

# Estudi dels efectes dels dispositius hipersustentadors en el comportament de la capa límit.



**Gonzalo Mena Torrent**

**Tutora:** Carmen Royo

**Curs:** 2016-2017

**Data:** 17/01/2017

**INS Pere Ribot**

## **Agraïments**

Donar el més sentit agraïment a totes les persones que han fet possible la realització d'aquest treball de recerca.

En especial a la Carmen Royo, la tutora del treball per ajudar-me i aconsellar-me en tot moment per dur a terme el treball de la millor manera possible.

També donar les gràcies als meus pares pel suport i la ajuda per a la realització del treball.

Agrair també als meus instructors de vol i companys per els consells i ajudes que m'han facilitat en tot moment i en especial a Santi Lopezbarrena per haver pilotat l'aeronau durant la part pràctica.

I per acabar a l'entitat AeroClub Barcelona-Sabadell i L'Aeròdrom de la Cerdanya per haver-me deixat investigar i treballar a les seves instal·lacions.

# Índex

1. Introducció.....	1
2. Història de l'aviació.....	3
3. Éssers voladors.....	6
4. Principis físics.....	8
4.1 Teorema de Bernoulli.....	8
4.2 Efecte Venturi.....	9
4.3 Tercera llei de Newton.....	10
4.4 Perquè volen els avions.....	10
5. Les forces que actuen en un vol.....	12
5.1 La sustentació.....	15
5.1.1 Factors que afecten a la sustentació.....	15
5.2 El pes.....	17
5.3 La resistència.....	18
5.3.1 Resistència induïda.....	19
5.3.2 Resistència paràsita.....	21
5.4 L'empenta.....	22
6. Les ales.....	23
7. Dispositius hipersustentadors.....	27
7.1 Altres dispositius hipersustentadors.....	31

8. Estudi pràctic: El vol.....	33
8.1 Objectius.....	33
8.2 Metodologia.....	34
8.3 Resultats.....	36
8.4 Conclusions.....	36
9. Conclusions del treball.....	39
10. Bibliografia i Llocs WEB.....	41
11.1 Bibliografia.....	41
11.2 Llocs WEB.....	41
12. Annexes.....	42
12.1 Àlula.....	42
12.2 Ales intel·ligents .....	43

## 1. Introducció:

La sensació d'allunyar-te del terra, de deixar enrere les preocupacions per centrar-se en el vol, crec, que és una de les millors sensacions que es pot viure.

El món de l'aeronàutica m'ha captivat des de ben petit, recordo quan anava a l'aeroport amb els meus pares i em podia passar tota l'estona enganxat al vidre hipnotitzat pels avions que s'enlairaven i aterraven, fa uns anys ho veia només com un somni, però ara ja puc dir que s'ha convertit en un dels eixos de la meua vida ja que, afortunadament aquest passat mes de desembre vaig aconseguir la meua llicència de pilot d'avió (PPL).

Clarament aquest ha estat el fet que m'ha motivat a dur a terme aquest treball, no només el fet de volar i disfrutar de la sensacions, sinó també el de entendre com una aeronau de diverses tonelades de pes aconseguix enlairar-se sense gaires dificultats per surcar el cel.

En aquest treball de recerca m'he plantejat donar respostes a les preguntes sobre com aconseguixen les grans aeronaus d'avui en dia a remuntar el vol i aconseguir velocitats relativament baixes volant. Especialment sentia molta curiositat per a les maniobres d'aterratge i enlairament quan veia que l'avió desplegava un seguit de peces, anomenades dispositius hipersustentadors, que el permetien volar lentament.

En aquest treball he hagut d'adaptar molts conceptes tècnics i simplificar-los degut a la seva complexitat. És per això, que en algunes parts he hagut d'introduir un seguit de definicions per tal d'aconseguir un treball que pugui entendre el major nombre de persones possible.

He estructurat aquest treball en dues parts, una teòrica i una altra de pràctica. Dins la part teòrica he volgut explicar uns coneixements bàsics sobre el funcionament dels avions i una recerca sobre el funcionament de les ales i els dispositius hipersustentadors.

La part pràctica està molt relacionada amb la teòrica, ja que he volgut demostrar visualment part del que, anteriorment, havia estudiat; crec que és la millor manera de fer entendre i comprendre a la gent una de les branques de la física i tecnologia més desconeguda com és la aerodinàmica.

M'agradaria destacar que aquest treball m'ha acompanyat durant la recta final dels meus estudis per aconseguir el meu somni de ser pilot, i que ha estat molt interessant compartir els meus dubtes i curiositats amb instructors i gent de l'entorn de l'aviació.

*A mile of highway will take you just one mile, but a mile of runway will take you anywhere*

Anònim.

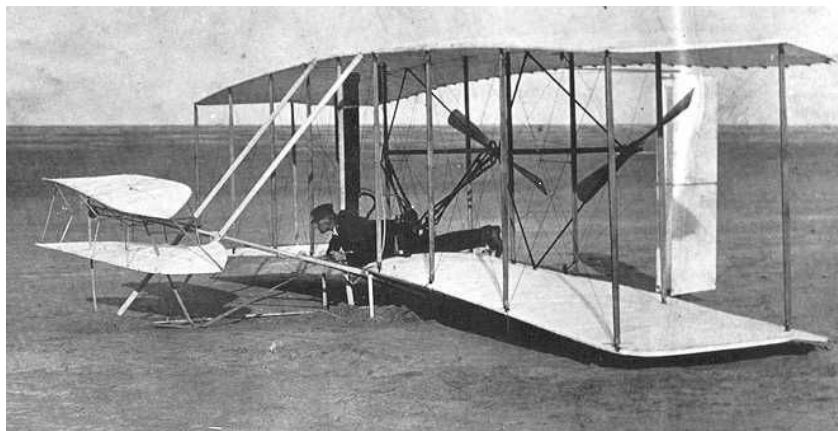
## 2. Història de l'aviació:

Des de ben petits, dos germans, Wilbur i Orville Wright es veien fascinats per l'idea de volar. Amb el pas del temps, no deixaven de sentir aquella passió, fins que l'any 1899 es van posar a estudiar de valent per aconseguir el seu somni.

Van reunir tota la informació que van trobar disponible a l'institut Smithsonian.

Al principi, el germans Wright, es van centrar en el control de l'aparell que més endavant s'anomenaria avió, creien que la única manera d'aconseguir un vol prolongat era aconseguir un equilibri constant per mantenir estable l'aparell.

A finals del 1900, el germans, ja havien perfeccionat els primer dels seus planejadors experimentals i van començar a experimentar a Carolina del Nord. El planejador va ser tot un èxit, però les ales no van generar suficient sustentació. No es van rendir i van continuar investigant i experimentant. L'any 1902 van provar un planejador conforme a les seves investigacions i amb nous sistemes de control van aconseguir planejar una distancia de 200m. Un cop resolt el problema de les ales i els sistemes de control, es van centrar en la implantació d'un motor que proporcionés suficient potència com per volar. Després de moltes investigacions i proves van crear un motor de 80kg de pes amb una potència de 12CV. Després de aconseguir el motor van haver de construir una hèlix, va ser una feina molt difícil pels germans ja que no tenien estudis universitaris i per aplicar els principis físics d'aquesta van haver de aprendre molt. Finalment després de molts estudis van crear dues hèlix d'un rendiment molt alt i el 1903 van tornar a Carolina del Nord.



Imatge 1: Primer avió motoritzat dels germans Wright

El 17 de desembre del 1903, després de setmanes de falles decepcionants, els Wright van aconseguir-ho, Orville Wright al comandament del prototip *Flyer* va aconseguir fer un vol de 37m en 12 segons, seguit de dos vols de més distància. El quart vol va ser comandat per Wilbur Wright que van aconseguir fer un vol de 59 segons recorrent una distància de 260 metres.

Aquests dos germans van aconseguir allò que per a molts era impossible i van adquirir un honor prestigiós.

*“Si tots treballem en el suposat de que el que s’accepta com verdader es realment cert, no hi hauria moltes esperances d’avanç”*

*Orville Wright, 1871-1948*

*“És possible volar sense motors, però no sense coneixement i habilitat. Considero que és això alguna cosa afortunada, per a l’home, per causa del seu major intel·lecte, ja que és més raonable l’esperança d’igualar als ocells en coneixement, que igualar la natura a la perfecció de la seva maquinària.”*

*Wilbur Wright, 1867-1912*



Imatge 2: Germans Wright



Els germans Wright van mostrar una forta observació a les aus, els que anomenaven els millors voladors.

Si avui dia ens fixem en qualsevol avió, ja sigui comercial o militar, podrem veure similituds entre l'avió i algun ésser volador, en aquest treball estudiaré i observaré la evolució i necessitat dels dispositius hipersustentadors en l'aviació.

Per tal de poder estudiar aquests sistemes, faré una introducció a l'aeronàutica on faré recerca d'aquesta.

Començaré parlant del vol, és l'acció de volar amb un moviment o efecte a través de l'aire, generat per una elevació aerodinàmica o flotabilitat aerostàtica, en aquest treball no farem referència ni als globus aerostàtics ni als *zeppelins* ja que volen a gràcies a una diferència de densitats que s'exposa al principi d'Arquímedes. Per tant en aquest treball al parlar de volar, faré referència a sustentar-se i desplaçar-se per l'aire per medis propis.

Ara em centraré a fer referència als éssers voladors actuals, que han estat uns importants influençadors de l'aviació.



Imatge 3: Ultralleuger acompanyat per cigonyes.

### 3. Éssers voladors

Per parlar de volar o de éssers voladors ens hem de remuntar milions d'anys endarrere per trobar-nos amb els pterosauris, els dinosaures alats.

Fa uns 150 milions d'anys va aparèixer l'espècie *pterodactylus* (pterodàctil) un dinosaure rèptil alat que podem considerar el primer ésser volador conegut.

A part del pterodàctil també trobem el *scaphognathus* i el *peteranodon* que són espècies que també van habitar la Terra durant l'era del Juràssic.

Tots aquests dinosaures tenien formes i tamanyes diferents que s'adaptaven a al funció de cada un.



Imatge 4: *Pterodactylus*, *peteranodon* i *scaphognathus*.

Quan pensem en algun animal volador, qualsevol espècie que ens vingui a la ment consta d'ales, un fet comú entre tots aquests éssers.

Amb això arribem a la conclusió de que per volar necessitem ales.



Imatge 5: Ratpenat



Imatge 6: Papallona



Imatge 7: Àguila

Veiem que cada ala té una forma, superfície o geometria diferent, aquí treiem la hipòtesi de que cada tipus d'ala s'ajusta a una funció determinada, les papallones necessiten aterrar en espais molt petits, els ratpenats necessiten molta agilitat per les coves i les àguiles necessiten velocitat per atrapar les seves preses.

Més endavant estudiaré les formes d'ala en funció de la finalitat de l'aeronau.

## 4 Principis físics

Abans de començar amb el treball, i per tal de que tothom pugui entendre i seguir les explicacions que es detallen més endavant, trobo adient explicar un seguit de informació necessària per a la correcta comprensió del projecte.

### 4.1 Teorema de Bernoulli

Daniel Bernoulli, va comprovar que la pressió interna d'un fluid, líquid o gas decreix en la mateixa mesura que la velocitat del fluid incrementa, és a dir, en un fluid en moviment, la suma de la pressió i de la velocitat en un punt qualsevol és constant, és a dir que  $p + v = k$ .

Per a que es mantingui aquesta constant,  $k$ , si una partícula augmenta la seva velocitat,  $v$ , haurà de disminuir la seva pressió,  $p$ , i a la inversa, per tant  $v$  i  $p$  són magnituds inversament proporcionals.

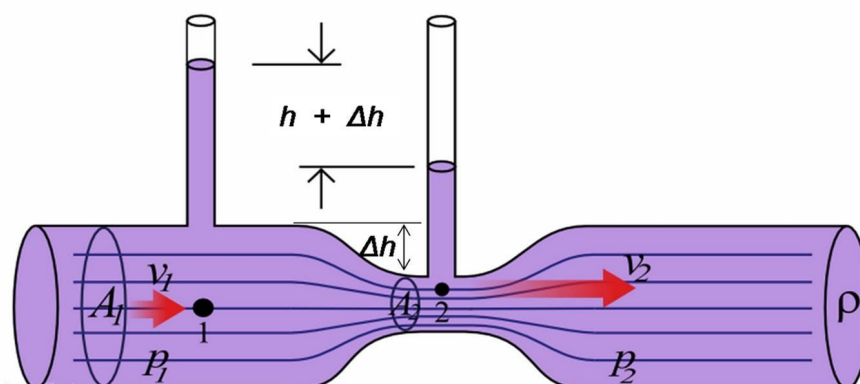
$$P + 1/2 \rho V^2 = k$$

$P$ =pressió en un punt qualsevol

$\rho$ =densitat del fluid

$V$ =velocitat en el punt

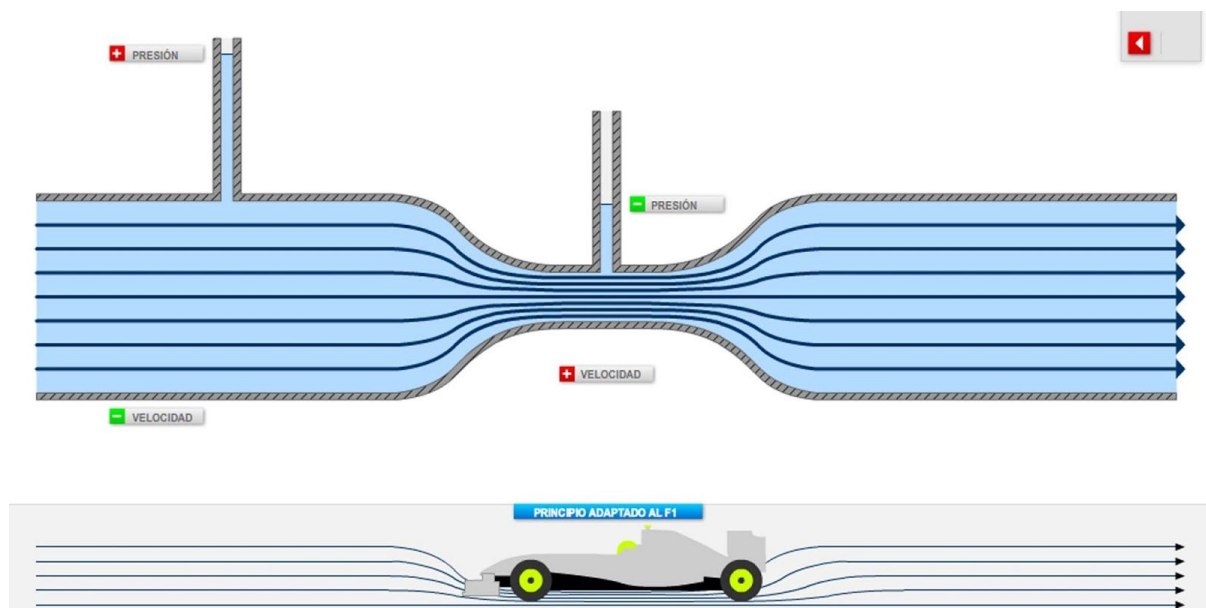
## TEOREMA DE BERNOULLI



Imatge 8: Representació teorema de Bernoulli

## 4.2 Efecte Venturi

Giovanni Venturi va demostrar l'efecte Venturi, la seva explicació es basa en el teorema de Bernoulli, els dos principis estan molt relacionats. L'efecte Venturi consisteix en que un fluid en moviment dins d'un conducte tancat disminueix la seva pressió, alhora que augmenta la seva velocitat en passar per una zona del conducte en que la secció és menor. Si el cabal d'un fluid és constant però la secció disminueix, necessàriament la velocitat augmenta després de travessar aquesta secció, pel teorema de Bernoulli, si la velocitat del fluid augmenta, la seva pressió disminuirà



Imatge 9: Representació efecte Venturi

### 4.3 La tercera llei de Newton

A la tercera llei de Newton s'estableix que sempre que un cos exerceix una força sobre un segon cos, aquest exerceix una força d'igual magnitud però de sentit oposat sobre el primer. A tota acció sempre apareix una reacció igual i contrària: és a dir que les accions mútues de dos cossos sempre són iguals i dirigides en sentit oposat.



Imatge 10: Representació 3ª Llei de Newton

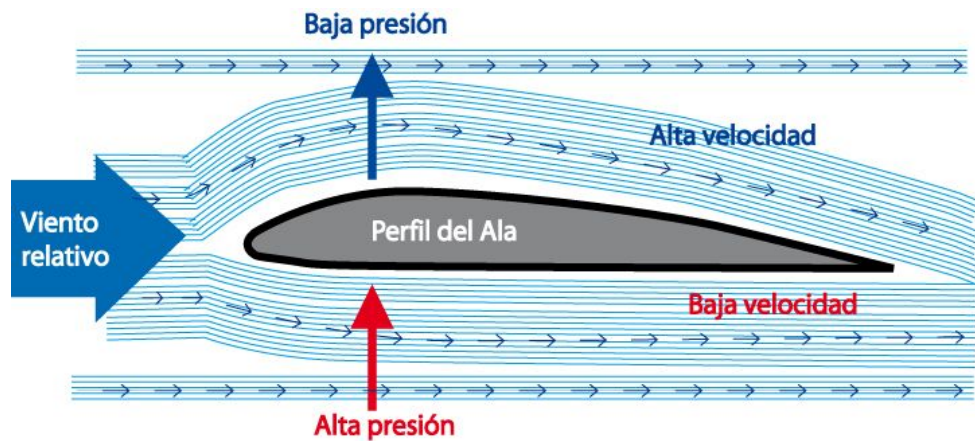
### 4.4 Perque volen els avions

Un cos pla, col·locat una mica inclinat cap amunt contra el vent, genera sustentació; com per exemple un estel. Un perfil aerodinàmic, és un cos que té un disseny determinat per tal d'aprofitar al màxim les forces que s'originen per la variació de velocitat y de pressió quan aquest perfil es situa en un flux d'aire. Una ala, doncs és un exemple de disseny avançat de perfil aerodinàmic.

L'ala produeix un flux d'aire en funció del seu angle d'atac (com més gran és l'angle d'atac l'estretament a la part superior de l'ala es més gran) i de la velocitat amb que l'ala es mou respecte a la massa d'aire que l'envolta.

Aquest flux d'aire es divideix quan passa per la part superior o inferior de l'ala, el que passa per la part superior, per l'efecte venturi, experimenta un increment de la

seva velocitat respecte el flux que passa per la part inferior de l'ala. Per el teorema de Bernoulli, aquest augment de la velocitat comportarà una disminució de la pressió a la part superior de l'ala.



Imatge 11: Representació de la sustentació

Tenim llavors, que la part superior del perfil experimenta una pressió menor que la part inferior. Aquesta diferència de pressions, segons la Tercera Llei del Moviment de Newton, crea una força aerodinàmica que empeny l'ala de la zona de més pressió cap ala de menys pressió és a dir, cap a dalt

Sempre que un cos vola, hi actuen sobre ell quatre forces: la sustentació, el pes, la resistència (fregament) i l'empenta.

Les quatre forces són oposades per parelles, la sustentació supera al pes per aconseguir que es separi del terra per la força gravitatòria, i l'empenta supera la resistència per aconseguir que el cos avanci.

## 5. Les forces que actuen en vol

Un cop introduïts els coneixements generals per a la comprensió del treball, ens centrarem en estudiar les 4 forces que actuen sobre qualsevol ésser o objecte volador, un altre cop, cal introduir un vocabulari específic per comprendre bé l'apartat:

**Vent relatiu:** És el flux d'aire que produeix l'ala en desplaçar-se. Aquest és paral·lel a la trajectòria del vol i de direcció oposada. La seva velocitat és relativa a l'ala, respecte a la velocitat de la massa d'aire que aquesta desplaça.

**Capa límit:** La capa límit és un concepte per tal d'explicar la gran resistència a l'avançament que ofereixen fluids no viscosos (considerant l'aigua i l'aire com a tals).

Davant un cos sòlid en moviment amb una certa velocitat,  $V$ , dins d'un fluid, com ara l'aigua o l'aire, les regions llunyanes respecte el cos, no es veuen alterades per aquest, en canvi a les regions més properes el fluid es veu pertorbat. Les regions del fluid en contacte amb el cos, tenen una velocitat nul·la respecte aquest, a mesura que ens allunyem del cos, la velocitat del fluid pertorbat incrementa de 0 fins a  $0,99V$ , a aquesta regió del fluid se l'anomena capa límit.

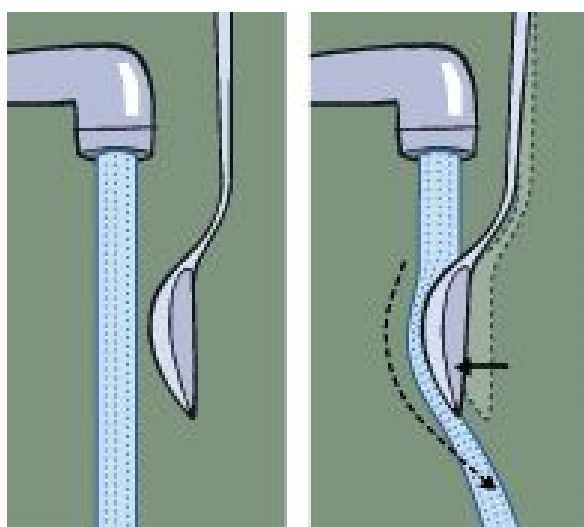
És la diferència de pressions a la capa límit la responsable de la sustentació.

L'efecte Coandă és el fenomen físic de la mecànica de fluids en el qual un corrent de fluid (gasós o líquid) tendeix a ser atret per una superfície que es creua amb la seva trajectòria. Va ser descobert per l'enginyer aeronàutic Henri Coandă, que va descobrir l'efecte en el seu prototip d'un avió de reacció

Una bona manera d'explicar en què consisteix l'efecte Coandă és amb un exemple: si sobre una superfície corba, com per exemple un cilindre, s'hi aboca un sòlid, l'element abocat rebotarà en direcció oposada al cilindre, i aquest, pel principi d'acció-reacció, tendirà a anar en direcció oposada a la que ha pres l'element sòlid. En canvi, si es repeteix aquesta experiència amb un líquid, la seva viscositat el farà

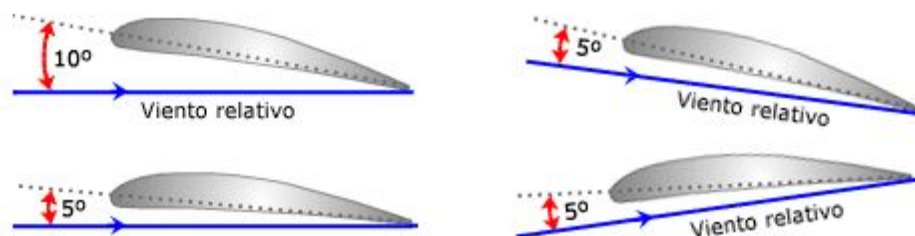


tendir a enganxar-se a la superfície corba del cilindre. Si ens imaginéssim el líquid que cau com milers de capes d'aigua, les capes que toquen el cilindre s'hi enganxarien; mentre que la resta, per efecte del fregament, s'hi anirien enganxant gradualment i anirien adquirint una desviació progressiva.



Imatge 12: Representació efecte Coandă

**Angle d'atac:** És l'angle agut format per la corda de l'ala i la direcció del vent relatiu. Aquest angle és variable, doncs depèn de la direcció del vent relatiu i de la posició de l'ala respecte d'aquest.



Imatge 13: Esquema angle d'atac

**Centre de pressions:** És el punt teòric de l'ala on es considera que s'aplica tota la sustentació. Es considera que tota la força de sustentació és aplicada a un punt de la línia de corda de l'ala. La posició d'aquest canvia en funció de l'angle d'atac.



Imatge 14: Centre de pressions.

Sobre un aeroplà en vol actuen una sèrie de forces, unes favorables i unes altres desfavorables, exercir control sobre elles per mantenir un vol segur i eficient és una tasca primordial per al pilot.

Tot i que els experts segueixen debatent i investigant sobre aerodinàmica, al nostre nivell només necessitem conèixer alguns conceptes fonamentals, començant per les forces que afecten al vol i els seus efectes.

De totes les forces que actuen sobre un aeroplà en vol, les bàsiques i principals perquè afecten totes les maniobres són quatre: sustentació, pes, empenta i resistència. Aquestes quatre forces actuen en parells; la sustentació és oposada al pes, i l'empenta o tracció a la resistència.



Imatge 15: Forces que actuen en vol

## 5.1 La Sustentació

La sustentació és la principal força que permet a una aeronau amb ales mantenir el vol. Aquesta força és desenvolupada per un perfil aerodinàmic que es mou dins l'aire (fluid), exercida de baix cap a dalt (oposada al pes) i amb direcció perpendicular al vent relatiu. Es representa amb la lletra L (lift)



Imatge 16: Esquema sustentació.

Expressió matemàtica de la sustentació:

$$L = C_L \cdot q \cdot S$$

**C<sub>L</sub>** és el coeficient de sustentació, depenent del tipus de perfil i angle d'atac., **q** és la pressió aerodinàmica ( $1/2\rho v^2$  d densitat i v velocitat vent relatiu) i **S** la superfície.

### 5.1.1 Factors que afecten a la sustentació:

**Forma del perfil alar:** Fins a cert punt, com més gran és la curvatura del perfil, la diferència de velocitats, i per tant també de pressions, és major, això implica un augment de la sustentació.

La curvatura d'una ala moderna sol ser només d'un 1% o 2% ja que un increment d'aquesta curvatura requereix una superfície inferior còncaua cosa que dificulta el procés de construcció. A més, una gran curvatura només és realment beneficiosa a velocitats baixes, és a dir en situacions d'enlairament i aterratge. En aquestes situacions s'usen dispositius hipersustentadors.

**Superfície alar:** Com més grans siguin les ales, major serà la superfície sobre la qual s'exerceix la força de sustentació. S'ha de tenir en compte però, que una ala molt gran o corba incrementarà la resistència en aquesta al exposar més superfície envers el flux d'aire.

**Densitat de l'aire:** A major densitat de l'aire, major és el nombre de partícules per unitat de volum que intercanvien velocitat per pressió i produeixen sustentació, és el que anomenem factor  $\rho$  del Teorema de Bernoulli.

**Velocitat del vent relatiu:** A major velocitat sobre el perfil, major es la sustentació produïda. Segons el Teorema de Bernoulli, la sustentació és directament proporcional al quadrat de la velocitat, l'anomenat factor  $V^2$ . Aquest doncs, és el factor que més influeix en la sustentació

**L'angle d'atac:** En augmentar l'angle d'atac, l'estretament al flux d'aire és major, i per tant, també ho és la diferència de pressions i en conseqüència la sustentació. No obstant, l'augment de la sustentació amb l'angle d'atac té un límit. Com es pot veure en la figura següent, el coeficient de sustentació (CL) augmenta proporcionalment amb l'angle d'atac, fins a arribar a un màxim, a partir del qual la sustentació esdevé indirectament proporcional a l'angle d'atac.



Imatge 17: Gràfic del CL màxim

## 5.2 El Pes

El pes és la força d'atracció gravitatòria que la Terra exerceix sobre un cos, essent la seva direcció perpendicular a la superfície de la Terra i en sentit cap a aquesta. La seva intensitat és proporcional a la massa del cos sobre el que s'exerceix la força seguint la relació matemàtica següent:

$$P = m \cdot g$$

D'on P és el pes, m la massa del cos en qüestió i g la acceleració de la gravetat terrestre. És aquesta força la que manté tot cos a terra i haurà de ser contrarestada per la força de sustentació per tal de que aquest cos pugui volar.

El centre de gravetat (CDG) és el punt on es considera que s'exerceix tota la força de la gravetat (pes). El CDG és el punt d'equilibri total, si s'aconseguís lligar l'avió per un cordill, aquest quedaria en equilibri absolut. L'avió realitza tots els seus moviments sobre el CDG. La situació del CDG té una gran importància en l'estabilitat i el control de l'avió.

Si el centre de gravetat es troba a la part davantera de l'avió, serà molt estable però poc maniobrable, en canvi, si el centre de gravetat esta a la part posterior, l'avió serà poc estable però molt maniobrable.



Imatge 18: Antonov AN225

### 5.3 La Resistència

La resistència és la força que impedeix o endarrereix el moviment d'un avió. La resistència actua de forma paral·lela i en la mateixa direcció que el vent relatiu, encara que es pot dir que la resistència és paral·lela i de direcció oposada de la trajectòria.



Imatge 19: Esquema resistència

Des del punt de vista de aerodinàmica, quan una ala es desplaça a través de l'aire apareixen dos tipus de resistències aerodinàmiques:

- Resistència causada per la fricció de l'aire sobre la superfície de l'ala.
- Resistència causada per la pressió de l'aire oposant-se al moviment d'un cos dins seu.

La resistència produïda per la fricció és directament proporcional a la viscositat del fluid, en el cas de l'aire, aquesta és molt baixa, mentre que la resistència a causa de la pressió de l'aire depèn de la densitat de la massa d'aire que envolta l'ala.

En general, la resistència produïda pel fregament de l'aire contra el perfil alar és molt menor que la produïda per la pressió de l'aire.

Ambdues resistències creen una força proporcional a l'àrea sobre la que actuen i al quadrat de la velocitat.

Una part de la resistència produïda per la pressió d'aire és proporcional a la quantitat de sustentació produïda; aquesta part s'anomena Resistència Induïda. A la suma de tota la resta de resistències s'anomenen Resistència paràsita.

La fórmula matemàtica de la resistència és la mateixa que la de la sustentació:

La resistència es representa amb la lletra D (*drag*).

$$D = C_D \cdot q \cdot S$$

$C_D$  és el coeficient de resistència, depenent del tipus de perfil i angle d'atac.  $q$  és la pressió aerodinàmica ( $1/2\rho v^2$  d densitat i  $v$  velocitat vent relatiu) i  $S$  la superfície de l'ala.

La resistència total d'un aparell volador és doncs la suma de la resistència induïda i de la resistència paràsit.

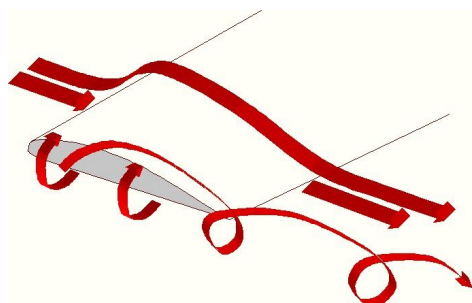
### 5.3.1 Resistència induïda:

És una conseqüència de la sustentació i augmenta de forma directament proporcional amb l'angle d'atac.

Al trobar-se a la part posterior de l'ala el flux d'aire que flueix per sobre d'aquesta amb el flux que circula per sota, la velocitat major del primer deflacta cap a baix al segon, creant una petita variació en el vent relatiu, aquest efecte doncs, crea resistència.



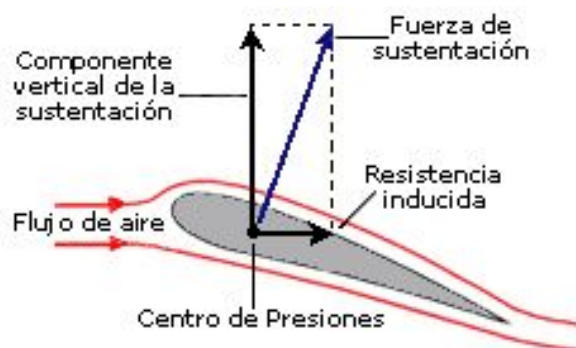
Imatge 20: Vòrtex de punta d'ala.



Imatge 21: Esquema vòrtex.

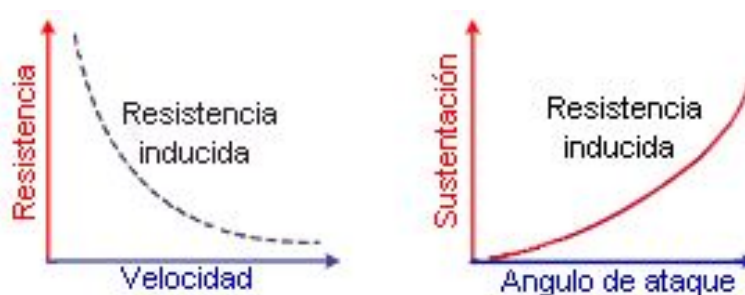
Aquest efecte és major a l'extrem de l'ala, ja que l'aire que flueix per sota de l'ala tendeix a anar cap amunt a causa de la menor pressió de la regió superior, però alhora és deflactat cap a baix per la diferència de velocitat de la part superior produint un moviment de remolí conegut com a vòrtex de punta d'ala, que absorbeix energia.

Al representar gràficament la component vertical de la força de sustentació i la resistència induïda, obtenim com a resultant la força de sustentació aprofitable:



Imatge 22: Esquema força de sustentació aprofitable.

Amb tot això veiem que la resistència induïda augmenta a mesura que augmenta l'angle d'atac, ja que això suposa major sustentació. Però si per mantenir la mateixa sustentació augmentem la velocitat i reduïm l'angle d'atac, la resistència induïda disminuirà, de forma que, la resistència induïda és inversament proporcional a la velocitat i per tant, la resistència induïda disminueix amb l'augment de la velocitat.



Imatge 23: Gràfics resistència induïda.

La forma de les ales té una gran influència en la resistència induïda, una ala allargada i estreta té menys resistència induïda que una curta i ampla.



### 5.3.2 Resistència paràsit:

És la produïda per la suma de totes les demás resistències no relacionades amb la sustentació, com ara: resistència a l'avenç de les parts no aerodinàmiques del cos; fricció superficial amb l'aire, etc... També, la superfície total de l'ala i la forma d'aquesta afecta a la resistència paràsit, de forma que una ala allargada ofereix més superfície oposada al vent, i per tant presenta més resistència paràsit que una ala curta.



Imatge 24: Gràfic Resistència paràsit.

A més, com major sigui la velocitat més partícules d'aire xocaran contra l'ala per unitat de temps, augmentant el fregament, i en conseqüència, la resistència paràsit, de manera que aquesta augmenta amb la velocitat.

Si la resistència induïda és producte de la sustentació, i la resistència paràsit és influïda per la superfície alar i la forma de l'ala, cal esperar que tots els factors que afectin a la sustentació, repercutiran en major o menor mesura en la resistència.

En conclusió:

- A major velocitat, menor resistència induïda.
- A major angle d'atac, major resistència induïda.
- A major velocitat, major resistència paràsit.



Imatge 25: Gràfic de resistències.

## 5.4 Empenta:

Per vèncer la inèrcia de l'avió aturat, accelerar-lo en carrera d'enlairament o en vol, mantenir un ascens, etc... es necessita la força de l'empenta.

L'obtenim accelerant una massa d'aire a una velocitat major que la de l'avió. La reacció, d'igual intensitat però de sentit oposat (3a llei Newton), mou l'avió endavant.

En els avions d'hèlix, l'empenta l'aconseguim al rotar l'hèlix moguda per un motor o turbina, en els avions reactors, s'aconsegueix per l'expulsió a pressió dels gasos cremats per la turbina.



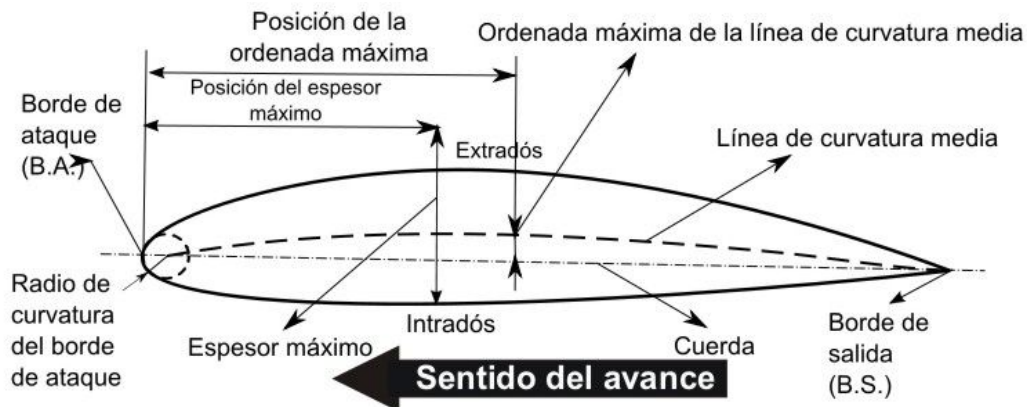
Imatge 26: Pitts Special S-2B.



Imatge 27: Motor a reacció.

## 6. LES ALES:

Comencem a estudiar les parts d'una ala per donar pas al estudi dels dispositius hipersustentadors:



Imatge 28: Esquema parts de l'ala.

**Perfil alar:** És la forma de la secció de l'ala, el que veuríem si realitzéssim un tall transversal en aquesta. Excepte en el cas de les ales rectangulars, en que tots els perfils són iguals, l'habitual és que els perfils que componen una ala siguin diferents, tendeixen a ser més estrets i petits cap als extrems de les ales.

**Caire d'atac:** És el caire (vora) davanter de l'ala, és a dir la línia que uneix la part anterior de tots els perfils que conformen l'ala, o d'una altra manera, la part de l'ala que primer contacta amb el flux d'aire.

**Caire de caiguda o sortida:** És el caire posterior de l'ala, és a dir la línia que uneix la part posterior de tots els perfils de l'ala, o dit d'altre forma, la part de l'ala per la qual el flux d'aire pertorbat per l'ala retorna al corrent lliure d'aire.

**Extradós:** És la part superior de l'ala, compresa entre els caires d'atac i de caiguda.

**Intradós:** És la part inferior de l'ala compresa entre els caires d'atac i de caiguda.

**Gruix:** És la distància màxima que hi ha entre l'extradós i l'intradós.

**Corda:** És la línia recta imaginària traçada entre els caires d'atac i de sortida de cada perfil.

**Corda mitjana:** Ja que els perfils que componen l'ala no solen ser iguals, el mateix passa amb la corda de l'ala, per això parlem de corda mitjana. És defineixen dos tipus de corda, la corda mitjana aerodinàmica, i la corda mitjana geomètrica.

**Línia del 25% de la corda:** És la línia imaginària que s'obtidria en unir tots els punts situats a una distància del 25% de la longitud de la corda de cada perfil alar a partir del caire d'atac.

**Curvatura:** És la corba de l'ala des del caire d'atac fins al de caiguda. La curvatura superior fa referència a la corba de l'extradós; la curvatura inferior es refereix a la corba de l'intradós, i la curvatura mitjana, a la corba equidistant entre ambdues superfícies.

**Allargament:** És el quocient entre l'envergadura i la corda mitjana. Aquesta dada, ens indica la relació existent entre la longitud i l'amplada de l'ala. Per exemple, si aquest quocient fos 1 estaríem davant d'una ala quadrada, d'igual longitud que amplada. Òbviament, a mesura que aquest valor incrementa, més llarga i estreta és l'ala. Aquest quocient afecta de forma indirectament proporcional a la resistència induïda, ja que com més allargament, menor és la resistència induïda. Les ales curtes i amples, són fàcils de construir i molt resistents, però generen molta resistència, i presenten problemes estructurals. Normalment, l'allargament sol estar compres entre les relacions 5:1 i 10:1.

**Superfície alar:** És la superfície total corresponent a les ales.

**Envergadura:** És la distància entre els dos extrems de les ales. Per simple geometria, si multipliquem la envergadura per la corda mitjana, obtenim la superfície alar.

**Fletxa de l'ala:** És l'angle que formen les ales (més concretament l'angle que forma la línia del 25% de la corda) respecte l'eix transversal de l'aeroplà. La fletxa pot ésser positiva, on els extrems de les ales estan orientats cap a endarrere respecte l'arrel, que és l'habitual, pot ser neutra o negativa, on els extrems de les ales estan encarats cap endavant.



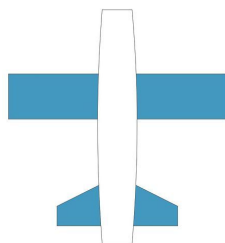
Imatge 29: Diferents fletxes d'ala.

**Diedre:** Mirant les ales de front, el diedre és l'angle que formen les ales respecte a la vertical perpendicular al l'horitzó. Com en el cas de la fletxa alar, el diedre, pot ser positiu, neutre o negatiu.



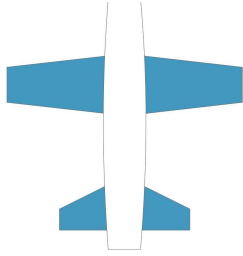
Imatge 30: Tipus de diedre.

**Forma en planta de l'ala:** Les ales poden tenir una gran varietat de formes. Cada forma té unes característiques específiques, i s'usen en funció de les situacions o característiques que hagi de complir l'aeroplà.



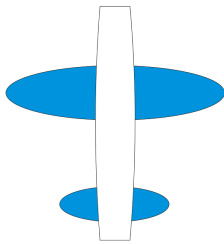
**Ala Recte:** Senzilla de construir i de baix cost, s'usa en aeronaus lleugeres per curtes distàncies i a poca velocitat ja que és molt ineficient, la secció exterior genera poca sustentació alhora que afegeix pes i resistència.

Imatge 31: Ala recte.



**Ala Trapezoidal:** Ala en forma cònica, comú en aeronaus lleugeres, on l'amplada de l'arrel a la punta de l'ala es va reduint progressivament, donant-li una forma trapezoïdal. És més eficient que l'ala recta sense complicar massa la seva construcció.

Imatge 32: Ala trapezoidal.



**Ala El·liptica:** Ala en forma d'el·lipsi, comú en aeronaus de combat de la segona Guerra Mundial, ara en desús. Minimitza la resistència induïda, però té un grau de dificultat de construcció molt alt.

Imatge 33: Ala El·liptica.

## 7. Dispositius hipersustentadors

Un dispositiu hipersustentador és un enginy aerodinàmic dissenyat per tal d'augmentar la sustentació en determinades fases del vol d'una aeronau. La seva finalitat és augmentar la corda i la curvatura del perfil alar, modificant la geometria del perfil de tal manera que es redueixi significativament la velocitat d'entrada en pèrdua durant fases concretes del vol, com l'enlairament o l'aterratge, fent possible un vol a velocitat més lenta que la de creuer.



El dispositiu pot ser un component fixe o un mecanisme mòbil que s'acciona quan es requereix.



El seu ús es fonamenta en l'eficiència de l'ala ja que per tal de reduir la distància d'enlairament i aterratge, caldria una ala molt gran, que generés molta sustentació, cosa que incrementaria la resistència tan induïda com paràsita en règim de creuer. Amb l'aplicació dels dispositius sustentadors podem usar una ala més petita i que sigui més eficient durant el vol de creuer, i incrementar la sustentació durant les fases més crítiques del vol, és a dir l'aterratge i l'enlairament.

Podem distingir diferents tipus de dispositius hipersustentadors segons si:

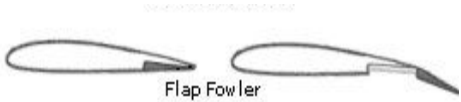

- Augmenten la curvatura de l'ala
- Augmenten la corda (àrea) de l'ala.
- Controlen la capa límit.



En aquest punt explico mitjançant unes taules, la funció, ús, localització, etc.. de cada tipus de dispositiu hipersustentador.



<b>Nom:</b> Flap Simple	<b>Zona:</b> Caire de sortida
<b>Funció:</b> Augmenta la curvatura de l'ala disminuint una mica la seva superfície, incrementa significativament la resistència.	<b>Esquema:</b>  <p>Flap sencillo</p>
<b>Conclusions i avions on s'aplica:</b> Degut a la seva senzillesa i lleugeresa s'aplica en aviació general on no es requereixen grans prestacions per a l'avió. Són elèctrics o mecànics, això comporta poc manteniment i un cost més reduït.	<b>Imatge:</b> 

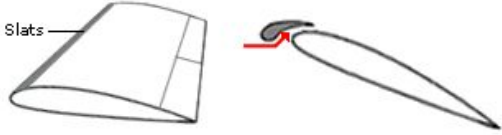

<b>Nom:</b> Flap Ranurat	<b>Zona:</b> Caire de sortida
<b>Funció:</b> Augmenta la curvatura de l'ala i controla la capa límit, l'aire flueix de l'intradós a l'extradós per la ranura, succionant la capa límit, l'augment de resistència és menor que en el flap simple.	<b>Esquema:</b>  <p>Flap ranurado</p>
<b>Conclusions i avions on s'aplica:</b> Crea un augment de resistència menor que al flap simple, és complex i costós, s'utilitza en aeronaus amb cargues alars molt altes on si que es requereixen altes prestacions per al bon funcionament, i també s'utilitza de forma birranurada i trirranurada.	<b>Imatge:</b> 



<b>Nom:</b> Flap Fowler i Fowler Birranurat	<b>Zona:</b> Caire de sortida
<b>Funció:</b> Augmenta tant la curvatura com la superfície alar i controla la capa límit, l'increment de resistència és menor que en els casos anteriors.	<b>Esquema:</b> 
<b>Conclusions i avions on s'aplica:</b> Flap molt limitat per la seva complexitat i per el seu pes, té un augment de la resistència molt inferior als anteriors. S'utilitza molt en avions comercials per la seva eficàcia i eficiència.	<b>Imatge:</b> 

<b>Nom:</b> Flap d'Intradós	<b>Zona:</b> Caire de sortida
<b>Funció:</b> Augmenta la curvatura, gran increment de la resistència inclòs per a deflexions mínimes, dispositiu arcaic i poc eficient, gairebé està en desús.	<b>Esquema:</b> 
<b>Conclusions i avions on s'aplica:</b> Crea un augment de la resistència extremadament elevat inclús per a petites deflexions, per aquesta causa, avui dia no s'utilitza.	<b>Imatge:</b> 

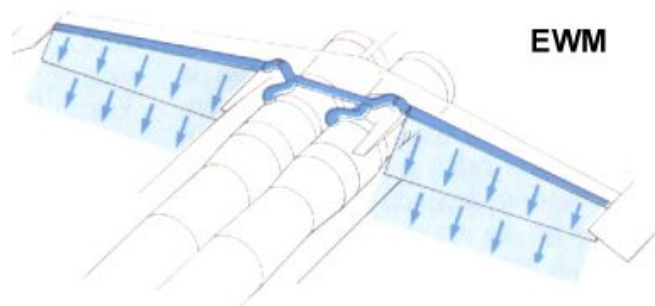
<b>Nom:</b> Krueger Flap	<b>Zona:</b> Caire d'atac
<b>Funció:</b> Augmenta la curvatura i l'espessor de l'ala, incrementant la sustentació i també la resistència.	<b>Esquema:</b> 
<b>Conclusions i avions on s'aplica:</b> És un dispositiu relativament senzill amb una bona eficàcia. Comença a estar en desús però encara s'utilitza en molt d'avions comercials com el Boeing B747.	<b>Imatge:</b> 

<b>Nom:</b> Slat	<b>Zona:</b> Caire d'atac
<b>Funció:</b> Endarrereix el desprendiment del corrent d'aire en les proximitats del caire d'atac, modificant el corrent exterior, d'aquesta manera s'augmenta la sustentació i es redueix la velocitat d'entrada en pèrdua.	<b>Esquema:</b> 
<b>Conclusions i avions on s'aplica:</b> Gràcies al flux d'aire que es crea entre mig del slat i el caire d'atac, la cap límit s'energitza i s'enganxa a la superfície alar. Veure annexe 11.1: L'àlula	<b>Imatge:</b> 

## 7.1 Altres dispositius hipersustentadors menys freqüents

### Flap Bufat:

L'aire sangrat del compressor i a molta pressió passa per uns conductes fins a la ranura dels flaps on s'injecta i augmenta l'energia cinètica de l'aire y genera corrents que eviten el despreniment de la capa límit. El sangrat de l'aire dels motors fa que la potència que aquests generen sigui menor. Per això habitualment només s'utilitzen en avions dissenyats per fer enlairament i aterratges curts.



Imatge 34: Flap Bufat

### Corró de caire d'atac:

És un cilindre que gira en sentit horari en un eix en el caire d'atac, això fa accelerar de forma artificial el aire que passa per damunt i desaccelerar l'aire que pasa per sota el perfil alar. Al augmentar aquesta diferència de velocitats es crea una major sustentació generada per l'ala.

## Mètodes inusuals

-Crear zones de baixa pressió mitjançant succionadors a la zona on la capa límit es desprèn i així aconseguir que aquesta quedi adherida.

-Enganxar a les zones més susceptibles de despreniment de capa límit els anomenats generadors de remolins, en series de plaques orientades aerodinàmicament.



Imatge 36 i 37: Generadors de remolins.

-Un altre és l'ús dels gasos d'escapament del motor com a generador directe o indirecte de sustentació, ja sigui mitjançant toveres vectorials (directe) com amb configuracions de motor en l'ala (indirecte); això últim es pot veure molt bé en l'Antonov An-72, avió especialment dissenyat per a ser usat en pistes curtes i no preparades.



Imatge 38: Antonov AN72

## 8. Estudi pràctic: El vol

Després d'haver estudiat el funcionament bàsic d'un avió i més concretament les ales i els dispositius hipersustentadors, he fet un estudi pràctic amb un vol real.

### 8.1 Objectius:

- Observació del funcionament de la capa límit:

Al punt 5 vaig explicar i definir el concepte de capa límit i la importància d'aquesta. En aquesta part de l'estudi pràctic farem visible la capa límit amb l'ajuda de llana i cinta adhesiva.

- Influència dels dispositius hipersustentadors en la capa límit:

Al punt 7 també vaig estudiar que eren i com funcionen els dispositius hipersustentadors, en aquesta segona part del vol realitzaré un seguit de pèrdues de sustentació per veure com influeixen els flaps i slats en la velocitat d'entrada en pèrdua.

## 8.2 Metodologia:

Per a la realització d'aquesta part pràctica vaig comptar amb l'ajuda de'n Santi Lopezbarrena, pilot i estudiant d'enginyeria aeronàutica

Vaig fer el vol amb una avioneta Socata Rallye, un avió monomotor de quatre places, d'ala baixa, recte, diedre positiu i fletxa neutre; que compta amb dos tipus de dispositius hipersustentadors, flaps i slats, aquests últims són molt poc usuals en avions de petites dimensions i és una de les raons per la qual vaig escollir aquest avió.



Imatge 39: Rallye Socata

Compta amb un sistema mecànic de flaps amb 3 posicions:  $0^\circ$ ,  $8^\circ$  i  $30^\circ$ .

Els slats d'aquest avió són automàtics, això significa que es despleguen a unes certes velocitats en les quals l'avió perd sustentació, aquestes velocitats són:

flight. They are connected right and left and damped with special dampers which avoid any strong displacement in rough air.

Normal IAS slats operation in straight flight, zero bank at 2314 lb. (1050 kg) gross weight IAS in Kts in first column, in MPH in second column, in km/h in third column.

Flaps position	Opening course			Closing course		
	Start	End		Start	End	
Up $0^\circ$	68	78 126	62 71 115	77 88 142	89 102	165
Down $30^\circ$	63	72 116	58 67 108	64 73 118	70 81	130

Sheet 17

Imatge 40: Taula de velocitats de slat del manual de l'avió.

Una altre raó per escollir aquest avió en concret, va ser que és un avió d'ala baixa, això em permetia poder enregistrar el procés de despreniment de capa límit i els



moviments dels flaps i slats des de el seient de copilot. A més a més la cabina esta coberta per una cúpula de vidre que dona una gran visibilitat des de l'interior.

Per a la part de l'observació de la capa límit he utilitzat talls de llana d'uns 15 centímetres de llarg distribuïts per tota la superfície alar amb cinta adhesiva.



Imatge 41: Talls de llana.



Imatge 42: Preparació de la pràctica.

Vaig realitzar un vol d'uns 20 minuts a l'aeròdrom de La Cerdanya i durant aquest vol vaig enregistrar en tot moment l'ala per tal de poder captar el comportament de la capa límit en les diferents situacions de vol i així com el moviment dels diferents dispositius hipersustentadors dels que consta l'aeronau.

### 8.3 Resultats:

- Després de la realització de 3 pèrdues amb 3 configuracions diferents de posició de flap (0°, 8°, 30°) les velocitats d'entrada en pèrdua han estat:

Posició flap (°)	0°	8°	30°
Velocitats (km/h)	100	90	85

- S'observa com durant la realització de les pèrdues, les llanes de la part mitjana i posterior de l'ala deixen la posició estirada i passen a comportar-se de manera aleatoria. També s'observa que en viratges pronunciats com algunes llanes també deixen la posició estirada.
- Els slats s'obren segons les velocitats mencionades anteriorment per evitar l'entrada en pèrdua de l'avió.

Vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=B6gXfe7AqSY>

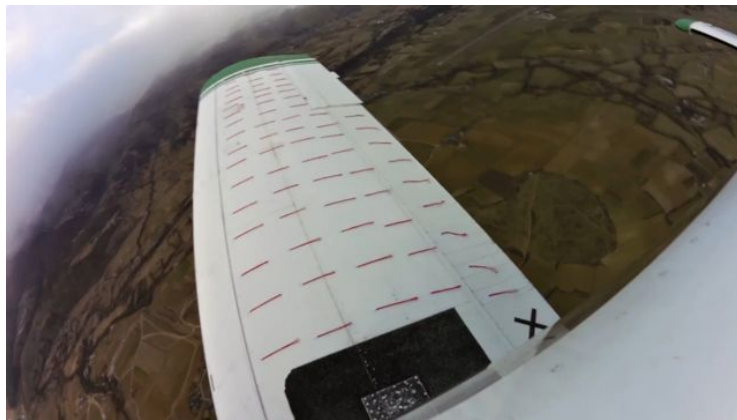
### 8.4 Conclusions:

Amb l'ajuda de les llanes he pogut mostrar molt visualment el comportament de la capa límit, amb aquests resultats podem arribar a un seguit de conclusions:

- A mesura que l'avió va perdent sustentació i velocitat, les llanes de la part posterior de l'ala comencen a bellugar-se molt ràpidament, això ens indica que en aquell punt, la capa límit no hi actua (s'ha després).
- S'aprecia com el despreniment de la capa límit és major per la part que troba més aprop de el fusellatge de l'avió, això és degut a que la part de l'encast alar (començament de l'ala) és la zona en la qual es genera menys sustentació ja que la capa límit no s'hi pot adherir bé, aquest fet ens porta a una altre conclusió.



- Els alerons, superfície de control de viratges (moviment d'alaveig) estan situats a la part més exterior de l'ala, pel fet de que és el punt on es genera més sustentació i la capa límit actua millor.
- Una altre conclusió que es pot treure, és que quan l'avió desplega els slats, s'observa com els últims talls de llana es tornen a col·locar en la posició estirada (actua la capa límit) i això es degut a que quan es despleguen els slats, deixen una ranura entremig que energitza la capa límit per aconseguir que s'enganxi més.



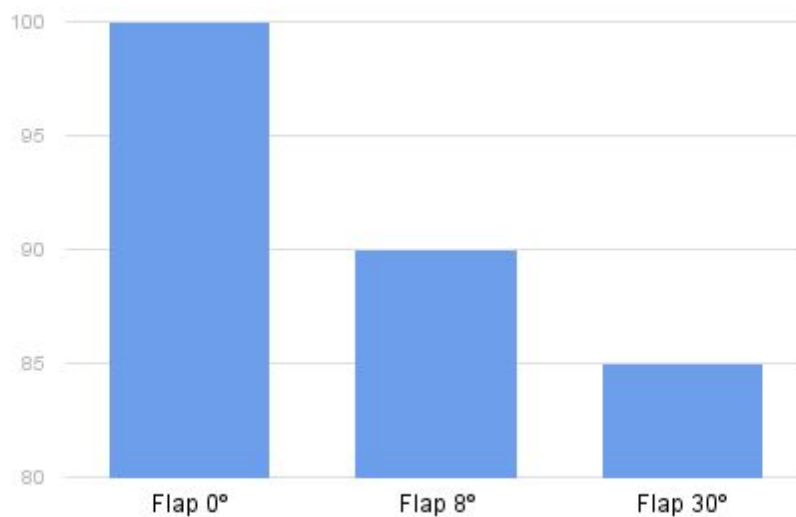
Imatge 43: Capa límit adherida.



Imatge 44: Entrada en pèrdua.

A la primera imatge, s'observa com la capa límit es troba totalment enganxada a l'ala, i en canvi, a la segona imatge (entrada en pèrdua) es pot veure com bastants talls de llana deixen d'estar en la posició estirada i això indica que no hi actua la capa límit.

A part de la realització de la part de la capa límit, també vaig realitzar 3 pèrdues amb diferents posicions de flap i vaig anotar les velocitats. Aquests resultats ens porten a la conclusió de:



Imatge 45: Gràfic resultats

Com ens indica el gràfic, la velocitat d'entrada en pèrdua es va reduint a mesura que augmenten els graus de flap, això es degut a que els flaps augmenten la curvatura i superfície d'ala i així s'aconsegueix un augment del coeficient de sustentació (CL) tot i que la capa límit es més dèbil, és per això que l'entrada en pèrdua es més brusca i visible en el video amb la configuració de 30° de flap que no amb la de 0°.

## 9. Conclusions del treball

Durant l'elaboració d'aquest treball he estudiat i investigat el funcionament bàsic dels avions i més concretament les ales i els dispositius hipersustentadors, elements imprescindibles per volar, com hem pogut concloure amb aquest treball.

He après també que hi ha ales molt diferents i cada una s'ajusta segons la seva forma, diedre, fletxa i superfície a la funció que ha de desenvolupar una aeronau concreta.

També m'he adonat de que l'ésser humà s'ha inspirat en molts aspectes en el funcionament de les ales dels éssers voladors de la Terra.

He explorat els tipus de dispositius hipersustentadors i la funció de cada un, després de realitzar el treball i amb els resultats obtinguts amb l'estudi pràctic puc afirmar que avui en dia són elements molt importants alhora de fer més segures, curtes i eficients les maniobres d'aterratge i enlairament de les aeronaus, ja que requereixen sustentació a velocitats molt baixes.

Ha estat un treball llarg i laboriós, ja que he estudiat un tema molt desconegut i del qual hi ha molt poca informació, també m'he vist obligat a simplificar els continguts sense perdre l'essència del coneixement per donar l'oportunitat a la gent amb coneixements bàsics sobre física i tecnologia de comprendre el treball, m'he ajudat de fotografies ja que crec que poden ajudar molt alhora de comprendre les explicacions teòriques, tot i que la recerca d'aquestes ha estat complicada.

He complert els objectius que hem proposava menys una part de la pràctica que degut a les condicions meteorològiques adverses durant el vol no va ser possible fer-la.

El vol de la pràctica es tracta d'un vol que pot ser perillós degut als elements que s'afegeixen a l'ala, es per això que he hagut de realitzar-la en un aerodrom de muntanya (La Cerdanya). Les revisions de l'aeronau i la meteorologia han jugat un paper molt important durant la realització de la pràctica que que m'han obligat a anul·lar-la un parell de cops.

Un fet clar, és que l'aviació esta en constant evolució ja que s'ha passat d'unes ales de tela simples a l'any 1903 amb els germans Wright a unes ales de materials molt lleugers i resistents amb un seguit de dispositius hipersustentadors instal·lats. Això em porta a pensar que en un futur, veurem avions amb ales mòbils, flexibles o plegables que encara s'assemblaran més a les aus (Vegeu annexe 11.2 ).

## 10. Bibliografia i Llocs WEB

### 10.1 Bibliografia:

Aerodinámica Básica. J. MESEGUER, A. SANZ. Garceta Grupo Editorial. Madrid, 2010.

Historia de la aviación S. WOOLFROD i C. WARNER Tikal ediciones. Madrid, 2012.

1001 Aviones legendarios, diversos autors, Servilibro Ediciones S.A., Madrid, 2010.

Diversos llibres, apunts i manuals l'escola de vol de l'Aeroclub Barcelona-Sabadell.

### 10.2 Llocs WEB:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/dinamica/bernoulli/bernouilli.htm>

<http://www.surmagico.cl/alulas.htm>

[http://aero.us.es/AVE/archivos/Y0910/Tema4\\_parte2\(WEB\).pdf](http://aero.us.es/AVE/archivos/Y0910/Tema4_parte2(WEB).pdf)

[http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15280/PFC\\_Lucas\\_Fernandez-Pena\\_Molla.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15280/PFC_Lucas_Fernandez-Pena_Molla.pdf?sequence=1)

[http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/pers\\_aeron/examenes/ppa/teor-a-y-analisis-de-respuestas-ppa.pdf](http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/pers_aeron/examenes/ppa/teor-a-y-analisis-de-respuestas-ppa.pdf)

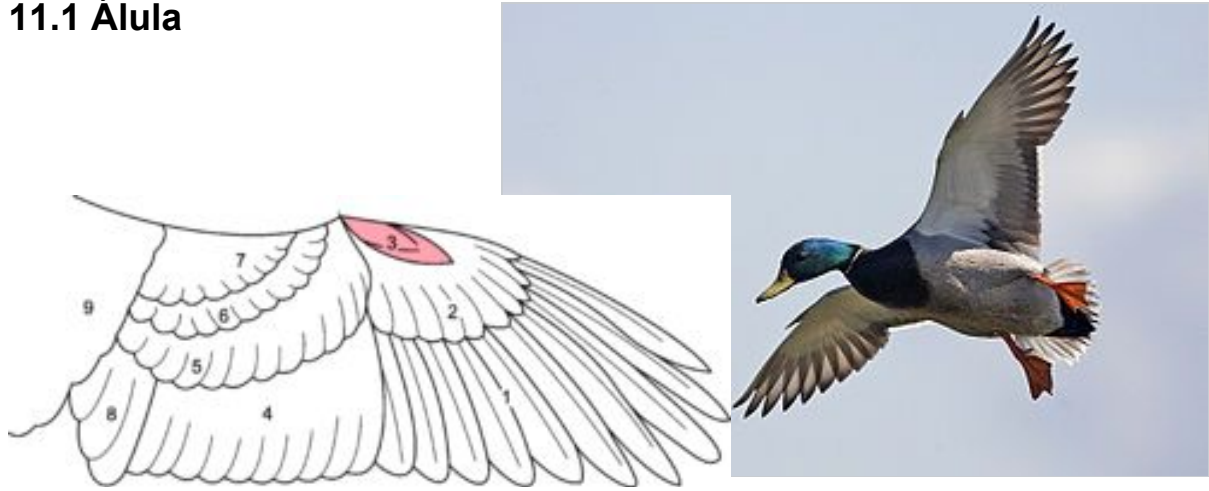
<http://www.wikipedia.com>

[http://vatmex.com/manuales/Pilotos/Aerodinamica\\_basica\\_e\\_intermedia\\_V17.pdf](http://vatmex.com/manuales/Pilotos/Aerodinamica_basica_e_intermedia_V17.pdf)

<https://www.google.es/imghp>

## 11. Annexes

### 11.1 Àlula



L'àlula és un grup de 3 a 5 plumes, del conjunt d'ossos dels dits atrofiats de les ales de les aus.

Aquesta estructura la tenen quasi tots els grups d'aus, menys els colibris, a la part davantera de l'ala o caire d'atac de les ales i es desplega durant maniobres que requereixen vols a baixa velocitat com aterratges i enlairaments, podríem dir que es la representació natural d'un dispositiu hipersustentador, que genera un remolí en un flux d'aire que al accelerar aquest, ajuda a mantenir la capa límit adherida.

Aquest element va servir d'inspiració per al desenvolupament del denominat Slat.

## 11.2 Ales Intel·ligents:

La NASA a dut a terme un seguit de vols amb un avió dotat d'ales intel·ligents que s'adapten a la situació de vol:

### ***NASA Successfully Tests Shape-Changing Wing for Next Generation Aviation***

*NASA researchers, working in concert with the Air Force Research Laboratory (AFRL) and FlexSys Inc., of Ann Arbor, Michigan, successfully completed initial flight tests of a new morphing wing technology that has the potential to save millions of dollars annually in fuel costs, reduce airframe weight and decrease aircraft noise during takeoffs and landings.*

*The test team at NASA's Armstrong Flight Research Center in Edwards, California, flew 22 research flights during the past six months with experimental Adaptive Compliant Trailing Edge (ACTE) flight control surfaces that offer significant improvements over conventional flaps used on existing aircraft.*

*"Armstrong's work with ACTE is a great example of how NASA works with our government and industry partners to develop innovative technologies that make big leaps in efficiency and environmental performance," said Jaiwon Shin, associate administrator for NASA's Aeronautics Research Mission Directorate at the agency's headquarters in Washington. "This is consistent with the agency's goal to support the nation's leadership in the aviation sector."*

*AFRL began work with FlexSys in 1998 through the Small Business Innovative Research (SBIR) program. AFRL and FlexSys developed and wind tunnel tested several wing leading and trailing edge designs for various aircraft configurations through 2006. In 2009, AFRL and NASA's Environmentally Responsible Aviation ACTE technology, which can be retrofitted to existing airplane wings or integrated into entirely new airframes, enables engineers to reduce wing structural weight and*

*to aerodynamically tailor the wings to promote improved fuel economy and more efficient operations while also reducing environmental and noise impacts.*

*"The completion of this flight test campaign at Armstrong is a big step for NASA's Environmentally Responsible Aviation Project," said ERA project manager Fay Collier. "This is the first of eight large-scale integrated technology demonstrations ERA is finishing up this year that are designed to reduce the impact of aviation on the environment."*

*Flight testing was key to proving the concept's airworthiness. The test aircraft was flown with its experimental control surfaces at flap angles ranging from -2 degrees up to 30 degrees. Although the flexible ACTE flaps were designed to morph throughout the entire range of motion, each test was conducted at a single fixed setting in order to collect incremental data with a minimum of risk.*

*"We are thrilled to have accomplished all of our flight test goals without encountering any significant technical issues," said AFRL Program Manager Pete Flick, from*



*(ERA) project agreed to equip a Gulfstream III jet with ACTE flaps designed and built by FlexSys, incorporating its proprietary technology.*



*Wright-Patterson Air Force Base in Ohio. “These flights cap 17 years of technology maturation, beginning with AFRL’s initial Phase 1 SBIR contract with FlexSys, and the technology now is ready to dramatically improve aircraft efficiency for the Air Force and the commercial aviation industry.”*

*All the primary and secondary objectives for the test were successfully completed on schedule and within budget. The results of these flight tests will be included in design trade studies performed at NASA’s Langley Research Center in Hampton, Virginia, for designing future large transport aircraft.*