

# [ Disseny i construcció d'un avió de reconeixement aeri ]



**Pseudònim: Airbus A380**





Disseny i construcció d'un avió de reconeixement aeri  
24/10/2018





Vull dedicar aquest treball, principalment a la meva família per haver-me aguantat durant tota la construcció de l'avió i realització d'aquest treball de recerca, i també a la gent que persegueix els seus somnis, amb esforç, tot s'aconsegueix...





# Índex

1. Introducció.....	10
2. Suport audiovisual del treball .....	12
2.1. Creació del canal en la plataforma Vimeo.....	12
2.1.1. El logo.....	12
2.1.2. El correu .....	13
2.1.3. El canal.....	13
2.2. Gravació dels diferents vídeos del canal.....	14
2.3. Com visualitzar el corresponent video amb el corresponent apartat?....	15
I. Bloc teòric.....	17
3. Parts d'un avió.....	19
3.1. Les ales.....	19
3.1.1. Punta d'ala (winglets).....	20
3.1.2. Alerons (Baixa velocitat) .....	21
3.1.3. Alerons (Alta velocitat) .....	21
3.1.4. Carenats dels flaps .....	21
3.1.5. Flaps .....	21
3.1.6. Slats.....	22
3.1.7. Spoilers.....	22
3.2. Els motors .....	23
3.2.1. Motors de combustió interna.....	23
3.2.2. Motors a reacció .....	24
3.2.3. Altres motors alternatius .....	25
3.3. Sistemes .....	27
3.3.1. Sistemes hidràulics .....	27
3.3.1.1. Comportament dels fluids (en estat líquid).....	27
3.3.1.2. Aplicacions dels sistemes hidràulics en els avions .....	28
3.3.1.3. Avantatges i desavantatges d'aquest sistema .....	29
3.3.2. Sistemes elèctrics.....	30
3.3.2.1. La bateria.....	31
3.3.2.2. El generador/Alternador.....	31
3.3.2.3. Amperímetre .....	32



3.3.2.4. Fusibles i circuits “breakers” .....	32
3.3.2.5. Altres elements .....	32
3.3.2.6. Falles elèctriques .....	32
3.3.3. Altres sistemes.....	33
3.3.3.1. Sistema de pressurització de cabina .....	33
3.3.3.2. Sistemes de seguretat, protecció i emergència .....	34
3.4. Combustibles .....	36
3.5. Control de l'aparell .....	38
3.5.1. Controls manuals.....	38
3.5.2. Pilot automàtic .....	39
4. Moviments d'un avió.....	41
4.1. Moviments bàsics d'un avió .....	41
4.1.1. Eix longitudinal.....	41
4.1.2. Eix transversal .....	42
4.1.3. Eix vertical .....	42
4.2. Moviments “acrobàtics” d'un avió.....	44
5. Perquè vola un avió?.....	45
5.1. La resistència aerodinàmica.....	45
5.2. La força propulsora .....	47
5.3. La sustentació .....	48
5.3.1. El principi de Bernoulli .....	48
5.3.2. La perduda de sustentació.....	50
5.4. El pes .....	52
II. Bloc pràctic.....	56
6. Procés de fabricació de l'aeronau no tripulada.....	58
6.1. Objectiu de l'aeronau .....	58
6.2. Càlculs de la sustentació, el pes, la resistència aerodinàmica i la potència .....	59
6.2.1. El pes.....	59
6.2.2. La sustentació.....	60
6.2.3. La resistència aerodinàmica .....	62
6.2.4. La potència .....	62
6.3. Obtenció dels materials.....	64





6.3.1. Estructura .....	64
6.3.2. Els components .....	64
6.3.3. Pressupost.....	65
6.4. Disseny gràfic de l'aeronau .....	66
6.5. Localització dels components principals i secundaris .....	69
6.5.1. Estudi de la zona més segura de l'aeronau .....	69
6.6. Construcció de l'aeronau.....	74
6.6.1. L'estructura externa .....	74
6.6.2. Les ales .....	75
6.6.3. L'electrònica (estructura interna).....	75
6.6.4. Control extern de l'aeronau i dels sistemes.....	76
6.6.4.1. Control de l'aparell .....	76
6.6.4.2. Control de la càmera FPV.....	77
6.6.5. Instruccions per construir l'avió.....	78
6.7. El diari de l'aeronau .....	81
6.8. Les proves aèries i les corresponents modificacions .....	86
7. Conclusió.....	89
8. Suport visual.....	90
9. Bibliografia.....	93





# 1. Introducció



1

Normalment el que somiem, no es fa realitat, però el que si és cert, és que si tu persegueixes el teu somni amb totes les teves forces, finalment acabaràs fent realitat aquest somni.

Volar, el somni d'una persona, d'un poble o ciutat, o fins i tot de tota una espècie, avui en dia, és una realitat.

L'ésser humà ha aconseguit enllaçar cultures, nacions i països arran d'un somni fet realitat. Les aeronaus però, en específic els avions, han donat lloc a una nova forma de conèixer el món, de viure i de gaudir d'una connexió global. Però com molt bé hem dit abans, tot somni té un esforç. Tenir una idea, dissenyar-la i portar-la a terme pot semblar molt fàcil però, equivocar-se forma part d'un camí, i el camí que ens portarà a l'èxit, estarà marcat per aquests errors.

En aquest treball de recerca esbrinareu quins són els coneixements bàsics de l'aeronàutica, des de les parts de les ales, fins als diferents sistemes elèctrics que té l'aparell. A més a més intentarem esbrinar com vola un avió i quins són els principis de la física que sostenen aquesta acció. Per últim, construirem un avió no tripulat des de zero amb la incògnita final de si podrà volar l'aparell. Si tens ganes de descobrir-ho, d'endinsar-te en el magnífic món de l'aeronàutica i de saber si l'avió podrà volar, només has de girar la pàgina...





## 2. Suport audiovisual del treball

### 2.1. Creació del canal en la plataforma Vimeo

Per fer d'aquest treball un aprenentatge visual, alhora de manuscrit, vaig tenir la idea de crear un canal en la plataforma Vimeo (en aquesta edició no s'ha agut de penjar per la plataforma YouTube per tal de preservar la identitat del creador del treball), per tal de poder penjar una sèrie de vídeos en els quals resumiria els punts més importants del treball. En primer lloc, el que vaig realitzar va ser la creació d'un logo especial pel treball de recerca, i a més a més, un correu per tal de poder resoldre dubtes de qualsevol persona que pogués visualitzar el treball.

#### 2.1.1. El logo

Per a l'edició de diferents imatges que trobareu en el treball anomenades "Figures", vaig utilitzar una plataforma de disseny per a qualsevol mena de document. Aquesta plataforma, anomenada Canva, m'ha servit per poder dissenyar diferents esquemes, gràfics, o fins i tot imatges creades des de zero, i poder incloure-les al treball. Per al logo, vaig voler que s'hi identifiqués de forma molt directa les meves inicials amb el treball que jo realitzava i va sortir des de aquest concepte el logo que teniu a continuació que m'ha servit com a foto de perfil del meu correu electrònic dedicat únicament al treball i també de foto de perfil del canal a Vimeo.

Figura 1. Logo del treball





### 2.1.2. El correu

En el correu electrònic podreu enviar qualsevol dubte que tingueu sobre el treball, això si, segurament tardaré una mica a enviar-vos la possible resposta, ja que no és el meu correu personal. El correu és el següent: [cplane.fernandez@gmail.com](mailto:cplane.fernandez@gmail.com)

### 2.1.3. El canal

El canal de Vimeo, està orientat a ensenyar al lector d'aquest treball com ha estat la construcció de l'avió, i també l'explicació d'alguns dels apartats més complexos. Vaig decidir nomenar al canal com a "Cplane", per tal de seguir la mateixa línia del logo, que és la foto de perfil d'aquest mateix canal, com he dit anteriorment. També cal dir que en un principi volia utilitzar la plataforma de YouTube, però el gran problema era que si penjava alguna cosa amb copyright, com per exemple una cançó, el vídeo automàticament m'he l'anul·laven, i per estalviar problemes vaig decidir utilitzar la plataforma de Vimeo que no em representava cap problema en aquest aspecte.

L'enllaç en el qual podeu entrar directament en el perfil del meu canal, és el següent:

<https://www.youtube.com/channel/UCuzYp5exDRHjbOz3rgkcFfg>

(NOTA: Per preservar la identitat de l'autor en estat anònim he hagut de modificar tots els vídeos per tal que no és desveles la identitat del creador de tot aquest treball, per visualitzar els vídeos i visualitzar-los només hauràs de clicar sobre els enllaços de cadascun d'ells).




## 2.2. Gravació dels diferents vídeos del canal

Personalment, sóc una persona a la qual li agrada molt la fotografia i el vídeo i és per això que hem vaig decidir a ampliar el meu treball de recerca amb tot aquest suport audiovisual. Però el mètode amb el qual ho vaig gravar, va ser amb una càmera reflex de la qual disposava i diferents equips de gravació, com micròfons, estabilitzadors, etc.

En resum, vaig gravar les diferents escenes amb un trípode, que em permetia col·locar-me davant de la càmera i explicar el que havia de dir, a més a més, per les filmacions de construcció, vaig utilitzar la tècnica de gravació anomenada *time-lapse*, que tracta de realitzar moltes fotografies i ajuntar-les per crear una escena de moviment, i això mateix va ser el que vaig fer durant tota la fabricació del meu avió. També cal remarcar que per les escenes a l'exterior comptava amb un *steadycam*, que és un estabilitzador de la càmera, per tal de reduir el moviment i crear un vídeo agradable a la vista dels moments màgics, com per exemple, quan l'avió vola per primer cop.



## 2.3. Com visualitzar el corresponent video amb el corresponent apartat?

Bàsicament, per poder relacionar el vídeo amb l'apartat corresponent, trobareu al costat del títol de l'apartat, una petita imatge com aquesta: 

Això voldrà dir, que estarà disponible un vídeo per aquest apartat, i podreu accedir a aquest vídeo de dues formes:

- ▶ Si esteu visualitzant el treball en un format digital, només haureu de clicar sobre la icona que ja obrirà una pestanya nova amb el vídeo llest per a la seva reproducció.
- ▶ Si esteu visualitzant el treball en forma física, trobareu a sota de la icona, un número que correspondrà al número de vídeo que s'haurà de visualitzar, i aquest mateix vídeo el trobareu a continuació a través dels enllaços, o si no hi haurà a darrere del treball un CD amb els corresponents vídeos numerats.

Enllaços:



1. Presentació: <https://www.youtube.com/watch?v=h2VLs8CNboM>



2. Perquè vola un avió?  
<https://www.youtube.com/watch?v=8AxFhL0wyHI>



3. Com he construït el meu avió?\_Primera part  
<https://www.youtube.com/watch?v=OgQ-pn8UTTU>



3. Com he construït el meu avió?\_Segona part  
<https://www.youtube.com/watch?v=YgEGoU0JQO8>



4. Vídeo final\_Conclusió





[https://www.youtube.com/watch?v=d\\_4HKFVWW7I](https://www.youtube.com/watch?v=d_4HKFVWW7I)



# I. Bloc teòric





## 3. Parts d'un avió

Un avió, està format per multitud de peces, aparells i mecanismes, que ajuden a fer que aquest vehicle pugui enlairar-se. A continuació explicaré les parts més importants que té un avió, explicant alhora les seves aplicacions.

### 3.1. Les ales

Quan aixequem la vista i observem un ocell, normalment ens fixem en les seves ales, i tant pels éssers vius voladors, com per aquests aparells de ferro que poden volar i que ha inventat l'ésser humà, són imprescindibles. Per tant, aquestes són la part més important de tot el nostre avió.

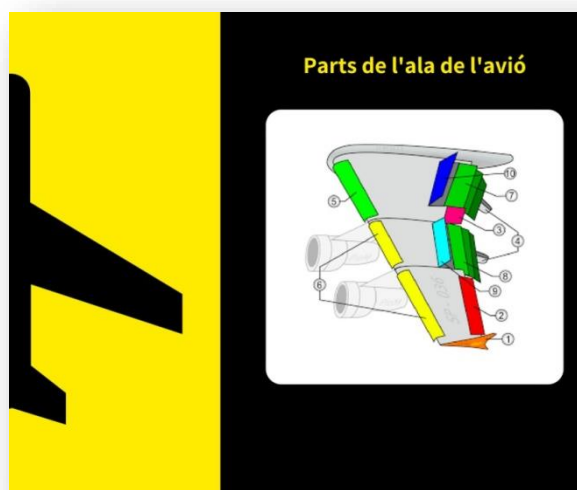
L'ala d'una aeronau, no deixa de ser una superfície que provoca l'efecte de sustentació que explicarem més endavant, o més conegut com a efecte Bernoulli. Però el propòsit de l'ala no és només provocar l'efecte de sustentació (que és el més important), sinó que a part d'això, també té moltes altres parts incorporades que hem anat innovant al llarg del temps amb una funció determinada i que jugaran amb les forces produïdes pels corrents d'aire per produir un moviment que afectarà a tot l'aparell.

Dividirem aquest apartat en:

(Els números de l'apartat coincideixen amb la figura 2)

- 3.1.1. Punta d'ala (winglets)
- 3.1.2. Alerons (Baixa velocitat)
- 3.1.3. Alerons (Alta velocitat)
- 3.1.4. Carenats dels flaps
- 3.1.5. Flaps
- 3.1.6. Slats
- 3.1.7. Spoilers

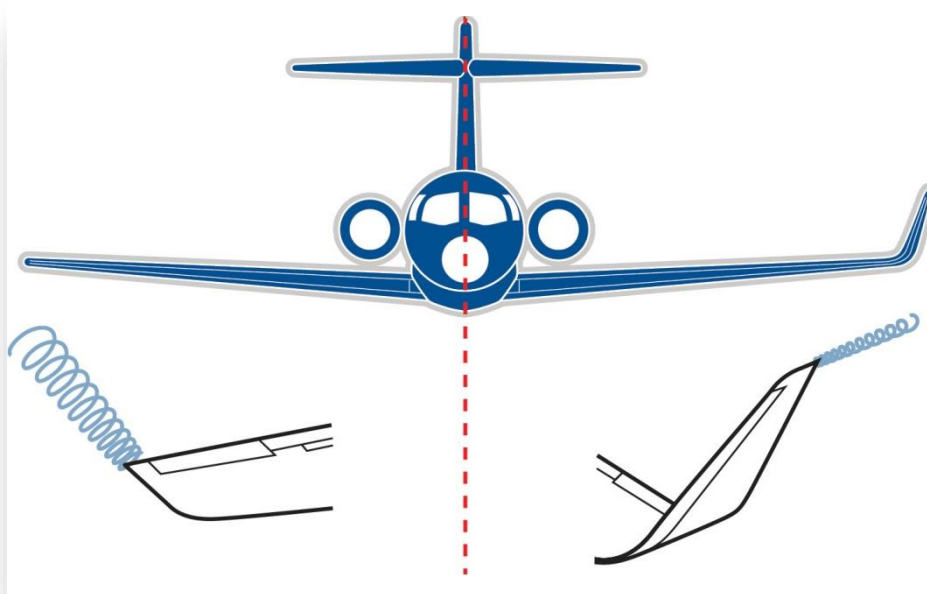
Figura 2. Parts de l'ala de l'avió



### 3.1.1. Punta d'ala (winglets)

La seva finalitat és dirigir correctament el flux circulatori (remolí) generat per la diferència de pressions entre la part inferior de l'ala amb la part superior, el mateix que es desprèn a la punta de l'ala. Aquest vòrtex o petits remolins que frenen a l'avió, és conegut com a arrossegament aerodinàmic i per això aquests dispositius de punta d'ala disminueixen la mida dels vòrtexs. També ajuden a fer que el flux d'aire que abandona l'ala, en lloc de ser desaprofitat sigui aprofitat i transformat en una mena d'empenta. La combinació d'aquests diferents beneficis permet a l'avió consumir menys energia i per tant consumir menys combustible.

Imatge 1. Ala sense i amb winglet.





### 3.1.2. Alerons (Baixa velocitat)

Bàsicament, els alerons són unes superfícies de control i comandament que utilitza l'avió per maniobrar a baixes velocitats; moments com l'enlairament i l'aterratge són precisament els instants que més s'utilitzen, ja que controlen el moviment de balanceig. Solen ser molt reconeixibles en la part exterior de l'ala, sobretot quan l'aeronau està maniobrant.

### 3.1.3. Alerons (Alta velocitat)

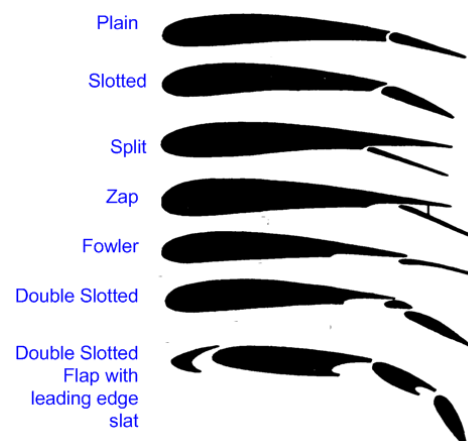
Aquest tipus d'alerons són els mateixos que els del punt 3.1.2, però que al contrari que els altres, aquests tenen la funció de realitzar petites correccions a velocitat de creuer. Com que aquests alerons estan situats a la part més interior de l'ala, i en gran part solen ser més petits, provoquen aquestes maniobres de balanceig tan subtils que un passatger convencional ni les sent.

### 3.1.4. Carenats dels flaps

Els carenats dels flaps són una coberta externa que té com a principal funció reduir la resistència a l'aire, i a part fraccionar els corrents d'aire que circulen per la part inferior de l'ala. Aquests corrents són més conegudes com l'intradós.

### 3.1.5. Flaps

Els flaps són extensions de l'ala que augmenten la curvatura d'aquesta (la superfície) per augmentar la sustentació. En aquesta imatge podem distingir diferents tipus de flaps on cada un d'ells augmenta més o menys la sustentació. Per posar un exemple, un flap de tipus *plain* el podem trobar en petites avionetes que no



Imatge 2. Tipus de flaps.



necessiten un augment considerable de la sustentació, en canvi, si parlem d'un Airbus A380, l'avió de transport de passatgers més gran conegut avui en dia (l'any 2018), necessitem molta més força de sustentació ja que hem d'aguantar a l'aire 527 tones, per tant és necessari un *double slotted flap with leading edge slat*.

Existeixen un altre tipus de flaps, aquests són els flaps *kreuger*, que estan situats a la part davantera de l'aeronau i són dispositius de potenciació d'elevació que es poden instal·lar a la vora d'atac de l'ala d'una aeronau. Aquests dispositius són únicament, i exclusivament, per aeronaus de grans envergadures, que necessiten molta força de sustentació en els moments crítics del vol: l'enlairament i l'aterratge.

### 3.1.6. Slats

Situats a la vora d'atac de l'ala són dispositius mòbils que creen una ranura entre la vora d'atac de l'ala i la resta del pla. A mesura que l'angle d'atac augmenta, l'aire d'alta pressió situat a la zona inferior de l'ala tracta d'arribar a la part superior de l'ala, donant energia d'aquesta manera a l'aire en la part superior i per tant augmentant el màxim angle d'atac que l'avió pot assolir.

### 3.1.7. Spoilers

D'altra banda, no tot està enfocat en augmentar la sustentació, també tenim els anomenats *spoilers* que tenen la funció de reduir la velocitat durant les maniobres de descens del vol i també un cop l'aeronau toca terra. En aquest mateix moment, els pilots retracten els *spoilers* que produiran una força de frenada amb l'ajut dels corrents d'aire però alhora, s'ajudaran de l'empenta en direcció contrària proporcionada pels motors. Aquesta empenta d'un motor a reacció, ajuda a frenar l'aeronau pel simple fet que els gasos que desprèn l'aeronau són ejectats en direcció contrària al moviment de l'aeronau.



## 3.2. Els motors

Si un avió té la intenció d'enlairar-se sense cap motor, només amb la part de les ales no podria, ja que la sustentació es basa en el xoc i difusió de les partícules d'aire en la part inferior i superior de l'ala, en resum, necessitem una certa propulsió o velocitat perquè aquest efecte es dugui a terme i puguem enlairar-nos.

En aquest apartat parlarem de tres tipus de motors que solen predominar en el món de l'aeronàutica: combustió interna, a reacció, i altres motors alternatius.

### 3.2.1. Motors de combustió interna

Aquests motors com molt bé diu el seu nom són de combustió interna i ens permeten una propulsió de treball constant, operats principalment per gasolina.

Tipus de motor	Distribució dels cilindres	Avantatges en el camp aeronàutic	Variants
Motor en línia	La distribució dels cilindres és lineal, situats uns després dels altres.	Permet que l'avió pugui ser dissenyat amb una àrea frontal reduïda que ofereix menor resistència aerodinàmica.	► Versió lineal (Cigonyal a sobre els cilindres)
Motor rotatiu	Cilindres distribuïts circularment al voltant del càrter.	Lleuger, potent, econòmic, i fàcil de produir en grans quantitats. Per aquestes raons va ser utilitzat com a motor estrella en la Primera Guerra Mundial.	► Versió a dos temps



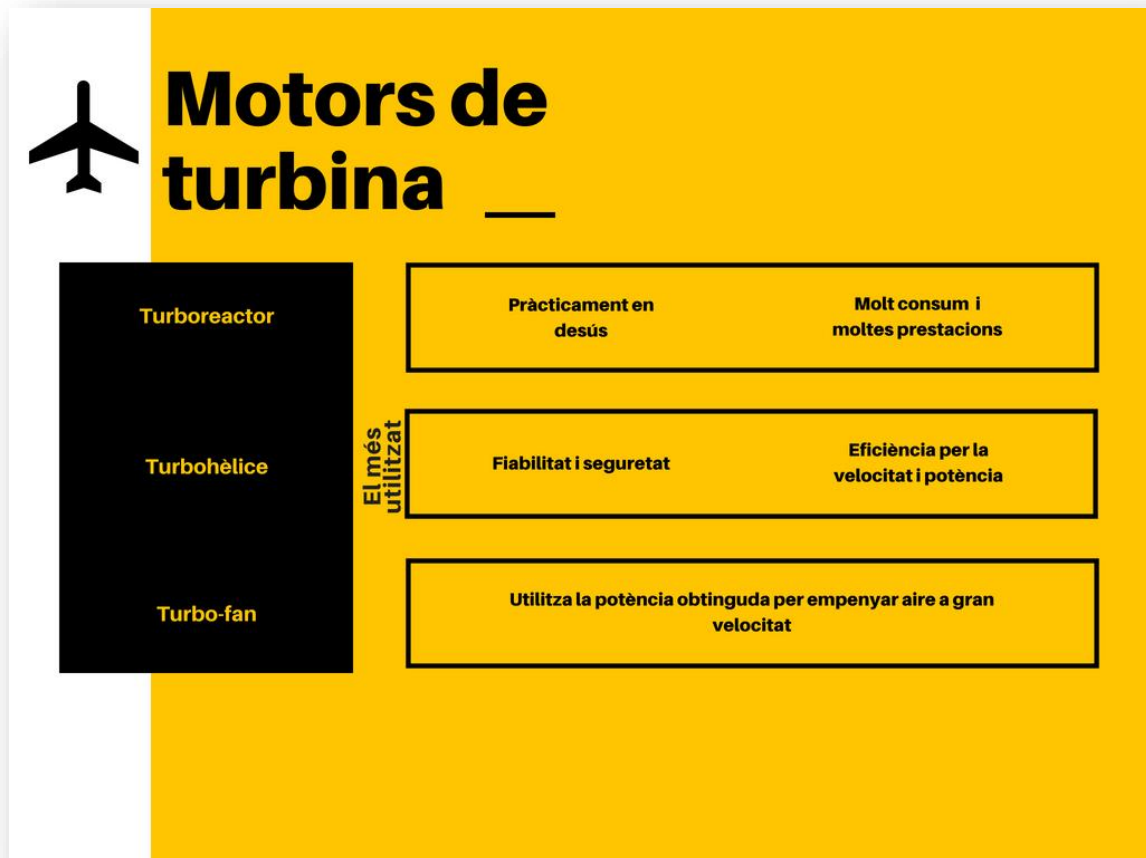


Motor radial	Aquest tipus de motors tenen una o més files de cilindres distribuïts circularment al voltant del cigonyal.	El gran salt d'aquests motors va ser permetre major potència amb menys pes, més fiabilitat que els motors rotatius i a diferència d'aquests tenien un bloc fix.	► Versió única
Motor de cilindres en oposició	Dues bancades de cilindres ubicades als costats del càrter, una a contraposició de l'altra.	Relativament petits, lleugers i econòmics, els motors de quatre o sis cilindres oposats refrigerats per aire són de lluny els motors més comunament usats en petites aeronaus d'aviació general que requereixen una potència no superior a 300 kW per motor.	► Disposició Boxer (Un cilindre davant de l'altre) ► V de 180° (Comparteixen la mateixa posició de monyó del cigonyal) ► Amb cilindres horitzontalment oposats

### 3.2.2. Motors a reacció

Avui en dia, vivim en una societat marcada per l'aviació. Podem viatjar quasi on vulguem del planeta només agafant una aeronau. L'època que vivim avui en dia va tenir lloc a amb el començament d'aquests motors, motors que van donar lloc als avions que coneixem avui en dia capaços de transportar 100, 200 o 300 passatgers, o també als mateixos coets espacials.

Figura 3. Esquema sobre els motors de turbina



### 3.2.3. Altres motors alternatius

En la història de l'aviació, han estat molts els que han intentat diferents mètodes de propulsió i per això aquest interès a economitza i disminuir la contaminació de la indústria aeronàutica porta avui en dia a grans companyies com la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) a investigar aquests àmbits.

Avui en dia coneixem dues alternatives amb potencial, que són la utilització de motors de cicle dièsel fabricats amb materials lleugers, o els motors elèctrics desenvolupats per la pròpia NASA.

El gran problema al qual s'enfronten aquestes noves innovacions és el temps. Per una banda tenim a les companyies aèries en relació al motor elèctric, i és



cert que, quan tenen una aeronau a terra perden diners i no els interessa haver d'esperar al fet que es carreguin totes les bateries fins a poder tornar-se a enlairar d'altra banda, aquests motors tan innovadors no són tan ràpids com els actuals i desgraciadament als passatgers no els hi agrada perdre temps per la utilització d'un motor menys ràpid. Per últim, només cal dir que aquestes tecnologies els hi falta temps de desenvolupament per arribar a les necessitats que demandem, però la qüestió, serà: quan arribin les solucions, el problema serà ja massa gros?



### 3.3. Sistemes

#### 3.3.1. Sistemes hidràulics

El sistema hidràulic està dissenyat per fer-se càrrec de les parts més importants de l'avió, o més ben conegudes com les parts vitals de l'avió (les parts mòbils de l'ala i els timons). A continuació parlarem del comportament dels fluids, de les aplicacions en un avió i dels avantatges i desavantatges que té l'aplicació d'aquest sistema en una aeronau.

##### 3.3.1.1. Comportament dels fluids (en estat líquid)

El nom de fluids engloba molts aspectes, ja que aquests poden trobar-se en estat líquid o gasos, o poden ser newtonians o no newtonians (la seva viscositat varia amb la temperatura). En aquest apartat parlarem del comportament dels fluids en estat líquid i que són newtonians.

Un líquid com a tal és un fluid, dins el qual els àtoms o molècules que el formen es mouen lliurement en el seu interior. És un dels estats més comuns de la matèria, un gran exemple és l'aigua (H<sub>2</sub>O).

Pel que fa als avions s'utilitza el denominat fluid hidràulic. Aquest parteix de tres variants: una és la base mineral, l'altre la vegetal i finalment la sintètica. Els fluids de base vegetal provinents de l'oli de castor i de l'alcohol no estan permesos en el món de l'aeronàutica i es poden confondre fàcilment amb els lubricants pels automòbils.

Per altra banda tenim els fluids de base mineral provinents del petroli que tenen una triple funció (operar, preservar i rentar), els més utilitzats són els següents:

► MIL-PRF-6083: Ús exclusiu per preservar els aparells d'accionament de l'avió, però està totalment prohibit el seu ús en sistemes operacionals de l'aeronau.

► MIL-PRF-5606: El seu color és vermell per identificar-lo fàcilment i s'utilitza com a operador en sistemes hidràulics de l'aeronau.

Imatge 3. Operari introduint fluid hidràulic en un motor d'un Airbus A380.



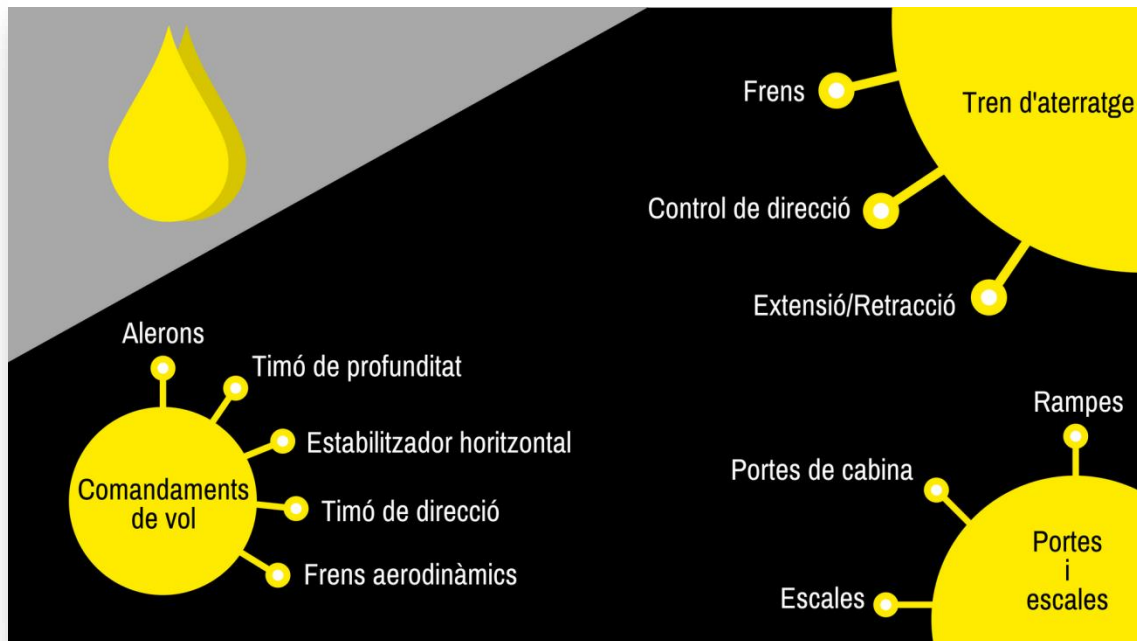
Llavors trobem els fluids de base sintètica, creats en laboratoris per aconseguir característiques específiques a l'hora de ser utilitzat. El més utilitzat és el "MIL-PRF-83282" que és molt similar al "MIL-PRF-5606", però a més a més aquest conté additius que milloren les seves característiques contra el desgast, i a més a més, millora la resistència contra la corrosió i contra l'oxidació.

Pel que fa als moviments o més ben dit als comportaments dels fluids en parlarem més endavant, a la part de física aeronàutica.

### 3.3.1.2. Aplicacions dels sistemes hidràulics en els avions

Els sistemes hidràulics en una aeronau tenen diferents aplicacions. Una de les més importants és ser la base de les parts vitals de l'avió com per exemple els comandaments de vol. A continuació hi trobem una imatge amb les diferents aplicacions d'un sistema hidràulic en un avió:

Figura 3. Esquema sobre les diferents aplicacions dels sistemes hidràulics en els avions



Com podeu observar, totes aquestes parts han d'estar operatives passi el que passi, i no poden córrer el risc d'aplicar sistemes elèctrics que són més propensos a tenir avaries.

### 3.3.1.3. Avantatges i desavantatges d'aquest sistema

Quan parlem del sistema hidràulic, els avantatges que se'ns poden acudir més fàcilment són, per exemple, la fàcil transmissió de grans quantitats d'energia, com per exemple la distribució del pes d'una aeronau en el seu tren d'aterratge; o també la reversibilitat del conducte, ja que podem fer circular el nostre fluid ambdós sentits.

D'altra banda quan parlem de desavantatges, segurament el que fàcilment se'ns acudeix és el gran cost que té un sistema hidràulic amb les característiques equivalents per suportar les demandes d'una aeronau. També podríem destacar en aquest punt que la utilització d'aquests sistemes només



permet transportar energia i no emmagatzemar-la a diferència d'un sistema pneumàtic.

Per finalitzar, podem dir que la utilització d'un sistema hidràulic pot resultar més factible pel que fa al món de l'aeronàutica, ja que parlem de sistemes capaços de suportar forces molt grans i tenir una durabilitat molt gran. D'altra banda, la utilització del sistema pneumàtic no seria possible, ja que estaríem parlant d'un canvi de pressions molt grans en una aeronau i es podria alterar el funcionament del circuit.

### 3.3.2. Sistemes elèctrics

L'energia elèctrica s'ha convertit en un recurs vital pel nostre dia a dia. Aquest fet ha provocat que l'electricitat arribi a quasi totes les coses que coneixem i sobretot als avions.

Molts dels sistemes de les nostres aeronaus funcionen amb el subministrament constant d'electricitat, com per exemple el GPS, la radio o els llums. Fins i tot, el sistema que genera oxigen dins de l'avió funciona amb electricitat. Antigament els avions no comptaven amb sistemes elèctrics i per tant tenien alternatives més rudimentàries a l'hora de suplir les necessitats més fonamentals en un vol amb avió. Per posar un petit exemple, a l'hora d'arrencar l'aeronau i com que el motor estava dotat d'un sistema de magnetos (dispositiu electromecànic que proporciona polsos de corrent d'alt voltatge) que li proporcionava energia elèctrica per fer funcionar exclusivament al sistema de bugies, que alhora necessitava que algú girés l'hèlice del motor per tal que aquest engegés.

La majoria dels avions lleugers estan equipats amb un sistema de corrent de 12 V, però actualment, amb la fabricació d'aeronaus cada cop més grans, la implementació del sistema de corrent de 24 V és més comuna, ja que la demanda d'electricitat és molt major que anys enrere.



### 3.3.2.1. La bateria

La bateria o acumulador transforma i emmagatzema l'energia elèctrica en forma química.

La bateria en una aeronau té una funció específica que és encendre els motors i alhora aquest encendran el generador. També pot ser utilitzada com a font d'energia limitada en cas de falla elèctrica. Per molt potent que sigui aquesta bateria la demanda d'un avió és tan gran que els sistemes que se subministren d'energia elèctrica acabarien ràpidament amb les reserves de la bateria. Per aquest mateix motiu existeixen generadors.

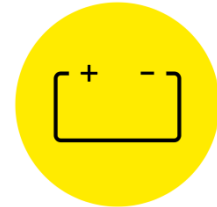


Figura 4. Il·lustració d'una bateria

### 3.3.2.2. El generador/Alternador

Gràcies a la rotació del motor podem transformar energia rotatòria amb energia elèctrica, que farà funcionar tots els sistemes de l'aeronau. La utilització d'un alternador (corrent alterna) o d'un generador (corrent continua), depèn molt de la demanda que necessitem al nostre avió. Si parlem d'una avioneta de baixes característiques com el CESNA 172, llavors hauréu d'utilitzar un alternador que treballa a baixos ritmes de revolucions i amb poca demanda d'energia. Si d'altra banda, parlem per exemple d'un boing 747 de grans envergadures, llavors hauréu d'utilitzar un generador (en el cas d'aquest avió 4/4 motors) per suplir tota la demanda d'energia elèctrica.

Per raons de seguretat el voltatge dels generadors o alternadors són una mica més superiors als de la bateria, per exemple, si comptem d'una bateria de 12V doncs el generador o alternador serà de 14V, ja que d'aquesta manera sempre la bateria estarà carregada i l'utilitzarem només en cas d'emergència.





### 3.3.2.3. Amperímetre

L'amperímetre és l'instrument utilitzat per mesurar l'intensitat del circuit elèctric. Aquest aparell pot ser tant elèctric com analògic, cosa que en el cas de l'aparell elèctric no surt



reflectat el voltatge, sinó que hi ha una llum que adverteix al pilot del mal funcionament del generador o alternador.

Imatge 4. Amperímetre..

### 3.3.2.4. Fusibles i circuits "breakers"

Els sistemes elèctrics de l'interior dels aparells estan protegits contra sobrecàrregues per petits fusibles o *breakers*. Uns anys enrere la implementació de fusibles era molt freqüent, però no molt lògica, ja que si un aparell patia una sobrecàrrega el fusible havia de ser restaurat a terra per un mecànic. Per aquesta mateixa raó, es van implementar els *breakers* que tenen instal·lat un botó i si es veuen sotmesos a una sobrecàrrega salten del seu lloc i permeten al pilot identificar-lo i tornar-lo a col·locar al seu lloc només polsant-lo.

### 3.3.2.5. Altres elements

Un avió pel que fa a complexitat pot ser molt difícil d'entendre i de fabricar ja que tots els aparells tenen la seva funció específica i necessiten la seva energia elèctrica per estar actius. Per exemple alguns elements que podríem destacar són: reguladors, inversors de polaritat, transformadors, etc. Per facilitar tota la connexió d'aquests elements els avions tenen el que és conegut com a *electrical bus* que és una barra de corrent que distribueix per prioritats electricitat a tots ells elements començant pels més bàsics i vitals per al vol, fins als menys utilitzats però mai, deixant a cap d'ells sense corrent.

### 3.3.2.6. Falles elèctriques



Normalment, si una aeronau pateix com el que es coneix com a "falla elèctrica", que vol dir que els sistemes elèctrics no funcionen, l'avió pot seguir a l'aire però planejant, ja que tots els comandaments de vol estan controlats pel sistema hidràulic. És molt estrany que aquest fet es produeixi ja que l'alimentació hauria de fallar en els dos motors ja que els dos compten amb generadors, i si fos el cas de perdre un d'ells, l'energia seria prioritària als instruments de vol, i les altres necessitats com els llums de cabina s'apagarien. És per aquest fet que quan es produeix un aterratge d'emergència els llums s'apaguen per donar pas d'electricitat a la cabina on són els pilots i han d'aterrar l'avió d'emergència.

### 3.3.3. Altres sistemes

#### 3.3.3.1. Sistema de pressurització de cabina

Aquest sistema és el bombeig actiu d'aire comprimit a la cabina de qualsevol aeronau per garantir la seguretat i el benestar dels ocupants. És necessari quan l'avió arriba a grans altituds, ja que la pressió atmosfèrica a grans altituds és massa baixa per tal de subministrar l'oxigen ( $O_2$ ) suficient als ocupants de l'aeronau.

Normalment la pressurització de cabina comença quan el pilot la designa a l'aeroport d'origen. És cert que els passatgers durant el viatge es troben a una pressurització equivalent a 7000 o 8000 peus que equivaldria a uns 2.2 km o 2.4 km d'altitud.

En les maniobres d'aterratge i d'enlairament aquestes pressions a l'interior de la cabina augmenten o disminueixen en funció de la pressió del lloc d'origen o d'arribada.

Una descompressió de cabina no deixa de ser res més que un canvi en la pressió de dins de l'aeronau que per culpa d'una fuga intenta equilibrar-se a la pressió de l'exterior. Coneixem tres tipus de descompressions de cabina:

► **Descompressió ràpida:** En aquest cas el passatger pot experimentar que els seus pulmons es descomprimeixin més de pressa que la cabina i si



l'ocupant està molt a prop del punt de fuga podria experimentar una força de succió cap a aquest punt, a part d'això, poden sortir objectes volant cap a la petita fuita o escletxa que està provocant aquest horror a bord de l'aeronau. Pel que fa a l'estructura interna de l'avió es podria experimentar una deformació interna dels panells o del mateix terra.

► **Descompressió explosiva:** Aquesta descompressió la coneixem pel canvi de pressió més ràpid a la cabina que als nostres pulmons (menys que 0.5 segons). Aquesta descompressió és molt més perillosa pels òrgans vitals que l'anterior.

► **Descompressió gradual:** Aquesta descompressió de cabina pot ser de les més perilloses ja que pot ser indetectable i els passatgers estar patint les conseqüències de la hipòxia (deficiència d'oxigen) sense adonar-se'n el que podria provocar que tot l'avió es desmaiés sense ser advertits per les alarmes i posteriorment patir danys cerebrals per insuficiència d'oxigen i finalment morir, convertint tota l'aeronau en un avió fantasma tripulat pel pilot automàtic, succés quan ja va passar en el vol *522 de Helios Airways* on 155 passatgers i 6 tripulants van perdre la vida a bord per falta d'oxigen abans d'estavellar-se a una muntanya de Grammatikó, Grècia.

Per intentar que els passatgers mantinguin la consciència i sobretot els pilots, es van idear les mascaretes d'oxigen grogues que cauen de la part superior del seient, aquestes tenen una capacitat limitada just perquè els pilots puguin descendir a una altitud on l'aire sigui respirable i no patir una descompressió explosiva.

### 3.3.3.2. Sistemes de seguretat, protecció i emergència

Un avió d'avui en dia està dotat de moltíssims sistemes de seguretat que s'han implementat amb els últims anys i, és veritat que l'ésser humà aprèn dels seus errors, però un error que compromet a un avió de 150 passatgers pot ser fatídic, per això, és un tema molt delicat a l'hora de dissenyar un avió. Per posar un exemple, els mateixos pilots cada dos mesos passen exàmens



psicològics, físics i mèdics per comprovar que les seves aptituds segueixen igual o millors ja que tenen centenars de vides a càrrec seu.

Alguns dels casos més alarmants que han ressaltat els últims anys poden ser el famós 11-S de Nova York quan 4 aeronaus van ser segrestades i posteriorment estavellades deliberadament. Des d'aquests esdeveniments la seguretat envers l'aviació es va posar molt estricta i es van implementar portes blindades a la cabina però, aquest mateix canvi va provocar l'accident del vol 9525 de Germanwings on el copilot deliberadament va tancar al pilot fora de la cabina i va estavellar l'aeronau als Alps francesos.




### 3.4. Combustibles

L'energia que propulsa a un avió que està operat per un motor s'obté a partir de la conversió d'energia química a energia mecànica. Això vol dir que el motor s'aprofita de la combustió del carburant per tal de generar el moviment rotatori de les aspes i d'aquesta manera generar propulsió.

Els motors d'avions comercials utilitzen dues classes de combustible, el Jet A-1 o el Jet A. Aquests són un tipus de querosè que procedeix de la destil·lació del cru del petroli que només s'utilitza en aeronaus propulsades per motors de turbina. Les principals característiques d'aquests dos combustibles, les trobareu a continuació:

Figura 5. Característiques del Jet A-1 i el Jet A

<b>JET A-1</b>		<b>JET A</b>
<b>38 °C</b>	- Punt d'inflamació -	<b>38 °C</b>
<b>210 °C</b>	- Temperatura d'auto ignició -	<b>210 °C</b>
<b>-47 °C</b>	- Punt de congelació -	<b>-40 °C</b>
<b>2230 °C</b>	- Temperatura de la flama adiabàtica màxima -	<b>2230 °C</b>
<b>0,804 kg/l</b>	- Densitat a 15°C -	<b>0,820 kg/l</b>
<b>42,80 MJ/kg</b>	- Energia específica -	<b>43,02 MJ/kg</b>
<b>34,7 MJ/l</b>	- Densitat d'energia -	<b>35,3 MJ/l</b>



La utilització dels dos carburants dependrà de les característiques del motor i sobretot de les característiques de l'ambient on voldrem operar la nostra aeronau.



## 3.5. Control de l'aparell

L'avió, com tots els vehicles, té una sèrie de comandaments i botons que tenen una funció específica i donen un control total al pilot de l'aeronau. Els avions destaquen per la gran quantitat de botons que tenen a la cabina i per les seves grans envergadures. Per aquesta mateixa raó, quan el vehicle és molt gran necessitem tenir tot el control des d'un sol lloc, la cabina. Dividirem aquest apartat en dues parts, el control manual que tenen els pilots sobre les superfícies alars (ales, timons...) i el pilot automàtic, que és vital per l'aviació a grans escales.

### 3.5.1. Controls manuals

El control per part dels pilots d'un avió és molt similar a la conducció d'un cotxe, però amb la diferència que en aquest cas, controlem també la profunditat i l'elevació de l'aparell.

Dividirem aquest punt en els següents apartats:

#### ► Direcció

Per controlar la direcció de l'aparell existeixen dos tipus de comandaments dedicats a transmetre el moviment específic a l'aeronau.

Un d'ells és el volant o palanca de moviment. Normalment es caracteritza per ser una espècie de volant amb dues banyes en comptes de ser circular, però actualment, s'està optant per la implementació de *joysticks* que tenen molta més precisió i suavitat. Aquests comandaments poden transmetre els moviments de guerxament o de capcineig (eix longitudinal i transversal respectivament).

L'altre comandament són els pedals de l'avió que són els que permeten el moviment sobre l'eix vertical de l'aeronau, i sobretot els utilitzats per maniobrar quan l'avió està a terra. Aquests tenen una funció alternativa que és la d'activar



els frens ja que si es pressionen els dos alhora, els frens de les rodes comencen a accionar-se.

### ► Potència

Pel que fa al control de la potència de l'aeronau per adquirir velocitat, tot és controlat per les palanques dels motors o "*throttle*" en anglès. Com que es tracta de dues palanques independents s'han d'empènyer uniformement per proporcionar la mateixa potència als dos motors simultàniament per no alterar la força propulsora de l'aeronau.

### ► Altres comandaments

Les cabines dels avions es caracteritzen per estar plenes de botons i palanques, i la veritat és que és del tot cert, ja que han de controlar tots els sistemes i components de l'aeronau. Bàsicament els més importants són els que estan més a prop dels pilots, com per exemple el pilot automàtic o les pantalles de navegació. Però, el que s'ha de remarcar, és que un dels més importants és l'ordinador d'abord que avisa de qualsevol possible falla de qualsevol aparell per tal que els pilots puguin actuar amb rapidesa i seguretat en funció de la situació.

## 3.5.2. Pilot automàtic

A l'hora de conduir un avió i un cotxe poden existir petites diferències, però el que si és cert, és que pel que fa a l'orientació a l'hora de conduir una aeronau, és molt diferent a conduir un cotxe per una carretera. Una de les diferències més grans és que quan pilotem un avió l'estem pilotant en un espai on res està marcat i la vista pot jugar males passades. Com tots sabem, al cel no hi ha carreteres i gràcies al pilot automàtic podem aconseguir arribar d'un aeroport a un altre.





Algunes de les capacitats del pilot automàtic de l'avió són:

► **Programar i mantenir el rumb o navegació:** Existeix un indicador on el pilot pot introduir el rumb desitjat però, el més normal en vols comercials, és que el pilot introdueixi la ruta que realitzarà abans d'enlairar-se per tal de seguir-la i estalviar temps i combustible. També és cert que el pilot haurà de realitzar petites correccions en funció del vent ja que és un factor que el pilot automàtic no pot tenir en compte.

► **Mantenir l'altitud:** Als pilots, una vegada s'han enlairat, la torre de control els indica a quina altitud han de volar. En funció de l'altitud demandada, activen aquesta propietat del pilot automàtic que permet escollir la inclinació d'ascens o descens de l'aeronau en funció de l'altitud introduïda.

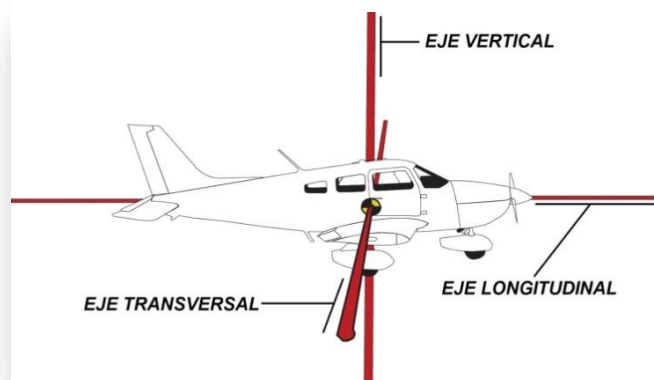
► **Controlar els instruments d'aproximació:** Els moments crítics del vol, solen ser l'enlairament i l'aterratge, però és cert que el pilot automàtic pot encarar l'avió a pista perquè el pilot només tingui la tasca d'aterrar l'aeronau, i també actualment s'han aconseguit enlairaments i aterratges per part de pilots automàtics, però al ser la part més crítica d'un vol, les operacions d'aquestes maniobres recauen sobre els pilots.

## 4. Moviments d'un avió

### 4.1. Moviments bàsics d'un avió

L'avió és un mitjà de transport que a diferència, per exemple, dels cotxes, pot realitzar els seus moviments en tres eixos diferents. Aquests tres eixos són: l'eix longitudinal, el transversal i el vertical.

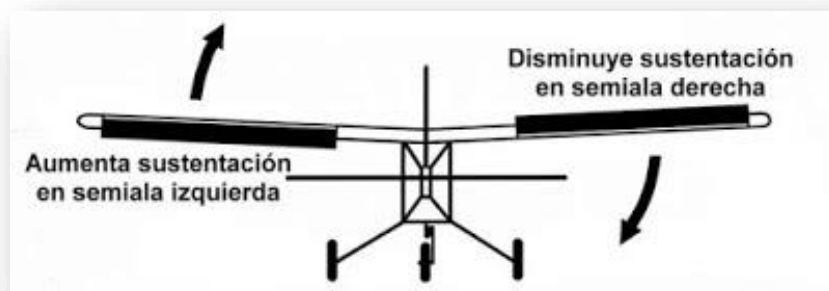
Imatge 5. Eixos d'una aeronau.



#### 4.1.1. Eix longitudinal

El moviment que correspon a aquest eix és el moviment de balanceig. Aquest, és produït pels alerons de l'aeronau que provoquen una inclinació a dreta o esquerra de l'aeronau per tal d'encaminar l'avió en uns graus específics, en el seu eix longitudinal que va des del morro de l'avió, fins a la cua. Normalment s'utilitza per fer grans variacions del rumb de l'aeronau o per les maniobres d'aterratge.

Imatge 6. Moviment sobre l'eix longitudinal.

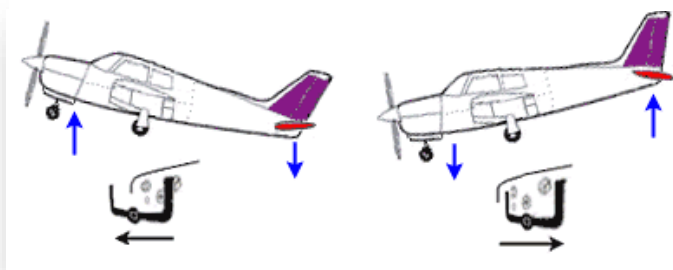


En el cas que vulguem girar a l'esquerra, el pilot haurà de girar la seva palanca de comandament a l'esquerra, i mitjançant un sistema hidràulic, l'aleró esquerre pujarà provocant una petita pèrdua de sustentació, i el dret baixarà provocant una major sustentació.

#### 4.1.2. Eix transversal

El moviment que correspon a aquest eix és el capcineig. És produït pels elevadors controlats pel timó de profunditat i situat a la cabina de l'avió. Quan el pilot vol guanyar altitud o disminuir aquesta altitud utilitza el timó de profunditat per realitzar aquests respectius moviments. Per posar un exemple, quan l'avió està a punt d'enlairar-se i el pilot arriba a la velocitat adequada d'enlairament, que correspon a l'avió en funció del pes total de l'avió, el que fa és empènyer cap a ell la palanca de comandament, això el que provoca és que els elevadors pugin i l'aire impacti contra ells, realitzant una força a la cua que provocarà que tota la part de davant s'aixequi permetent l'enlairament.

Imatge 7. Moviment sobre l'eix transversal.

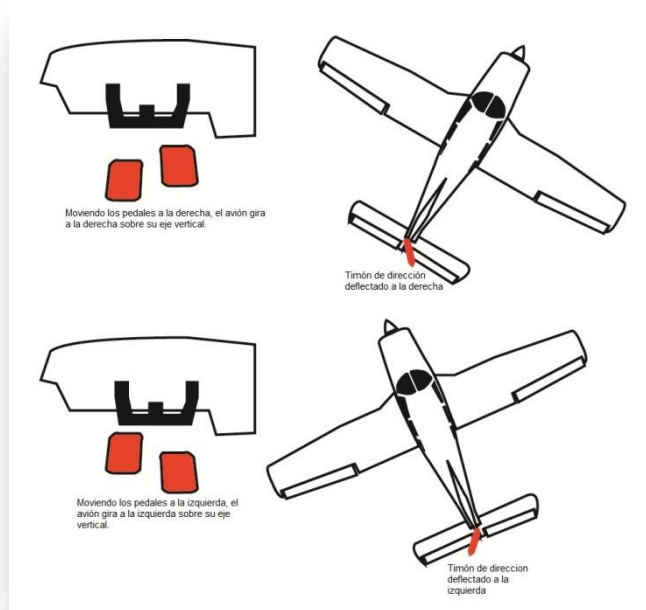


#### 4.1.3. Eix vertical

Pel que fa al moviment que correspon a l'eix vertical s'anomena guinyada. Aquest moviment és produït pel timó de direcció o de cua i està controlat pels pedals de direcció. Aquest provoca un gir sobre l'eix vertical de l'aeronau que s'utilitza bàsicament per fer petites correccions en el rumb ja que a grans velocitats aquest efecte és molt poc visible en l'aeronau al contrari del balanceig per exemple.

També cal mencionar que aquest moviment s'utilitza per contrarestar altres forces, una d'elles, són per exemple els vents creuats de cua que provoquen el desplaçament lateral de l'aeronau i la utilització del timó de cua ajuda a corregir aquesta desviació, aquest fet sol passar en aterratges en aeroports amb molt vent.

Imatge 8, Moviment sobre l'eix vertical.





## 4.2. Moviments “acrobàtics” d'un avió

Quan parlem d'avions normalment al cap se'ns apareix la imatge d'un aeroport amb els grans avions comercials capaços de transportar centenars de passatgers, però el món de l'aeronàutica és tan gran com l'ésser humà ha estat capaç de fabricar. Per aquesta mateixa raó, existeixen milions de models d'aeronaus, i en aquest punt vull fer esment de dos grans exemples, un són els avions acrobàtics, i els altres els caces, són molt semblants pel que fa a la seva maniobrabilitat, però un d'ells arriba als 300 km/h i l'altre als 3000km/h. Una de les grans diferències entre aquests dos tipus d'aeronaus és que principalment els caces són utilitzats l'àmbit militar per la seva gran velocitat i alhora gran maniobrabilitat permet moure's amb rapidesa i difícilment ser detectat, en canvi pel que fa als avions acrobàtics són utilitzats en àmbits esportius com carreres acrobàtiques o per usos recreatius.

Imatge 9. Avió acrobàtica participant en la Red bull air race.





## 5. Perquè vola un avió?



2

Potser una de les preguntes més freqüents que ens podem plantejar a l'hora de volar en avió és com poden volar. Cal dir que molta gent pensa que aquest fet és gràcies als motors; i en gran part sí, però la base fonamental perquè un avió pugui volar és el que coneixem com a sustentació, originada per les ales.

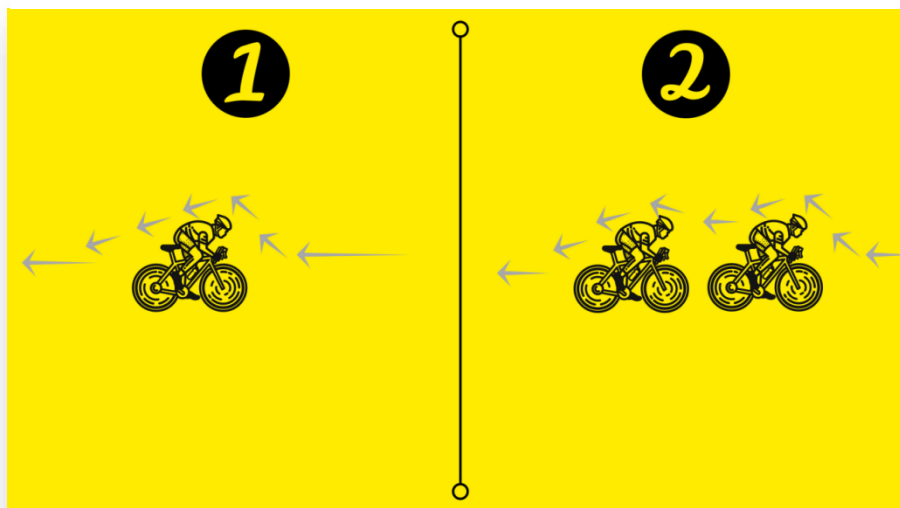
A continuació explicarem com un avió és capaç de volar, a partir dels conceptes de resistència aerodinàmica, la força propulsora, la sustentació i el pes.

Primer de tot aclarirem els conceptes:

### 5.1. La resistència aerodinàmica

La resistència aerodinàmica és tot el conjunt de forces que pateix un cos en moure's, a conseqüència del fregament de les partícules de l'aire amb el cos en moviment. Un exemple molt clar és la resistència que troba un ciclista que va a una velocitat considerable amb el fregament de l'aire (Figura 6, concepte 1). Però si un altre ciclista es col·loca just al darrera del primer ciclista, la resistència no serà la mateixa pels dos (Figura 6 concepte 2), ja que el segon

Figura 6. Exemple del ciclista





ciclista estarà aprofitant el que es denomina com a “túnel de succió aerodinàmic”, ja que és l'espai on la resistència és mínima i per tant les partícules encara no s'han ajuntat del tot a conseqüència del pas de l'altre ciclista.

En el món de l'aviació, és molt important saber la resistència total de l'aeronau per calcular els límits físics que té el nostre avió i per no excedir-los en cap concepte. Per aquest càlcul existeix una fórmula que adjunta diversos conceptes d'una aeronau:

$$D_i = \frac{2L^2}{\rho \pi b^2 v^2 e}$$

On:

- **$D_i$**  és la resistència aerodinàmica (*drag*) [N]
- **$L$**  és la força de sustentació [N]
- **$\rho$**  és la densitat del fluid [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- **$b$**  és l'envergadura de l'ala [m]
- **$v$**  és la velocitat [m/s]
- **$e$**  és el factor d'eficiència de l'ala (entre 0.65 i 0.85 depenent de l'ala)
- **$\pi$**  és el nombre pi (3.1415926...)



## 5.2. La força propulsora

La força propulsora és bàsicament la força produïda pels motors. Aquesta força té com a objectiu vèncer la resistència aerodinàmica. Si posem en el cas d'un avió sense motors parat a la pista, no volarà, ja que no té cap força propulsora que l'ajudi a guanyar aquesta resistència. En canvi, si l'avió és empentat per una força, les ales produiran l'efecte que coneixem com a sustentació.

Imatge 10. Motor Rolls Royce.

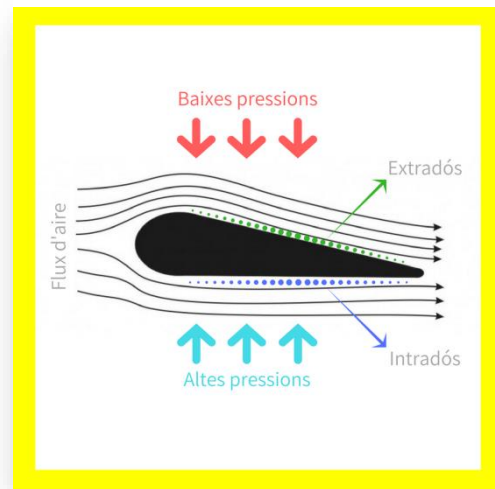




### 5.3. La sustentació

Aquest efecte denominat sustentació és la força generada per un cos que es desplaça per un fluid de direcció perpendicular a la del moviment del corrent incident. Per entendre molt millor aquest fet, tenim a continuació la figura 7 d'un perfil alar on podem trobar senyalitzat la zona d'altres pressions i de baixes pressions, que en retrobar-se al final de l'ala, produiran una força ascendent denominada sustentació. Aquestes àrees de baixes i altres pressions produeixen diferents velocitats sent, a la part de les baixes pressions la velocitat molt més gran que a la d'altres pressions. Aquest efecte que denominem sustentació té com a responsable el principi de Bernoulli.

Figura 7. Esquema de pressions en un perfil alar



#### 5.3.1. El principi de Bernoulli

El principi de Bernoulli és una aplicació directa del principi de la conservació d'energia, per tant si un fluid no intercanvia energia amb l'exterior (motors, escalfor...) aquesta es manté constant. Aquest teorema considera els tres únics tipus d'energia que posseeix un fluid: energia cinètica, energia potencial gravitatòria, i energia deguda a la pressió del flux (hidroestàtica).

- ▶ Energia cinètica (deguda a la velocitat del flux):  $\frac{1}{2} \rho v^2$
- ▶ Energia potencial gravitatòria (deguda a l'altura del flux):  $\rho gh$
- ▶ Energia del flux (deguda a la pressió del flux):  $P$

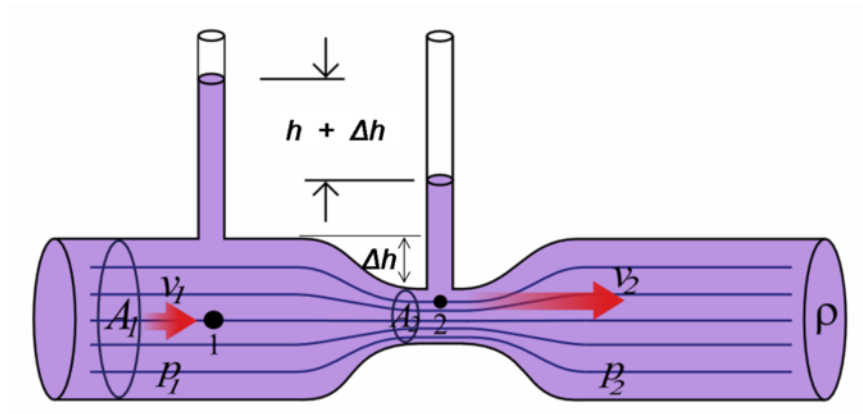


Per tant si el teorema considera aquests tres tipus d'energia que són els únics en quant parlem de fluids, l'equació de Bernoulli és el conjunt de les tres:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

On:

- **v** és la velocitat del flux del fluid a la secció
- **g** és la constant de la gravetat (9,807 m/s<sup>2</sup>)
- **h** es l'altura d'on mesurem el flux
- **P** és la pressió al llarg de la línia de corrent del fluid
- **p** és la densitat del fluid



Imatge 11, Exemple del principi de Bernoulli.

Si ens fixem en aquesta imatge, podem observar la diferència de pressions que hi ha entre el punt 1 i el punt 2. També es pot observar com la velocitat al punt 1 és molt més baixa que al punt 2, confirmant d'aquesta manera el principi de Bernoulli on s'afirma que un fluid, si no intercanvia energia amb l'exterior, aquesta roman constant. En el cas de la imatge, l'energia com que no pot mantenir-se constant amb la pressió es transforma en velocitat.

Pel que fa a les aplicacions d'aquest principi, tenim per exemple xemeneies, canonades, o fins i tot les mans d'un nadador que tallen l'aigua creant zones de major pressió i menor pressió donant lloc a una certa propulsió. Però pel que fa



a l'aviació, com hem dit abans, aquest principi és la base de la sustentació, efecte que mantindrà a l'aeronau a l'aire. L'única cosa que podem trobar de diferent, és com l'ala aprofita aquestes altes i baixes velocitats amb ajuda dels flaps (per augmentar la sustentació), o amb ajuda dels *spoilers* (per reduir la velocitat, frenant les altes velocitats de l'extradós (part superior de l'aeronau)). El que si és cert, és que l'avió pot jugar amb les diferències de pressions que troba a l'ala en funció de l'angle d'atac que determina aquesta. L'angle d'atac d'un perfil alar és l'angle que formen la corda geomètrica del perfil en funció de la direcció del vent. Amb paraules més senzilles la inclinació vertical que pot mantenir l'aeronau.

### 5.3.2. La perduda de sustentació

Quan una aeronau deixa d'adquirir sustentació, i per tant no és capaç de mantenir-se a l'aire conseqüentment comença a caure pel seu propi pes.

Normalment la perduda de sustentació en una aeronau és deguda al sobrepassament de l'angle màxim d'atac i aquest angle està determinat en funció del tipus d'ala que té l'aeronau, i que en cap concepte el pilot no pot sobrepassar, ja que sinó l'aeronau segurament entrarà en perduda. En el cas hipotètic que l'avió es trobi en aquesta situació a una certa altitud el procediment a seguir pels pilots, normalment, és empènyer els comandaments de vol endavant, fent d'aquesta manera que el morro de l'avió apunti direcció a terra i en aquest just instant, els pilots suaument incrementaran la velocitat amb les palanques de control del motor (segurament fins al màxim). Quan l'aeronau hagi adquirit una certa velocitat recuperaran el control de l'aeronau i podran ascendir per mantenir el nivell de vol que tenien abans de l'operació. El gran problema de les perdudes de sustentació es troba quan aquestes es produeixen molt a prop del terra fent improbable l'operació esmentada anteriorment, on els pilots hauran d'intentar caure el més suau possible. Desgraciadament, en els casos on han patit una perduda molt a prop del terra, els tripulants i passatgers de l'aeronau estavellada moren, ja que cauen des d'una certa altura amb tot el pes



de l'aeronau, i el que és pitjor, amb tot el combustible altament inflamable (ja que acaben d'enlairar-se), fent que el que era fa pocs segons una magnífica obra de l'enginyeria moderna es transformi en una enorme bola de foc.



## 5.4. El pes

Finalment el pes d'una aeronau no és res més que el conjunt de masses que presenta l'objecte que ha de realitzar l'acció de volar. Per tant abans de cada enlairament s'hauran de fer un seguit de càlculs que englobaran la quantitat de passatgers, d'equipatge, la duració del vol, etc. Que afectaran la quantitat final de combustible que serà carregada a l'aeronau. Amb ajut d'un programa similar al que utilitzen les aerolínies he realitzat els càlculs de combustible d'un Airbus A320, amb origen Barcelona, El Prat (LEBL), i amb destinació Madrid, Barajas (LEMD). A continuació teniu el que es denomina *loadsheets* que és el paper que el pilot revisarà per entregar a l'operari que introduirà el combustible a l'aeronau.

### LOADSHEET:

```

=====
L O A D S H E E T          CHECKED          APPROVED          EDNO
                              4910

ALL WEIGHTS IN POUNDS

DATABASE MAR/01 AIRAC 1803/ AIRBUS A320

FROM/TO      FLIGHT      A/C-REG      VERSION      CREW      DATE      TIME
LEBL/LEMD    2632        00CMX        18FB14       2/03      18AUG18   0927
TC 261 (WEST)

                                WEIGHT  DISTRIBUTION
LOAD IN COMPARTMENTS          004092  B110/37
PASSENGER/CABIN BAG          021004  Y118/178
                                EFU.5558/  RSV.6837

TOTAL TRAFFIC LOAD            025096
DRY OPERATING WEIGHT          093051
ZERO FUEL WEIGHT ACTUAL       118147  MAX 134726
TAKE OFF FUEL                 012396
TAKE OFF WEIGHT ACTUAL        130543  MAX 162068
TRIP FUEL                     005558
LANDING WEIGHT ACTUAL          124984  MAX 142223

+-----+
|                LAST MINUTE CHANGES |
| DEST  SPEC  CL/CPT  + - WEIGHT |
|                |
|                |
+-----+
    
```



```

|
|
+-----+
UNDERLOAD BEFORE LMC      31524                LMC TOTAL + -
-----
SI BLOCK TIME 01:00   RESERVE 01:15   TIME TO EMPTY 02:15   CI 63
SI TRIP FUEL VARIANT Feelthere CFM 4969 LBS
SI TRIP FUEL VARIANT Project Airbus 5364 LBS
END LOADSHEET          [ A320 ]          [ LEBL-LEMD ]          [ 18AUG18 ]
=====
Calculat a través de la pàgina: http://fuelplanner.com/

```

En el cas d'aquest vol el pes total de l'avió seria de 529.103 lliures (sumant tota la columna que correspon a *weight* (pes)) o 5,6 tones. Amb tot aquest pes, el combustible que s'hauria de consumir seria de 5558 lliures tenint una reserva en cas d'emergència o d'inhabilitació de pista, seria de 6837 lliures, donant un total de 12396 lliures de combustible carregat a l'aeronau.

En definitiva, un cop tenim clar els conceptes de resistència aerodinàmica, força propulsora, sustentació i el pes, explicarem com és capaç de volar un avió.

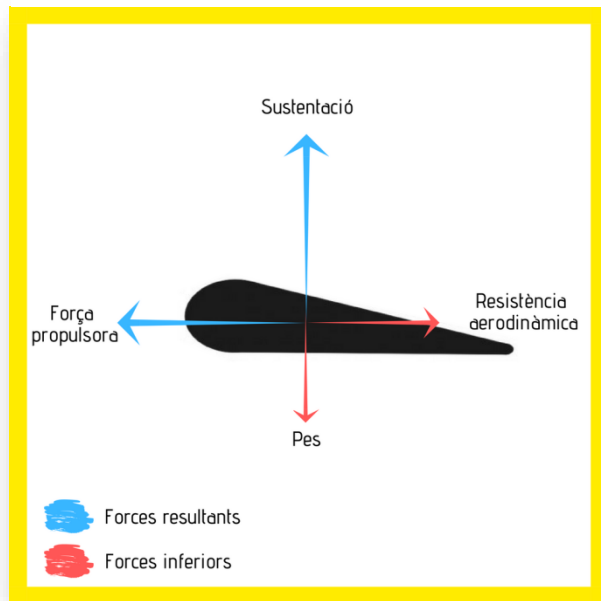
Primer de tot posem-nos en situació:

La nostra aeronau està aturada a la pista d'enlairament i el nostre objectiu és volar en una certa direcció. Llavors, vol dir que només una força està actuant sobre ella que és la gravetat ( $9,807 \text{ m/s}^2$ ), i conseqüentment la gravetat es tradueix en el pes. Si el nostre objectiu és enlairar-nos, hem de produir una força superior al nostre pes per tal d'anar cap amunt. Si per exemple volem llançar una pedra totalment vertical, haurem d'exercir una força superior al pes de la pedra per llançar-la, doncs d'igual manera passa amb els avions. Però si només contrarestem el pes, l'avió no volarà en la direcció desitjada, ja que només realitzarà un moviment totalment vertical. Per tant, primer de tot, volem



donar-li un impuls endavant per tal d'efectuar aquesta operació en la direcció desitjada cosa que generarem únicament amb una força propulsora amb l'ajut del nostre motor. Per tal d'evadir la resistència produïda per l'aeronau el motor haurà de tenir la potència necessària per contrarestar-la. En aquest mateix instant on l'avió ja està a una certa velocitat generada per la propulsió, i a l'ala s'està produint un efecte, l'efecte de sustentació,

Figura 8. Esquema de forces en una aeronau



generat per la separació de l'aire al pas de l'aeronau. L'aire que circula per la part superior anirà més de pressa que el que circula per l'inferior, ja que en la part superior les pressions són més baixes i ajuden al fet que l'aire adquireixi més velocitat, produint d'aquesta manera una força vertical, i ara si contrarestem el pes del qual parlàvem anteriorment. Per tant, en el moment que la força de sustentació és superior al pes i tenim l'impuls proporcionat pels motors que són superiors a la resistència ens enlairem, donant lloc a una de les millors construccions de l'ésser humà.







## II. Bloc pràctic





## 6. Procés de fabricació de l'aeronau no tripulada



Primera<sup>3</sup>  
part



Segona<sup>3</sup>  
part

### 6.1. Objectiu de l'aeronau

La part pràctica d'aquest treball de recerca serà bàsicament la construcció d'una aeronau no tripulada. Aquesta aeronau tindrà un objectiu específic que serà l'ajuda, mitjançant el reconeixement aeri, als equips d'emergències i rescat.

Per entendre'ns millor l'aeronau tindrà localitzada a la part inferior una petita càmera que retransmetrà en viu el que estigui sobrevolant l'aparell no tripulat. El sistema que s'utilitzarà per retransmetre en temps real la imatge serà un sistema anomenat FPV (*First Person View*) o més ben conegut com a vista en primera persona. La càmera transmet la imatge per una freqüència específica (5.8 Ghz), fins a un receptor que estarà connectat a un "smartphone" on es veurà la retransmissió de la càmera en directe. A part d'aquest objectiu, l'avió també haurà de ser fàcil de transportar pel que fa al tema del pes, per tal de facilitar el transport als equips de rescat o d'emergències.

En resum els objectius principals de la part pràctica són:

- ▶ Dissenyar i construir una aeronau operativa.
- ▶ Introduir el sistema FPV a l'aeronau per retransmetre la imatge de la part inferior de l'aeronau.
- ▶ Que sigui lleugera.



## 6.2. Càlculs de la sustentació, el pes, la resistència aerodinàmica i la potència

Per calcular la sustentació, el pes, la potència i la resistència aerodinàmica de la nostra aeronau necessitarem aplicar la teoria a la realitat. Haurem de començar pel pes que tindran tots els nostres components i també el pes de la mateixa estructura. Tot seguit, amb els càlculs del pes podrem esbrinar la sustentació, i finalment podrem trobar la potència que hauran de tenir els nostres motors per tal de vèncer la resistència aerodinàmica i proporcionar la força propulsora que necessitarem per adquirir velocitat i provocar l'efecte de sustentació.

### 6.2.1. El pes

Primer de tot, calcularem les dades segures que tenim que és el pes de la càmera, de la bateria que subministrarà la càmera, etc.

- ▶ Càmera FPV = 18g
- ▶ Conjunt de càmera, cablatge i motor = 22g
- ▶ Bateria 600 mAh = 16g
- ▶ Bateria 500 mAh = 12g
- ▶ Estructura EPS = 17g

Per tant la massa total de l'aeronau és de 85 grams. Per calcular el pes primer de tot passem els grams a kilograms:

$$85 \text{ g} \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 0.085 \text{ kg}$$

Un cop tenim la massa, només ens cal aplicar la fórmula del pes:

$$p = m \cdot g$$

On:

- **p** és el pes [Newtons (N)]
- **m** és la massa [Kilograms (kg)]
- **g** és la gravetat [9.807 m/s<sup>2</sup>]

Per tant:

$$p = 0.085 \cdot 9.81$$

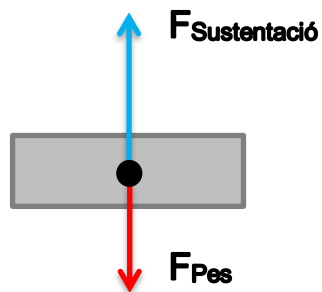
$$p = 0.833N$$

**Pes total de l'aeronau = 0.833N**

### 6.2.2. La sustentació

Un cop sabem la força total que està exercint el pes hem de deduir que la força de sustentació haurà de ser superior o igual per tal que puguem enlairar-nos.

Per tant, perquè l'aeronau pugui volar, haurà de correspondre a la següent deducció:



$$F_{Pes} \leq F_{Sustentació}$$

Arribats a aquest punt, aplicarem la fórmula que ens relaciona la força de sustentació amb el coeficient aerodinàmic:

$$L = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_L$$

On:

- **p** és la densitat de l'aire [kg/m<sup>3</sup>]
- **v** és la velocitat de l'aparell [m/s]



- **L** és la força de sustentació [N]
- **A** és la superfície alar [m<sup>2</sup>]
- **C<sub>L</sub>** és el coeficient aerodinàmic

Primer de tot expressarem totes les dades abans de calcular:

- **p** densitat mitjana de l'aire a temperatura ambient = 1.30kg/m<sup>3</sup>
- **v** serà la nostra incògnita per esbrinar quina serà la velocitat que haurà de proporcionar el motor
- **L** com bé hem dit abans haurà de ser igual o superior al pes, per tant en el nostre cas determinarem que serà igual a la força del pes (0.833N) per tal de mantenir-se.
- **A** calcularem l'àrea de la nostra superfície alar, sense tenir en compte la curvatura: 0.5m · 0.07m = 0.035m<sup>2</sup>
- **C<sub>L</sub>** serà igual, a la seva fórmula:  $C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}pv^2A}$

Ara si, ja tenim totes les dades i procedim al càlcul de la velocitat a través de la força de sustentació:

$$L = \frac{1}{2}pv^2A \frac{L}{\frac{1}{2}pv^2A}$$

$$0.833 = \frac{1}{2} \cdot 1.3 \cdot v^2 \cdot 0.035 \cdot \frac{0.833}{\frac{1}{2} \cdot 1.3 \cdot v^2 \cdot 0.035}$$

$$v \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$$

**La velocitat que haurà de proporcionar-nos el motor de la nostra aeronau, serà qualsevol valor que no sigui 0 m/s**



### 6.2.3. La resistència aerodinàmica

Un cop tenim la força de sustentació calculada, establim una velocitat fixa que ens servirà pel càlcul de la resistència i la potència. En el meu cas la velocitat és de 1m/s.

Llavors sabent que la formula de la resistència aerodinàmica és:

$$D_i = \frac{2L^2}{\rho \pi b^2 v^2 e}$$

Calculem:

$$D_i = \frac{2 \cdot 0.833^2}{1.3 \cdot \pi \cdot 0.5^2 \cdot 1^2 \cdot 0.65}$$

$$D_i = 2.09 \text{ N}$$

**La resistència aerodinàmica tindrà una força equivalent a 2.09 N**

### 6.2.4. La potència

Per finalitzar, només ens cal calcular la potència que haurà de proporcionar el nostre motor per tal que pugui volar la nostra aeronau. Aquesta potència la trobarem a través de la relació de la potència amb la força i la velocitat:

$$P = F \cdot v$$

Llavors:

$$P = 2.09 \text{ N} \cdot 1 \text{ m/s}$$

$$P = 2.09 \text{ W}$$

**La potència dels nostres motors serà com a mínim de 2.09W**



Finalment, després de tots els càlculs realitzats haurem d'adquirir un motor que mínim tingui 2.09 W de potència per tal de generar aquesta velocitat d'1m/s.





## 6.3. Obtenció dels materials

Quan es pensa a fabricar una aeronau és molt important tenir en compte l'ús que volem proporcionar-li a l'aparell. Tant per tant, en el nostre cas, l'aeronau està enfocada en gran importància al nivell visual per ajudar a detectar i visualitzar el que està sobrevolant el nostre avió, i sobretot a la part de transport. Llavors busquem un avió lleuger que sigui capaç de complir l'objectiu demandat, i sobretot fàcil de transportar.

### 6.3.1. Estructura

Amb aquests punts a tenir en compte, el primer que vaig decidir va ser el material que utilitzaríem per construir l'estructura i les parts mòbils de l'avió. Aquest material va ser el poliestirè expandit (EPS) derivat del poliestirè (PS). Aquest material no va ser l'únic que em va cridar l'atenció ja que podria destacar d'entre altres la fusta de balsa que era també una gran candidata a ser la utilitzada per a l'estructura, però em van decantar les característiques del poliestirè expandit, ja que aquest material era resistent a la humitat, per tant em mantindria els components elèctrics lluny de la humitat, i a més a més, és capaç d'absorbir els impactes, aspecte que per una aeronau d'aquestes característiques pot venir molt bé, ja que sense experiència de vol podem patir més d'un ensurt.

### 6.3.2. Els components

Alhora de l'adquisició dels components per controlar l'aeronau i donar potència amb un motor vaig veure, per qüestió de pressupost, que no era viable comprar totes les peces per separat, pel que vaig decidir comprar una aeronau de baix cost per extreure-li les peces que necessitava, i arran de l'adquisició dels components, vaig poder dissenyar l'aeronau de forma eficient per complir l'objectiu. Però també és cert que el sistema FPV, necessari per visualitzar el



que l'aeronau sobrevolava el vaig haver de comprar per separat per incorporar-lo a la meua pròpia aeronau.

### 6.3.3. Pressupost

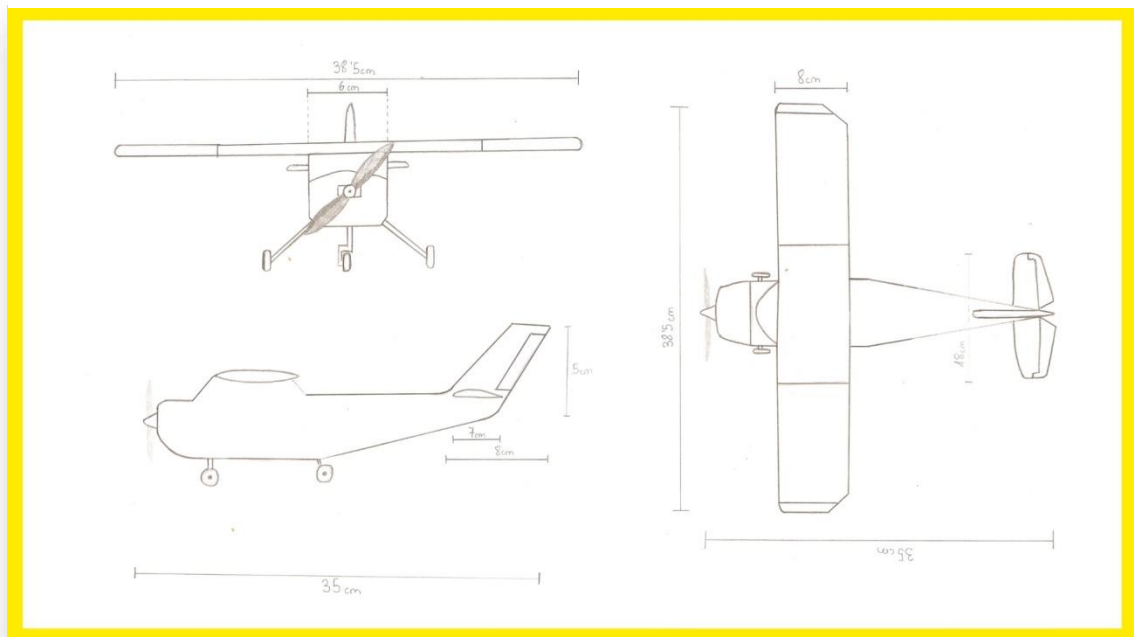
A continuació trobareu una taula amb el pressupost real que ha tingut la fabricació de l'aeronau, i el que m'hagués costat si hagués comprat tot per separat:

Pressupost real		Pressupost individual	
GoolRC F949 (Avioneta amb tots els components)	49.99€	Motor sense nucli	1.99€ (x3)
EPS (Poliestirè expandit)	4€	Placa base amb receptor	25.79€
Càmera amb transmissor FPV 5.8 Ghz	19.99€	Comandament a distància	55.48€
Receptor FPV 5.8 Ghz i adaptador Android	13.01€	EPS (Poliestirè expandit)	4€
		Bateria 3.7V 600mHa LIPO	2.8€ (x2)
		Càmera amb transmissor FPV 5.8 Ghz	19.99€
		Receptor FPV 5.8 Ghz i adaptador Android	13.01€
<b>Total:</b>	<b>86.99€</b>	<b>Total:</b>	<b>129.84€</b>

## 6.4. Disseny gràfic de l'aeronau

Un cop vaig tenir clars els objectius de l'aeronau i els materials que utilitzaria per a la seva construcció vaig començar a pensar quina tipologia podria utilitzar per crear la meua aeronau, la forma de les ales, la localització del motor, etc. La inspiració em va arribar en veure en un aeroplà una avioneta molt rudimentària i petita, però que allotjava totes les característiques que buscava. Aquesta avioneta, més coneguda pel seu model "Cessna 172", em va servir d'inspiració per les primeres idees de la meua aeronau. Vaig començar a realitzar uns quants esbossos i em vaig quedar amb la idea dels que teniu a continuació:

Figura 9. Esbós inicial de l'aeronau



Arribats a aquest punt vaig decidir anar un pas més enllà i crear el plànol del que seria la meua aeronau, amb un programa anomenat "NanoCAD". Aquest programa informàtic enfocat al disseny i elaboració de plànols de tota mena, em va ajudar a localitzar tots els components que allotjaria la meua aeronau per tal de tenir una pauta a l'hora de donar forma al poliestirè expandit. Però quan tenia finalitzats tots els plànols, no sé realment el que va passar, que en una



de les còpies que realitzava perquè estigues tot guardat, no es va guardar res, i tot el treball que vaig realitzar no va servir de res.

Molt empenyat amb mi mateix, vaig buscar altres alternatives a aquest programa que em va portar alguns problemes i algunes van ser rebutjades perquè s'havien de pagar els programaris. Llavors vaig trobar un anomenat FreeCAD que complia totes les meves necessitats i a més a més era gratuït. Em va portar un parell d'hores esbrinar quines eren les possibilitats del programa però, quan vaig començar a agafar agilitat, em va semblar una eina fantàstica per l'elaboració de plànols 2D i 3D.

A continuació teniu algunes imatges del programa elaborant els meus plànols:

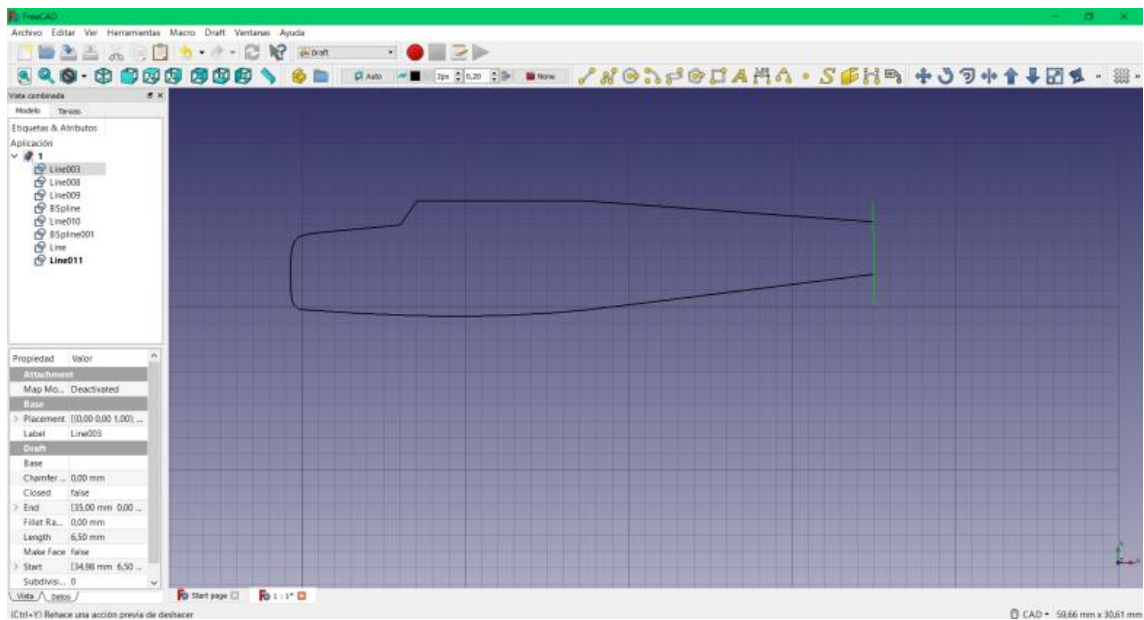


Figura 11. Construcció dels plànols de l'aeronau amb el programa FreeCAD (1)

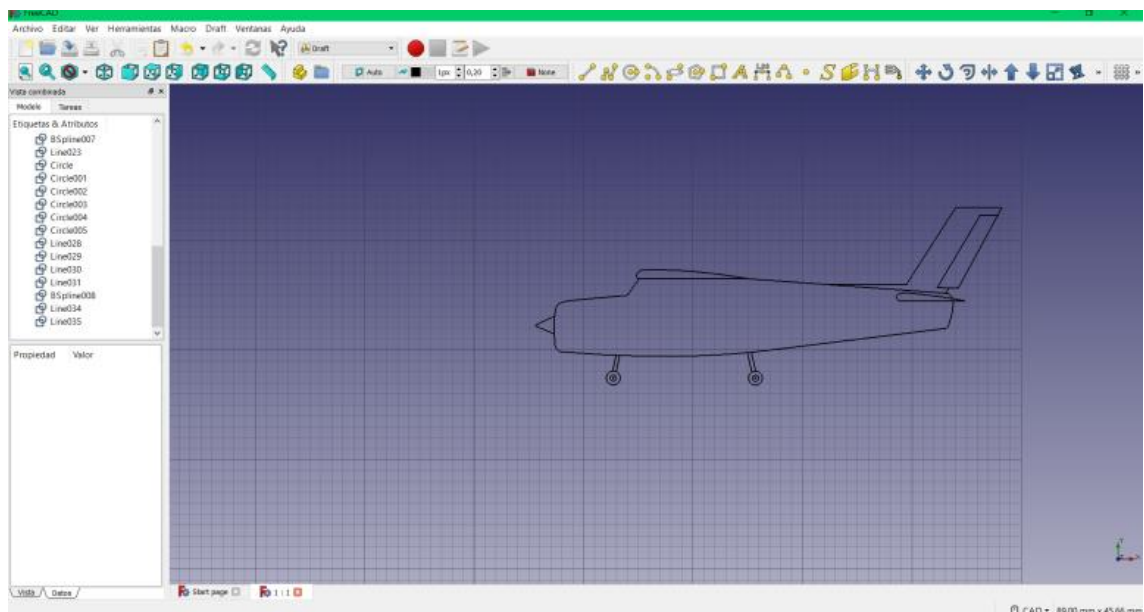


Figura 10. Construcció dels plànols de l'aeronau amb el programa FreeCAD (2)

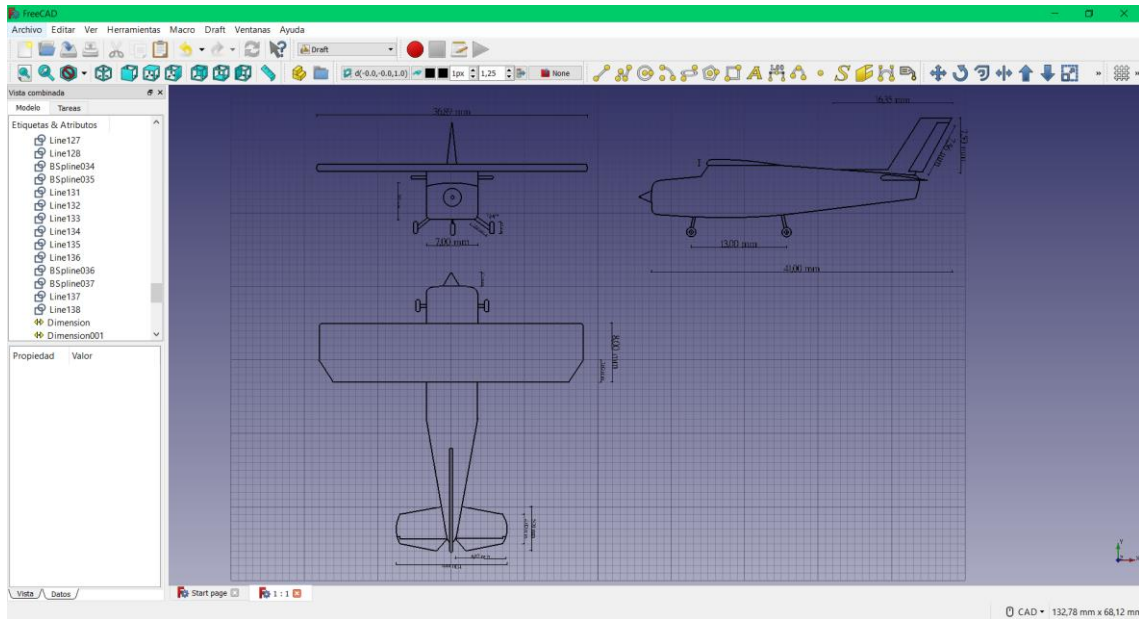
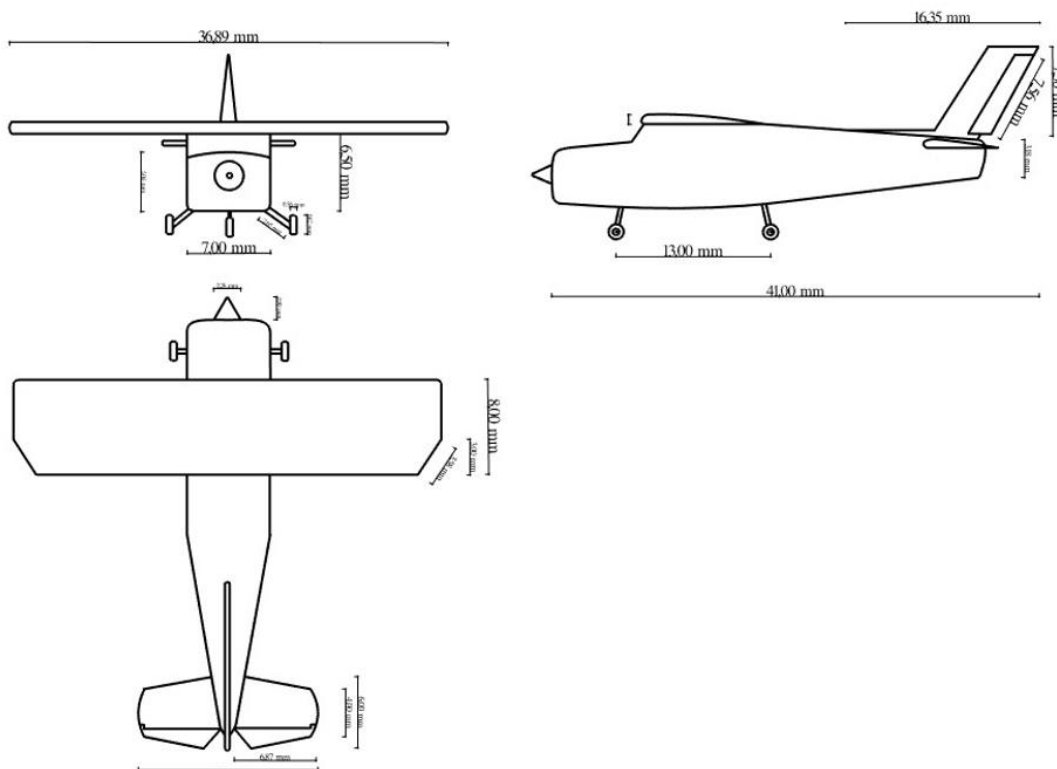


Figura 12. Construcció dels plànols de l'aeronau amb el programa FreeCAD (resultat final)

Després de portar la idea del paper al plànol digital vaig acabar aconseguint els plànols definitius, que seria amb el que em centraria alhora de la construcció.

### PLANOLS DEFINITIUS:





## 6.5. Localització dels components principals i secundaris

En aquest apartat es decidirà on va cadascun dels components segons la seva vitalitat i el seu pes. Per prendre aquestes decisions, vaig realitzar un estudi preliminar per saber quines eren les zones més segures de l'aeronau, per d'alguna manera protegir els components interns de possibles impactes.

Primer de tot prioritzaré tots els components segons el seu rang de control i d'importància:

1. La placa base (control de tot l'aparell i connector amb el comandament)
2. Els eixos transmissors connectats a les palanques de moviment (control del moviment de l'aeronau)
3. Motor (proporciona de la força propulsora)
4. Càmera (funció suplementaria)
5. Tren d'aterratge (no important per un avió d'aquestes característiques)

### 6.5.1. Estudi de la zona més segura de l'aeronau

Un cop realitzada aquesta prioritització, caldrà fer un estudi de la zona més segura de l'aeronau per tal de col·locar els components en funció de la importància d'aquests.

A continuació trobareu una taula on podreu observar el model d'aeronau real i la zona que quedava menys danyada segons el tipus de xoc:

Tipus d'aeronau	Link	Quantitat de dany produït (Escala del 1 al 5)	Zona segura
F16-C (militar)	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=NciePa8sY_U">https://www.youtube.com/watch?v=NciePa8sY_U</a> (0:08)	1	Tota l'aeronau menys el tren d'aterratge



Gloster gladiator (militar)	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=NciePa8sY_U">https://www.youtube.com/watch?v=NciePa8sY_U</a> (2:19)	1	Tota menys el morro
Super II-RG	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=NciePa8sY_U">https://www.youtube.com/watch?v=NciePa8sY_U</a> (2:28)	2	Zona mitjana i posterior
Airbus A300-600ST Beluga	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=NciePa8sY_U">https://www.youtube.com/watch?v=NciePa8sY_U</a> (2:45)	1	Tota l'aeronau menys el tren d'aterratge
F16-C (Acrobàtic)	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=NciePa8sY_U">https://www.youtube.com/watch?v=NciePa8sY_U</a> (2:57)	2	Tota l'estructura interna
Planejador Arcus-E	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=NciePa8sY_U">https://www.youtube.com/watch?v=NciePa8sY_U</a> (3:30)	5	Zona mitjana de l'aeronau
Mirage 2000-5	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=8yf_QTbDeWM">https://www.youtube.com/watch?v=8yf_QTbDeWM</a> (1:56)	5	Cap
Airbus A318	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE">https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE</a> (0:17)	4	Zona mitjana
Arado AR 65	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE">https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE</a> (0:40)	3	Zona mitjana i posterior
C17-A	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE">https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE</a> (0:50)	3	Zona posterior
(No visible)	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE">https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE</a> (1:30)	5	Zona mitjana
L-39ZA	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE">https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE</a>	4	Zona mitjana i posterior



	(1:29)		
C-101EB	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE">https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE</a> (1:43)	5	Cap
Cessna 172	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE">https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE</a> (3:32)	3	Zona mitjana
Bf 109 K-4	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE">https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE</a> (5:59)	3	Zona mitjana i posterior
Cessna 172	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE">https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE</a> (5:53)	1	Tota l'aeronau menys la zona davantera
(No visible)	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE">https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE</a> (5:51)	4	Zona mitjana
Cessna 172	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE">https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE</a> (6:42)	2	Tota l'aeronau menys la zona davantera
Edge 540	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE">https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE</a> (7:24)	3	Tota l'aeronau menys la zona davantera
C-101EB	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE">https://www.youtube.com/watch?v=FwL5Cx2OViE</a> (7:30)	5	Cap





Un cop analitzats aquests vint accidents aeris amb avions radio control, procedirem a fer el recompte de les zones més segures, fent la classificació de la següent manera:

- ▶ Zona davantera = 3
- ▶ Zona mitjana = 16
- ▶ Zona posterior = 12

Amb aquests resultats podem obtenir el percentatge de seguretat en les diferents zones, realitzant les següents operacions:

$$3+16+12= 31$$

$$\text{▶ Zona davantera} = \frac{3}{31} \cdot 100 = 9,7\%$$

$$\text{▶ Zona mitjana} = \frac{16}{31} \cdot 100 = 51,6\%$$

$$\text{▶ Zona posterior} = \frac{12}{31} \cdot 100 = 38,7\%$$

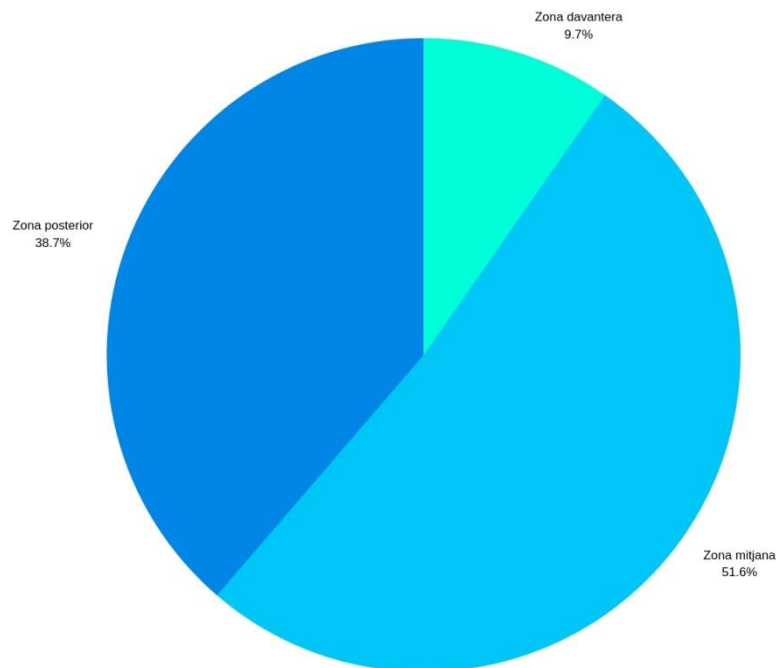


Figura 13. Gràfic sobre l'estudi de la zona més segura de l'aeronau

Per tant, d'acord amb les dades recollides, la zona mitjana de l'aeronau serà la més segura a l'hora de rebre l'impacte, seguida de la zona posterior i finalment de la zona davantera. Tenint en compte aquesta estadística i les funcions de tots els components amb els mateixos plànols de l'aeronau vam implementar la ubicació de tots els components que allotjaria el nostre avió. El plànol és el següent:

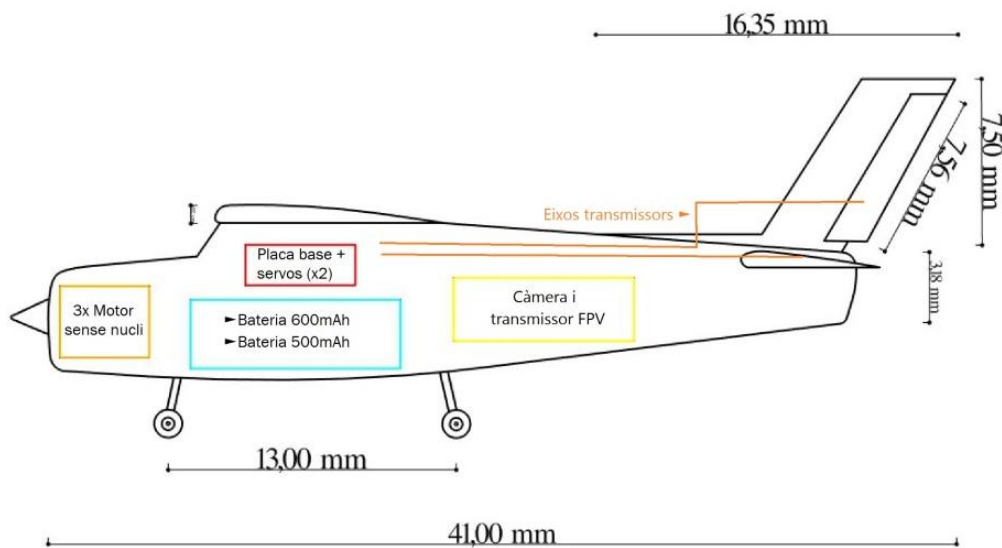


Figura 14. Plànol de la col·locació dels components realitzat a partir de l'estudi de la zona més segura



## 6.6. Construcció de l'aeronau

La construcció de l'aeronau, d'acord amb tots els plànols realitzats prèviament, i tota la distribució dels components del nostre avió, va ser una feina molt manual i laboriosa. Dividirem la construcció en tres parts:

- ▶ L'estructura interna i externa
- ▶ Les ales
- ▶ L'electrònica (estructura interna)

### 6.6.1. L'estructura externa

Alhora de la construcció del que seria el buc d'una aeronau, ja vaig deixar molt clar en l'apartat dels materials, quin era l'escollit per procedir a la construcció de l'avió en si. Dit això, i sabent que el material és el poliestirè expandit o EPS, per les seves sigles en anglès, vaig adquirir un con d'aproximadament les mateixes dimensions de l'aeronau, i a partir d'aquesta base amb l'ajuda d'un cúter vaig anar donant forma a l'aeronau que tenia al cap. Haig de dir que vaig treballar amb tres tècniques diferents que vaig anar provant. La primera de totes va ser la fabricació casolana d'una talladora de porexpan. Aquesta eina, fabricada amb un fil transmissor de calor, uns cables i una pila de 9V, ajudava molt a l'hora de tallar parts totalment planes, ja que conforma el fil avançava, amb l'escalfor, tallava el porexpan, material que no és gens resistent a temperatures altes, o més ben dit a la calor. Vaig deixar d'utilitzar aquesta eina ja que necessitava donar formes molt detallades. Va ser en aquest punt quan vaig optar per la implementació d'una tècnica que pensava que seria bastant funcional, però que finalment va acabar donant alguns problemes. Aquesta tècnica va ser la d'escalfar la fulla del cúter per tal de tallar amb molta més facilitat el porexpan però, el principal problema que tenia aquesta tècnica era que la calor en la fulla del cúter es perdia molt ràpidament i no permetia ser eficaç a l'hora de tallar ja que havies d'estar constantment escalfant la fulla i per això vaig decidir implementar la tècnica que vaig utilitzar per fabricar quasi tota



l'aeronau, i va ser simplement tallar petites parts amb el cúter. En un principi, pensava que al pas del cúter entre el porexpan acabaria arrencant les petites cel·les que té aquest material, però la veritat és que si realitzaves cops suaus de dreta a esquerra, el tall quedava molt net i semblava que l'hagués realitzat una màquina. Dit tot això, vaig anar donant forma a l'estructura de l'aeronau, que prèviament havia estat dissenyada gràficament i virtualment amb el programa esmentat abans.

### 6.6.2. Les ales

Un cop vaig tenir l'estructura realitzada, vaig començar a donar forma a l'ala. Per aquesta part de l'avió vaig decidir adquirir un tipus d'EPS una mica més dens, ja que em permetia ser més precís a l'hora de realitzar el tall i a més a més era molt més resistent. Aquesta variant de material vaig voler implementar-la, ja que l'ala en haver de tenir la seva forma tan característica i precisa no volia haver de construir-ne una de nova per una possible col·lisió alhora de les proves de vol del nostre aparell.

Per tant, amb l'elecció d'aquest material també vaig voler fabricar les parts mòbils del timó de profunditat i direcció que són les úniques parts que proporcionarien direcció a la meua aeronau.

### 6.6.3. L'electrònica (estructura interna)

Un cop vam tenir fabricades totes les parts de la nostra aeronau era l'hora de realitzar l'obertura de tota l'estructura per acoblar tots els components electrònics.

Per tant el primer que vaig fer va ser obrir per la meitat tota l'estructura de l'avió. Llavors, vaig començar a buidar tot l'interior de l'aeronau amb la corresponent forma per albergar els diferents components.

Un cop vaig poder introduir tots els components en l'interior de l'aeronau, vaig fer algunes proves per tal que tot és mogué i funcionés correctament. Després de realitzar aquesta operació, vaig procedir a realitzar els petits forats d'accés extern de l'avió, per exemple, l'accés per intercanviar les bateries, o la petita obertura perquè els eixos de transmissió poguessin moure's i realitzar els seus corresponents moviments dirigits pels petits servos.

Finalment, l'últim pas, va ser ajuntar amb cola de fuster i silicona les dues parts de l'estructura, les ales, i finalment els timons, ajuntant també els eixos de direcció amb les corresponents superfícies de comandaments.

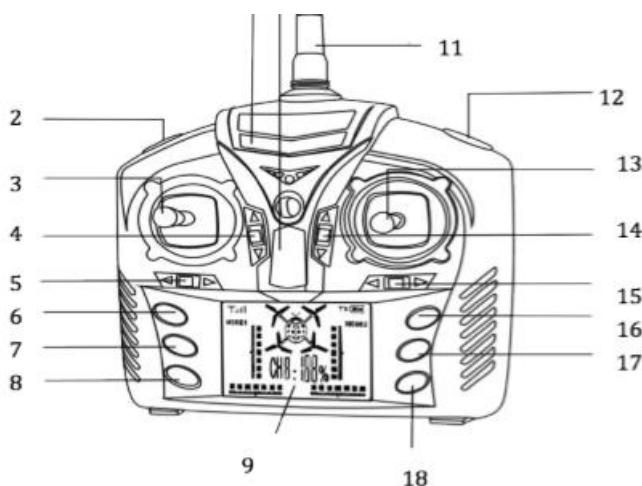
#### 6.6.4. Control extern de l'aeronau i dels sistemes

A continuació explicaré com es controla l'aeronau en si, i també explicaré el funcionament de la càmera FPV que té situat a la part inferior de l'aeronau.

##### 6.6.4.1. Control de l'aparell

L'aeronau està operada per una placa base que connecta a una freqüència de 2.4 Ghz, al comandament de control:

Figura 15. Plànol del comandament



En el nostre cas, el comandament que teníem era pràcticament el mateix que el de la imatge 12. Funcionava de la següent manera: Quan volia proporcionar potència a l'avió, només havia d'empènyer la palanca 3 per tal d'accelerar el motor. Però

si el cas era maniobrar, tot el direccionalment el proporcionava la palanca 13, que era la que traslladava el moviment a l'aeronau. Ara que sabem com es controla, ens queda saber que és el que passa en l'interior de l'aeronau. Per a un millor esquema de l'interior de l'aeronau, podeu consultar la figura 14. En realitat com que la base controlava tot l'aparell, quan el comandament emetia el senyal d'accelerar, la placa proporcionava l'ordre per augmentar la potència dels motors, però si el cas era produir un moviment concret, els servos incorporats en la placa base transmetien el moviment als eixos de transmissió, que alhora transmetien aquest moviment a les superfícies de control o més ben conegudes com a alerons.

#### 6.6.4.2. Control de la càmera FPV

En el cas de la càmera, el control era totalment independentment de l'aeronau. Aquesta transmetia la imatge de vídeo a una freqüència de 5.8 Ghz. I aquesta freqüència era traduïda en un vídeo en directe per un receptor connectat a un smartphone. Cal dir que té l'oportunitat de transmetre'l en pantalla dividida per tal utilitzar-lo amb unes ulleres de realitat virtual que proporcionen una immersió més profunda, i alhora una concentració més alta. A continuació podeu observar aquesta imatge, on està representat el funcionament del FPV:

Figura 16. Funcionament del FPV a 5.8Ghz





### 6.6.5. Instruccions per construir l'avió

En aquest apartat del treball s'explicarà tot el que es necessita per construir l'aeronau i els passos a seguir en tot moment, bàsicament, serà el manual per construir la teva pròpia aeronau:

---

#### CONSTRUEIX EL TEU PROPI AVIÓ

---

##### MATERIAL:

- Con de poliestirè expandit (EPS) de 5cm de radi en la base inferior (la gran), 2cm en la base superior (la petita) i 35 cm de llargada.
- Planxa de poliestirè expandit de 50cm de llargada per 8cm d'amplada
- Placa base de 2.4Ghz amb 2 servos incorporats i entrada per tres motors sense nucli
- 3 motors sense nucli
- 3 rodes amb els seus corresponents eixos de connexió
- Comandament de 2.4Ghz
- Eixos transmissors del moviment amb el servo
- Càmera FPV amb transmissor de 5.8Ghz
- Bateria de 3.7V i 600mAh
- Bateria de 3.7V i 500mAh
- Receptor FPV de 5.8Ghz amb adaptador a un smartphone
- Cúter
- Pinces
- Pistola de silicona

---

##### PROCEDIMENT:

1. Primer de tot necessitem uns plànols per saber que és el que haurem de fer amb el nostre poliestirè expandit, per això cal que aneu a l'apartat 6.4



i 6.5 on es mostren les mesures de l'aeronau i la localització dels diferents components d'aquesta.

2. Un cop sabem que és el que hem de construir, anem per feina començant per l'estructura exterior de l'aeronau a partir del con de poliestirè expandit, i amb l'ajut d'un cúter anirem donant forma realitzant petits talls a la nostra aeronau.
3. Quan ja tinguem tota l'estructura exterior, agafarem la planxa d'EPS i farem el mateix procediment però donant la forma alar que s'observa als plànols.
4. També farem el mateix amb els timons, però en aquest cas com que algunes parts hauran de ser mòbils, realitzarem amb la punta del cúter lleugerament escalfada una petita incisió a la part on s'ha de produir el doblegament per poder realitzar la seva funció corresponent.
5. Llavors, quan ja tinguem totes les peces fabricades, partirem per la meitat l'estructura exterior i amb l'ajut d'unes pinces anirem extraient l'EPS que no necessitem per tal de deixar la cavitat corresponent als components que haurem d'introduir posteriorment.
6. En el moment que ja tinguem realitzada la cavitat a les dues parts de l'estructura només ens faltará posar al seu lloc els components: la placa base, els motors i la càmera, tenint en compte que s'ha de deixar un petit compartiment per introduir la bateria de la base i la de la càmera. També s'haurà de realitzar uns petits forats a la cua de l'avió per tal de deixar que els eixos transmissors puguin realitzar el seu correcte accionament.
7. Finalment, caldrà ajuntar les dues parts i fixar les peces amb silicona calenta per finalitzar la construcció (vigilant de no cremar l'EPS). Després per fer volar l'aeronau, s'hauran de connectar les dues bateries i el receptor FPV a un smartphone, encendre el comandament i





automàticament tot es connectarà, i l'aeronau ja estarà totalment llesta per volar.

---



## 6.7. El diari de l'aeronau

Aquest apartat del treball té la funció de deixar veure els problemes que he tingut en construir aquesta aeronau, i sobretot les solucions que he anat implementant per arribar a l'aeronau definitiva, que pot haver variat als plànols inicials i sobretot als càlculs realitzats anteriorment.

Per tant, el que us trobareu a continuació és el diari que he anat realitzant cada dia que s'ha construït l'aeronau, amb els progressos realitzats i sobretot amb les millores implementades.

### Dia 1: Organització

El dia més complicat, segurament, de tots els que em trobaré al llarg de la construcció de l'avió és avui, ja que és cert que ben bé no saps per on començar i més si el que vas a fer mai ho has fet. Però en tot cas el que tinc molt clar, és que faré tot el possible perquè el projecte tingui èxit.

El dia d'avui, l'he dedicat bàsicament a organitzar tota la meva habitació per crear un espai de treball còmode, ja que serà on durant uns quants dies estaré dissenyant, construint i gravant tot el procés. A més a més aquest espai també servirà d'estudi per gravar els corresponents vídeos que es pujaran a la plataforma gratuïta "Vimeo".

### Dia 2: Començament de la construcció de l'estructura

Per fi comencem a treballar en la fabricació de l'aeronau, però abans un repàs previ per revisar les mesures i totes les parts més complexes de tallar pel que fa al porexpan. Un cop tinc les idees clares començo a donar forma al con de porexpan que serà l'estructura de l'avió en definitiva. Haig de dir que el concepte de tallar poliestirè expandit sembla molt senzill, però no ho és en absolut, i és per aquesta mateixa raó que començo a donar-me compte que la



idea d'escalfar la fulla del cúter per només poder tallar una petita part de la peça original d'EPS no és molt bona idea i per tant deixo sense finalitzar l'estructura per seguir l'endemà amb una nova possible tècnica.

### Dia 3: Continuació de l'estructura amb dilema

M'he aixecat sense cap idea per poder tallar el porexpan, i decideixo continuar treballant l'estructura, però al cap d'una estona deixo de realitzar aquesta feina i aprofito per buscar informació de possibles alternatives de treball pel que fa al cúter escalfat.

### Dia 4: Construcció del tallador de porexpan

He trobat una possible solució per realitzar un tall eficient i precís al porexpan, i és la fabricació casolana d'un aparell que conté un fil transmissor de calor connectat a unes piles que fan que el fil s'escalfi i permetent tallar molt còmodament el porexpan. Per tant decideixo construir-ne un d'aquests aparells per utilitzar-lo en la fabricació del meu avió.

Un cop construït començo a utilitzar-lo i avanço considerablement la construcció de l'estructura.

### Dia 5: Finalitzada la construcció de l'estructura

Em trobo que com que el tallador és bastant inestable, puc realitzar bastants errors a l'hora de fer parts molt específiques, per tant, un cop tinc una estructura primària, passo a realitzar-li els detalls amb el cúter sense escalfar, i amb un tall molt específic, que tracta de passar la fulla molt suaument, semblant a quan es talla pernil salat.

Finalment acabo l'estructura molt satisfet amb el resultat assolit.



## Dia 6: Comprovacions

Avui només comprovo que les mesures siguin les correctes i també acabo de realitzar alguns retocs a l'estructura.

## Dia 7: Construcció dels timons

Començo la fabricació del timó de profunditat i de direcció simultàniament, ja que han de tenir un moviment per separat molt exacte i que no poden interferir-se un amb l'altre. Sobretot el tall de les parts que seran mòbils és molt interessant, ja que el realitzo amb la punta del cúter escalfada, d'aquesta manera aconseguixo una degradació del porexpan en el lloc on passo la punta de cúter, i això realitzat per les dues bandes del timó proporcionarà el moviment necessari.

## Dia 8: Aturada de la fabricació dels timons

Per desgràcia no obtinc un funcionament correcte de timó vertical que proporciona el moviment de dreta a esquerra a l'aeronau. El fet és que quan la palanca transmissora de moviment s'acciona i provoca el moviment horitzontal, doblega tot el timó. Haig de trobar una solució.

## Dia 9: Construcció de l'ala

Quan fa una setmana que estic construint la meua aeronau, començo a donar forma a les ales a partir d'una làmina d'EPS. Aquesta part trobo que és una de les més precises i delicades del treball, ja que l'ala de l'aeronau haurà de tenir una forma específica en tota la seva superfície, per aquesta raó m'ho agafo amb molta calma. També vull afegir que implemento de nou el tallador de porexpan amb el fil transmissor de calor, ja que una part de l'ala serà una superfície totalment plana i per realitzar el tall m'és més útil.



## Dia 10: Finalització de la construcció de l'ala

Finalitzo la construcció de l'ala i comprovo que totes les mides siguin correctes, per assegurar-me.

## Dia 11: Solució dels timons

Finalment he trobat una solució al problema del timó vertical, i la solució consisteix a adherir un pal de fusta vertical que manté fix tot el timó i permet el correcte moviment de la part mòbil d'aquest timó.

## Dia 12: Obertura de l'estructura

Tallo per la meitat tota l'estructura per poder buidar-la i acoblar tots els components, com per exemple la placa base, les bateries, el motor... El buidatge el realitzo amb unes pinces juntament amb el cúter, el que em permet buidar-lo amb força precisió.

## Dia 13: Col·locació de tots els components

Col·loco cadascun dels components tal com estava establert en els plànols, dissenyats segons l'estudi de seguretat en cas d'accident aeri. Però la càmera que en principi arribava avui, desgraciadament s'ha endarrerit i arribarà d'aquí a uns dies.

## Dia 14: Arribada de la càmera

Per fi ha arribat la càmera FPV juntament amb el transmissor i el receptor i veig que funciona tot correctament. Per tant, decideixo instal·lar-lo amb la resta dels components i començar a encolar amb la pistola calenta. Però en el moment



d'aplicar la silicona, el porexpan comença a degradar-se i immediatament retiro la silicona per substituir-la per cola de fuster que em servirà per enganxar les dues parts de l'estructura.

### Dia 15: Comprovació de l'estructura i acoblament dels timons

Primer de tot comprovo que tots els components funcionin correctament, i la veritat és que estic molt satisfet amb el resultat assolit. Per tant, decideixo enganxar els timons que seguidament els haig de connectar amb els eixos de transmissors de moviment que estan directament connectats als servos adjuntats a la placa base.

### Dia 16: Acoblament de l'ala

Finalment només em queda acoblar l'ala i l'avió està finalitzat, només queda esperar a les proves de vol.



## 6.8. Les proves aèries i les corresponents modificacions

Aquest apartat segurament és un dels més importants del treball ja que és la part on volarem la nostra aeronau per primera vegada i on veurem si podem incloure possibles millores en la pròpia aeronau.

En aquest apartat us parlaré de totes les proves que he fet i les seves respectives modificacions:

### Primera prova:

La primera prova de vol que realitzes amb la teva aeronau és més bé un sacrifici perquè no saps del tot el que et pot passar, però es cert que normalment no surt gaire bé, i en el meu cas no va ser una excepció. En el moment que vaig llençar l'avió per enlairar-lo va ser com tirar una pedra amb ales, i no estic exagerant. Desgraciadament, en aquesta prova l'ala que estava constituïda d'un poliestirè relativament dens, que es va trencar amb l'impacte, i partir d'aquest mateix instant, vaig veure que em quedava molt treball per endavant.

**Modificació:** La modificació que vaig realitzar en aquesta primera prova aèria va ser la reconstrucció d'una nova ala per tal de reemplaçar la trencada. I a més a més, vaig decidir refer els timons d'un poliestirè una mica més flexible, ja que també van resultar danyats en certa manera.

### Segona prova:

La segona prova que vaig realitzar no va ser tant desastrosa com la primera, però sí que es cert que no va ser la millor, ja que la nostra aeronau es va tornar a estevallar, però va tenir l'oportunitat de planejar uns instants. Llavors a partir d'aquest punt, vaig deduir que alguna cosa fallava i vaig investigar quina podia ser la causa per trobar la respectiva solució. Vaig pensar que gran part de la culpa era el pes de l'aeronau, però a part d'aquest problema, un altre que vaig



deduir varen ser les ales, ja que eren massa irregulars pel simple fet de haver-les tallat amb un cúter.

**Modificació:** La modificació que vaig realitzar en aquesta segona prova aèria, va ser la substitució de l'ala que havia reconstruït per la del avió que havia adquirit per desmuntar les seves peces. Aquest canvi va ser degut a que no podia reproduir de cap manera la forma tan característica que té una ala, i es que amb un cúter o amb qualsevol de les eines que vaig utilitzar no havia pogut ni acostar-me a la forma tan precisa i característica. A part de la substitució de l'ala, també vaig recolocar els trens d'aterratge, ja que s'havien fet malbé a causa de l'impacte.

### Tercera prova

La tercera prova de vol que vaig portar a terme va ser un èxit relatiu, ja que vaig decidir sortir a volar amb aire. Com molt bé haureu suposat, l'avió que és de porexpan i és molt lleuger, a la més mínima alteració en algun corrent d'aire el feia canviar de rumb dràsticament. Tot i això, quan vaig llençar l'avió, va volar desorientadament durant 50 metres, però tot i la inestabilitat va poder volar aquest recorregut amb certes dificultats. En definitiva aquesta prova va marcar un abans i un després pel que fa al vol de l'avió i això em va omplir de satisfacció.

**Modificació:** La modificació que vaig realitzar en aquesta tercera prova aèria va ser la reducció dràstica de pes, ja que al veure les dificultats que tenia per enlairar-se, la deducció per part meva va ser que l'aeronau tenia molt de pes que no era necessària i imprescindible, per tant vaig extreure 20 grams de l'aeronau, que és una barbaritat, tenint en compte el pes que tenia anteriorment (quasi 100g). En definitiva la reducció realitzada va servir per fer molt més lleugera l'aeronau.





## Quarta prova

Finalment, en la última prova que vaig fer amb el meu avió és van complir totes les expectatives que tenia sobre l'aeronau, i va ser que l'avió va aconseguir volar amb una estabilitat extraordinària, fins i tot, realitzant maniobres de gir. Això hem va fer veure com tot el treball que havia realitzat fins aleshores havia servit d'alguna cosa.

**Modificació:** Per últim vaig donar alguns retocs de caràcter més artístic, només per fer que és veies més atractiva la meua aeronau.



## 7. Conclusió



Normalment, quan mires enrere, les coses es veuen molt més senzilles que quan te les mires cara a cara, i diria que això és el que em va passar a l'hora d'enfrontar aquest treball de recerca.

Tothom et parla malament i mai saps que t'espera, però el que si és veritat és que si tries un tema que t'apassiona i t'agrada tot comença a ser més fàcil. Al principi, abans de començar ni tan sols la introducció, anava molt perdut, molt indecís, i constantment anava canviant el tema, però quan t'obliguen a decidir-te, sempre penses que l'elecció que has fet és molt precipitada, però estic orgullós d'haver triat aquest tema en aquell moment de 1r de Batxillerat. Des de llavors, les coses no han estat gens fàcils, i el treball constant ha valgut la pena, ja que indiferentment de la nota, he aconseguit un dels meus somnis que era fer volar un avió, encara que fos a radiocontrol, i la veritat és que des de petit volia ser pilot, però els problemes visuals no m'ho permeten. Per aquesta mateixa raó vull estudiar una enginyeria aeronàutica per tal de fer realitat els meus somnis, i amb aquest treball he pogut complir-ne una part. Parlant sobre el resultat final, estic molt orgullós de la feina que s'ha aconseguit i molt agraït de totes les persones que m'han ajudat. L'avió en si, ja ha aconseguit volar, i això ja es pot considerar tot un èxit sabent la complexitat que té el món de l'aeronàutica.

En definitiva, quan persegueixes els teus somnis has d'esforçar-te per fer-los realitat, i del que més orgullós estic en aquest treball, és que jo ja he aconseguit un.



## 8. Suport visual

### Imatges:

- Imatge 1. Ala sense i amb winglet. Es va consultar al 20 jul. 2018:  
<https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2017/may/flight-training-magazine/winglets> ..... 20
- Imatge 2. Tipus de flaps. Es va consultar al 21 jul. 2018:  
<https://www.escuadron69.net/foro/index.php?/topic/61693v%C3%ADdeo-muy-ilustrativo-del-comportamiento-aerodin%C3%A1mico-delala/> ..... 21
- Imatge 3. Operari introduint fluid hidràulic en un motor d'un Airbus A380. Es va consultar al 12 ago. 2018:  
[http://www.mromanagement.com/feature/getting-turbine-engine-oil-approval?session\\_id=tcg6pvn6i419c8gr085noo0583](http://www.mromanagement.com/feature/getting-turbine-engine-oil-approval?session_id=tcg6pvn6i419c8gr085noo0583) ..... 28
- Imatge 4. Amperímetre. Es va consultar al 26 ago. 2018:  
<https://pixabay.com/es/photos/spurweite/> ..... 32
- Imatge 5. Eixos d'una aeronau. Es va consultar al 25 jul. 2018:  
[https://lh3.googleusercontent.com/II\\_bSTjmm\\_ju80-3NMRGNoJP4CLtqvStUn746TZh8TCBzf0Crb9MD\\_TkVVVIacGUPtSkGM=s139](https://lh3.googleusercontent.com/II_bSTjmm_ju80-3NMRGNoJP4CLtqvStUn746TZh8TCBzf0Crb9MD_TkVVVIacGUPtSkGM=s139) ..... 41
- Imatge 6. Moviment sobre l'eix longitudinal. Es va consultar al 25 jul. 2018:  
[https://lh3.googleusercontent.com/d9q4OytEXwk6VqINbCW68hHQY9OzthTsxqz0mKpuJpgS9RMOFvt\\_RmQb-OxXpkQWZIWx7g=s170](https://lh3.googleusercontent.com/d9q4OytEXwk6VqINbCW68hHQY9OzthTsxqz0mKpuJpgS9RMOFvt_RmQb-OxXpkQWZIWx7g=s170) ..... 41
- Imatge 7. Moviment sobre l'eix transversal. Es va consultar al 25 jul. 2018:  
[https://lh3.googleusercontent.com/q8NioP\\_mJnDbLjmP4250886l0BgzS7n0zd0Ln1a8E6uzalAp1l3ecu-ns5lc7cBMCzJSA=s170](https://lh3.googleusercontent.com/q8NioP_mJnDbLjmP4250886l0BgzS7n0zd0Ln1a8E6uzalAp1l3ecu-ns5lc7cBMCzJSA=s170) ..... 42



- Imatge 8, Moviment sobre l'eix vertical. Es va consultar al 25 jul. 2018:  
[https://lh3.googleusercontent.com/OmZQu4IquoQsWh1C3zWskofOp\\_08GaVFhQL5P2xSaUlqo32ayLG2iZvSGmWB9hn\\_pIZQcRA=s87](https://lh3.googleusercontent.com/OmZQu4IquoQsWh1C3zWskofOp_08GaVFhQL5P2xSaUlqo32ayLG2iZvSGmWB9hn_pIZQcRA=s87) ..... 43
- Imatge 9. Avió acrobàtica participant en la Red bull air race. Es va consultar al 25 jul. 2018:  
<https://lh3.googleusercontent.com/zL2HSTlppm3kUrFtfesIAhI9nP0hIkfT-zj4I41SSquOjvoZeDJMoK0jq1hbUSxHLUYQ=s127> ..... 44
- Imatge 10. Motor Rolls Royce. Es va consultar al 22 set. 2018:  
<https://deskgram.net/explore/tags/afairlines2016> ..... 47
- Imatge 11. Exemple del principi de Bernoulli. Es va consultar al 22 set. 2018:  
<https://educacionconcultura.blogspot.com/2014/08/venturimetro.html> .. 49

## Figures:

A continuació trobareu totes les figures realitzades a través la plataforma

Canva:

- Figura 1. Logo del treball ..... 12
- Figura 2. Parts de l'ala de l'avió..... 19
- Figura 3. Esquema sobre els motors de turbina ..... 25
- Figura 4. Il·lustració d'una bateria..... 31
- Figura 5. Característiques del Jet A-1 i el Jet A..... 36
- Figura 6. Exemple del ciclista ..... 45
- Figura 7. Esquema de pressions en un perfil alar ..... 48
- Figura 8. Esquema de forces en una aeronau..... 54
- Figura 9. Esbós inicial de l'aeronau ..... 66
- Figura 10. Construcció dels plànols de l'aeronau amb el programa FreeCAD (1) ..... 67
- Figura 11. Construcció dels plànols de l'aeronau amb el programa FreeCAD (2) ..... 67



- Figura 12. Construcció dels plànols de l'aeronau amb el programa FreeCAD (resultat final) ..... 68
- Figura 13. Gràfic sobre l'estudi de la zona més segura de l'aeronau .... 72
- Figura 15. Plànol del comandament ..... 76
- Figura 16. Funcionament del FPV a 5.8Ghz..... 77



## 9. Bibliografia

### Llibres:

- Creus Solé, Antonio. *Iniciación a la aeronàutica*. Madrid: Funiber, 2010. ISBN 9788479789374
- Isidoro Carmona, Aníbal. *Aerodinámica y actuaciones del avión*. Madrid: Paraninfo, 2015. ISBN 9788428337458
- Gudmundsson, Snorri. *General aviation aircraft design : applied methods and procedures*. Oxford: Elsevier, 2014. ISBN 9780123973085
- Agudelo Noreña, Daniel. *Metodología de diseño de aeronaves no tripuladas: teoría y fundamentos*. Saarbrücken : Editorial Académica Española, 2013. ISBN 9783659077197

### Pàgines web:

- "Partes del avión - Así Funciona."  
[http://www.asifunciona.com/aviacion/af\\_avion/af\\_avion2.htm](http://www.asifunciona.com/aviacion/af_avion/af_avion2.htm). Es va consultar al 20 jul. 2018.
- "Avión - Wikipedia, la enciclopedia libre."  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Avi%C3%B3n>. Es va consultar al 25 jul. 2018.
- "Motor aeronáutico - Wikipedia, la enciclopedia libre."  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_aeron%C3%A1utico](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_aeron%C3%A1utico). Es va consultar al 30 jul. 2018.



- "El sistema hidráulico de la aeronave - Avia.pro." <http://avia.es.com/blog/gidravlicheskaya-sistema-samoleta>. Es va consultar al 12 ago. 2018.
- "Combustible de turbina de aviación - Wikipedia, la enciclopedia libre." [https://es.wikipedia.org/wiki/Combustible\\_de\\_turbina\\_de\\_aviaci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Combustible_de_turbina_de_aviaci%C3%B3n). Es va consultar al 18 ago. 2018.
- "3.4 SISTEMA ELECTRICO - Manual de Vuelo." <http://www.manualvuelo.com/SIF/SIF34.html>. Es va consultar al 26 ago. 2018.
- "Cómo funciona el sistema de presurización de un avión – Mundaéreo." 22 ene.. 2017, <https://mundaereo.wordpress.com/2017/01/22/como-funciona-el-sistema-de-presurizacion-de-un-avion/>. Es va consultar al 28 ago. 2018.
- "¿Por qué vuelan los aviones? Esta animación lo explica en cinco ...." 21 abr.. 2016, <https://es.gizmodo.com/por-que-vuelan-los-aviones-esta-animacion-lo-explica-1772243567>. Es va consultar al 31 ago. 2018.
- "Fuelplanner - Advanced Fuel Planner for Microsoft Flight Simulator." <http://fuelplanner.com/>. Es va consultar al 3 set. 2018.
- "Sustentación - Wikipedia, la enciclopedia libre." <https://es.wikipedia.org/wiki/Sustentaci%C3%B3n>. Es va consultar al 8 set. 2018.
- "Principio de Bernoulli - Wikipedia, la enciclopedia libre." [https://es.wikipedia.org/wiki/Principio\\_de\\_Bernoulli](https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Bernoulli). Es va consultar al 8 set. 2018.



- "Resistencia aerodinámica - Wikipedia, la enciclopedia libre."  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia\\_aerodin%C3%A1mica](https://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_aerodin%C3%A1mica). Es va consultar al 20 set. 2018.
- "Configuración propulsora - Wikipedia, la enciclopedia libre."  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Configuraci%C3%B3n\\_propulsora](https://es.wikipedia.org/wiki/Configuraci%C3%B3n_propulsora). Es va consultar al 22 set. 2018.



