

Treball de recerca

COM VOLEN ELS AVIONS?



Perquè les oques volen en "V"

S'ha comprovat que, quan cada ocell bat les ales, produeix un moviment en l'aire que ajuda a l'ocell que va darrere d'ell. Volant en "V" l'estol d'ocells al complet augmenta almenys un 71 per cent el seu poder, més que si cada ocell volés sol.

Cada vegada que una oca surt de la formació sent immediatament la resistència de l'aire, s'adona de la dificultat de fer-ho sola i ràpidament torna a la seva formació, per beneficiar-se del poder del company que va davant.

Quan el líder de les oques es cansa, es posa a un dels llocs de darrere i una altra oca pren el seu lloc.

Les oques que van darrere claquen per animar a les que van davant a mantenir la velocitat.

Finalment, quan una oca es posa malalta o cau ferida per un tret, unes altres dues oques surten de la formació i la segueixen per ajudar-la i protegir-la. Es queden acompanyant-la, fins que està novament en condicions de volar o fins que mor, i només llavors els dos companys tornen a l'estol o s'uneixen a un altre grup.

AGRAIMENTS

Primer de tot, vull agrair a en David March el seguiment que ha fet del treball sempre que l'hi he demanat ajuda, i l'encaminament cap a la construcció de la maqueta del túnel del vent. També vull agrair al meu pare, Ramon, l'ajut donat durant tota la construcció de la maqueta, ja que sense ell hagués estat molt difícil que la maqueta em donés el resultat que m'ha donat . Finalment vull donar les gràcies a l'IES Antoni Pous i Argila i més concretament als professors del seminari de física i química, per el material que m'han deixat per poder fer que la maqueta funcionés.

INDEX

INTRODUCCIÓ	7
1. Aerodinàmica	8
1.1. Introducció a l'aerodinàmica.....	8
1.1.1. Teorema de Bernoulli	8
1.1.2. Tercera llei de Newton (acció reacció)	8
1.2. Aerodinàmica aplicada en els avions	9
1.2.1. Forces que apareixen en el vol.....	9
1.2.1.1. Sustentació.....	10
1.2.1.2. Resistència.....	10
1.2.1.3. Força del motor	11
1.2.1.4. Pes.....	11
2. Els avions.....	12
2.1. Estructura	12
2.1.1. Ala. Perfil Alar.	12
2.1.1.1. Lleis de la física aplicades a l'aeronàutica (ala)	13
2.1.1.2. Angle d'atac.....	14
2.1.2. Sistemes de control	15
2.1.2.1. Sistema de control longitudinal (X)	17
2.1.2.2. Sistema de control lateral (Y)	17
2.1.2.3. Sistema de control vertical (Z).....	17
2.1.3. Fuselatge	17
2.1.4. Cua	18
2.1.5. Motor	19
2.1.5.1. Propulsats amb motor de cilindre	20
2.1.5.2. Propulsats amb motor de reacció	20
2.1.5.2.1. Turboreactor.....	21
2.1.5.2.2. Turbofan	22
2.1.5.2.3. Turbohèlix.....	23

2.1.6.	Tren d'aterratge.....	24
2.1.7.	Cabina de control.....	25
2.2.	Pressions a l'avió.....	26
2.3.	Classificació dels avions	27
2.3.1.	Segons el seu ús.....	27
2.3.1.1.	Els avions comercials	27
2.3.1.2.	Els avions militars.	27
2.3.1.3.	Els avions ultralleugers	28
2.3.1.4.	Els planadors	28
2.3.2.	Segons la seva velocitat	29
2.3.2.1.	Avions subsònics.....	29
2.3.2.2.	Avions transsònics	29
2.3.2.3.	Avions supersònics	29
2.3.2.4.	Avions hipersònics	29
2.4.	El número Mach.....	30
3.	Túnel del vent	31
3.1.	Parts d'un túnel del vent.....	32
3.1.1.	Entrada d'aire	32
3.1.2.	Secció de prova.....	32
3.1.3.	Difusor.....	32
3.1.4.	Turbina	32
3.2.	La forma del túnel del vent	33
3.2.1.	Efecte Venturi.....	33
3.3.	Classificació dels túnels del vent	34
3.3.1.	Segons la seva arquitectura	34
3.3.2.	Segons la velocitat	34
3.3.3.	Segons les dimensions	34
4.	Construcció túnel del vent subsònic.....	35
4.1.	Objectius.....	35
4.2.	Disseny	35
4.3.	Construcció.....	36

4.3.1.	Materials	36
4.3.2.	Eines	36
4.3.3.	Aparells.....	36
4.3.4.	Disseny sobre aglomerat i serratge	37
4.3.5.	Construcció del con d'entrada, la secció de prova i el difusor	38
4.3.6.	Motor	38
4.3.7.	Estructura	39
4.3.8.	Pintura.....	39
4.3.9.	Secció de prova.....	40
4.3.10.	Motor II (electricitat)	42
4.4.	Construcció perfils alars	43
4.5.	Pressupost total túnel del vent	44
4.6.	Conclusió de la construcció del túnel del vent.....	45
5.	Proves aerodinàmiques al túnel del vent	46
5.1.	Perfils alars	46
5.1.1.	Perfil alar número 1	46
5.1.2.	Perfil alar número 2	48
5.1.3.	Perfil alar número 3	50
	CONCLUSIÓ.....	52
	BIBLIOGRAFÍA.....	53

INTRODUCCIÓ

Aquest és el meu treball de recerca. Durant algunes setmanes he estat buscant informació sobre diversos temes per poder elegir el tema principal del meu treball de recerca i finalment he elegit un tema relacionat amb els avions (aerodinàmica), ja que fa temps que m'interessen. Una vegada he elegit el tema he buscat una manera d'estructurar el treball, perquè sigui clar i entenedor, i es puguin distingir els aspectes que hi vull explicar. Per estructurar-lo, l'he dividit en dues parts, i aquestes dues parts en diferents apartats.

La primera part és la part més teòrica. En els diferents apartats que hi ha, s'hi esmenten quatre temes principals. El primer apartat s'exposa les forces aerodinàmiques que actuen durant el vol dels avions. Al segon apartat d'aquesta segona part hi ha explicades les principals parts dels avions, remarcant les ales i els motors, ja que són dues de les parts més importants, sense deixar de fer referència a altres com poden ser el tren d'aterratge, la cabina de control, la cua... En el tercer apartat d'aquesta primera part hi ha classificats els avions, segons la potència, tipus i ús que se'n fa... I finalment en el quart apartat hi ha explicat el número Mach que té relació amb les velocitats dels avions.

Una part molt important del treball, és la segona part, que tracta de la construcció d'un túnel del vent. Primerament, explicaré què són, quines són les seves parts i perquè serveixen, i seguidament faré el disseny i la construcció d'un túnel del vent. En aquest túnel del vent, hi posaré en pràctica els continguts apresos durant tot el treball.

1. Aerodinàmica

1.1. Introducció a l'aerodinàmica

L'aerodinàmica és la ciència que estudia el comportament d'un cos al moure's a través d'un fluid, normalment l'aire, i les forces que interactuen en aquesta variació de pressions. Aquestes forces apareixen al variar la pressió que l'aire fa sobre el cos, i varien depenent també de la temperatura i la densitat de l'aire, que estan relacionades entre elles.

A partir de la variació de la pressió, científics com Daniel Bernoulli i Isaac Newton van deduir unes lleis que expliquen perquè apareixen aquestes forces en els cossos.

1.1.1. Teorema de Bernoulli

L'any 1738 Daniel Bernoulli, a partir de les deduccions fetes en hidrodinàmica (ciència que estudia el comportament dels cossos quan entren en contacte amb l'aigua) va deduir que quan un cos augmenta la velocitat disminueix la pressió, i que quan disminueix la velocitat augmenta la pressió.

1.1.2. Tercera llei de Newton (acció reacció)

L'any 1687 Isaac Newton va publicar tres lleis, deduïdes per ell, en un treball de tres volums titulat *Mecànica clàssica*. La tercera llei, que és la que va més lligada a l'aerodinàmica, dedueix que si apliques una força sobre un cos, aquest en fa una altra, però de sentit contrari, sobre el primer. Per tant, si un flux d'aire és desviat de la seva trajectòria per un cos, l'aire fa la mateixa força però cap al cos.

1.2. Aerodinàmica aplicada en els avions

Els avions són unes naus que poden volar gràcies a quatre grans forces que apareixen quan estan en moviment.

1.2.1. Forces que apareixen en el vol

Classificació de les forces:

- Forces aerodinàmiques:
 - Sustentació
 - Resistència aerodinàmica

- Forces propulsives
 - Força del motor

- Forces gravitatòries
 - Pes



1.2.1.1. Sustentació

La sustentació és la força aerodinàmica creada a l'ala quan es mou a través de l'aire. Aquesta força és perpendicular a la trajectòria de l'avió, ja que si aquest circula en la direcció paral·lela a la superfície terrestre, la força de sustentació està en la direcció de la gravetat, però en sentit contrari a aquesta, per contrarestar-la.

1.2.1.2. Resistència

És la força que apareix en l'avió quan aquest circula per l'atmosfera i l'aire s'oposa al seu avanç.

La resistència pot aparèixer de diferents maneres en l'avió:

- La resistència aerodinàmica per fregament: depèn de la viscositat del fluid (la temperatura de l'aire fa canviar la seva viscositat) i de la superfície del cos.
- La resistència aerodinàmica per pressió: depèn de la pressió que l'aire faci sobre el cos i la forma de l'ala ja que la forma de l'ala també influeix en la pressió que l'aire fa en ella.
- La resistència per fregament: quan l'avió avança per la pista de vol les rodes formen el fregament amb el terra. Aquesta resistència apareix solament quan l'avió té el tren d'aterratge

1.2.1.3. Força del motor

La força motor (propulsió) és la que fa el motor en el sentit que avança la nau. Quan està a la pista el motor accelera l'avió fins a arribar a una velocitat on la sustentació produïda a les ales sigui superior a la de la força de la gravetat i pugui enlairar-se. Durant el vol els motors també estan en funcionament perquè l'avió pugui avançar per l'atmosfera. Els planadors, avions sense motor, necessiten una força d'un altre aparell per poder avançar per la pista d'aterratge i poder superar aquesta força de la gravetat per poder volar.

1.2.1.4. Pes

És la força produïda per l'atracció gravitatòria de la terra sobre la massa de l'avió. La direcció i el sentit de la força pes és vertical fins al centre de la Terra.

2. Els avions

Un avió és un una nau que, gràcies a la forma dels seus components, pot volar per l'atmosfera a una certa velocitat i és capaç de recórrer grans distàncies. Els components de l'avió són: ales, cua, fuselatge, motor, tren d'aterratge... Aquests components els tenen en comú tots els avions i permeten que aquest cos més pesat que l'aire voli per l'atmosfera.

2.1. Estructura

Els elements en comú que tenen tots els avions són els que els fan característics. Aquests elements són els següents:

2.1.1. Ala. Perfil Alar.

L'ala és la superfície de l'avió que està dissenyada per produir la sustentació a tot l'avió i moure l'avió a través de l'aire, amb l'ajut de la cua.

Descripció de les parts de l'ala:

- Caire d'atac: És la part de l'ala on l'aire es divideix en dos. Està situada davant de l'ala.
- Caire de sortida: És la part final de l'ala on hi ha els flaps.
- Corda: És la línia recta imaginària situada entre el caire d'atac i el caire de sortida.
- Curvatura mitjana: És la curvatura equidistant a l'extradós i el intradós.

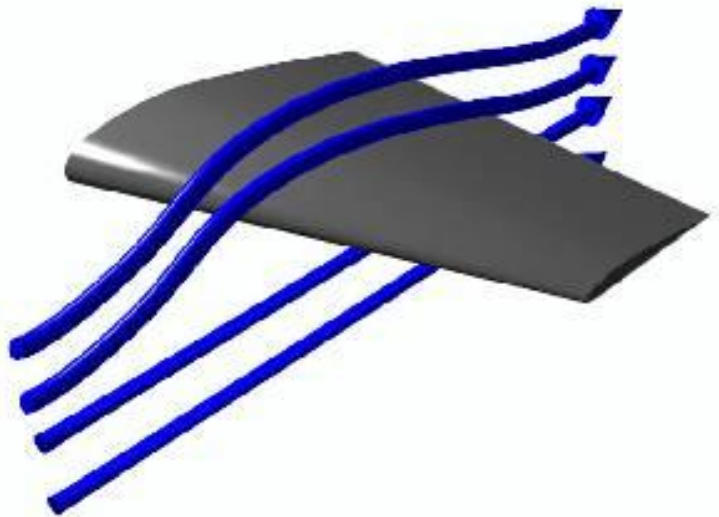
2.1.1.1. Lleis de la física aplicades a l'aeronàutica (ala)

Creació força de sustentació

Teorema de Bernoulli

El perfil alar, és la superfície que apareix al tallar perpendicularment l'ala de l'avió.

El perfil té una forma peculiar que és la que permet que l'avió, al desplaçar-se per l'aire, creï la sustentació. La part superior (extradós) de l'ala té una curvatura més gran que la part inferior (intradós), cosa que permet que l'aire que circula per l'extradós avanci més lentament que el que circula per d'intradós, i es creï l'efecte Bernoulli, que diu que com més velocitat menys pressió i vic eversa.



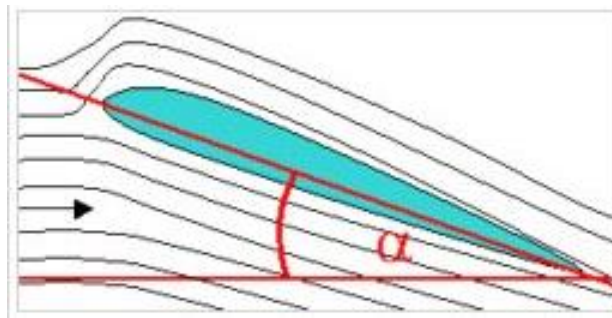
Tercera llei de Newton (acció reacció)

Els flaps són unes superfícies de control situades al caire de sortida de l'ala que permeten desviar l'aire cap amunt o cap avall una vegada l'avió està en moviment. Quan l'aire és desviat cap avall, la nau puja cap amunt, ja que la tercera llei de Newton (acció reacció), dedueix que: "sempre que un cos exerceix una força sobre un altre, aquest segon cos exerceix una força igual i de sentit contrari sobre el primer." D'aquesta manera també es pot crear sustentació assolint un angle (angle d'atac) amb les ales, aixecant el morro de l'avió uns graus i desviant també l'aire amb la part inferior de l'ala.

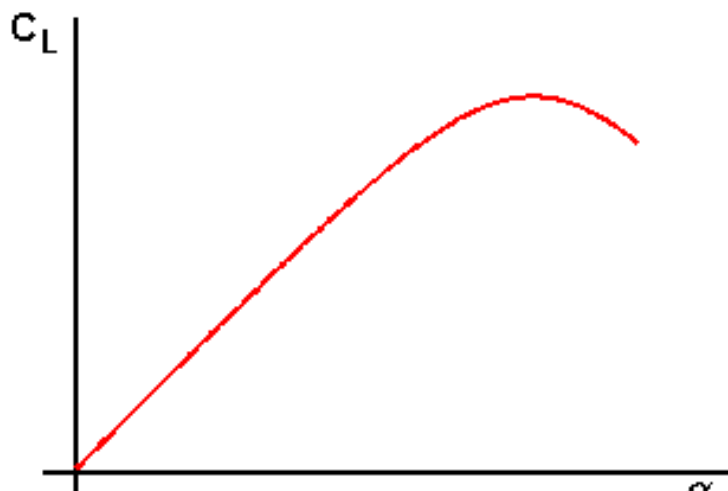
2.1.1.2. Angle d'atac

Per aplicar la tercera llei de Newton a l'ala es necessita desviar l'aire cap avall perquè aquest faci la força de reacció cap amunt. Per desviar aquest flux d'aire cap avall es necessita que la corda de l'ala tingui un angle (α) respecte la direcció de l'aire, o que els flaps desviïn l'aire.

Com més gran sigui l'angle d'atac la sustentació és més elevada, però arriba un punt en què l'angle entra en pèrdua i la força de sustentació disminueix bruscament.



La corda de l'ala està inclinada un angle (α) respecte el flux d'aire

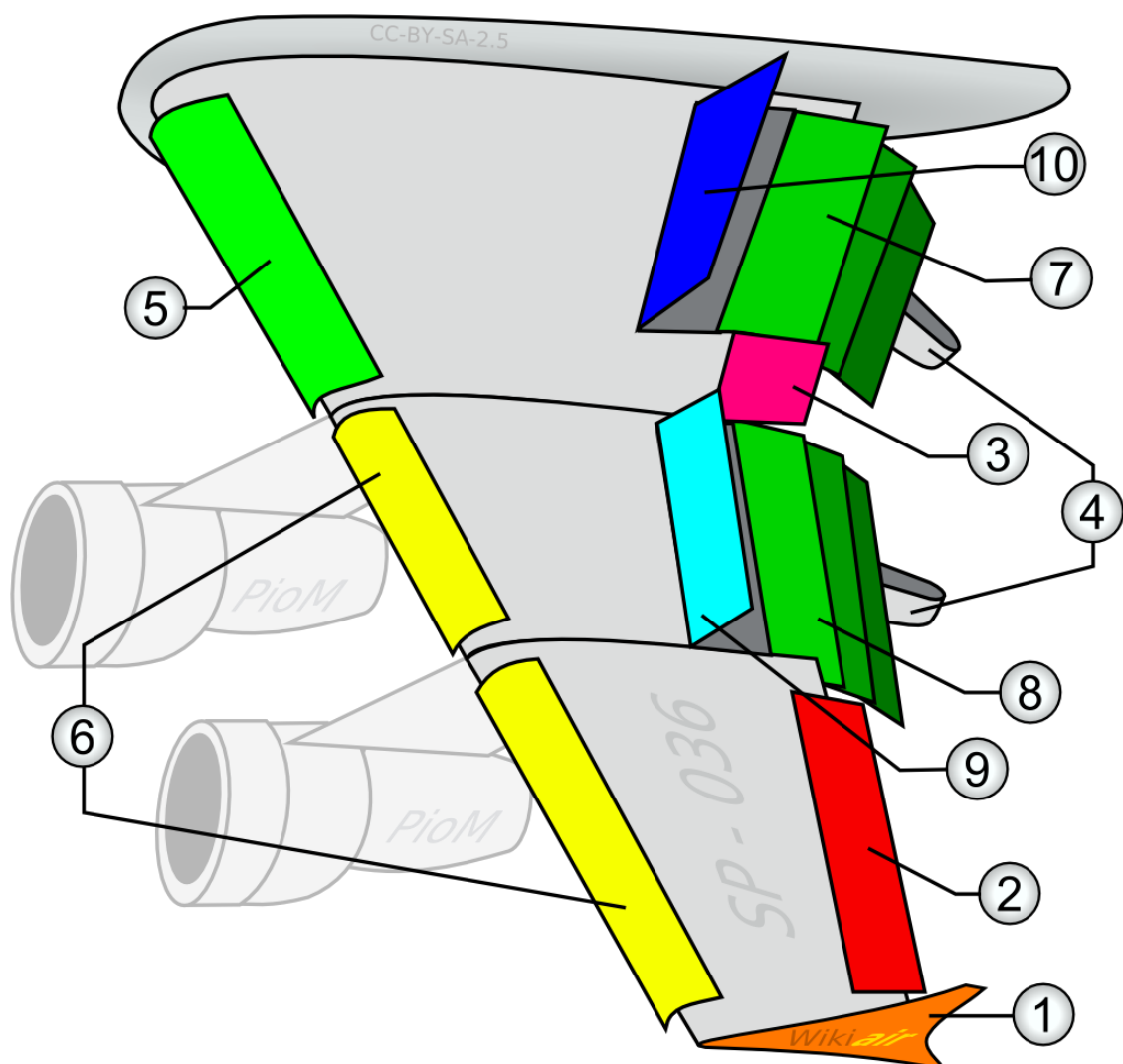


Com més gran és l'angle d'atac (α), la sustentació (C_L) augmenta, però arriba a un punt que entra en pèrdua.

2.1.2. Sistemes de control

Els sistemes de control són aquelles parts mòbils de l'avió que es troben a les ales i a la cua i permeten variar la posició de l'avió amb la finalitat de circular en una trajectòria o altra per l'aire. La posició es pot variar mitjançant tres eixos.

Les superfícies de control situades a l'ala s'utilitzen majoritàriament per la maniobra d'aterratge. Els alerons i els winglets també s'utilitzen durant el vol.



- **Winglets:** (1) dispositius aerodinàmics col·locats als extrems de les ales verticalment a la superfície alar, normalment en forma d'aleta de tauró. La seva funció és equilibrar les pressions al caire de sortida de l'ala ja que hi ha una oscil·lació molt gran de pressions entre l'extradós i el intradós. Aquest element permet disminuir la potència dels motors sense que disminueixi la velocitat, cosa que permet estalviar fins a un 4% de combustible.

- **Alerons:** són els encarregats de fer girar l'avió sobre el seu eix longitudinal posant-se el d'una ala cap amunt i el de l'altra ala cap avall. Estan col·locats al caire de sortida de l'ala.
 - Aleró de baixa velocitat: (2) aleró que s'utilitza perquè l'avió pugui girar quan va a baixa velocitat.
 - Aleró d'alta velocitat: (3) aleró que s'utilitza perquè l'avió pugui girar a una velocitat elevada.

- **Flaps:** (4, 7, 8) element aerodinàmic situat al caire de sortida, just al costat dels alerons, que permet crear la sustentació desviant l'aire cap avall, creant així una reacció cap amunt (Tercera llei de Newton).

- **Slats:** (6) són unes superfícies similars als flaps, però situades al caire d'atac de l'ala. La incorporació dels slats a les ales permet assolir un angle d'atac major i crear més sustentació.

- **Spoliers:** (9, 10) element aerodinàmic que s'utilitza durant la maniobra d'aterratge, la seva funció consisteix a fer perdre sustentació a l'ala i quan l'avió toqui a terra no torni a elevar-se.

2.1.2.1. Sistema de control longitudinal (X)

Està format pels alerons, situats a les ales i la cua. El seu eix travessa l'avió des del morro fins a la cua.

2.1.2.2. Sistema de control lateral (Y)

A la part final del fuselatge (cua) de l'avió hi ha dues aletes horitzontals que garanteixen l'estabilitat a l'avió. En aquestes ales es troben dues superfícies de control anomenades timons de profunditat amb els quals es controla l'altitud del vol mitjançant l'ascens i el descens.

2.1.2.3. Sistema de control vertical (Z)

És el timó de direcció, que està situat a la part vertical de la cua i fa que l'avió es mogui per l'eix vertical al fuselatge.

A la part final del fuselatge de l'avió hi ha una aleta vertical, que també dóna estabilitat a l'avió, on es troba una superfície de control que s'utilitza per controlar la direcció de l'avió.

2.1.3. Fuselatge

Part central de l'avió en forma de cilindre. És la part on es transporta la càrrega i es controla l'avió. També és la unió de totes les parts de l'avió (ales, cua...). La forma cilíndrica permet que la resistència aerodinàmica sigui molt reduïda i que hi hagi un volum considerable per poder transportar la càrrega.

2.1.4. Cua

La cua de l'avió és un element que ajuda a estabilitzar-lo en una direcció i controlar la seva posició. Hi ha superfícies de control que també l'ajuden en el maneig. La superfície de la cua també és semblant a la de l'ala i l'ajuda a crear sustentació.



- **Timó de profunditat (1):** És una superfície estabilitzadora situada a la cua de l'avió. S'utilitza per moure l'avió sobre l'eix que el travessa en la direcció de les ales (eix Y). Aquest moviment li permet graduar l'angle d'atac, creant així una sustentació major.
- **Estabilitzador de la cua (2):** Part no mòbil de la cua de l'ala situada horitzontalment per crear sustentació i mantenir una direcció no variada per les turbulències. Suporta el timó de profunditat.
- **Deriva (3):** Part no mòbil de la cua situada verticalment i que s'utilitza per suportar el timó de deriva.
- **Timó de deriva (4):** Permet canviar la direcció de l'avió en l'eix perpendicular a la nau i que passa per la unió de les ales amb el fuselatge (eix Z).

2.1.5. Motor

La força del motor és la que permet l'avanç de la nau per l'atmosfera. És del sentit i direcció en què es desplaça l'avió que pot tenir d'un a sis motors depenent del tipus d'avió i les dimensions. Els motors estan situats a les ales, tot i que els avions d'un sol



motor el solen portar al morro. Els grans avions utilitzen els motors de reacció. A diferència d'un motor axial, el motor de reacció no transmet la força de la combustió en una força mecànica axial, sinó que agafa l'aire a una velocitat i el llança cap enrere a una velocitat més gran i així augmenta la velocitat. Aquests motors tenen un gran consum de combustible (un Boeing 747 consumeix uns 4 litres de querosè cada segon) per tant dins l'avió es necessiten uns grans tancs per emmagatzemar el combustible. Aquests tancs, estan situats a les ales i a la part final del fuselatge, sota la cua.

Els motors de l'avió es poden classificar en dos grups segons la seva potència:

2.1.5.1. Propulsats amb motor de cilindre

Són els motors que tenen hèlix per desplaçar-se per l'aire. Hi ha diferents tipus de motor de pistó:

- Motor amb cilindres horitzontalment oposats: Motor normalment de vuit cilindres, tots en una mateixa direcció, però quatre mirant cap a un sentit i els altres quatre cap a l'altre al centre del qual es troba l'eix.
- Motor radial: Motor amb un nombre de cilindres imparell, ubicats en forma d'estrella al voltant d'un eix de rotació que és el que fa rotar l'hèlix.
- Motor rotatiu: És un motor el qual, en comptes de girar el cigonyal, giren els pistons al voltant de l'eix. No necessita refrigeració ja que al girar els cilindres impacten amb l'aire i es refrigeren automàticament.

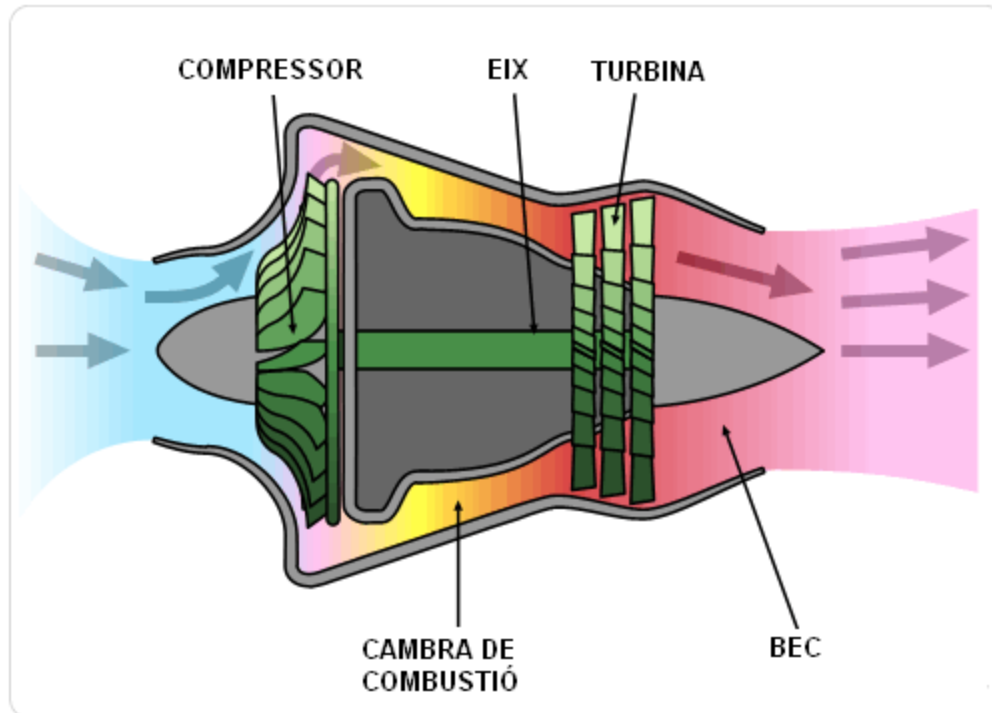
Aquests tipus de motor actualment s'utilitzen en motors de poca potència, però durant la Primera Guerra Mundial eren els únics motors que portaven els avions.

2.1.5.2. Propulsats amb motor de reacció

El motor de reacció és un motor que no transforma l'energia del combustible en energia mecànica axial, sinó que agafa aire i el tira cap enrere a una velocitat molt més alta. La tercera llei de Newton, diu que "sempre que un cos exerceix una força sobre un altre, aquest segon cos exerceix una força igual i de sentit contrari sobre el primer", per això la força que fa el motor al llançar el feix d'aire cap enrere, l'aire el fa cap endavant i per tant l'avió adquireix acceleració.

2.1.5.2.1. Turboreactor

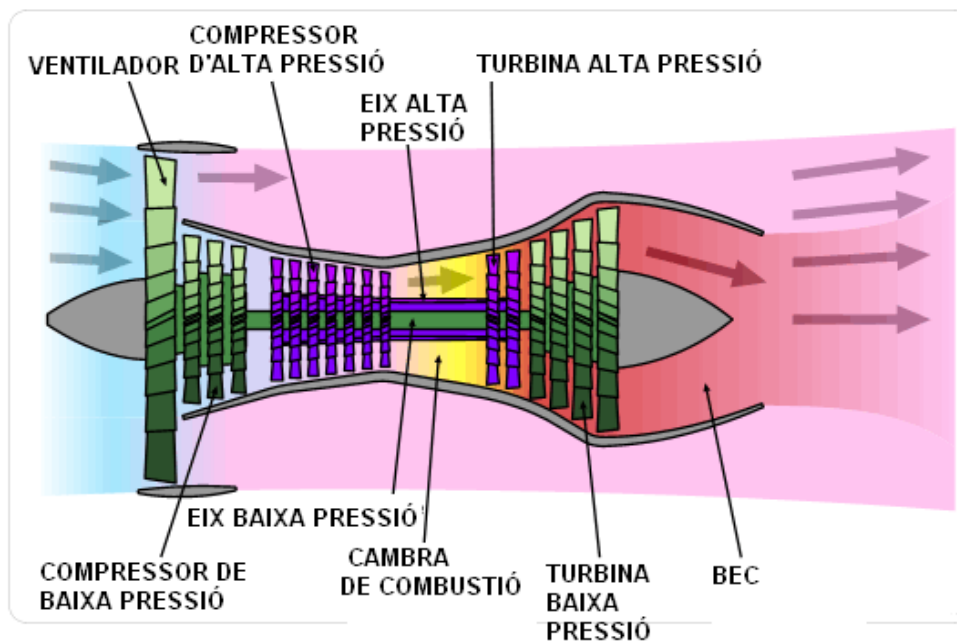
El turboreactor és un tipus de motor que genera un impuls a partir de la diferència de velocitat del flux d'aire que surt pel darrera envers el del davant. Aquest impuls és generat per la diferència de pressions de l'aire al ser encès.



- **Compressor:** L'aire entra al motor i passa pel el compressor. El compressor condiona l'aire perquè s'escalfi i augmenta la pressió.
- **Cambra de combustió:** Es combina combustible amb l'aire i passa per un cremador on s'encén la mescla aire-combustible.
- **Turbina:** La funció de la turbina és treure pressió al fluid i per tant fer-li assolir una velocitat major.
- **Bec:** Al bec l'aire amb pressió baixa es transforma en velocitat elevada.

2.1.5.2.2. Turbofan

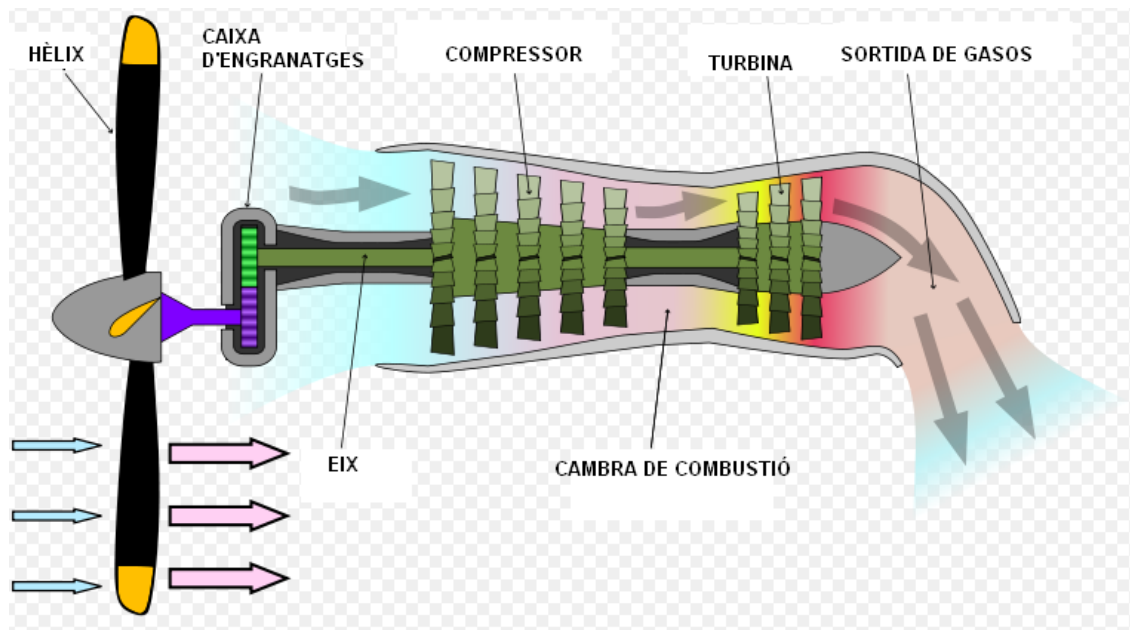
El turbofan genera un impuls fent girar un ventilador (fan) situat a la part posterior del motor. L'aire que entra pel davant del motor es divideix en dos circuits. En el primer no hi actua cap força fins al final del seu recorregut. En canvi en el segon, s'hi mescla combustible i fa girar el ventilador, que impulsa aquest aire cap al final del motor, on es barreja amb el flux d'aire del primer recorregut i surten cap a l'exterior del motor.



- **Ventilador (fan):** És l'encarregat d'impulsar l'aire cap enrere. La seva força ve de l'eix de baixa pressió.
- **Cambra de combustió:** Es combina combustible amb l'aire i passa per un cremador on s'encén la mescla aire-combustible. Hi ha el **compressor d'alta pressió** i la **turbina d'alta pressió** que són els encarregats d'impulsar l'aire encès cap a la sortida del motor (bec). També hi ha el **compressor de baixa pressió** i la **turbina de baixa pressió** que transmeten un moviment circular al ventilador, que impulsa l'aire del primer circuit cap a l'exterior.
- **Bec:** Al bec l'aire amb pressió baixa es transforma en velocitat elevada.

2.1.5.2.3. Turbohèlix

A diferència del turboreactor i el turbofan, aquest tipus de motor transforma l'energia de la combustió en energia rotativa que està a l'hèlix, i aquest impulsa aire cap enrere.



- **Hèlix:** Aprofita l'energia produïda pel motor i impulsa l'aire cap enrere.
- **Caixa d'engranatges:** Ajunta l'eix del motor amb l'eix de l'hèlix.
- **Compressor:** Comprimeix i condiona l'aire per tal de ser encès.
- **Cambra de combustió:** Es combina combustible amb l'aire i passa per un cremador on es s'encén la mescla aire-combustible.
- **Turbina:** Aprofita l'energia de la combustió i la transforma en rotativa per fer moure l'eix. Després del pas dels gasos per la turbina aquests surten a l'exterior per l'escapament (sortida de gasos).

2.1.6. Tren d'aterratge

El tren d'aterratge està format per rodes, normalment en tres blocs, unides a l'avió que el permeten desplaçar-se per la pista.

Quan l'avió toca a terra, el tren d'aterratge és l'encarregat de frenar, i per tant absorbir l'energia cinètica produïda pel moviment de l'avió. L'encarregat de frenar l'avió és l'amortiment, que es troba situat en els braços que aguanten les rodes a l'avió. La força que ha d'aguantar l'avió és el pes de l'avió deixat caure des d'uns 80 metres d'alçada, per tant els amortidors han de ser molt grans i les rodes han d'estar col·locades de tal forma que el centre de gravetat de l'avió continuï essent al mig quan l'avió estigui a la pista.



2.1.7. Cabina de control

La cabina de control o cabina del pilot està situada a la part davantera del fuselatge. S'hi troben tots els instruments de control de l'avió.

Antigament, a la cabina de control, només hi havia els comandaments de canvi de direcció, velocitat... Actualment, amb la modernització, els avions estan equipats de molts elements de situació com el GPS, i de comunicació (ràdio). També hi ha els radars, que permeten situar altres avions, tempestes..., vàlvules de control de pressió...

La cabina consta de dos comandaments: un és el del comandant de l'avió, i l'altre el de l'altre pilot. La tasca del comandant i el pilot, es basa majoritàriament, en les maniobres d'enlairament i aterratge. Durant el vol, en els grans avions es pot activar el pilot automàtic, que dirigeix l'avió sense necessitat que els pilots hagin de pilotar l'avió, tot i que si hi ha inclemències meteorològiques o altres alteracions els poden pilotar manualment l'avió.



Imatge de la cabina de control d'un avió on es veuen els dos comandaments

2.2. Pressions a l'avió

La pressió atmosfèrica és la força que una massa d'aire exerceix sobre un punt de l'atmosfera. Aquesta pressió és igual al pes de l'aire que hi ha sobre d'aquest punt. Per tant, com més a prop del límit de l'atmosfera, menys pressió exerceix l'aire a aquest punt, ja que menys aire ha de suportar.

Si aquesta definició l'apliquem a l'atmosfera terrestre podem deduir que com més ens allunyem de la superfície terrestre, i per tant, tinguem menys aire damunt nostre, la pressió serà inferior. La pressió atmosfèrica estàndard, és d'una Atmosfera, que és la pressió que hi ha a nivell del mar.

Quan un avió tanca les portes, té una pressió d'una Atmosfera, però a mesura que va augmentant d'altitud la pressió baixa considerablement.

Perquè això no passi, la pressió de dins el fuselatge està regulada, perquè el nostre cos està acostumat a pressions molt similars a les de la superfície terrestre i el nostre cos no aguantaria un canvi tan brusc, ja que un avió comercial pot volar fins a 14000m si la distància que ha de recórrer és superior a les 3 hores. La pressió és regulada ja des del moment en què es tanquen les portes, essent així superior en tot moment i garantint la seguretat de que les portes no s'obriran durant el vol o les maniobres d'enlairament i aterratge.

2.3. Classificació dels avions

2.3.1. Segons el seu ús

Els avions, segons el seu ús, es classifiquen en categories diferents: els avions comercials, els avions militars, els ultralleugers i els planadors. Els avions no es divideixen en categories segons el model d'avió si no a l'acció que va destinada.

2.3.1.1. Els avions comercials

L'avió comercial és aquell que utilitza el transport per portar passatgers i mercaderies. Un avió comercial és el que normalment pertany a les companyies aèries i que l'utilitzen per a ús econòmic. El Boeing 747, l'Airbus A380, el Boeing 737 són uns dels models que s'utilitzen, per aviació comercial.

2.3.1.2. Els avions militars.

L'aviació militar avarca tots els avions que s'utilitzen per a fins bèl·lics, com atacar, defensar, observar, rescatar i altres tasques relacionades amb les forces armades.

Els diferents tipus d'avions destinats a l'aviació militar son:

- Avions atac aire-terra: Avions que s'utilitzen per atacar a objectius situats a l'escorça terrestre.
- Bombarders: Avions destinats a atacar objectius terrestres mitjançant bombes o míssils.
- Avions caça: Destinats a protegir del bombarders i avions d'atac a les unitats terrestres.
- Avions de transport
- Avions polivalents: Avions que es poden utilitzar com a caces i com a avions d'atac.
- Avions de reconeixement: Dotats de sistemes de reconeixement per inspeccionar zones d'atac.

2.3.1.3. Els avions ultralleugers

Aviació establerta a diferents països durant els anys setanta. És una aviació de caràcter lúdic i de preus molt assequibles en comparació a l'aviació comercial.

Els ultralleugers no disposen d'una reglamentació internacional, si no que cada país o zona té la seva pròpia, Per exemple, Austràlia, Brasil, Canadà, Europa, Índia, Nova Zelanda, Regne Unit, Estats Units....

Reglamentació de vol ultralleuger a Europa:

Avió de no més de dues places (biplaça), amb una velocitat de pèrdua absoluta amb motor i ús de dispositius hipersustentadors de 65 km/h. I una massa de:

- 300 kg. si és monoplaça.
- 330 kg. hidroavió monoplaça.
- 450 kg. si és biplaça.
- 495 kg. hidroavió biplaça.

2.3.1.4. Els planadors

Un planador és una aeronau, no prevista de motors que pot desplaçar-se per l'atmosfera gràcies a les forces aerodinàmiques únicament. Aquestes naus s'utilitzen en fins esportius, tot i que per investigacions, també s'utilitzen en fins militars i científics.

Per fer la maniobra d'enlairament necessiten l'ajuda d'una força externa, que sol ser un altre avió o un cotxe.

2.3.2. Segons la seva velocitat

Els avions segons la seva velocitat es poden classificar en:

2.3.2.1. Avions subsònics

Els avions subsònics son els que assoleixen velocitats inferiors a la del so (inferiors a 340 m/s o 1235 km/h). Els avions comercials de les aerolínies generalment son d'aquest tipus.

2.3.2.2. Avions transsònics

Els avions transsònics assoleixen velocitats al voltant de la velocitat del so. Com que tenen velocitats semblants a la del so, la velocitat del extradós de l'ala és superior a la del so, i la de la art inferior de l'ala (intradós) és inferior a la velocitat del so. Aquesta diferència de velocitats és degut gràcies a l'aplicació del teorema de Bernoulli a l'avió.

2.3.2.3. Avions supersònics

Els avions supersònics assoleixen velocitats superiors a la del so (340 m/s). El popular avió concorde és un avió supersònic. També ho són molts avions de caça militars.

2.3.2.4. Avions hipersònics

Els avions hipersònics son aquells que poden assolir velocitats 5 o més vegades més grans que la velocitat del so.

Fins al moment no hi ha cap avió que hagi pogut assolir velocitats, tot i que des de la NASA s'està investigant perquè ho puguin fer en els pròxims anys.

2.4. El número Mach

El número Mach és el quocient de la velocitat d'un cos i la velocitat del so. Per tant 1 Mach és equivalent a la velocitat del so, 0,5 Mach és la meitat...

Fer servir el número Mach permet expressar la velocitat d'un cos a partir de la del so, i no fer-ho en metres/segon o quilometres/hora. Com que la velocitat del so canvia depenent de l'altura i la temperatura, no cal tenir en compte aquests valors i indicant la velocitat en Mach ja és suficient.

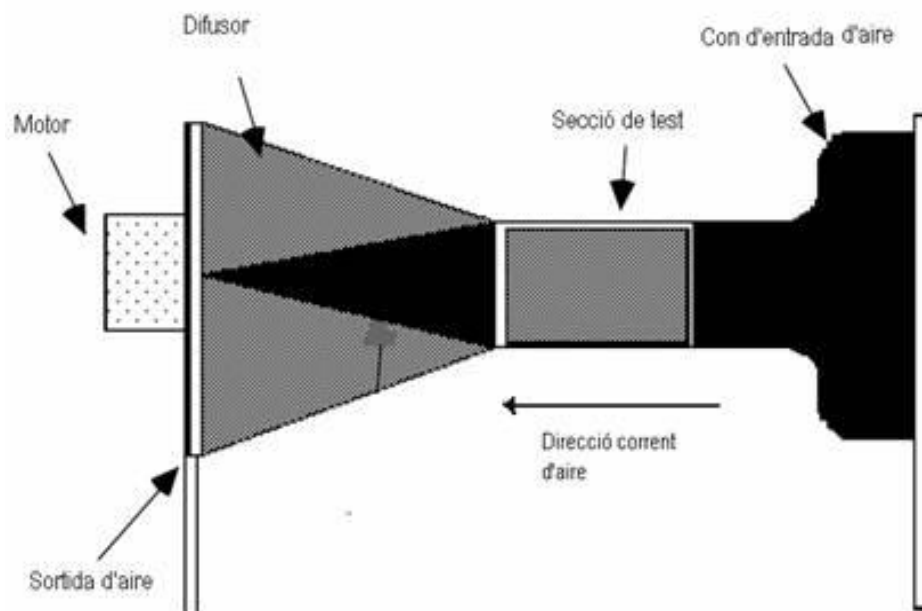
Per tant els avions que es classifiquen segons la velocitat, aquesta està indicada en Mach:

- Avions subsònics (velocitats inferiors a 0,7 Mach)
- Avions transsònics (velocitats entre 0,7 i 1,2 Mach)
- Avions supersònics (velocitats entre 1,2 i 5 Mach)
- Avions hipersònics (velocitats superiors a 5 Mach)

3. Túnel del vent

Tot i que el càlcul matemàtic ha avançat molt amb el desenvolupament dels ordinadors, la complexitat de la forma d'un avió provoca que l'estudi de les forces que actuen quan aquest està en funcionament, es faci amb el túnel del vent, que comprova mitjançant un procés pràctic les forces que actuen sobre un cos.

Un túnel del vent és un aparell que genera un flux d'aire, limitat per un conducte d'una secció específica per aconseguir que aquest flux tingui unes condicions específiques per tal d'analitzar el comportament d'un cos davant aquest flux.



Parts d'un túnel del vent de circuit obert

3.1. Parts d'un túnel del vent

Un túnel del vent és una estructura allargada on i circula un fluid, normalment aire, que és impulsat per una gran turbina d'aire. Aquest aire impacte amb un cos , i aquest desenvolupa una força que és mesurada per sensors de força.

Un túnel del vent està format per quatre parts:

3.1.1. Entrada d'aire

Part del túnel del vent on entra l'aire i es comença a condicionar. Té forma cònica, per tal de que l'aire que entra, es comprimeixi al avançar per el con i assoleixi major velocitat.

3.1.2. Secció de prova

Part del túnel on es col·loca el cos que es vol estudiar. La seva forma és o quadrangular o cilíndrica i d'una mida suficient per col·locar el cos i tots els aparells de mesura.

3.1.3. Difusor

Té forma de con. La part més petita del con està col·locada a la sortida de la part de prova i a la part més gran hi ha la turbina. La finalitat d'aquesta peça és la de disminuir la velocitat del flux d'aire que surt de la secció de prova.

3.1.4. Turbina

És la part del túnel del vent que espira l'aire. Està format per un motor i unes pales ubicades de manera que l'aire sigui espirat des de dins al túnel cap a fora.

3.2. La forma del túnel del vent

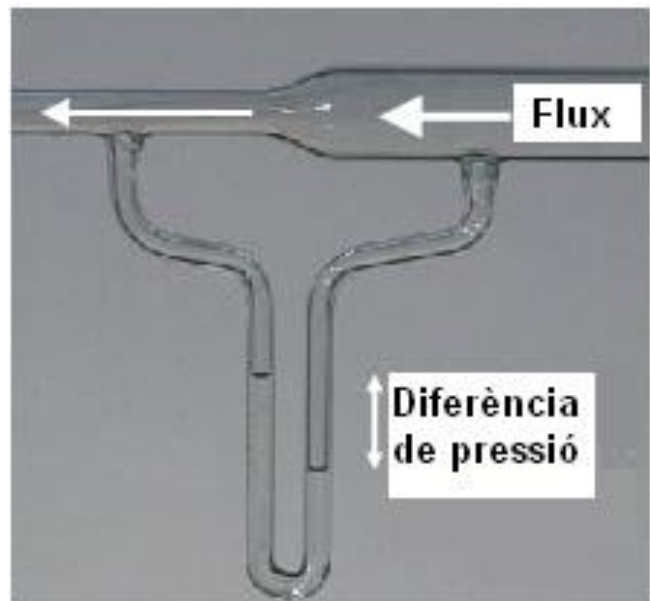
La forma del túnel és de tub allargat, buit pel mig que permet fer circular el fluid per el centre. Els dos extrems (difusor i entrada d'aire) tenen forma de con per poder condicionar l'aire i fer-li assolir major velocitat gràcies a l'efecte Venturi.

3.2.1. Efecte Venturi

L'efecte Venturi, va ser investigat per Giovanni Battista Venturi l'any 1797. Explica com un fluid que circula lliurement, al ser introduït dins un tub i la secció d'aquest tub disminuïda a mesura que el fluid avança, fa que la pressió sobre el tub disminueixi i en conseqüència la velocitat del fluid augmenti.

El teorema de Bernoulli demostra aquesta deducció de Venturi, ja que diu que un cos augmenta la velocitat disminueix la pressió, i que quan disminueix la velocitat augmenta la pressió i això és justament el que passa dins el tub de Venturi.

La llei de la conservació de l'energia també ho demostra. La quantitat d'energia d'un sistema es manté constant si no hi actua cap força externa al sistema. Per això al variar l'energia que exerceix la pressió de l'aire la velocitat del flux d'aire també varia.



En aquesta imatge es veu com a on la secció és més gran hi ha més pressió que a on la secció és més petita.

3.3. Classificació dels túnels del vent

Els túnels del vent es poden classificar segons la seva arquitectura, la velocitat de la secció de prova i les dimensions.

3.3.1. Segons la seva arquitectura

Els túnels del vent poden està construïts de dues maneres diferents: Amb el circuit obert i el circuit tancat. El circuit obert permet captar de l'exterior i anar renovant-lo sempre. En canvi el circuit tancat, l'aire que passa per la secció de prova sempre és el mateix. Per això el circuit tancat permet que no hi hagin impureses mai en el túnel.

3.3.2. Segons la velocitat

Segons la velocitat que s'assoleixi a la secció de prova, els túnels del vent poden classificar-se en quatre grups:

- Subsònics: Velocitat inferior a la del so. (Mach <0,7)
- Transsònics: Velocitats semblants a la del so. (Mach entre 0,7 i 1,2)
- Supersònics: Velocitats superiors a la del so. (Mach entre 1,2 i 5)
- Hipersònics: Velocitats molt superiors a la del so (Mach >5)

3.3.3. Segons les dimensions

Els túnels del vent es poden classificar en dos grups segons les dimensions respecte el cos que es posa a la secció de prova. Si el cos a la secció de prova és a mida real direm que el túnel del vent és a escala real, i si el cos està reduït respecte el cos real direm que el túnel es ordinari.

4. Construcció túnel del vent subsònic

4.1. Objectius

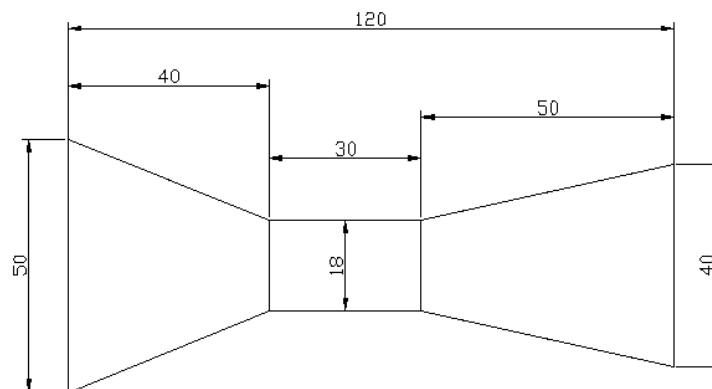
Construir un túnel del vent subsònic a escala reduïda per demostrar l'aparició de la força de sustentació.

Construir diferents perfils alars per col·locar al túnel del vent.

Fer les gràfiques de la força de sustentació a partir de cada perfil i el seu angle d'atac.

4.2. Disseny

Per el disseny del túnel del vent he buscat informació a la pàgina web de la NASA, en una guia d'introducció als túnels del vent. També l'experiència de la construcció d'un túnel del vent subsònic per part de l'IES Forat del Vent ha estat de gran ajuda per el disseny, comparant el seu túnel amb el meu. Per els plànols he fet servir l'AutoCAD, una eina de disseny per ordinador en dibuixos 2D i 3D.



La turbina o ventilador, estarà al costat de 50cm, empenyent l'aire cap a la secció de prova. La secció de prova i anirà dues barres verticals, on es posaran els perfils alars, i es demostrarà l'aparició de la força de sustentació. La tercera part (el difusor) serà la part per on marxi l'aire.

4.3. Construcció

4.3.1. Materials

Per l'estructura del túnel he cregut convenient utilitzar fusta aglomerada de 10mm de gruix per poder aguantar la força de l'aire del ventilador. Visos de 20mm per poder travessar les fustes i que s'aguantin el suficient, i el material següent:

- Fusta aglomerada 10 mm de gruix
- Cola blanca
- Angle alumini 25x25 mm
- Barnilla roscada 8mm (M8)
- Visos 20mm
- Massilla fusta
- Visos 10mm
- Brides
- Frontisses
- Reixa ferro 50x50mm

4.3.2. Eines

- Serra de calar
- Serra de disc
- Peu de rei
- Pistola aplicadora silicona
- Metre
- Regle
- Llapís
- Tornavís
- Trepant
- Soldador

4.3.3. Aparells

- Ventilador
- Dinamòmetre digital
- Regulador encapsulat d'intensitat
- MULTILOGPRO

4.3.4. Disseny sobre aglomerat i serratge

Per fer les peces de les parts del túnel del vent ha set necessari dibuixar-les sobre la fusta aglomerada i després serrar-les. Durant el procés de serrar les fustes hi ha agut dos problemes:

1. El primer ha set tallar les fustes prou rectes per no deixar el túnel del vent irregular i amb moltes sortides d'aire no previstes. Per això he agut de serrar les fustes amb una serra de disc fixa i no amb una serra elèctrica de calar.
2. El segon ha set que les fustes no s'han pogut tallar amb angle de 45º i s'han agut de tallar rectes fet que ha fet que hi hagués una variació de 2 cm en el túnel respecte els plànols inicials, ja que el gruix de l'aglomerat és d'un centímetre, i al posar les fustes, una sobre l'altre varien les dimensions del túnel.

A la secció de prova he deixat un costat sense fusta aglomerada, per poder posar un vidre. Aquest vidre, servirà per poder veure el que passa dins la secció de prova amb els perfils alars. Per aguantar el vidre a la secció de prova he tallat dos llistons de 15mm de costat per 10mm que fa la fusta de gruix, per col·locar-los als dos extrems del costat, com si fossin dues columnes.



Eines necessàries per marcar i serrar les peces del túnel. (Metre, peu de rei, llapis en una fotografia, i serres el l'altre fotografia)

4.3.5. Construcció del con d'entrada, la secció de prova i el difusor

Per ajuntar les peces que han estat serrades he utilitzat bisos de 20mm de llarg per travessar les dues fustes d'aglomerat i que se subjectessin correctament. Amb l'ajuda de la cola blanca també ha ajudat a donar una bona consistència a les juntes.



4.3.6. Motor

El ventilador que utilitzaré en el túnel del vent, serà un ventilador antic, però amb prou força per aquest túnel del vent.

El motor és el següent:

S&P	HXM-300
220V	50Hz
55W	0,4A
Ref. XK91262	

Es tracta d'un motor monofàsic universal

Per subjectar el motor al túnel del vent he agut de variar el disseny inicial de túnel del vent ja que la turbina hauria d'estar al difusor aspirant l'aire cap a ell i traient-lo cap a fora. Però al veure que la subjecció al difusor es complicava al haver de ser per la part de dins, he cregut convenient instal·lar-lo al con d'entrada d'aire, comprovant que fes la mateixa funció. Aquesta diferència fa que hi hagi més turbulències en l'aire, però per demostrar l'aparició de la força de sustentació tampoc és imprescindible un flux d'aire totalment uniforme.

Per subjectar el motor i la turbina al túnel he utilitzat una reixa de 50mm de quadrat i l'he encaixat allà amb una soldadura i després he subjectat la reixa al túnel amb unes brides.

4.3.7. Estructura

Per ajuntar les tres peces he tallat uns angles d'alumini, hi he fet uns forats per passar-hi uns visos de 10mm per no passar l'aglomerat i ajuntar-los a les peces. A la junta de les peces d'aglomerat hi he posat cola blanca perquè sigui més resistent. Quan les juntes han estat seques també hi he posat massilla perquè no s'escapi l'aire.



Angles subjectats amb visos a les juntes de les peces



Una vegada he acabat de muntar la secció de prova he comprovat que el ventilador hi funcionés correctament i em prou eficiència per fer pujar una ala amb suficient força.

Quan l'he provat he vist que s'escapava molt aire pel voltant de la seva entrada i he decidit tapar

4.3.8. Pintura

Per pintar he utilitzat esmalt sintètic de color gris. Com que l'aglomerat és una superfície molt porosa he posat dues capes d'esmalt, perquè una sola capa, encara quedava amb el dibuix de la fusta.



La secció de prova l'he pintat de color blanc, ja que al ser la part on es posaran els perfils alars, serà més clar i es veurà més. També he pintat el motor de color blanc.

4.3.9. Secció de prova

La secció de prova ha de tenir un vidre per poder veure el què passa al seu interior. A dins la secció de prova s'ha de poder posar els perfils alars, i posar-los en diferents posicions, on a cada posició variï l'angle d'atac. Per a variar l'angle d'atac, s'ha de posar unes barres, que facin de guia pel perfil alar. Aquests forats, estan a la mateixa mida que les dues barres estan a la secció de prova.

Per les barres he col·locat dues barnilles de 3mm de diàmetre. He fet forats a tres posicions diferents a la part superior de la secció de prova, intentant que els tres angles fessin 0° , 10° , i 15° . Aquests forats, han d'estar també inclinats perquè la barra que fa de guia dels perfils s'inclini l'angle desitjat.

A la part inferior de la secció de prova he fet un sol forat una mica d'uns 4mm de diàmetre per poder regular-lo amb els tres forats de la part superior.

Per saber a quina distància han d'estar els 2 forats de la vertical del primer forat he utilitzat raons trigonomètriques:

- $\alpha = 0^\circ$ el forat he d'estar a la vertical del forat de la part inferior de la secció de prova.

distància 0 = 0 cm

- $\alpha = 10^\circ$ com que l'alçada de la secció és de 20 cm i l'angle ha de ser de 10° utilitzo la tangent, ja que és la relació entre els dos catets.

$20 \cdot \tan 10 = \text{distància 1} = 3,52 \text{ cm}$

- $\alpha = 15^\circ$ utilitzo la mateixa raó trigonomètrica que he utilitzat en l'angle de 10° .

$20 \cdot \tan 15 = \text{distància 2} = 5,35 \text{ cm}$

El vidre de la secció de prova és un plàstic transparent anomenat metacrilat, que té una forta resistència als cops, però es ralla molt fàcilment. Per subjectar el vidre a la secció de prova, s'ha de fer com si fos una porta, per poder obrir i tancar, quan es vulgui canviar el perfil alar.

He posat dues frontisses a la part superior del perfil, i una tanca a la part inferior, de manera, que no es pugui obrir tot sol, amb la força del vent a la secció de prova. Per fer els forats al metacrilat, he hagut de fer-ho amb el trepant a poca velocitat perquè no es fongués els plàstic.

Per calcular la força de sustentació que apareix quan circula un flux d'aire i impacte contra el perfil he col·locat un dinamòmetre dins la secció de prova. Per col·locar el dinamòmetre, he passat una barnilla paral·lela al terra on es pot aguantar el dinamòmetre. Com que aquest dinamòmetre, no ha de mesurar una força en sentit del pes, sinó totalment oposada, en sentit contrari, utilitzaré un dinamòmetre electrònic, que pot mesurar valors positius i negatius; al mateix temps anirà bé la utilització d'aquest dinamòmetre per poder fer les gràfiques de cada perfil, ja que amb el MULTILOG PRO, i el programa informàtic MULTILAB podré tractar les dades.



Imatges de la secció de prova. El la foto de l'esquerra es mostra com queda col·locat el dinamòmetre per mesurar la força de sustentació del perfil alar

4.3.10. Motor II (electricitat)

Una vegada he col·locat el motor a l'entrada del túnel del vent he hagut de buscar una manera per regular la velocitat del motor. El primer problema amb la regulació de la velocitat ha estat trobar l'aparell ideal per regular la velocitat d'un motor de CA.

Per regular la velocitat he comprat un regulador d'intensitat per una làmpada domèstica de potència baixa i l'he instal·lat en sèrie al circuit com si d'un interruptor es tractés. Al principi no sabia si funcionaria perquè el regulador d'intensitat està dissenyat per un a resistència òhmica i el motor és una resistència inductiva. He deduït que per la poca potència del motor, el regulador d'intensitat pot funcionar correctament i he pogut regular la velocitat de gir d'una manera molt senzilla.

Després de poder regular la velocitat de gir del motor, he mesurat la velocitat en què l'aire circula per la secció de prova. Per mesurar-la he utilitzat un anemòmetre, d'una estació meteorològica i l'he col·locat a la secció de prova.

He regulat dues velocitats i m'ha donat els següents resultats:

Velocitat 1: 3,6 m/s

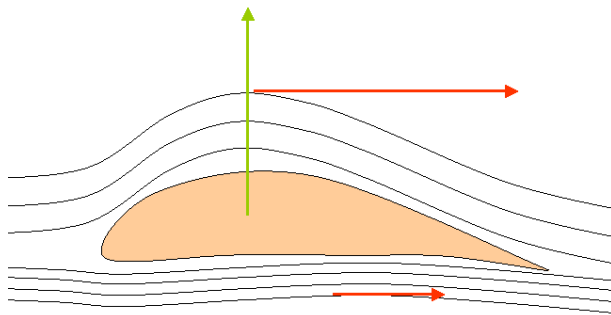
Velocitat 2: 5,8m/s



4.4. Construcció perfils alars

Un cop acabada la construcció del túnel del vent hem de passar a construir els perfils alars. Per fer les demostracions anirà prou bé fer els perfils amb polietilè expandit, conegut amb el nom de "porexpan". El "porexpan" que utilitzaré per la construcció dels perfils ha estat reciclat d'un embolcall d'una televisió.

La forma del perfil alar és la següent:



La part de color salmó, tal i com es pot apreciar a la imatge, és el perfil alar. La fletxa vermella és la direcció i el sentit que té el flux d'aire que fa circular el ventilador cap a la secció de prova. Les línies negres que rodegen el perfil alar mostren quin és el recorregut de l'aire quan rodeja el perfil

alar. I la fletxa verda, és la força de sustentació que apareix a la secció de prova. En aquesta imatge la força de sustentació apareix gràcies a l'efecte Bernoulli, però, com que el túnel del vent que he construït, es pot regular l'angle d'atac, utilitzaré la tercera llei de Newton (acció reacció) per tant, la semblança a la forma que apareix a l'imatge no serà tant important com que solament utilitzés l'efecte Bernoulli.

Quan he acabat de construir l'ala semblant a la forma anterior, s'ha de fer uns forats a la mida de les guies. Com que el material utilitzar per fer els perfils alars és "porexpan", per fer els forats, i que quedin totalment llisos, he utilitzat un fil ferro escalfat amb foc, i així fondre la part on han de passar les guies.

4.5. Pressupost total túnel del vent

DESCRIPCIÓ	UNITATS	PREU/UNITAT	TOTAL
PEÇA AGLOMERAT 1200X600X10	5	3,95€	19,75€
ANGLE 25X25	2	1,95€	3,90€
FULLES SERRA CALAR AGLOMERAT	1	2,95€	2,95€
COLA BLANCA BIBERON 125GR.	1	2,04€	2,04€
CARGOLS AGLOMERAT 17 10	40	0,0252€	1,08€
CARGOLS AGLOMERAT 19 20	30	0,0352€	1,06€
BARNILLA ROSCADA ZINCADA M 8	1	1,056€	1,06€
FRONTISSES 5/8"	2	0,3601€	0,72€
MASSILLA FUSTA COLOR ROURE	1	4,50€	4,50€
PINTURA ½ KG. GRIS	1	10,85€	10,85€
REGULADOR ENCAPSULAT INTENSITAT	1	13,40€	13,40€
VIDRE METACRILAT 200X300mm	1	3€	3€

TOTAL	64,31€
--------------	---------------

El valor econòmic del túnel és en relació al material comprat, falta afegir-hi el material reciclat i el que ja tenia anteriorment a la construcció del túnel. Aquest material, és el motor, brides, la reixa de ferro que aguanta el motor, i les eines utilitzades durant la construcció entre altres.

4.6. Conclusió de la construcció del túnel del vent

La construcció ha estat bastant complicada, i en alguns aspectes, com serrar les fustes, pensava que no me'n sortiria, ja que no quedaven rectes.

Al final, però, amb alguns entrebancs, he aconseguit acabar el túnel del vent, i tenir un bon suport per el Treball de Recerca. Explicar la teoria de la primera part del treball en el túnel del vent, crec que m'ha ajudat a sintetitzar els continguts apresos.

També la part de la construcció ha aportat tècniques de treball noves, ja que no havia fet mai un treball tan pràctic. Sobreposar-me als entrebancs de la construcció, i al final acabar el túnel del vent tal i com tenia previst m'ha donat un cop moral molt satisfactori per acabar el Treball de Recerca.



5. Proves aerodinàmiques al túnel del vent

Una vegada acabada la construcció del túnel del vent, passaré a fer les proves aerodinàmiques en els diferents perfils alars que he construït.

5.1. Perfils alars

5.1.1. Perfil alar número 1

Dimensions

Caire d'atac	151mm
Caire de sortida	151mm
Corda	115mm
Gruix caire d'atac	23mm
Superfície intradós (aprox.)	17365mm ²
Massa	0,008kg.

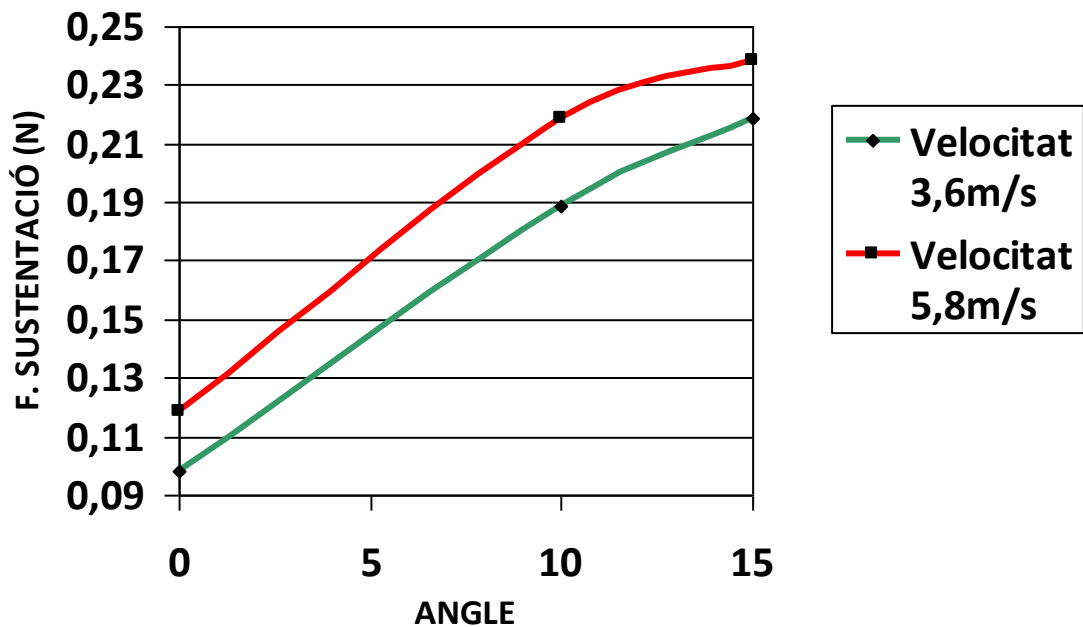


Proves

Per calcular la força de sustentació que fa el perfil alar, a més a més de mesurar la força dins el túnel, s'ha d'afegir el pes del perfil. S'ha de fer el producte de la massa del perfil, per 9'8 que és la força que la gravetat terrestre fa a un kilogram. En el cas d'aquest perfil, que té una massa de 0,008 kg. el pes serà de **0,0784N**. També hem de considerar menyspreable la força de fregament amb les barres tot i que una mica hi és.

He posat el perfil alar dins el túnel del vent i m'ha donat els següents resultats:

PERFIL 1



	Angle 0°	Angle 10°	Angle 15°
Velocitat 3,6m/s	0,0984 N	0,1884N	0,2184N
Velocitat 5,8m/s	0,1184 N	0,2184N	0,2384N

En aquest gràfic, es poden distingir dos aspectes:

1. Quan major és la velocitat més gran és la força de sustentació que es crea.
2. Quan més gran és l'angle d'atac, la sustentació augmenta. Però també es pot deduir, que, la força de sustentació no augmenta a la mateixa proporció de 0° a 10°, que de 10° a 15°. Aquest fet provocaria, que un cert angle (generalment entre 18°-20°) la sustentació comencés a disminuir, fins a desaparèixer del tot.

Aquest perfil alar, s'apropa molt a les característiques de les ales dels avions. Per una part, la forma que té és molt similar. Per altra banda, la relació de força que desenvolupa amb la variació de l'angle d'atac també és molt propera a la de les ales dels avions a la realitat.

5.1.2. Perfil alar número 2

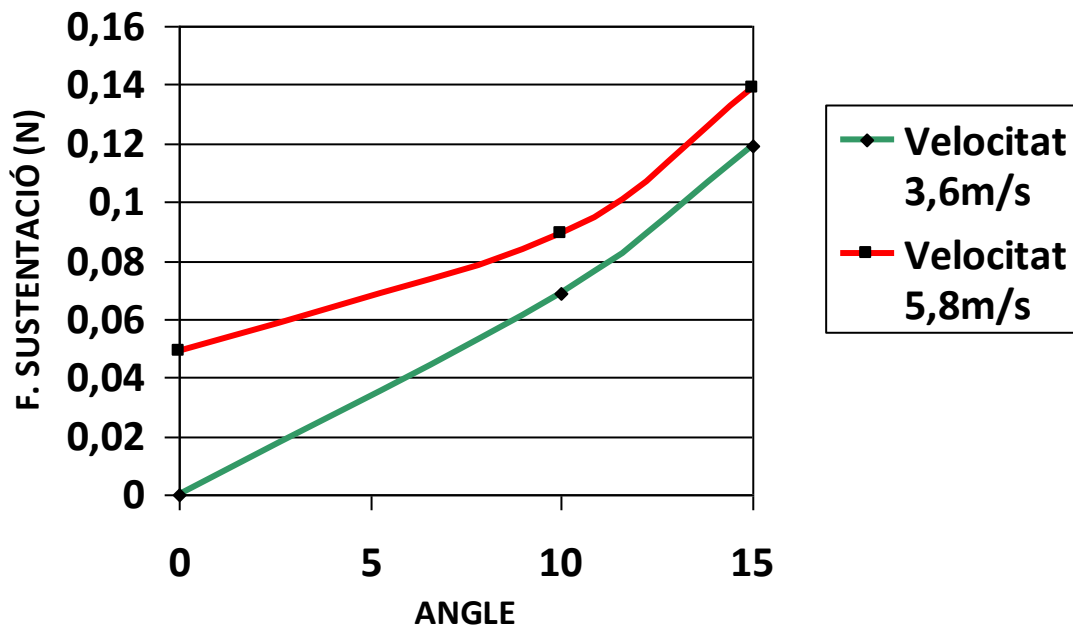
Dimensions

Caire d'atac	127,5mm
Caire de sortida	123mm
Corda	95mm
Gruix caire d'atac	24mm
Superfície intradós (aprox.)	11898,75mm ²
Massa	0,005kg.



El perfil alar número 2 fa un pes de **0,049N**. Quan l'he posat dins la secció de prova del túnel del vent m'han donat els següents resultats.

PERFIL 2



	Angle 0°	Angle 10°	Angle 15°
Velocitat 3,6m/s	0N	0,069N	0,119N
Velocitat 5,8m/s	0,049N	0,089N	0,139N

El perfil número 2 es tracta d'un perfil bastant irregular. La part superior del perfil (extradós), no té una forma corbada com la del perfil número 1, si no que és bastant recta. Aquesta particularitat, provoca que quan el flux d'aire circula per l'extradós, distribueixi irregularment la pressió i provoqui unes turbulències en l'aire, que fan que la força de sustentació adquireixi valors que les ales dels avions a la realitat no adquireixen, ni poden adquirir.

5.1.3. Perfil alar número 3

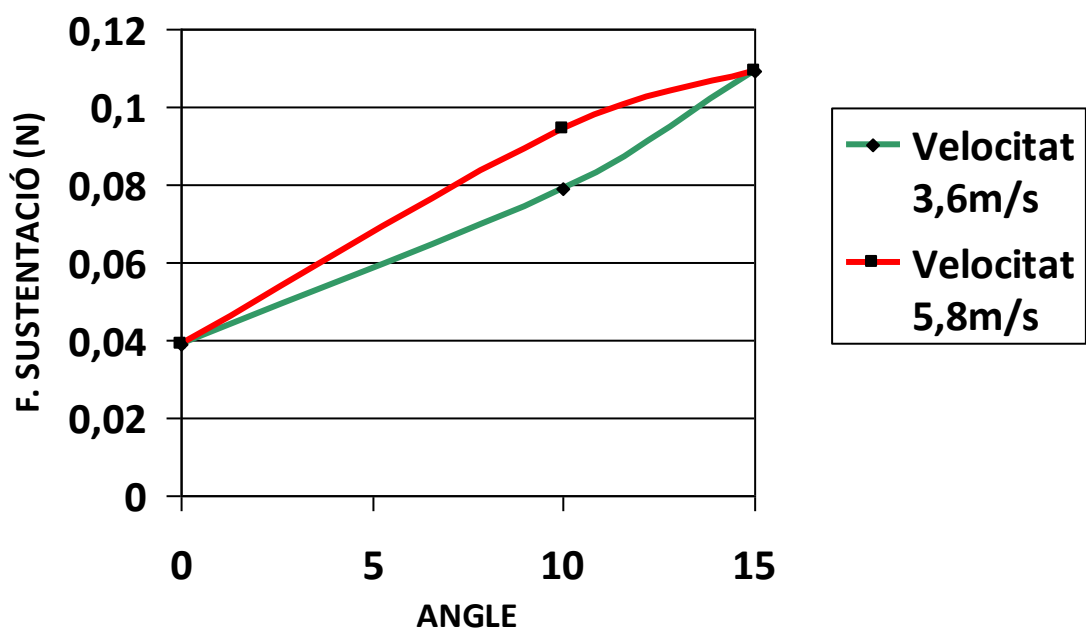
Dimensions

Caire d'atac	142mm
Caire de sortida	140mm
Corda	66mm
Gruix caire d'atac	30mm
Superfície intradós (aprox.)	9372mm ²
Massa	0,004kg.



El perfil alar número 3 fa un pes de **0,0392N**. Quan l'he posat dins la secció de prova del túnel del vent m'han donat els següents resultats:

PERFIL 3



	Angle 0°	Angle 10°	Angle 15°
Velocitat 3,6m/s	0,0392N	0,0792N	0,1092N
Velocitat 5,8m/s	0,0392N	0,0942N	0,1092N

Aquest perfil alar té poca superfície en la part inferior del perfil (intradós), i per tant, tal i com es demostra en el gràfic, la força de sustentació que adquireix en la secció de prova, és bastant minsa. El gràfic és bastant uniforme, ja que la força que he volgut trobar en aquest perfil és la produïda per el teorema de Bernoulli, tal i com mostra la forma del perfil.

CONCLUSIÓ

Finalment he acabat el treball de recerca. Estic molt content amb els resultat obtinguts, ja que al principi no m'esperava que el treball em portés a aprendre tantes coses. Vaig començar amb l'idea d'explicar una mica l'història de l'aviació i encaminar-la cap als aspectes més tècnics dels avions, però amb l'avanç del treball, he variat aquesta primera estructuració i he fet coses que al principi no tenia previstes. Per exemple, la construcció del túnel del vent és una part que no tenia ni molt menys planejada abans de començar.

La primera part m'ha aportat coneixements nous. Saber com es crea la força de sustentació a l'ala dels avions i, coneixen les parts i saber què hi passa a cada una ha set una experiència que espero que m'ajudi en un futur, per exemple quan estigui estudiant, ja que el tema de les forces és un tema que va molt relacionat amb les carreres universitàries de caire tècnic. També en la part de cercar informació, he après a seleccionar la informació en els cercadors d'Internet, ja que és difícil trobar el què es busca en tanta informació com hi ha a la xarxa.

Les conclusions tretes del túnel del vent i les proves que hi he fet son molt bones. Pensava que seria molt difícil que els perfils alars poguessin crear força a dins al túnel però al final he quedat molt satisfet amb els resultats obtinguts ja que els objectius que em vaig plantejar abans de començar a construir el túnel del vent els he complert tots.

Finalment la valoració que faig d'aquest treball és molt bona. M'ha agradat molt el tema que vaig triar, però sobretot construir la maqueta del túnel del vent i acabar-la m'ha donat molta moral per acabar el treball.

BIBLIOGRAFÍA

ADRECES D'INTERNET

- http://www.aena.es/csee/ccurl/2008_2.1%20Aerodinamica_basica.pdf
AERODINÀMICA BÀSICA, CONVICATORIA CONTROLADORS CIRCULACIÓ AÉREA, AENA [CASTELLÀ]
- <http://herreroluis.iespana.es/meteoro/12.pdf> PRINCIPIS BÀSICS AERONÀUTICA [CASTELLÀ]
- http://www.xtec.cat/iesforatdelvent/web_ciencies/doc_tunel/tunel0.html TREBALL SOBRE AERODINÀMICA I CONSTRUCCIÓ TÚNLE DEL VENT, IES FORAT DEL VENT [CATALÀ]
- http://es.wikipedia.org/wiki/Ala_%28aeron%C3%A1utica%29#Partes_de_ala PARTS DE L'ALA, WIKIPÈDIA [CASTELLÀ]
- <http://joanosep.tripod.com/aprender/Principios/introduccion.htm> TEORIA DE VOL [CATALÀ]
- http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_aeron%C3%A1utico#Motores_a_pist.C3.B3n MOTORS DE PISTÓ, WIKIPÈDIA [CASTELLÀ]
- http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_rotativo MOTOR ROTATIU, WIKIPÈDIA [CASTELLÀ]
- http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_a_reacci%C3%B3n MOTOR DE REACCIÓ, WIKIPÈDIA [CASTELLÀ]
- <http://aeroguada.com/archivos/tutorial/porquevuelanlosaviones.htm> PER QUÈ VOLEN ELS AVIONS? [CASTELLÀ]
- <http://www.aviones.us/> [CASTELLÀ]
- <http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/> GUIA INTRODUCCIÓ AERONÀUTICA, NASA [ANGLÈS]

- <http://www.nasa.gov/centers/glenn/home/index.html> NASA [ANGLÈS]
- http://www.wikilearning.com/curso_gratis/calculo_de_aviones-disenio_del_fuselaje/19258-5 CURS CÀLCUL DISSENY AVIONS [CASTELLÀ]
- <http://www.escuadron69.net/v20/foro/index.php?/topic/16986-asi-funciona-un-turboreactor/> FÒRUM SOBRE AVIONS [CASTELLÀ]
- http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_aviaci%C3%B3n#Turboreactor MOTOR AERONÀUTIC, WIKIPÈDIA [CASTELLÀ]
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Turbofan> MOTOR TURBOFAN, WIKIPÈDIA [CASTELLÀ]
- <http://windtunnel.mogap.net/espec.htm> TÚNEL DEL VENT, CONSTRUCCIÓ UNIVERSITAT [CASTELLÀ]
- http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulo_de_ataque ANGLE D'ATAC, WIKIPÈDIA [CASTELLÀ]
- http://ca.wikipedia.org/wiki/Transport_supers%C3%B2nic TRANSPORT SUPERSÒNIC, WIKIPÈDIA [CATALÀ]
- http://es.wikipedia.org/wiki/Velocidad_del_sonido VELOCITAT DEL SO, WIKIPÈDIA [CASTELLÀ]
- http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_Mach NUMERO MACH, WIKIPÈDIA [CASTELLÀ]
- <http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Transonic> VELOCITAT TRANSSÒNICA, WIKIPÈDIA [CASTELLÀ]
- <http://ksnsp.larc.nasa.gov/webtext.cfm?unit=windtunnel> TÚNEL VENT, NASA [CASTELLÀ]
- <http://www.youtube.com/watch?v=xDvkuSSMULU> VIDEO TÚNEL VENT, YOUTUBE [CATALÀ]