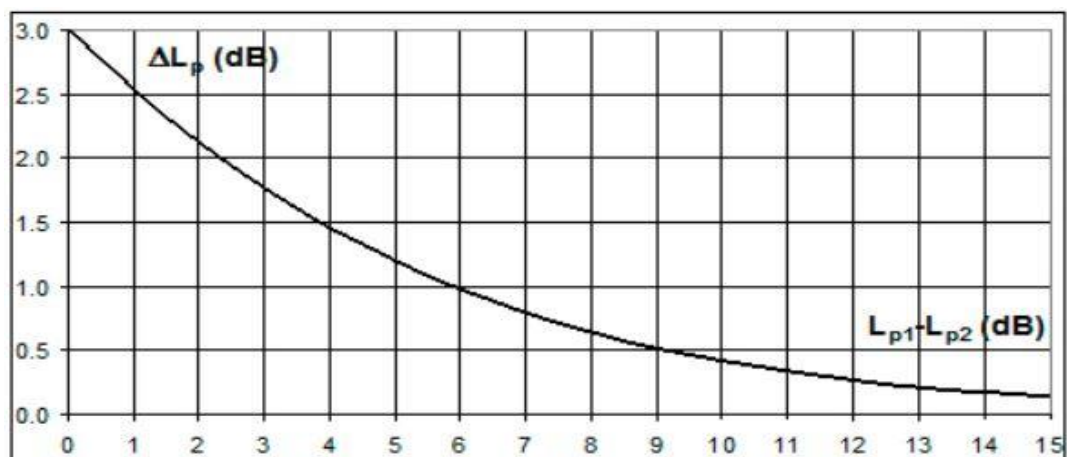
Per a volar qualsevol tipus de dron, ja sigui per a ús recreatiu o professional, fora del camp visual del pilot serà necessari que el dron en qüestió pesi menys de 2kg i disposi de sistemes capaços de detectar i evitar els possibles obstacles que es puguin trobar. Ja siguin objectes, altres aeronaus o aus.

## 1.2. La contaminació acústica a Barcelona

### 1.2.1. Què són els dB

El dB s'utilitza per mesurar la percepció humana del so i és una desena part del bel, unitat de mesura de la potència. Adquireix aquest nom en memòria a Alexander Graham Bell.

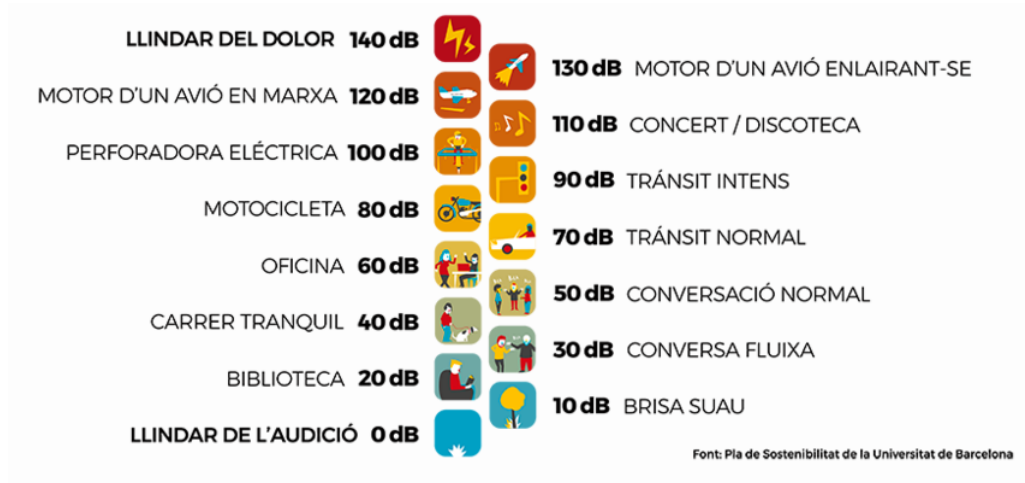
El dB és una unitat logarítmica el que significa que, agafant el zero com el valor de referència, 1 bel representa un augment de potència de 10 vegades, 2 bels un augment de 100 vegades, 3 bels un augment de 1000 vegades, etc.. Per a fer la suma de diferents nivells de so aquests s'ordenaran de més petit a més gran i es sumaran de dos en dos utilitzant aquesta taula:



Imatge 18: Suma de dos nivells sonors. Extreta de: Inerco Acústica

Per sumar dos nivells primer trobarem la diferència entre ells, per exemple: la diferència entre 60dB i 64dB són 4dB. Introduïm el valor de la diferència (en aquest cas: 4dB) en l'eix horitzontal. El valor que marqui l'eix vertical quan l'increment de dB es creui amb la corba serà sumat al valor més gran dels dos inicials (64dB + 1.5dB = 65.5dB).

Per a fer-nos una idea del nivell de dB d'accions freqüents, tenim uns quants exemples:



Imatge 19: Nivells de soroll del dia a dia. Extreta de: El Periódico

### 1.2.2. Legislació

El límit de soroll nocturn establert per la legislació catalana en zones urbanes és de 47dB<sup>5</sup>. Xifra que es supera sobradament a la majoria de carrers importants de Barcelona. Per fer-nos una idea, a Pg. De Gràcia les mesures recollides durant el 2017 no baixen dels 65dB i a Les Rambles les mesures no baixen dels 65dB tampoc.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Veure legislació als annexos

<sup>6</sup> Mapa de soroll de Barcelona:

[http://w20.bcn.cat/WebMapaAcustic/mapa\\_soroll.aspx](http://w20.bcn.cat/WebMapaAcustic/mapa_soroll.aspx)

## **2. Part pràctica**

### **2.1. Dron**

#### **2.1.1. Com ha de ser el dron**

A l'hora de triar el dron s'han de tenir en compte molts aspectes. Volia un dron que fos estable, silenciós, autònom i amb una bona autonomia. Com hem vist en la part teòrica, els diferents models tenen característiques diverses.

#### **Elecció de les peces:**

##### **a) Hèlix:**

A l'hora d'escollir les hèlix hi ha tres valors clau: el pas, el diàmetre i el material.

El diàmetre es la distància entre els extrems de l'hèlix i esta representat en polzades en els dos primers números dels 4 que podem veure a l'hèlix. Com més gran sigui el diàmetre més estable serà el dron i menys energia consumirà ja que l'hèlix no necessita girar a tanta velocitat per ser efectiva.

El pas es la distància que avançaria l'hèlix en una volta completa i esta representat en graus als dos últims nombres. De manera més fàcil: el pas és el grau d'inclinació de l'hèlix. Com més elevat sigui el pas més inclinació tindrà l'hèlix. Això farà que el dron sigui més potent i veloç però també consumirà més energia i serà més inestable.

Els materials més comuns són la fibra de carboni i el plàstic però també n'hi ha de diferents compostos o de fusta. La fibra de carboni ens proporciona lleugeresa i majora suavitat al xocar amb l'aire. La avantatja del plàstic és que és barat i lleuger. Les hèlix de fusta són les més resistents i ofereixen estabilitat a l'hora de volar però són molt pesades.

Jo buscava, entre d'altres, estabilitat i autonomia així que vaig decidir agafar les hèlix grans i amb poc pas, unes de 1045 (10" de diàmetre i un pas de 45°). Tot i que el carboni hagués sigut l'ideal vaig agafar les de plàstic degut a el seu preu, molt més econòmic.



Imatge 20: Hèlix utilitzada per al dron. Extreta de: Kit-Drone

#### b) Xassís:

El Xassís es compon de la PDB i els braços. La PDB s'encarrega de transmetre l'energia de l'APM als variadors d'energia.

Com més braços tingui el dron més càrrega podrà suportar i més estabilitat tindrà però també consumirà més ja que pesará més i s'hauran d'alimentar més motors. S'ha de tenir en compte també que com més llargs siguin els braços més grans podran ser les hèlix.

La meua decisió va ser muntar un quadrocòpter ja què és el que millor relació estabilitat/consum ofereix. El material ideal, altre cop, seria la fibra de carboni perquè es resistent i lleugera però finalment es van utilitzar uns braços de plàstic



més econòmics i de igual lleugeresa fets amb una impressora 3D i una base de metall.



Imatge 21: Braços utilitzats per al dron. Extreta de: Kit-Drone



Imatge 22: Base utilitzada per al dron. Extreta de: Kit-Drone

#### c) Tren d'aterratge:

Es divideixen en dos grups, plegables i fixos. Els plegables són més petits i ofereixen major portabilitat alhora, són poc resistents mentre que els fixos tenen la possibilitat de ser més grans i robustos.

El tren d'aterratge pot ser de quasi qualsevol material sòlid i mínimament resistent. Per no afegir gaire pes normalment s'utilitzen de plàstic o fibra de carboni però n'hi ha de fusta, alumini, etc..

Com que necessitava instal·lar el mesurador de dB en el tren d'aterratge i, al cap i a la fi, no m'havia de moure excessivament amb ell em vaig decidir per un d'alt i fix.



Imatge 23: Braços utilitzats per al dron. Extreta de: Kit-Drone

#### d) Motors:

Els motors, junt amb les hèlix, son de les coses més importants a l'hora de comprar un dron i ens haurem d'assegurar que siguin compatibles amb les hèlix. Hi ha dos factors a tenir en compte: la mida i els KV.

La mida serà representada per quatre números dels quals els dos primers seran el diàmetre de la bobina en mm i els dos restants seran l'alçada de l'eix en mm.

Els KV son les RPM (revolucions per minut) per cada volt proporcionat. Posem uns quants exemples: si tenim un motor de 500KV i una bateria amb una sortida de 11.1 volts el motor girarà a 5.550RPM; si tenim un motor de 2400KV i una bateria amb una sortida de 12 volts el motor girarà a 28.800RPM.

Com més elevat sigui el nombre de KV menys eficient serà el motor ja que el motor consumirà més energia a l'haver de girar més ràpid. Per contra, els motors amb baix KV (entre els 400KV i 900KV) necessiten hèlixs més grans per poder enlairar el dron amb menys voltes per minut del que ho faria un motor amb un nombre elevat de KV (entre 1500KV i 2400KV).

La meva elecció van ser uns motors amb una mida de 2213 i 935KV i la bateria d'11.1V. Això ens deixa amb 10.378 RPM.



Imatge 24: Motors utilitzats per al dron. Extreta de: Kit-Drone

#### e) Bateria i *Power Module*:

Com més gran sigui la bateria, més autonomia i com més volts de sortida, més potència. S'ha de tenir en compte, però, que el dron ha de ser capaç de carregar el pes de la bateria.

El Power Module és un accessori que ens ajuda a calcular la bateria restant per evitar que el dron es quedi sense bateria mentre està enlairat.

En el meu cas amb una bateria de 2200mAh en tenia prou ja que en tots els apartats anteriors he posat l'autonomia per davant.



Imatge 25: Bateria utilitzada per al dron. Extreta de: Kit-Drone



Imatge 26: Power Module utilitzar per al dron. Extreta de: Kit-Drone

#### f) Mòdul GPS i antena:

El GPS es allò que permet al dron saber on està en cada moment i és imprescindible per a volar el dron en mode assistit o en mode autònom. Gràcies

a ell, el dron pot seguir rutes totalment autònomes, pot tornar al punt d'inici quan perd la senyal o li queda poca bateria, etc. També ens permet volar en mode assistit en el qual el dron volarà de forma quasi autònoma mentre el pilot només apunta a on ha d'anar.

L'antena permet que el GPS capti una millor senyal a l'estar més elevat i tenir menys interferències físiques.



Imatge 27: Mòdul GPS utilitzat per al drone. Extreta de: Kit-Drone



Imatge 28: Antena utilitzada per al dron. Extreta de: Kit-Drone

#### g) Emissora, receptor i mòdul de telemetria:

L'emissora o, més comunament parlant, el control remot és el que ens permetrà pilotar el dron quan aquest no estigui en mode autònom.

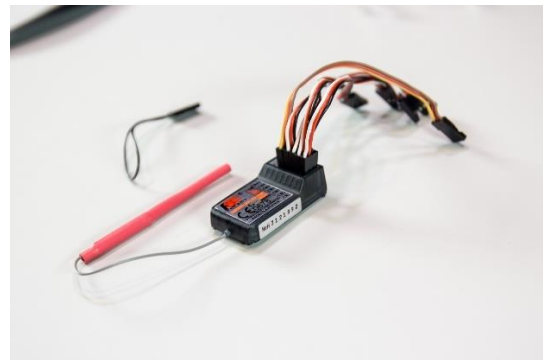


L'emissora no serveix de res sense el seu corresponent receptor, que és l'encarregat de rebre les senyals i passar-les a l'APM perquè aquesta modifiqui el comportament de les hèlix per tal de que la nostra ordre es compleixi.

Per últim, el mòdul de telemetria és el que ens permet controlar el dron amb el mòbil, la tauleta o l'ordinador a l'hora que obtenim informació detallada de l'estat del dron en pantalla.



Imatge 29: Emissora utilitzada per al dron.  
Extreta de: Kit-Drone



Imatge 30: Receptor utilitzat per al dron.  
Extreta de: Kit-Drone



Imatge 31: Mòdul de Telemetria utilitzat en el dron. Extreta de: Kit-Drone

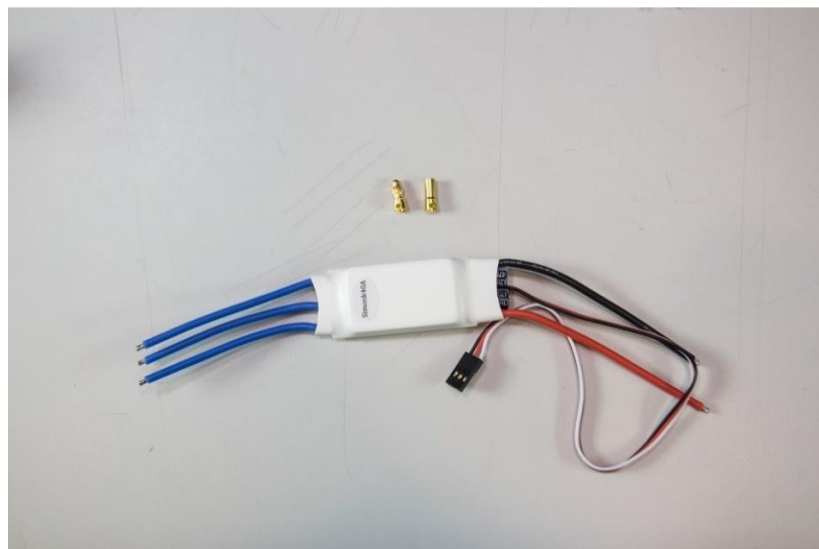
#### h) APM i variador d'energia:

L'APM es la placa base on s'hi connecten tots els components com, per exemple, el GPS, la telemetria, els variadors d'energia, el receptor, etc.. Aquesta és l'encarregada de rebre tota la informació captada pels sensors, processar-la, i modificar les velocitats dels motors utilitzant els variadors per tal de estabilitzar-se i/o complir les ordres donades pel pilot.

Els variadors d'energia modifiquen la velocitat a la qual gira cada un dels motors modificant la quantitat d'energia que reben els motors (recordem que les RPM dels motors varien en funció de l'energia proporcionada).



Imatge 32: APM utilitzada per al dron. Extreta de: Kit-Drone



Imatge 33: Variador d'energia utilitzat per al dron. Extreta de: Kit-Drone



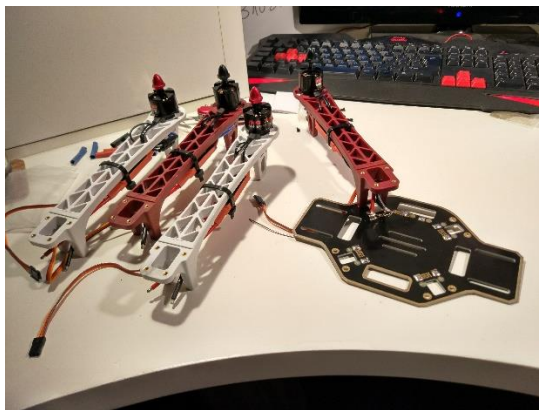


#### **4. Col·locació del termoretràctil:**

Per assegurar les connexions prèviament fetes les cobriré amb termoretràctil, evitant també que es toquin entre si i creïn males connexions.

#### **5. Col·locació dels braços a la PDB:**

Cargolaré els motors a la punta dels braços, faré els últims ajustaments de cable i connectaré els motors als variadors, que lligaré als braços per la part de sota amb una brida. Tot seguit pre-estanyo els extrems dels cables del variador que més endavant soldaré a la PDB. I finalment cargo els braços a la PDB.



Imatge 35: Col·locació dels braços a la PDB.



Imatge 36: Braços recent col·locats a la PDB

#### **6. Soldatge del Power Module i reforç de les soldadures:**

Soldaré el PM a la PDB i tot seguit reforçaré aquesta i totes les soldadures fetes anteriorment cobrint-les de pegament fos. Per això faig us d'una pistola de pegament

## **7. Col·locació de l'APM:**

Per fixar l'APM a la PDB posaré una tira de velcro adhesiu a la part central de la PDB i una altra tira a l'APM i les ajuntaré. Ho asseguraré amb una brida.

## **8. Connexió dels motors a l'APM:**

Connecto els motors a les connexions de sortida de l'APM sempre respectant les polaritats i seguint un ordre específic: motor del davant dret a la sortida 1, motor del davant esquerre a la sortida 3, motor del darrera dret al 4 i motor del darrera esquerre al 2. Per últim, recullo els cables sobrants amb l'ajuda d'una brida.

## **9. Connexió del receptor a l'APM:**

Per connectar el receptor connecto el cable que surt del canal 1 a l'entrada 1, el del canal 2 a l'entrada 2, i així successivament fins al canal numero 6, l'últim.

## **10. Muntatge de la placa superior al Xassís:**

Cargolo la placa superior a la part superior dels braços.



Imatge 37: Placa superior col·locada al dron.

## 11. Instal·lem el tren d'aterratge:

S'han de cargolar les potes a la part inferior del Xassís i s'ha d'assegurar la resta de cargols. Veure vídeo: <https://youtu.be/0z7BCZgx5Uw>



Imatge 38: Tren d'aterratge muntat



Imatge 39: Tren d'aterratge muntat vist de de dalt.

## 12. Incorporació del GPS i el mòdul de telemetria:

Col·locaré l'antena sobre la placa superior amb 4 cargols i enganxaré el mòdul GPS amb l'amortidor adhesiu incorporat. Per acabar, col·locaré el mòdul de telemetria a la PDB amb l'ajuda d'una brida i el connectaré a l'APM junt amb el GPS.



Imatge 40: GPS muntat



Imatge 41: Mòdul de Telemetria muntat

El muntatge ha finalitzat!



Imatge 42: Dron completament muntat

### **2.1.3. Configuració del dron**

El procés de configuració consta d'11 passos també.

#### **1. Connectar l'APM al PC i *Mission Planner*:**

Connectaré la sortida micro-USB a l'APM i la sortida USB a l'ordinador. Tot seguit buscaré *Mission Planner* al Google i obriré el primer enllaç. Aquest em porta a la pagina oficial des d'on podré descarregar el programa. Un cop descarregat i instal·lat l'executaré.

#### **2. Calibració acceleròmetre:**

S'ha de posar el dron en cada una de les posicions possibles: dret, cap per avall, de costat, etc. i clicar qualsevol tecla per a guardar els valors. Per tal de fer una bona calibració em poso en una superfície anivellada i estable.

#### **3. Calibració brúixola:**

Faré una rotació de 360° agafant el dron en totes les posicions possibles (les mateixes que en el pas anterior) i clicaré qualsevol tecla per a guardar els valors.

#### **4. Configuració del *Power Module*:**

S'ha d'executar el *Wizard* de configuració del PM i introduir els següents valors a les caselles: en la primera posaré la versió del *Power Module*, en la segona posaré el tipus de sensor del que disposa el PM i en l'última introduiré la capacitat de la nostra bateria en mAh.

## 5. Configuració de l'emissora:

Calibraré l'emissora portant als límits cada una de les palanques de control mentre el *Mission Planner* n'agafa les mostres.

## 6. Modes de vol:

Primer configuraré els modes a l'emissora. Per això aniré al *Menú principal>Configuració>Aux. Channels* i m'asseguraré que el canal 5 està en SwC (palanca dreta) i el canal 6 en SwD (palanca esquerra). Per últim assignaré un PWM o *modulacion por ancho de pulso*. Aniré a *Menú principal>Configuració>Mix* i introduiré els següents valors:

### Mix #1

- Mix is: **On**
- Master: **Ch6**
- Slave: **Ch5**
- Pos. mix: **50%**
- Neg. mix: **0%**
- Offset: **0%**

### Mix #2

- Mix is: **On**
- Master: **Ch6**
- Slave: **Ch5**
- Pos. mix: **0%**
- Neg. mix: **75%**
- Offset: **0%**

Ara configuraré els modes al *Mission Planner*. El programa m'oferirà 6 caselles de les quals la 3 i la 5 no em seran útils. En les 4 restants introduiré els modes de vol desitjats.

## 7. Failsafe i Geofence:

Cal configurar les respostes del dron davant de diferents problemes. Ara s'ha de configurar que quan la bateria arribi a un nivell baix el dron torni al punt *home*, és a dir, al punt des d'on ha enlairat. Per quan perdi la senyal de GPS li diré que aguantant l'altitud automàticament fins que la senyal torni, fins que es quedi sense bateria (en aquest cas realitzarà un aterratge no dependent del GPS) o fins que el pilot decideixi pilotar el dron amb un mode independent del GPS. Quan el dron



perdí la connexió a la telemetria li diré que torni al punt *home* excepte si està en una tasca automàtica. I, per últim, quan algun dels motors estigui fallant li diré que torni al punt *home* excepte si l'error es lleu i es pot continuar amb la tasca automàtica.

Podria establir una *Geofence*, es a dir, una zona de la qual el dron no podrà sortir però en aquest cas no interessa establir-la.

## **8. Calibració dels motors:**

Per calibrar els motors encenc l'emissora i pujo la palanca de control dreta al màxim. Tot seguit connecto la bateria al dron i l'APM entrarà en el mode de calibració. Desconnecto la bateria i la torno a connectar. Llavors baixo la palanca de control dreta al mínim i espero a que l'APM faci un soroll d'avis. Els motors ja estan calibrats.

## **9. Col·locació de la bateria:**

S'ha de col·locar la bateria de manera que es pugui agafar el dron per el seu eix horitzontal i aquest quedi en equilibri. Ja que d'aquesta manera li serà més fàcil al dron d'estar estable i cap motor treballarà excessivament més que l'altre.

## **10. Col·locació de les hèlix:**

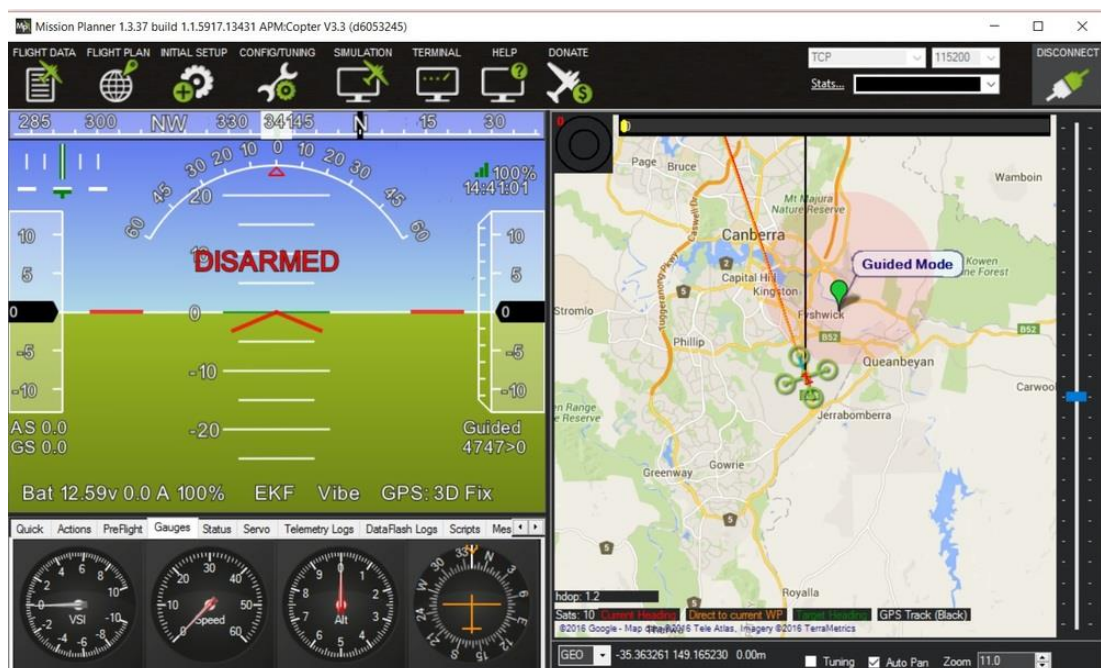
Primer cal posar a cada un dels motors l'arandela que més s'hi ajusti i després posar les hèlix. Hi ha dos tipus d'hèlix: les que giren a l'esquerra i les que giren a la dreta. Es diferencien perquè les que giren a la dreta tenen una "R" gravada. Les hèlix R van al motor del davant a l'esquerra i el de darrera a la dreta i les hèlix que giren a l'esquerra van al motor del davant a la dreta i el de darrera a l'esquerra. En cas de que els motors no girin en el sentit pertinent es canvien dos dels tres connectors que van dels motors als variadors i d'aquesta manera s'inverteix la direcció de gir.

## 11. Configurar el mòdul de telemetria:

Cal obrir el *Mission Planner* i connectar el mòdul de telemetria a l'USB del ordinador. Llavors cal anar a les dues caselles de la part superior a la dreta del programa i seleccionar en la primera l'opció "COM" disponible i en la segona "57600". Tot seguit vaig a *Initial Setup>Optional Hardware>3DR Radio* i clico a *Load Settings*. Cal esperar a que acabi i llavors clicar *Save Settings*. Espero un altre cop i, per últim, clico *Copy required to remote*. Un cop acabat ja es pot connectar.

Per connectar el dron al mòbil o tauleta només cal l'aplicació mòbil *Tower* i un adaptador USB-OTG.

El procés de configuració ha acabat!



Imatge 43: Screenshot del *Mission Planner*. Extreta de: ArduPilot



## 2.2. Mesurador de dB

### 2.2.1. Com ha de ser el mesurador de dB

Tindrem en compte dos factors: l'aïllament del soroll del vent i altres i la connexió amb l'estació de terra.

Aïllar el soroll del dron seria quasi impossible però podem intentar reduir al màxim el soroll del vent empentat per les aspes. Per això buscaré un mesurador que disposi d'una esponja protectora. En cas de sigui necessari l'hi incorporaré una campana que aïlli el soroll del dron el màxim possible.

Per extreure el soroll del carrer del soroll total, primer mesurarem el nivell de soroll del dron i el restarem al resultat de soroll total.

L'ideal seria disposar d'un mesurador de dB que pogués retransmetre les dades a temps real com el que veiem en la imatge següent:



Imatge 44: Mesurador de dB amb mòdul de retransmissió en temps real.

Degut a la poca disponibilitat i al elevat preu d'aquest tipus de mesuradors optarem per un mesurador més econòmic. Sense transmissió en temps real però amb conservació dels valors mínims i màxims i esponja d'absorció de so ambient.



Imatge 45: Mesurador de dB utilitzat.

### 2.2.2. Muntatge

Cal incorporar el mesurador al dron però, per comoditat, faré que es pugui treure i posar fàcilment.

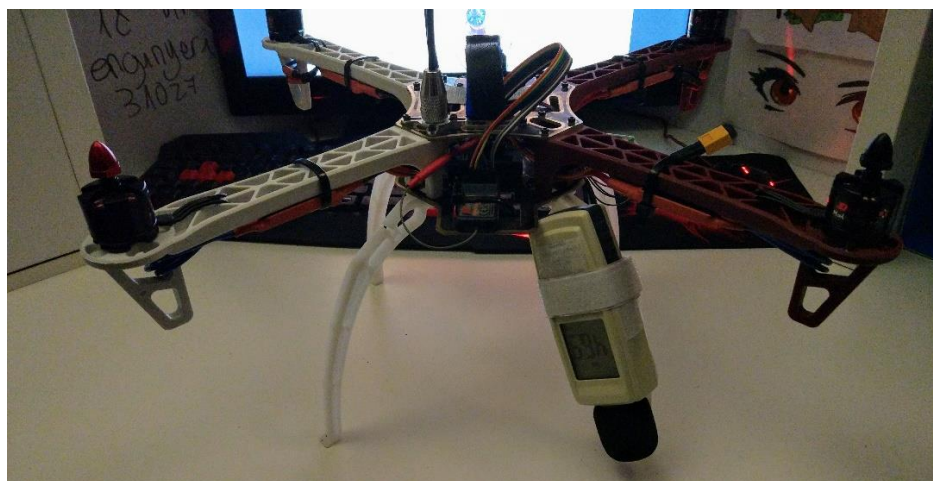
A l'hora d'afegir elements al dron s'ha de vigilar de no desequilibrar-lo massa. Després de diverses proves arribo a la conclusió que el millor lloc és en una de les quatre potes del tren d'aterratge ja que esta a prop del centre del dron i el desequilibri no serà un problema i, a més, la pota em pot servir per enganxar-hi el mesurador. Utilitzaré velcro perquè ofereix una bona resistència a la fricció i ens serveix també d'amortidor alhora que ens permet treure i posar el mesurador amb facilitat.



Imatge 46: Pota recoberta amb velcro.



Imatge 47: Mesurador de dB Enganxat a la pota.



Imatge 48: Mesurador de dB incorporat al dron.

## 2.3. Proves de vol

### Primera prova de vol:

Mode de vol: *Loiter*. Condicions meteorològiques: Cel clar, brisa suau. HDOP: 2.0

Enlairem pujant la palanca de control esquerra a més de la meitat i un cop agafada una altura de 10m aproximadament la baixem fins just el punt mitjà. El dron aguanta l'altura i la posició automàticament. Llavors comprovarem que estigui ben calibrat i tingui les direccions ben configurades. Volem a dreta i esquerra, endavant i endarrere i el tornem al punt inicial on aguantarà l'altura i la posició. Tot seguit provarem la volta al punt *home*. El mourem uns 20m a l'esquerra i apagarem l'emissora. Al perdre la senyal el dron puja fins als 20m i es posiciona sobre el punt on s'ha enlairat. Llavors comença un descens vertical fins a aterrar al punt *home*.

### Tercera prova de vol:

Mode de vol: *Altitude Hold*. Condicions meteorològiques: cel clar, brisa suau. HDOP: 2.0

Farem una prova d'autonomia. Enlairem el dron en mode *Loiter* a una altura de 10m aproximadament i el posem en mode *Altitude Hold* perquè mantingui l'altura i la posició. L'avís de bateria baixa està configurat perquè soni quan aquesta està a una capacitat del 51% de tal manera que, estigui on estigui el dron, aquest tindrà prou energia per tornar al punt d'inici. Passats 15 minuts el dron dona l'avís de bateria baixa i comença l'aterratge autònom. Això ens dona una autonomia de 30 minuts en condicions òptimes.

#### **Quarta prova de vol:**

Mode: *Loiter*. Condicions meteorològiques: cel clar, vent fort. HDOP: 1.6

Provarem l'estabilitat del dron en condicions meteorològiques no tant favorables. Enlairarem el dron a uns 20m aproximadament i el deixem al lloc. El dron es mostra estable excepte en alguna ventada forta on té un petit retrocés i de seguida torna al lloc. Volem una mica per la zona sense problemes i activem l'aterratge automàtic. Torna al punt *home* i aterra sense problemes.

#### **Quinta prova de vol:**

Mode: *Loiter*. Condicions meteorològiques: cel clar, vent fort. HDOP: 1.6

Amb el mesurador de dB ja col·locat al dron i encès tornarem a provar l'estabilitat repetint el procés de la quarta prova de vol. Com que està encès aprofitarem també per mesurar el soroll que fa el dron mentre vola. Un cop ha aterrat agafem el mesurador i veiem que té una màxima de 99.7dB. Veure vídeo: <https://youtu.be/N7UAmxdNfLU>

#### **Sisena prova de vol:**

Mode: *Loiter*. Condicions meteorològiques: cel clar, vent fort. HDOP: 1.6

Ara provarem de fer soroll sota el dron a veure quina variació de dB apreciem. L'enlairem a uns 5m d'altura i el portem just damunt dels nostres caps. Llavors cridem tant fort com podem durant 3 segons. Activem l'aterratge automàtic i agafem el mesurador. La màxima continua sent exactament 99.7dB.

#### **Setena prova de vol:**

Mode: *Loiter*. Condicions meteorològiques: cel clar, vent fort. HDOP: 1.6

Com que a la sisena prova de vol no hem pogut apreciar cap diferència provarem de posar una campana al mesurador de dB. Tornem a realitzar la prova i al recollir el mesurador veiem que el nivell no ha variat i segueix sent de 99.7dB.

## **3. Conclusió**

### **3.1. Conclusió**

Amb els recursos disposats no es pot realitzar una mesura acústica útil.

En aquest sentit, però, penso que amb més recursos tècnics aquesta mesura si podria ser factible i per això he afegit un apartat de propostes d'investigació futura.

### **3.2. Propostes de futur**

- Per aquesta mesura es necessitaria un dron més silenciós que disposés d'algun sistema de reducció de soroll. Altrament, en lloc de solucionar el problema s'empitjoraria la contaminació acústica. Aquest tipus de drons són molt cars i actualment només estan disponibles per a ús militar. Cal esperar que en un futur aquesta tecnologia arribi de manera més econòmica a les nostres mans.
- Així mateix es necessitaria un mesurador de decibels més direccional que no es veies tant afectat per el soroll del dron.
- Es podria provar una campana aïlladora de so per reduir el soroll procedent del dron.
- Una politja que es pogués controlar a distància, juntament amb el vol del dron, i que permetés allunyar el mesurador del dron en el moment de mesurar el so també seria una bona opció.

## 4. Annexos

### 4.1. Glossari

HDOP (*Geometric Dilution Of Precision*): Es un terme utilitzat per definir la precisió amb la que el GPS actua.

Mode *Loiter*: Mode de vol assistit per el GPS.

PDB (*Power Distribution Board*): Base amb capacitat de conduir i distribuir energia.

USB-OTG: Adaptador que permet connectar un USB al mòbil o a la tauleta.

*Wizard*: Assistent de configuració



## **4.2. Relació d'entrevistes**

15/06/2017

Entrevista amb Esther Subías, responsable de comunicació de Colectic: Tecnologia per la transformació social. I Natxo Varona , fundador del Barcelona Smart Drone Challenge.

29/01/2018

Entrevista a Yolanda, tècnica de contaminació acústica de la Fàbrica del Sol (Barcelona)

De Setembre a Desembre de 2017

Entrevista per e-mail al propietari del web <http://kit-drone.com/>

**AMB EL MÉS SINCER AGRAÏMENT A TOTS ELLS  
PEL TEMPS QUE EM VAN DEDICAR.**

### **4.3. Agraïments**

En primer lloc a la meva Mare, Montserrat López Tolosana, per haver-me ajudat a tirar endavant aquest treball.

Al Natxo Varona i la Esther Subías que em van empènyer a agafar aquest camí.

Al servei tècnic de Kit-Drone que em van facilitar tant com van poder el procés de compra i de muntatge i configuració.

A la Júlia Vilà i als meus germans petits, Pepe i Bruna, per ajudar-me en les proves de vol.

A la Yolanda per donar-me informació sobre mesuradors de dB i ajudar-me amb la calibració del meu mesurador.

I, per últim, a la meva tutora de treball, Anna Graell, que em va donar la idea dels drons i m'ha fet el seguiment del treball.

#### 4.4. Límit dB establerts per la legislació

Segons la legislació actual a Catalunya els límits es classifiquen segons la zona de sensibilitat acústica en la que el soroll es produeixi.

- Zona de sensibilitat acústica alta (A)
  - Espais d'interès natural i altres (A1):
    - Sense límits establerts
  - Predomini del sòl d'ús sanitari, docent i cultural (A2):
    - Matí (7-21h), 55 dB
    - Vespre (21-23h), 55 dB
    - Nit (23-7h), 45 dB
  - Habitatges situats al medi rural (A3):
    - Matí (7-21h), 57 dB
    - Vespre (21-23h), 57 dB
    - Nit (23-7h), 47 dB
  - Predomini del sòl d'ús residencial (A4):
    - Matí (7-21h), 57 dB
    - Vespre (21-23h), 57 dB
    - Nit (23-7h), 47 dB
- Zona de sensibilitat acústica moderada (B)
  - Coexistència de sòl d'ús residencial amb activitats i/o infraestructures de transport existents (B1):
    - Matí (7-21h), 65 dB
    - Vespre (21-23h), 65 dB
    - Nit (23-7h), 55 dB
  - Predomini del sòl d'ús terciari diferent a (C1) (B2):
    - Matí (7-21h), 65 dB
    - Vespre (21-23h), 65 dB
    - Nit (23-7h), 55 dB
  - Àrees urbanes existents afectades per sòl d'ús industrial (B3):
    - Matí (7-21h), 65 dB
    - Vespre (21-23h), 65 dB
    - Nit (23-7h), 55 dB

- Zona de sensibilitat acústica baixa (C)
  - Usos recreatius i d'espectacles (C1):
    - Matí (7-21h), 68 dB
    - Vespre (21-23h), 68 dB
    - Nit (23-7h), 58 dB
  - Predomini de sòl d'ús industrial (C2):
    - Matí (7-21h), 70 dB
    - Vespre (21-23h), 70 dB
    - Nit (23-7h), 60 dB
  - Àrees del territori afectades per sistemes generals d'infraestructures de transport o altres equipaments públics (C3):
    - Sense límits establerts

## 4.5. Bibliografia

1. ADAM JUNIPER. *La guía completa de drones*. Barcelona: Alcantó S.A., 2016. 144p.
2. *Amazon, Domino's and the future drone delivery market*. [En línia]. EE.UU.: Business Insider, 18/06/2017, 12:30. <<http://www.businessinsider.com/delivery-drones-market-service-2017-7>> [2017, 27 agost]
3. *Are drones a fast way to deliver emergency defibrillators?*. [En línia]. EE.UU.: Reuters, 13/5/2017, 23:13. <<http://www.reuters.com/article/us-health-emergencies-drones-idUSKBN1942U2>> [2017, 27 agost]
4. *Boletín oficial del estado*. [En línia]. Espanya: Gobierno de España, 29/12/2017. <[https://www.seguridadaerea.gob.es/media/4629426/rd\\_1036\\_17\\_rpas.pdf](https://www.seguridadaerea.gob.es/media/4629426/rd_1036_17_rpas.pdf)> [2018, 04 Febrer]
5. *¿Cómo elegir hélices para nuestro drone?*. [En línia]. Espanya: DeDrones, 19/12/2016. <<https://dedrones.es/elegir-helices-drone/>> [2018, 04 Febrer]
6. *CÓMO ELEGIR MOTORES Y HÉLICES*. [En línia]. Chile: Drones de Carrera Chile, 18/06/2015. <<http://www.dronesdecarrera.cl/como-elegir-motores-y-helices/>> [2018, 06 Febrer]
7. *¿Cómo funcionan las hélices de un drone?*. [En línia]. Espanya: Comprar drones, 23/08/2017. <<https://www.comprardrones.online/academia/como-funcionan-las-helices-de-un-drone/>> [2018, 04 Febrer]
8. *¿Cómo se suman las Fuentes sonoras (suma de dB)?*. [En línia]. Espanya: Inerco Acústica, 27/09/2017. <<http://www.inercoacustica.com/acustipedia/item/233-%C2%BFc%C3%B3mo-se-suman-las-fuentes-sonoras-suma-de-db?>> [2018, 04 Febrer]

9. *Construye un drone quadrotor desde cero*. [En línia]. Espanya. <<https://www.udemy.com/construye-un-drone-quadrotor-desde-cero/learn/v4/content>> [2018, 06 Febrer]
10. *Curso oficial de piloto profesional de drones AESA*. [En línia]. Espanya: Aerocamaras Especialistas en Drones. <<https://cursodedrones.es/curso-oficial-piloto-profesional-drones/>> [2018, 20 Gener]
11. *Decibel*. [En línia]. Catalunya: Viquipèdia, 19/10/2017, 18:16. <<https://ca.wikipedia.org/wiki/Decibel>> [2017, 12 Novembre]
12. *Definición de Dron*. [En línia]. Espanya: ConceptoDefinicion, 30/11/2016. <<http://conceptodefinicion.de/dron/>> [2017, 26 Novembre]
13. *Drones para gestionar emergències*. [En línia]. Espanya: Dronopedia, 13/03/2017. <<http://www.dronepedia.es/blog/drones-gestionar-emergencias>> [2017, 26 agost]
14. *Elegir el frame correcto para el drone*. [En línia]. Espanya: Kit-Drone, 31/05/2017. <<http://kit-drone.com/wiki-drone-elegir-el-frame-correcto-para-el-drone/>> [2018, 05 Febrer]
15. *El Govern aprova el reglament de la Llei de protecció contra la contaminació acústica*. [En línia]. Catalunya: Generalitat de Catalunya, 10/11/2009. <<http://www.gencat.cat/acordsdegovern/20091110/06.htm>> [2017, 12 Novembre]
16. *Emergency drones rush life-saving help to simulated cardiac arrest cases*. [En línia]. EE.UU.: Ars Technica, 6/13/2017, 21:50. <<https://arstechnica.com/science/2017/06/emergency-drones-rush-life-saving-help-to-simulated-cardiac-arrest-cases/>> [2017, 27 agost]
17. Vanessa Puig Barrachina. *Estudi de valoració de l'impacte del soroll procedent d'activitats relacionades amb l'oci nocturn sobre la salut de les persones a Ciutat Vella*. [Material fotocopiats]. Agència de salut pública de Barcelona, 2017.

18. FRANCISCO JAVIER TORRES SIMÓN. *El dron aplicado al sector audiovisual*. Espanya: Editorial Tébar Flores S.L., 2016.
19. *How to pick the best multirotor frame: an expert advice for all hobbyists*. [En línia]. MyDroneLab. <<http://mydronelab.com/buyers-guide/how-to-pick-the-best-multirotor-frame.html>> [2018, 05 Febrer]
20. *Motores para drones. Nociones básicas*. [En línia]. Espanya: Maxterdrone, 25/01/2016. <<https://maxterdrone.com/es/blog/motores-para-drones-que-necesitas-saber-n18>> [2018, 05 Gener]
21. *Normativa sobre drones en España [2017]*. [En línia]. Espanya: Aerial Insights, 2017. <<http://www.aerial-insights.co/blog/normativa-drones-espana/>> [2018, 04 Febrer]
22. *Nueva ley sobre el uso de drones en España*. [En línia]. Espanya: Dronair, 16/7/2017. <<http://www.dronair.es/nueva-ley-sobre-el-uso-de-drones-en-espana-2>> [2018, 20 Gener]
23. *Qué puedes y qué no puedes hacer con tu dron en España (aunque sea de juguete)*. [En línia]. Espanya: EL PAÍS, 10/03/2017, 09:36. <[https://elpais.com/elpais/2017/03/09/paco\\_nadal/1489060374\\_317707.html](https://elpais.com/elpais/2017/03/09/paco_nadal/1489060374_317707.html)> [2018, 22 Gener]
24. *The Economics of Drone Delivery*. [En línia]. EE.UU.: Flexport, (s.f.). <<https://www.flexport.com/blog/drone-delivery-economics/>> [2017, 27 agost]
25. *Tipos de drones aéreos*. [En línia]. Espanya: Zima Robotics, 09/05/2017. <<http://dronespain.pro/tipos-de-drones-aereos/>> [2017, 10 juliol]
26. *Uso de drones en situaciones de emergencia*. [En línia]. Espanya: Todrone, 12/02/2015. <<http://www.todrone.com/uso-drones-situaciones-emergencia/>> [2017, 26 agost]
27. *Vehicle aeri no tripulat*. [En línia]. Catalunya: Viquipèdia, 25/11/2017, 14:17. <[https://ca.wikipedia.org/wiki/Vehicle\\_aeri\\_no\\_tripulat](https://ca.wikipedia.org/wiki/Vehicle_aeri_no_tripulat)> [2017, 26 Novembre]



28. *WHAT ARE DRONE? WHAT ARE THEY FOR?*. [En línia]. EE.UU.: Easy Technology Now, 25/10/2015. <<https://easytechnow.com/learn-technology/what-are-drone-what-are-they-for/>> [2017, 26 Novembre]