

---

# **AERODINÀMICA EÒLICA**

**Treball de Recerca**

**Ian Langa  
Carles Solé  
Roger Solé**

**Desembre 2015**

## ÍNDIX

Introducció	5
Objectius	6
Capítol 1: Aerodinàmica bàsica	7 - 23
1.1. Fluids i les seves propietats	7 - 15
1.1.1. Fluxos, línies de corrent i trajectòria	9 - 10
1.1.2. Capa límit	10 - 11
1.1.3. Principi de Bernoulli	11 - 12
1.1.4. Equació de la continuïtat	12 - 13
1.1.5. Efecte Venturi	13
1.1.6. Nombre de Mach	14 - 15
1.1.7. Nombre de Reynolds	15
1.2. Les quatre forces aerodinàmiques	16 - 17
1.2.1. Sustentació o “lift”	16
1.2.2. Tracció o “thrust”	16
1.2.3. Resistència o “drag”	16
1.2.4. Pes o “weight”	17
1.3. Perfils aerodinàmics	17 - 22
1.3.1. Components d'un perfil aerodinàmic	18 - 19
1.3.2. Tipus de perfils aerodinàmics	20 - 22
1.3.2.1. Perfils aerodinàmics i la geometria	20 - 21
1.3.2.2. Perfils aerodinàmics i lavelocitat d'operació	21 - 22
1.4. Els túnels aerodinàmics	22 - 23
1.4.1. Tipus de túnels aerodinàmics	22 - 23
Capítol 2: Aerodinàmica eòlica	24 - 35
2.1. L'energia eòlica	24 - 28

2.1.1. Gran eòlica	24 - 25
2.1.2. Minieòlica	25 - 28
2.1.2.1. Minieòlica en entorns urbans	27
2.1.2.2. Minieòlica en entorns <i>Off-grid</i>	27 - 28
2.1.3. Diferències entre Gran eòlica i Minieòlica	28
2.2. Aerogeneradors	29 - 34
2.2.1. Funcionament d'un aerogenerador	29 - 30
2.2.2. Tipus d'aerogeneradors	30 - 34
2.2.2.1. Aerogeneradors segons la posició de l'eix	30 - 33
2.2.2.2. Aerogeneradors segons el nombre d'aspes	33 - 34
2.3. Impacte mediambiental	34 - 35
Capítol 3: Construcció d'un aerogenerador	36 - 42
3.1. Fitxa tècnica	36 - 40
3.2. Procés de fabricació	41
Capítol 4: Experimentació al túnel de vent	42 - 47
Capítol 5: Estudi amb l'aerogenerador	48 - 51
Capítol 6: Conclusions	52
Annex I: Disseny 3D de les aspes	53
Annex II: Impressió 3D	54
Annex III: Túnel de vent	55 - 57
Annex IV: Nosaltres al túnel de vent	58
Annex V: Dades obtingudes al túnel de vent (aspa estàndard)	59 - 62
Annex VI: Dades obtingudes al túnel de vent (aspa lobulada)	63 - 66
Annex VII: Dades obtingudes al túnel de vent (aspa dentada)	67 - 70
Annex VIII: Preparació de l'experimentació amb l'aerogenerador	71 - 73
Bibliografia	74 - 75
Agraïments	76

## **ÍNDIX DE FIGURES**

### Capítol 1: Aerodinàmica bàsica

Fig. 1.1.	9
Fig. 1.2.	10
Fig. 1.3.	11
Fig. 1.4.	13
Fig. 1.5.	13
Fig. 1.6.	14
Fig. 1.7.	15
Fig. 1.8.	18
Fig. 1.9.	19
Fig. 1.10.	20
Fig. 1.11.	20
Fig. 1.12.	23
Fig. 1.13.	23

### Capítol 2: Aerodinàmica eòlica

Fig. 2.1.	31
Fig. 2.2.	32
Fig. 2.3.	32
Fig. 2.4.	33
Fig. 2.5.	34
Fig. 2.6.	35

## INTRODUCCIÓ

El vent es pot definir com el moviment de les masses d'aire que formen part de l'atmosfera terrestre. Els vents són generats a causa de l'escalfament no uniforme de la superfície terrestre per part de la radiació solar. Entre l'1 i el 2% de l'energia provinent del sol es converteix en vent.

Durant el dia, les masses d'aire sobre els oceans, els mars i els llacs es mantenen fredes en relació a les àrees veïnes situades sobre les masses continentals.

Els continents absorbeixen una menor quantitat de llum solar, i per tant, l'aire que es troba sobre la terra s'expandeix, es fa més lleuger i s'eleva.

La seva força pot arribar a ser considerable, ja que és capaç de destrossar el mobiliari urbà, i, en casos extrems, d'arrencar arbres de soca-rel. No obstant això, la destresa i l'enginy humà ha permès la creació d'aparells que tenen com a objectiu l'aprofitament d'aquest poder destructiu per a la generació d'energia, contribuint així de manera significativa al desenvolupament humà.

La disciplina que estudia el moviment de l'aire i la seva interacció amb aquells objectes que es mouen i que generen amb el seu desplaçament que l'aire de l'ambient entri en circulació s'anomena aerodinàmica, i és una de les branques principals de la mecànica de fluids.

L'aerodinàmica té com a principal objectiu d'anàlisi la observació del comportament de l'aire o de diferents masses de gasos al voltant d'elements o objectes que hi entren en moviment.

Una superfície aerodinàmica és un cos o estructura dissenyada per a obtenir una reacció desitjable de l'aire a través del qual es mou. Per tant, qualsevol part d'un cos que converteixi la resistència de l'aire en força útil es pot considerar aerodinàmic.

En el cas de les aeronaus, alguns exemples en serien les ales d'un avió o les pales rotors d'un helicòpter, en vehicles terrestres els alerons dels cotxes, i en el cas dels aerogeneradors, les seves aspes.

## OBJECTIUS

En aquest treball es descobriran i s'ampliaran les bases de l'aerodinàmica, una branca molt important de la mecànica de fluids, que és present en tota mena d'àmbits, des de construcció d'edificis, aviònica, etc., fins a les energies renovables.

Un cop adquirida la base teòrica pertinent, es comprovarà l'aplicació de les lleis que regeixen l'aerodinàmica mitjançant l'elaboració d'una maqueta funcional d'un aerogenerador. Aquest disposarà d'una sèrie d'aspes intercanviables amb diversos dissenys de perfils d'elaboració pròpia a partir d'un perfil alar estàndard, de manera que s'intentarà demostrar les variacions del rendiment que s'obtindrà mitjançant les modificacions realitzades en cada perfil respecte de l'original.

A més a més, amb la col·laboració de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) de Castelldefels, es visitaran les seves instal·lacions, i es posaran a prova els perfils alars al túnel aerodinàmic de la universitat, d'on s'obtindran dades significatives sobre diferents paràmetres aerodinàmics de cadascun dels perfils.

A través de la comparació dels dos experiments, s'esbrinarà quins paràmetres dels obtinguts al túnel són més significatius a l'hora de dissenyar un aerogenerador, i per contra quins dels paràmetres són menys influents en els resultats.

# CAPÍTOL 1: AERODINÀMICA BÀSICA

## 1.1. FLUIDS I LES SEVES PROPIETATS

S'entén per fluid un cos que té una gran mobilitat en les molècules o partícules que el constitueixen, degut a la poca força d'atracció entre elles. A causa d'aquesta mobilitat, els fluids adopten la forma del recipient que els conté. Aquests fluids poden ser transvasats, és a dir, estan capacitats per fluir.

Es poden classificar en líquids, com ara l'aigua, o en gasos, com ara l'aire que respirem. Les seves propietats bàsiques són les següents.

### Propietats Bàsiques

- **Densitat:** La densitat d'un material és el quocient entre la seva massa  $m$  i el volum  $V$  que ocupa.

$$d = \frac{m}{V}$$

En el sistema internacional es mesura en  $\text{kg/m}^3$ .

- En els líquids: Densitat elevada, ja que hi ha gran quantitat de matèria per unitat de volum.
  - En els gasos: Densitat baixa. Poca matèria per unitat de volum.
- **Pressió:** La pressió  $p$  és la força  $F$  exercida per unitat de superfície  $S$ .

$$p = \frac{F}{S}$$

La seva unitat en el sistema internacional és el pascal (Pa), que es defineix com la pressió exercida per una força d'un newton quan s'aplica perpendicularment a una superfície d' $1\text{m}^2$ .

- **Compressibilitat:** propietat per la qual tots els cossos disminueixen de volum en aplicar-los-hi una pressió o esforç de compressió.
  - En líquids: Són pràcticament incompressibles, ja que el volum lliure entre les mol·lècules és gairebé nul.
  - En gasos: Són compressibles perquè les molècules estan molt separades i per tant, la major part del volum està desocupat.

- **Cabal:** El cabal  $Q$  és el volum  $V$  d'un fluid que flueix a través d'una secció transversal d'un conductor en la unitat de temps.

$$Q = \frac{V}{t}$$

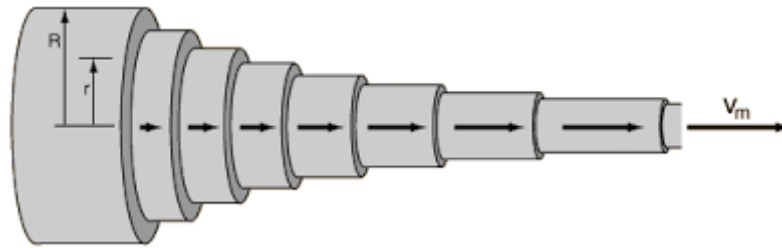
No té una unitat específica, tot i que en el Sistema Internacional es mesura en  $m^3/s$ .

- **Humitat:** La humitat és el contingut de vapor d'aigua que existeix a l'aire. Aquest contingut es pot expressar com a humitat absoluta, humitat relativa, o grau d'humitat.
  - **Humitat absoluta:** massa de vapor d'aigua present en un determinat volum d'aire. Expressat en  $g/m^3$ .
  - **Humitat relativa:** relació que existeix entre la humitat que conté una massa d'aire i la màxima humitat absoluta que podria admetre sense arribar a la condensació en iguals condicions de pressió i temperatura. S'expressa en %.
  - **Grau d'humitat o humitat específica:** relació que existeix entre les masses de vapor d'aigua i d'aire sec contingudes en un volum de fluid. També és adimensional.
- **Viscositat:** La viscositat és la resistència que presenten els líquids en fluir, com a conseqüència del fregament entre les successives capes que constitueixen el fluid.

Quan un líquid circula per un conducte, la capa en contacte amb les seves parets s'hi adhereix, de manera que la seva velocitat és pràcticament zero. Aquesta capa de líquid frena la contigua per fregament, aquesta la següent, i així successivament. D'aquesta manera els líquids circulen pels conductes com si formessin cilindres concèntrics que es desplacen a diferent velocitat els uns dels altres.



La màxima velocitat correspon al centre del conducte i la mínima, a les seves parets.



**Fig. 1.1. Forma de fluir d'un líquid en una conducció per efecte de la viscositat.**

La força de fregament ( $F_f$ ) entre dues capes de líquid depèn de tres factors:

- L'àrea de les superfícies en contacte.
- El quocient entre la variació de la velocitat ( $\Delta v$ ) d'una capa a una altra i la distància ( $\Delta d$ ) que les separa.
- El coeficient de viscositat. ( $\eta$ )

A partir de la força de fregament podem deduir el valor del coeficient de viscositat( $\eta$ ):

$$F_f = \eta \cdot S \cdot \left(\frac{\Delta v}{\Delta d}\right) \rightarrow \eta = \frac{F_f}{S \cdot \left(\frac{\Delta v}{\Delta d}\right)}$$

En el Sistema Internacional s'expressa en **N·s/m<sup>2</sup>**

El coeficient de viscositat és un factor constant per a un líquid determinat i depèn de la temperatura.

### **1.1.1. Fluxos, línies de corrent i trajectòria**

Es defineix com a flux, un fluid en moviment. Descrivim el flux d'un fluid en funció de diverses variables com la pressió, la densitat i la velocitat en tots els punts d'un fluid.

També descriurem el moviment d'un fluid centrant-nos en el que passa en un determinat punt en l'espai en un instant concret.

Les partícules d'un flux poden seguir trajectòries definides, denominades línies de corrent. Una línia de corrent és una línia contínua traçada a través d'un fluid seguint la direcció del vector velocitat en cada punt. D'aquesta manera el vector velocitat és tangent a la línia de corrent en tot els punts del flux.

En canvi, la trajectòria és la direcció que segueix una partícula al llarg del flux.

Podem trobar diferents tipus de fluxos:

- **Flux laminar:** és un tipus de moviment perfectament ordenat, estratificat i suau, de manera que el fluid es mou en làmines paral·leles o en capes cilíndriques coaxials. Es produeix en fluids amb velocitats baixes o viscositats altes.
- **Flux turbulent:** és un tipus de moviment que es produeix de manera caòtica. Les partícules del fluid es mouen desordenadament i les seves trajectòries s'encreuen formant petits remolins aperiòdics.



**Fig. 1.2. Representació de les línies de corrent. A l'esquerra línies estacionàries de flux laminar i a la dreta trajectòria no estacionària d'un flux turbulent.**

### 1.1.2. Capa límit

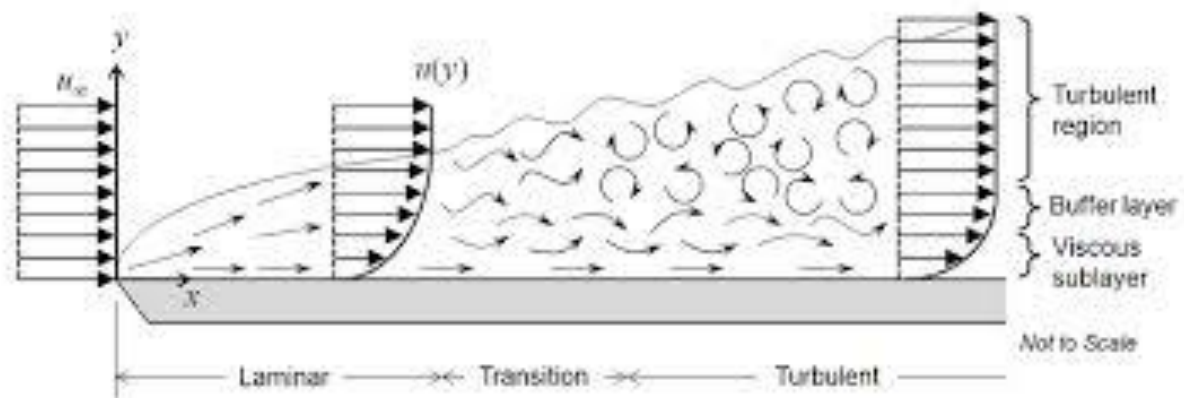
La capa límit en un flux de fluid és una prima làmina de fluid adherida a la superfície d'un cos sòlid que exerceix un paper important en la formació de remolins i en la resistència aerodinàmica del cos.

Quan un fluid circula per una superfície alar s'hi produeix una acumulació degut a la propietat viscosa dels fluids. L'aire que impacta en la capa límit redueix la seva velocitat a 0. En canvi, l'aire que no impacta segueix amb la seva velocitat intacta.

Aquesta capa límit s'utilitza per analitzar la variació de velocitats en la zona de contacte entre un fluid i un obstacle que es troba en un cert punt.

En algunes ocasions es produeix un desprendiment de la capa límit; en aquests casos el flux laminar passa a ser turbulent i es formen les esteles. Quan el moviment del fluid dintre de la capa límit és en forma de capa paral·lela, diem que tenim un flux laminar, però pot ser que a mesura que el fluid s'allunyi del marge d'atac es formin diverses pertorbacions i hi hagi un augment de l'espessor i una destrucció de les corrents laminars. És en aquest moment quan es pot dir que ha passat de flux laminar a turbulent. El punt situat entre els dos fluxos és conegut com a punt de transició.

En algunes ocasions pot arribar a desprendre's i per tant trencar-se la capa límit. En aquest cas el flux es separa de la paret i es formen solcs.



**Fig. 1.3. Representació de les diferents zones del flux. Part esquerra zona laminar, part central zona de transició i part dreta zona de flux turbulent.**

### 1.1.3. Principi de Bernoulli

Daniel Bernoulli va ser un matemàtic neerlandès que va passar la major part de la seva vida a Basilea, Suïssa. El 1738 va formular una de les bases de l'aerodinàmica: el principi de Bernoulli.

El principi de Bernoulli estableix que la pressió dels fluids (líquids o gasos) disminueix en el punt on la velocitat d'aquests augmenta. Quan hi ha fluids amb altes velocitats, tenen una pressió baixa. Quan hi ha velocitats baixes, la pressió ( $P$ ) augmenta.

$$P + \rho gy + \frac{1}{2}\rho v^2 = constant$$

Quan el fluid està en repòs aquesta fórmula varia, ja que:  $v_1 = v_2 = 0$

$$P_1 - P_2 = \rho(h_2 - h_1) = \rho gh$$

El principi s'aplica al flux de fluids sobre superfícies, com ara les ales d'avió o les hèlixs d'un vaixell.

Aquest principi pot ser fàcilment demostrat si agafem una tira fina de paper, ens la col·loquem als llavis i bufem a la part superior. En el moment en què es produeix el moviment de l'aire, la pressió exercida sobre aquest fluid disminueix a la part superior i augmenta a la part inferior, amb la conseqüència que la tira de paper s'eleva.

També és molt útil per entendre el concepte de força de sustentació que es presentarà posteriorment.

#### **1.1.4. Equació de la continuïtat**

Quan un fluid flueix per un conducte d'un diàmetre variable, la seva velocitat canvia degut a que la secció transversal varia d'una secció del conducte a l'altre.

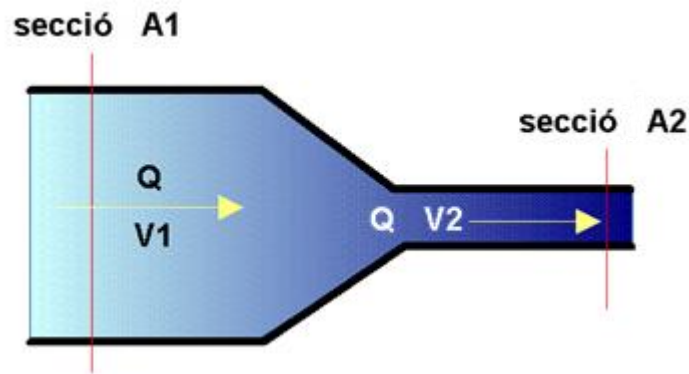
En tots els fluids incompressibles, amb flux estacionari, la velocitat d'un punt qualsevol d'un conducte és inversament proporcional a la superfície, en aquest punt, de la seva secció transversal.

L'equació de continuïtat no és més que un cas particular del principi de conservació de la massa. Es basa en que el cabal del fluid ha de ser constant al llarg de tota la conducció.

El cabal és el producte de la superfície d'una secció del conducte per la velocitat amb la qual flueix el fluid. Per tant, podem trobar que en una mateixa canonada s'ha de complir:

$$Q_1 = Q_2 \quad \longrightarrow \quad S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

On S és la superfície de les diferents seccions transversals i v és la velocitat del flux.



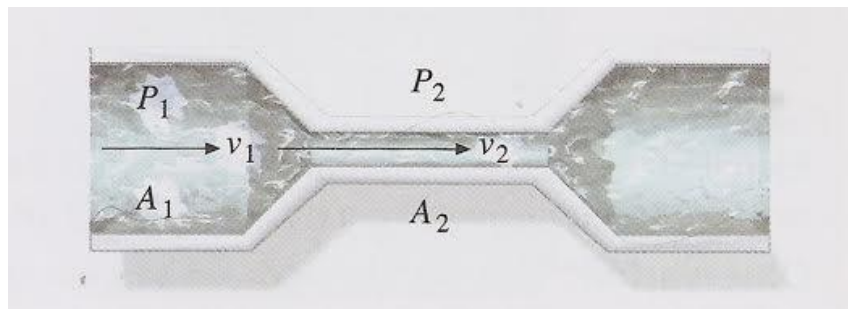
**Fig. 1.4. Representació de l'equació de la continuïtat.**

### **1.1.5. Efecte Venturi**

Giovanni Battista Venturi va ser un físic italià que es va dedicar a la física des de l'any 1813. Entre les seves aportacions més conegudes en l'àmbit de l'aerodinàmica cal destacar-ne l'Efecte Venturi, juntament amb el seu invent, el tub de Venturi.

Quan augmenta la velocitat d'un fluid, la seva pressió davalla. Aquest resultat se sol conèixer com efecte Venturi. Com menys espai hi hagi entre les línies de corrent d'un flux, més velocitat del fluid representat. En el flux horitzontal, quan la velocitat augmenta i les línies de corrent s'ajunten, la pressió disminueix.

Per mesurar la velocitat d'un fluid s'utilitza un aparell anomenat venturímetre.



**Fig. 1.5. Representació de l'efecte Venturi.**

L'efecte Venturi permet explicar molts fenòmens com ara la sustentació de les ales dels avions o les trajectòries corbes de les pilotes llançades amb efecte.

### **1.1.6. Nombre de Mach**

El nombre de Mach deu el seu nom a Ernst Mach (1838-1916), científic austríac, que va dur a terme els primers experiments significatius relacionats amb el vol supersònic a la universitat de Praga.

El nombre de Mach (M) és la relació entre la velocitat del flux i la velocitat del so dins del fluid. Per tant:

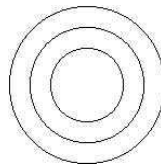
$$M = \frac{V}{c} \text{ on } V = \text{velocitat de flux i } c = \text{velocitat del so (en el fluid)}$$

En el sentit de forces, el nombre de Mach és la relació existent entre les forces inercials i les forces originades per la compressibilitat del fluid. El nombre de Mach és constantment utilitzat pels enginyers aerodinàmics per descriure el moviment dels fluids sobre els objectes.

#### **Règims de flux en funció de M:**

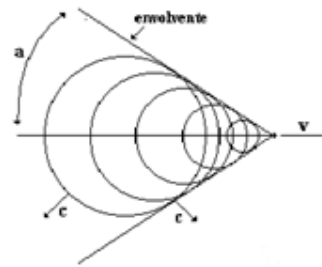
<b>Règims de flux</b>	<b>M</b>
Règim incomprensible	< 0,3
Règim subsònic	0,3 - 0,6
Règim transsònic	0,6 – 1
Règim supersònic	1,0 – 5,0
Règim hipersònic	> 5,0

Quan un objecte, per diminut que sigui, es desplaça en l'aire a una velocitat  $V < c$ ; el moviment de l'objecte crea pertorbacions de pressió, les quals es propaguen esfèricament cap a l'exterior a partir de l'objecte, a la velocitat del so  $c$ . Si l'objecte no estigués en moviment, els fronts d'ona s'estendrien esfèricament, tal com s'il·lustra a continuació



**Fig. 1.6. Representació dels fronts d'ona d'un objecte que no estigués en moviment.**

Si per algun motiu la velocitat del flux és major que la velocitat del so, les pulsacions individuals es combinen per formar un patró cònic:



**Fig. 1.7. Representació de les pulsacions individuals formant un patró cònic.**

Aquest patró se'l coneix amb el nom de *con de Mach*. El fluid que es troba per davant del con no pateix cap pertorbació, però pateix sobtats canvis de pressió, temperatura i densitat, mentre travessa el con de Mach. Quan un flux pateix canvis sobtats en travessar una ona, a aquesta última ona s'anomena ona de xoc.

Els nombres Mach 1, Mach 2, Mach 3, etc. s'utilitzen per indicar la velocitat d'un objecte en comparació amb la velocitat del so. Mach 2, per exemple, significa que un cos es desplaça a dues vegades la velocitat del so. S'ha de tenir en compte que la velocitat del so pot canviar segons les condicions de l'atmosfera i el fluid en què es troba.

### **1.1.7. Nombre de Reynolds**

El nombre de Reynolds és la relació entre les forces d'inèrcia ( $F_i$ ) de les molècules del fluid i les forces de fregament ( $F_f$ ) produïdes per la viscositat ( $\eta$ ).

$$R = \frac{F_i}{F_f} = \frac{dDv}{\eta}$$

La fórmula anterior determina el nombre de Reynolds. Aquest nombre determina el règim de circulació del fluid:

- Si  $R < 2300$ , el fluid circula en règim laminar.
- Si  $R > 10000$ , el fluid circula en règim turbulent.
- Pels valors intermedis de  $R$ , el règim no està clarament definit i pot ser laminar o turbulent.

## **1.2. Les quatre forces aerodinàmiques**

Quan un cos es troba suspès en l'aire (en vol recte i anivellat), experimenta quatre tipus de forces fonamentals les quals es troben en equilibri entre elles. Aquestes, també anomenades les quatre forces aeronàutiques, són: la sustentació, la tracció, la resistència i el pes.

### **1.2.1. Sustentació o “lift”**

La sustentació és la força resultant de la diferència de pressió entre la part superior i inferior de l'ala. Quan l'aire passa ràpidament per la curvatura superior de l'ala causa una baixa pressió en aquesta superfície.

En la curvatura inferior, l'aire té velocitats menors que la part superior i aleshores la pressió augmenta. Aquesta diferència de pressions té com a resultat la força de sustentació.

Hi ha diversos factors involucrats en la creació de la sustentació: angle d'atac, àrea i forma de l'ala, velocitat i densitat de l'aire.

### **1.2.2. Tracció o “thrust”**

La tracció és la força que impulsa el cos a través de l'aire. Aquesta força és el que li dona velocitat al cos i produeix el moviment en l'espai. Presenten una relació directament proporcional, és a dir, si la tracció disminueix, el cos perd velocitat. Si augmenta la tracció, la velocitat també incrementa.

Si llencem una pilota, és el llançador el que provoca la força. En el cas de les aeronaus, aquesta força és produïda per les turbines i/o l'hèlix de l'aparell.

### **1.2.3. Resistència o “drag”**

La resistència és la força que actua en sentit contrari del moviment oposant-se al moviment del cos a través de l'aire. Existeixen dos tipus de resistències aerodinàmiques: la paràsita i la induïda. La resistència total és la suma entre aquestes dues.

- Resistència paràsita: força produïda per aquelles parts de l'objecte que no contribueixen a la seva sustentació. En el cas de les aeronaus seria produïda pels trens d'aterratge, les antenes...



- Resistència induïda: és causada per la sustentació. Quan es genera la força de sustentació, la mateixa força provoca la seva resistència induïda. Com més força de sustentació, més resistència induïda es produeix.

### **1.2.4 Pes o “weight”**

El pes, ( $\vec{p}$ ), és la força de la Terra que produeix als cossos verticalment cap al centre de la Terra. Així doncs, per calcular el pes d'un cos (a la Terra) s'utilitza la fórmula següent:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{g}$$

El pes s'obté de multiplicar la massa  $m$  d'un cos pel camp gravitatori,  $\vec{g}$ , que crea la Terra en un punt que li és exterior, a una distància del seu centre. Per trobar-lo s'aplica:

$$\vec{g} = -G \frac{M_T}{d^2} \vec{u}$$

El valor del camp gravitatori de la Terra depèn de la distància al seu centre. En la taula mostrada a continuació es pot comprovar la relació entre aquestes dues variables.

Distància a la superfície de la Terra (km)	$\vec{g}$ (N/kg)
0	9,83
10	9,80
100	9,53
1.000	7,34
10.000	1,49

### **1.3. Perfils aerodinàmics**

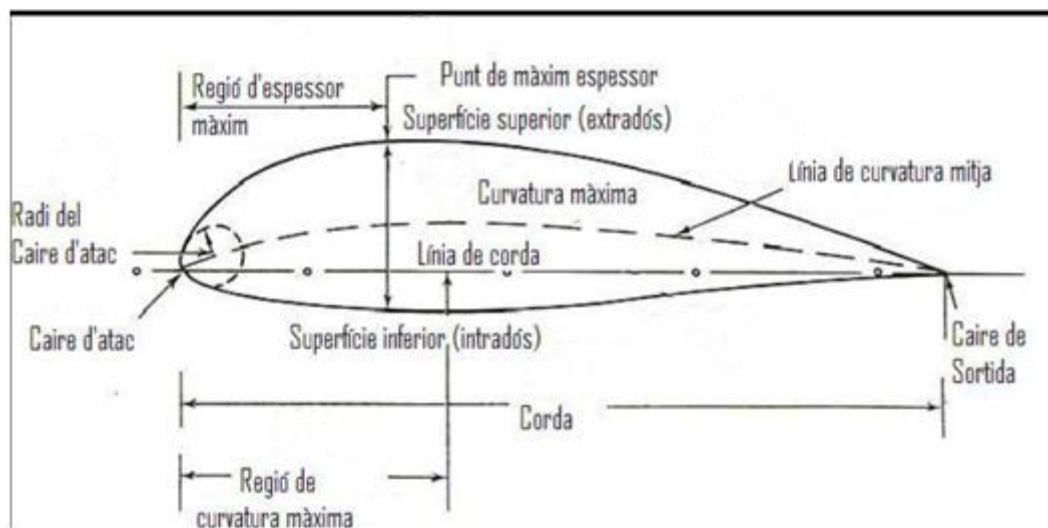
Un perfil aerodinàmic és un cos amb un disseny determinat, el qual aprofita al màxim les forces que s'originen per la variació de velocitat i pressió quan aquest es troba dins d'un corrent d'aire. La secció transversal d'una ala, pala o vela seria un exemple de perfil aerodinàmic.

Les dues forces més importants, de les quals hom busca l'equilibri amb el perfil aerodinàmic, són la sustentació i la resistència.

### 1.3.1. Components d'un perfil aerodinàmic:

En un perfil aerodinàmic es distingeixen els següents conceptes:

- **Caire d'atac:** és la part davantera de l'ala.
- **Caire de sortida o de fuga:** és la part posterior de l'ala.
- **Extradós:** part superior de l'ala. Lloc on els talls d'aire es troben en depressió.
- **Intradós:** part inferior de l'ala. Lloc on els talls es troben en sobrepressió.
- **Línia de corda:** és la línia recta que uneix el caire d'atac i el caire de sortida o fuga del perfil.
- **Corda:** és la longitud de la línia anterior. Totes les dimensions dels perfils es mesuren en termes de la corda.
- **Línia de curvatura mitjana:** és la línia mitjana entre l'extradós i l'intradós.
- **Curvatura màxima:** és la distància màxima entre la línia de curvatura mitjana i la línia de corda. La posició de la curvatura màxima és important en la determinació de les característiques aerodinàmiques d'un perfil.
- **Dimensió de la corda:** és la dimensió que té aquesta línia de corda.
- **Espessor:** és la distància màxima entre l'intradós i l'extradós.
- **Envergadura:** és l'amplada de l'ala o profunditat.

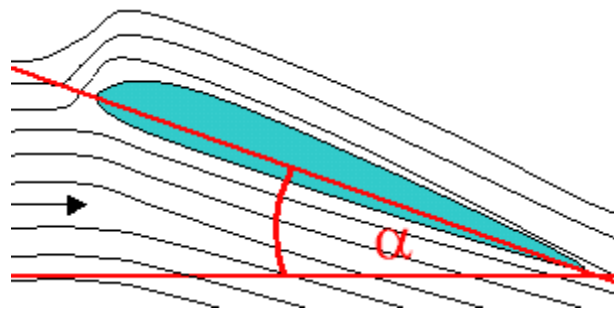


**Fig. 1.8. Terminologia Bàsica en Perfils.**

- **Angle d'atac:**  
L'angle d'atac d'un perfil alar és l'angle format per la corda del perfil i la direcció del corrent lliure d'aire. Aquest angle pot ser positiu, negatiu o neutre.

Depenent de l'angle d'atac que presenti el perfil es formarà més o menys sustentació.

Més angles d'atac significa més sustentació i augment en les altres tres forces que es formen en el perfil, però cada perfil té un angle d'atac màxim assolible. A partir d'aquest màxim, la capa límit és perd i la sustentació desapareix.



**Fig. 1.9. Representació d'un angles d'atac d'un perfil alar.**

- **Angle límit:**

L'angle límit és el valor màxim de l'angle d'atac d'un perfil aerodinàmic a partir del qual es produeix un fenomen anomenat entrada en pèrdua o "stall", que consisteix en la disminució de la força de sustentació que genera la corrent incident sobre el perfil.

Aquesta reducció es produeix per un procés conegut com la separació de la capa límit, durant el qual s'inverteix la direcció relativa del flux d'aire en determinades zones de la superfície aerodinàmica.

El seu valor varia segons la velocitat de l'aire i el disseny del perfil.

- **Angle d'incidència**

L'angle d'incidència és un angle agut format entre la línia de la corda i l'eix longitudinal del rotor. Aquest angle és fix no pot ser modificat, a diferència de l'angle d'atac.

### **1.3.2. Tipus de perfils aerodinàmics**

Els perfils aerodinàmics es poden classificar segons la seva geometria i la velocitat d'operació.

#### **1.3.2.1. Perfils aerodinàmics i la geometria**

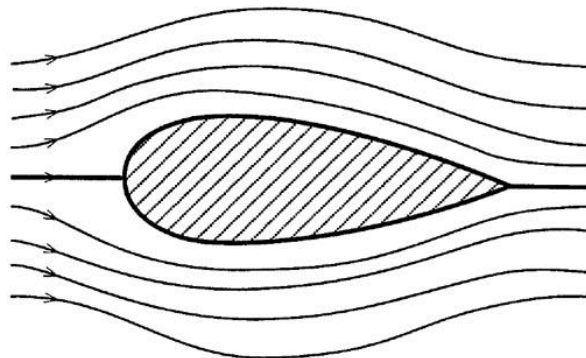
En la geometria d'un perfil hi trobem quatre variables principals:

- Configuració de la línia de curvatura mitjana.
- Espessor.
- Localització de l'espessor màxim.
- Radi del caire d'atac.

Seguint aquests criteris, es poden classificar en:

#### **- Perfils simètrics**

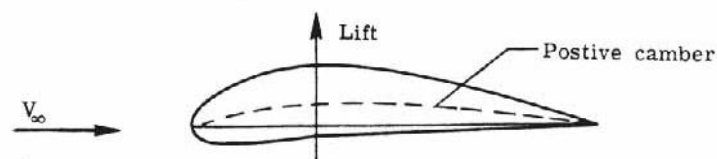
Un perfil simètric és un perfil la línia de curvatura mitjana del qual coincideix amb la línia de corda. Per tant, la part superior del perfil (extradós) és una imatge reflexa de la part inferior (intradós). A causa d'aquesta condició geomètrica, el perfil simètric té un baix cost i és de fàcil construcció.



**Fig. 1.10. Imatge d'un perfil simètric: l'intradós i l'extradós són iguals.**

#### **- Perfils asimètrics**

En els perfils asimètrics, la seva línia de curvatura mitjana no coincideix amb la línia de corda. La part superior del perfil no és una imatge reflexa de la part inferior.



**Fig. 1.11. Imatge d'un perfil asimètric.**

#### - **Perfils còncav – convex**

Es caracteritzen per tenir l'intradós còncav i l'extradós convex. Poden ser simètrics o asimètrics. Tenen una baixa espessor i creen una gran sustentació. Aquests perfils van ser àmpliament usats en avions de combat, sobretot a la Primera Guerra Mundial.

#### - **Perfils pla – convex**

Denominats així per tenir l'extradós convex i l'intradós pla gairebé en la seva totalitat. És el tipus de perfil idoni per ser utilitzat en avions en els quals ha de prevaler el vol lent i segur.

### **1.3.2.1 Perfils aerodinàmics i la velocitat d'operació:**

#### - **Perfils Subsònics**

Són aquells perfils utilitzats per a aeronaus destinades a volar no més enllà de la velocitat del so. Tenen una espessor de dimensions mitjanes o altes, un angle límit baix i les vores més arrodonides que els perfils supersònics.

Un perfil alar per a avions subsònics té major sustentació com més gran és l'espessor del perfil.

#### - **Perfils Transsònics**

Es caracteritzen per la seva superfície superior aplanada, una molt arquejada (corbada) secció posterior, i un major radi de caire d'atac en comparació amb les formes tradicionals de la superfície de sustentació. Un perfil aerodinàmic supercrític és un perfil dissenyat, principalment, per retardar l'aparició d'ones de resistència en el règim de velocitat transsònica.

El problema dels dissenys transsònics és poder crear una secció de perfil amb elevat aixecament i/o espessor sense causar fortes ones de xoc.

Les seves característiques:

- Poden ser supercrítics o prims.
- Extradós supercrític gairebé pla, intradós i caire de sortida molt corbat.
- Màxima espessor de dimensió alta.

## - **Perfils Supersònics**

Un perfil aerodinàmic supersònic és una geometria de secció transversal dissenyada per generar un aixecament eficient a velocitats supersòniques. Els perfils supersònics tenen generalment una secció prima formada ja sigui de plans en angle o arcs oposats, amb vores d'atac i sortida molts afilats. Aquestes vores esmolades eviten la formació d'ones de xoc a mesura que el perfil es mou a través de l'aire.

### **1.4. Els túnels aerodinàmics**

Els túnels aerodinàmics, també coneguts com a túnels de vent, són instruments l'aplicació dels quals és la generació d'un corrent fluid de propietats conegudes per la mesura de les accions del vent sobre obstacles d'una naturalesa molt diversa (siguin aerodinàmics o no) i més generalment per l'estudi dels fenòmens físics en els quals l'aire en moviment hi juga un paper dominant.

La finalitat de les pràctiques en un túnel de vent és subministrar informació sobre les particularitats del flux en les proximitats del cos en consideració, donar informació sobre la distribució de pressions i sobre les càrregues globals produïdes per la corrent sobre els obstacles objectes d'interès i, en cas de que aquests siguin flexibles, poder aportar informació sobre les vibracions induïdes pel fluid.

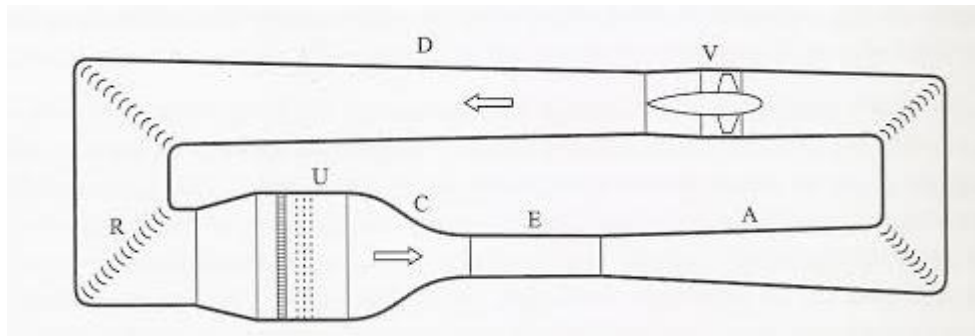
En aquests túnels s'aconsegueixen produir rèpliques aerodinàmiques de diversos objectes que permeten més tard poder produir aquest objectes a escala real.

En aeronàutica, els paràmetres més importants són els nombres de Mach i el nombres de Reynolds.

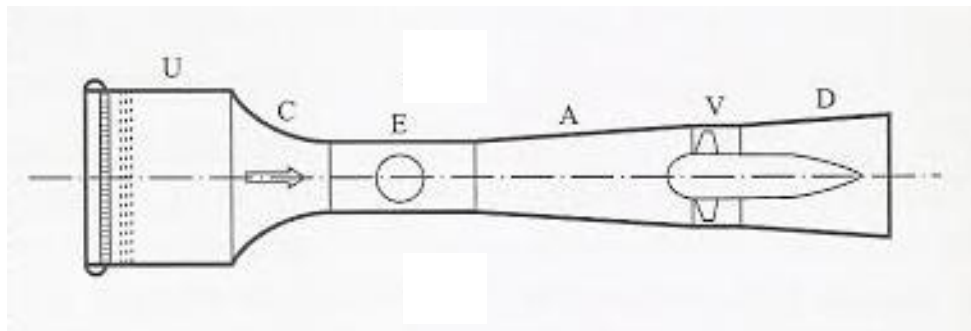
#### **1.4.1. Tipus de túnels aerodinàmics:**

Es distingeixen dos tipus de túnels aerodinàmics en funció del cicle de l'aire emprat en l'experimentació: túnels amb circuit tancat i túnels amb circuit obert.

Els túnels aerodinàmics amb circuit tancat presenten una estructura cíclica que fa possible la reutilització de l'aire. En canvi, els túnels de circuit obert no disposen d'un conducte de retorn.



**Fig. 1.12. Plànol d'un túnel aerodinàmic de circuit tancat.**



**Fig. 1.13. Plànol d'un túnel aerodinàmic de circuit obert.**

- $\left\{ \begin{array}{l} U = \text{entrada} \\ C = \text{contracció (impuls de l'aire)} \\ E = \text{cambra d'assajos} \\ A = \text{difusor d'adaptació a la secció de ventiladors} \\ V = \text{ventiladors} \\ R = \text{conducte de retorn} \end{array} \right.$

## CAPÍTOL 2: AERODINÀMICA EÒLICA

### 2.1. L'ENERGIA EÒLICA

L'energia eòlica és l'energia que s'obté per aprofitament de l'energia cinètica del vent, que és transformada en electricitat. És una energia il·limitada i neta, però com la majoria d'energies renovables, té un baix rendiment.

El terme eòlic prové del llatí *Aeolicus*, pertanyent o relatiu a *Èol*, el déu del vent en la mitologia grega.

Des de temps ancestrals, l'ésser humà ha aprofitat l'energia del vent per a diferents usos, des de molins de vent que es feien servir per moldre el gra, a la navegació a vela.

Actualment, l'energia del vent és utilitzada mitjançant l'ús de màquines eòliques (o aeromotors), capaces de transformar l'energia eòlica en energia mecànica de rotació utilitzable per a la producció d'energia elèctrica.

Per tal d'obtenir un òptim aprofitament de l'energia eòlica és necessari realitzar un estudi detallat del vent de les diferents zones geogràfiques. Els factors més importants que cal estudiar són els següents:

- Velocitat: És el factor més important. La potència subministrada pel vent és proporcional al cub de la seva velocitat.
- Continuitat: Les zones en què hi bufa el vent de manera permanent són les més adequades.
- Estabilitat: Els emplaçaments en llocs alts garanteixen vents mancats de turbulències.
- Densitat de potència: Amb aquest concepte s'indica la màxima potència que es pot conservar per unitat d'àrea escombrada pel vent.

Actualment és possible aprofitar vent de només 4 m/s, és a dir, l'equivalent a una densitat de potència de  $41,376 \text{ W/m}^2$

#### 2.1.1 GRAN EÒLICA

En l'energia gran eòlica, les grans dimensions dels aparells i la localització dels vents fan que les instal·lacions tendeixin a estar ubicades en entorns naturals allunyats de les àrees urbanitzades, els quals denominem parcs eòlics. En aquests parcs hi podem trobar



grans aerogeneradors amb una potència d'instal·lació superior als 500kW i connectats a xarxes d'alta tensió.

L'energia elèctrica produïda per cada generador es transporta per cables conductors a un centre de control. Allà, els transformadors n'elevan la tensió, i a continuació, l'energia s'envia a la xarxa general mitjançant les línies de transport d'alta tensió.

La tecnologia eòlica és un model de referència per a altres energies renovables. Això ha estat possible gràcies a l'esforç en I+D+I, a les ajudes de tot tipus ofertes pels governs i a la legislació de suport vigent sobre aquest tema.

Aquesta tecnologia va començar a desenvolupar-se a Dinamarca, Alemanya i els EUA. A finals de l'any 2006 l'energia eòlica proporcionava 73904 MW de potència a tot el món. A poc a poc s'hi van afegir d'altres països com Espanya, la Xina, l'Índia, el Regne Unit, França o Itàlia, on l'energia eòlica ha augmentat prop d'un 25%.

A Espanya, amb prop de 12000MW instal·lats, l'energia eòlica representa el 16% de totes les energies renovables, i és la segona potència eòlica europea, per darrere d'Alemanya, que produeix 20622MW.

En alguns llocs s'estan potenciant els projectes de parcs eòlics marins. Al Regne Unit, per exemple, a finals del 2006 s'hi va autoritzar la construcció del parc eòlic marí més gran del món, el qual, amb 1000MW de capacitat, podrà subministrar electricitat per a la quarta part de les llars de Londres.

La tecnologia espanyola permet fabricar aerogeneradors amb una potència d'entre 150 i 500kW. La central de funcionament més gran d'Espanya és la de Tarifa (Cadis), amb 90 torres que sumen una potència total de 30MW.

### **2.1.2. MINIEÒLICA**

L'energia minieòlica és l'aprofitament dels recursos eòlics mitjançant la utilització d'aerogeneradors de potència inferior als 100kW i una àrea d'escombrada que no superi els 200m<sup>2</sup>, segons l'Associació de Productors d'Energies Renovables (APPA). Generalment, la minieòlica s'instal·la en altures properes als 20 metres i utilitza diàmetres de rotor petits, inferiors als 15 metres.

La utilització de l'energia minieòlica presenta diversos avantatges

- ✓ Versatilitat: Es poden ubicar en múltiples i diferents entorns.

- ✓ Proximitat: Les zones de generació i consum de l'energia són molt properes, evitant-se així la pèrdua d'energia per transport.
- ✓ Multiproducció: La producció no es concentra en un sol punt del territori, sinó que pot haver-hi grans quantitats de petits productors.
- ✓ Conscienciació: Estimula la conscienciació personal del problema energètic.

Alhora, l'energia minieòlica té diversos inconvenients que no es poden deixar de banda:

- Tràmits administratius costosos.
- No és rendible per a petits inversors.
- Manca d'investigació, tecnologia incipient.
- Fiabilitat i eficiència millorables.
- Disseny poc atractiu i difícil integració en l'entorn.
- Limitacions tecnològiques.

Els petits aerogeneradors, al contrari que els de mida més gran (els que pertanyen a la Gran Eòlica), han tingut una evolució molt lenta i sense millores significatives. Les possibles causes d'aquesta poca evolució podrien ser:

- Complexitat tècnica
- Manca de suport institucional
- Mercat petit i poc atractiu
- Empreses del sector petites i amb recursos limitats

Per aquests motius, encara hi ha una gran varietat de camps on cal més desenvolupament. Alguns d'aquests camps són els següents:

- Aerodinàmica: Els miniaerogeneradors necessiten millorar el seu rendiment aerodinàmic per tal de resultar més eficients.
- Robustesa: Els aparells han de poder suportar condicions meteorològiques desfavorables (humitat, altes i baixes temperatures, precipitacions...) i suportar la fatiga del funcionament (la vida útil de l'aparell hauria de ser de 20 anys com a mínim).
- Eficiència: El rendiment ha de millorar a fi de poder aprofitar millor els vents urbanitzats (turbulents, ascendents, canalitzats...)
- Soroll i vibracions: La presència de persones a l'entorn on són instal·lats obliga a limitar la contaminació acústica fins a nivells de confort auditiu.

### **2.1.2.1. Minieòlica en entorns urbans**

La producció amb energia minieòlica no es concentra en grans parcs eòlics. Fins fa poc es trobava en entorns rurals, però ara ens trobem davant del fenomen de la multigeneració, és a dir, múltiples i diversos entorns que s'acosten al punt de consum.

La seva col·locació en entorns urbanitzats és facilitada per les reduïdes dimensions dels aparells i la necessitat de menys recurs eòlic per funcionar (el vent és de més baixa intensitat a emplaçaments urbans). Alguns exemples en són els parcs, fronts marítims, centres comercials, polígons industrials...

Com a elements del mobiliari urbà, s'han de desenvolupar solucions que integrin aquests aerogeneradors tot minimitzant l'impacte visual i millorant l'atractiu cap als ciutadans.

El recurs eòlic a les ciutats és més reduït i els fluxos tendeixen a ser turbulents, discontinus i molt inconstants a causa de la gran quantitat d'obstacles que suposen les edificacions. En la part superior dels edificis, el flux del vent també presenta turbulències. Això és degut a les interaccions amb les teulades i façanes d'altres edificis que provoquen canvis sobtats en els fluxos. Per aquest motiu, els anemòmetres de les estacions meteorològiques metropolitanas han d'estar situats uns 10 metres per damunt dels sostres dels edificis, on el flux és més regular.

Per solucionar-ho, s'aprofita la canalització del vent produïda per les trames urbanístiques. Les vies urbanes amb una certa amplitud presenten una funcionalitat conductora envers el vent, i afavoreixen l'aparició de corrents aprofitables pels petits aerogeneradors.

### **2.1.2.2. Minieòlica en entorns *Off-grid***

Les zones que no disposen de possibilitat de connexió a la xarxa elèctrica es troben aïllades dels sistemes de subministrament energètic i són denominades entorns *Off-grid*: fora de la xarxa.

Aquests entorns remots, si ofereixen un bon recurs eòlic, són una gran oportunitat per a la implantació de miniaerogeneradors com a font d'energia.

Tot i les limitacions de la carència de connexió a la xarxa elèctrica, això comporta una sèrie de beneficis:

- ✓ Independència: No es depèn d'una companyia elèctrica subministradora. Per tant, els augments de les tarifes i/o caigudes de tensió de la xarxa són inexistents.

- ✓ Econòmic: És més rendible la implantació de miniaerogeneradors degut als elevats costos de la connexió a la xarxa elèctrica en entorns aïllats.
- ✓ Consciència de l'energia: En ser productors de l'energia que es consumeix, se'n fa un ús més responsable i controlat.

Cal tenir en compte que la major part del territori no es troba connectada a la xarxa i, per tant, això comporta un gran camp d'extensió per a les energies renovables.

Entre els entorns *Off-grid* més habituals podem destacar-ne:

- Zones rurals: És molt comú combinar els petits aerogeneradors amb plaques fotovoltaïques per tal d'aconseguir el 100% de subministrament elèctric.
- Plataformes marines: En l'entorn marí, el recurs eòlic és molt abundant i conseqüentment, l'energia eòlica esdevé una alternativa de gran fiabilitat.
- Vaixells: S'utilitza com a reserva energètica en cas de manca de combustible i com a aportació energètica per a l'arrencada dels motors i l'enllumenat.

La millor solució en els entorns aïllats és la hibridació de sistemes eòlics amb fotovoltaïcs, ja que són complementaris (quan fa sol normalment no fa vent i a l'inrevés).

### **2.1.3.Diferències entre gran i minieòlica**

Aquestes són les principals diferències entre la gran eòlica i la minieòlica:

- La **gran eòlica** és una tecnologia eficient i desenvolupada.
- La **minieòlica** encara no és eficient ni tecnològicament ni econòmica.
- La **gran eòlica** és una realitat que genera rendiments econòmics.
- La **minieòlica** encara no té una tecnologia competitiva ni un marc regulador viable.
- La **gran eòlica** necessita connexions costoses a xarxes d'alta tensió.
- La **minieòlica** es pot connectar amb cost reduït a xarxes de baixa tensió.
- La **gran eòlica** està concebuda per bolcar a xarxa.
- La **minieòlica** es pot hibridar amb instal·lacions de plaques solars ja existents.

## **2.2. AEROGENERADORS**

Per tal d'obtenir un òptim aprofitament de l'energia eòlica cal dur a terme un estudi detallat del vent en les diferents zones geogràfiques. Els factors més importants per estudiar són els següents:

- **Velocitat:** És el factor més important. La potència subministrada pel vent és proporcional al cub de la seva velocitat.
- **Continuïtat:** Les zones en què bufa el vent de manera permanent són les més adequades.
- **Estabilitat:** Els emplaçaments en llocs alts garanteixen vents mancats de turbulències.
- **Densitat de potència:** Amb aquest concepte s'indica la màxima potència que es pot conservar per unitat d'àrea escombrada pel vent.

Les instal·lacions capaces de transformar l'energia eòlica en energia mecànica de rotació i al seu torn en energia elèctrica s'anomenen centrals eòliques. Les màquines utilitzades en aquesta transformació s'anomenen aerogeneradors, i poden ser d'eix vertical o horitzontal.

Els aerogeneradors d'eix vertical aprofiten vent de qualsevol direcció i solen situar-se arran de terra.

Els aerogeneradors d'eix horitzontal són els més habituals pels seu baix cost de manteniment i el seu rendiment més alt. Els seus elements principals són l'hèlix, la naveta i la torre.

- **L'hèlix o rotor** pot tenir d'una a sis pales construïdes amb materials lleugers. La seva missió és fer girar l'eix a què està unida.
- **La naveta** és el generador pròpiament dit. Disposa d'uns engranatges multiplicadors per millorar el rendiment.
- **La torre** és el suport del conjunt que formen l'hèlix i la naveta. Diposa de càrrega de frenat i presa de terra.

### **2.2.1 FUNCIONAMENT D'UN AEROGENERADOR**

El funcionament d'un aerogenerador consta de les següents fases:

#### **FASE 1: ORIENTACIÓ**

La potència que desenvolupa l'aerogenerador depèn de l'angle d'incidència entre el vent i el pla de gir de les pales. Aquest inconvenient fa que en els aerogeneradors d'eix

horitzontal sigui necessari un sistema d'orientació (en els d'eix horitzontal no és necessari, ja que poden funcionar en igualtat en qualsevol direcció del vent). Els aerogeneradors de la Gran Eòlica disposen de sistemes d'orientació informatitzats, que orienten les pales automàticament. Els miniaerogeneradors, en canvi, normalment disposen de sistemes d'orientació passius, com per exemple un penell, ja que el pes de l'estructura acostuma a ser suficientment petit per poder ser dirigit per la pròpia força del vent.

### FASE 2: GIR

El vent fa girar les pales, que necessiten una velocitat mínima d'uns 3,5m/s i proporcionen una màxima potència a uns 11m/s. Quan el vent és superior a 25m/s les pales es col·loquen en una posició específica per tal d'evitar danys .

El rotor fa girar un eix que està connectat a un engranatge multiplicador que n'eleva la velocitat de gir.

### FASE 3: GENERACIÓ

El gir del rotor provoca la creació d'un camp magnètic i el consegüent corrent elèctric en l'estator.

L'energia generada és conduïda per l'interior de la torre fins la base i allà per la línia subterrània fins a la part on s'eleva la tensió per injectar-la en la xarxa elèctrica i/o distribuir-la als diferents punts de consum.

## **2.2.2. Tipus d'aerogeneradors**

La classificació dels aerogeneradors s'estableix tenint en compte tres criteris: la posició del seu eix, el nombre d'aspes que presenten i l'orientació en què es disposen.

### **2.2.2.1. Aerogeneradors segons la posició del seu eix**

#### **Aerogeneradors d'eix vertical**

Els aerogeneradors d'eix vertical es caracteritzen pel gir de les seves pales al voltant d'un eix perpendicular a la direcció del vent incident. El seu funcionament és indiferent a la direcció de la qual provingui el vent (omnidireccional) i toleren millor les turbulències; per aquest motiu no necessiten cap element direccional i són estructuralment més simples que els d'eix horitzontal.

Per contra, el seu rendiment és inferior a aquests últims i poden presentar problemes de vibracions considerables.

Existeixen múltiples variacions i tipus d'aerogeneradors d'eix vertical. Els més destacats són els següents:

- **Savonius:** Model inventat el 1922 per l'enginyer finlandès Sigurd J. Savonius, que consta habitualment de dues, tres o quatre pales en forma de "S", les parts còncaves de les quals capten el vent. El seu sistema es fonamenta en l'aprofitament del vent i no en la sustentació aerodinàmica, per la qual cosa la seva eficiència és força baixa.



**Fig. 2.1. Aerogenerador d'eix vertical Savonius.**

- **Darrieus:** El seu nom prové d'una patent americana de 1925, registrada per l'enginyer Georges Darrieus. Aquestes turbines es caracteritzen per tenir uns àleps molt fins i ondulats units verticalment i pels dos extrems, a l'eix giratori. Es basen en el mateix que els rotors d'eix horitzontal: en l'efecte de la força de sustentació aerodinàmica.

El seu principal inconvenient és que no pot arrencar tot sol i cal una font d'alimentació externa per posar-lo en marxa.



**Fig. 2.2. Aerogenerador d'eix vertical Darrieus.**

- **Giromill:** Variant del rotor Darrieus, amb perfil en forma d'"H", delta o triangle, amb dos o tres àleps. El principal avantatge és que permet regular l'angle d'atac o el pas de les seves pales per tal d'optimitzar-ne el rendiment.



**Fig. 2.3. Aerogenerador d'eix vertical Giromill.**

- **Rotor Gorlov:** Model inicialment dissenyat per a l'aprofitament de corrents marins i patentat al 2001 per Alexander M. Gorlov. Combina l'aprofitament d'empenta i sustentació aerodinàmica, amb una distribució de força equilibrada que redueix el soroll i la vibració. Arrenca de forma automàtica sense necessitat de cap font d'alimentació.
- **Altres models:** Actualment s'està investigant sobre nous formats per tal de captar l'energia cinètica del vent i transformar-la en energia elèctrica.



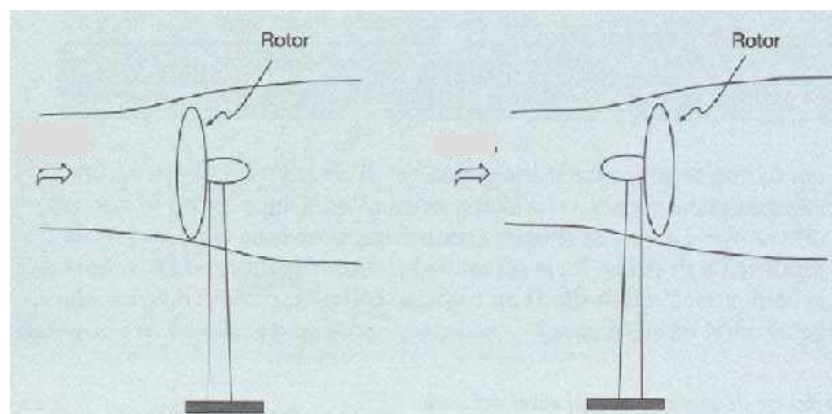
## Aerogeneradors d'eix horitzontal

Els aerogeneradors d'eix horitzontal es caracteritzen pel gir de les seves pales al voltant d'un eix paral·lel a la direcció del vent incident. Això implica que necessiten d'un mecanisme direccional per tal d'alinejar-ne l'eix amb la direcció del vent .

Dins d'aquest grup, podem establir una subclassificació en funció del nombre de pales i de l'orientació de l'aerogenerador.

### Orientació:

- **Sobrevent:** Rotor de cara al vent, amb les aspes al capdavant i el penell darrere. En aquest cas s'evita la torre com a obstacle de captació del vent, però és necessari un sistema d'orientació (penell).
- **Sotavent:** El rotor se situa darrere de la torre, de manera que el vent colpeja primer la torre i després el rotor. En aquest cas l'aerogenerador s'orienta mitjançant la gòndola i les pales. Aquestes es corben "enrere".



**Fig. 2.4. Primer aerogenerador amb orientació sobrevent i segon aerogenerador amb orientació sotavent.**

### 2.2.2.2. Aerogeneradors segons el nombre d'aspes

- **Monopala:** En tenir només una pala, aquests aerogeneradors necessiten un contrapès en l'altre extrem per poder equilibrar. La velocitat de gir és molt elevada. El seu gran inconvenient és que introdueixen a l'eix uns esforços molt variables, cosa que escurça la vida de la instal·lació.
- **Bipala:** Els dissenys d'aerogeneradors amb dues pales tenen l'avantatge d'estalviar el cost d'una pala i els seu pes. Aquests també requereixen d'un disseny més complex, amb

un rotor basculant, que ha de poder inclinar-se per evitar les fortes sacsejades en la turbina cada vegada que una de les pales passa per la torre.

- **Tripala:** La majoria dels aerogeneradors moderns tenen dissenys amb tres pales. La seva major estabilitat estructural, la seva aerodinàmica, la menor emissió de soroll i el seu millor rendiment energètic fan que sigui el model més utilitzat.



**Fig. 2.5. Aerogeneradors d'eix horitzontal d'esquerra a dreta ( monopala, bipala i tripala).**

- **Altres nombres de pales:** Només en el cas d'aplicacions de molt petita potència amb diàmetres de fins a 1 metre, es poden utilitzar 5 i fins a 7 pales; ja que aquestes configuracions presenten una robustesa i una eficiència superiors als bipala o tripala per a mides petites.

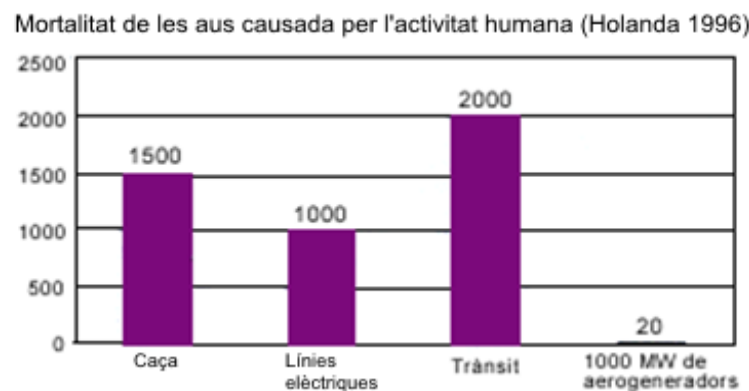
- **Multipala:** Aparells que compten amb un nombre elevat de pales al seu rotor que cobreixen una gran part de la seva àrea d'escombrada. Necessiten d'una elevada potència eòlica per començar a girar i generen un règim de voltes molt baix. La seva baixa eficiència i els seu baix règim de gir fa que s'acostumi a utilitzar amb aeromotors, i no són aptes per a la generació elèctrica.

### **2.3. IMPACTE MEDIAMBIENTAL**

Aproximadament un terç de les emissions de CO<sub>2</sub> a Europa provenen de la generació d'energia elèctrica. Comparativament amb altres fonts de producció d'energia, les instal·lacions eòliques són clarament favorables i positives, ja que no provoquen agressions al medi com per exemple emissions de substàncies tòxiques, producció de residus sòlids, pluja àcida...

Des de determinats punts de vista, els aerogeneradors constitueixen un element aliè i d'intrusió en el paisatge. Tot i així, l'anàlisi del seu impacte global es pot fer a partir de:

- **Alteracions en el medi físic:** són degudes a l'ocupació del territori i a l'erosió del terreny ocasionat pel moviment de terres necessari, tant pels accessos com per a la construcció de parcs eòlics.
- **Alteracions en el medi biòtic (flora i fauna):** S'ha de tenir en compte la recuperació de les àrees amb vegetació afectada. Pel que fa a la fauna, els estudis realitzats sobre mortalitat d'aus (per col·lisió o electrocució) estableixen que la influència de les instal·lacions eòliques és molt petita en comparació amb la produïda per altres causes.



**Fig. 2.6.** Gràfic sobre la mortalitat d'aus causades per l'activitat humana.

- **Alteracions en el medi humà (visuals i acústiques):** Intents d'identificació dels criteris òptims per a l'emplaçament i el disseny de parcs eòlics. L'estudi dels paisatgistes holandesos Veenenbosch i Bosch proposa l'establiment d'un nombre més reduït de parcs anomenats *de fort contrast*. D'aquesta manera s'evita la destrucció de diversos ecosistemes per culpa de la mala distribució dels parcs eòlics.

Per altra banda, els aerogeneradors produeixen un soroll similar al de qualsevol altre equipament industrial de la mateixa potència, normalment amb freqüències entre 200 Hz fins a 2 KHz, amb intensitat baixa i continua. Els aerogeneradors de més dimensió presenten un nivell de pressió sonora de 50-60 dB(A) a 40 metres. Com a referència, el trànsit urbà intens suposa un soroll de l'ordre dels 70 dB(A).

En entorns aïllats, es tracta d'instal·lacions de baixa potència. A les proximitats dels habitatges cal parar atenció tant a l'efecte de l'ombra del rotor en moviment com al soroll.

## CAPÍTOL 3: CONSTRUCCIÓ D'UN AEROGENERADOR

Com s'explica en els objectius, en aquest projecte s'ha volgut estudiar l'aerodinàmica, centrant-nos sobretot en l'aerodinàmica a l'energia eòlica. Per tal d'aconseguir-ho, s'ha construït una maqueta funcional d'un aerogenerador, que serà posat a prova mitjançant diversos experiments (Capítol 4: Experimentació).

A continuació s'explica el procés que s'ha seguit per a la construcció del miniaerogenerador, així com la llista de materials emprats.

### 3.1. Fitxa tècnica

Els diversos material utilitzats per la construcció de l'aerogenerador, així com les diverses parts que els formen.

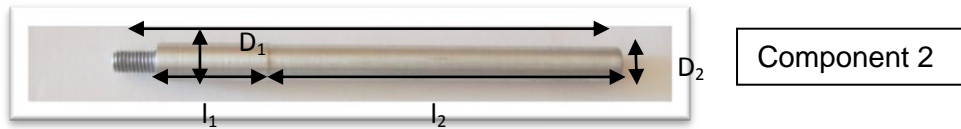


Component 1

#### Característiques tècniques (component 1):

Vareta fabricada en ferro amb un forat en un dels seus extrems amb una rosca de mètrica 6 mm. Utilitzada com a suport per a la fixació dels diversos perfils a la cambra d'assajos del túnel de vent.

	Material	Mides	Quantitat	Utilitat
COMPONENT 1	Ferro	L = 150 mm D = 12 mm Pes = 130 g	1	Aquesta vareta serveix per fixar qualsevol de les aspes a la cambra d'assajos del túnel de vent.

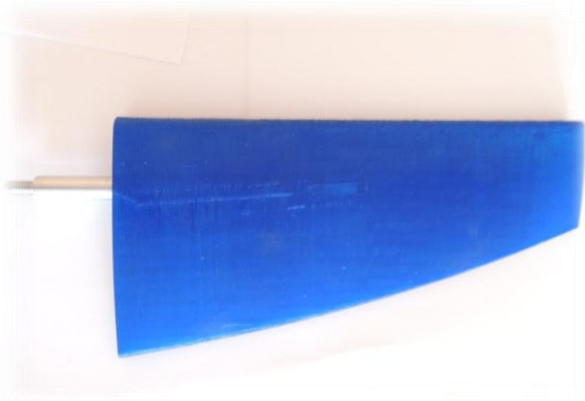


Component 2

Característiques tècniques (component 2):

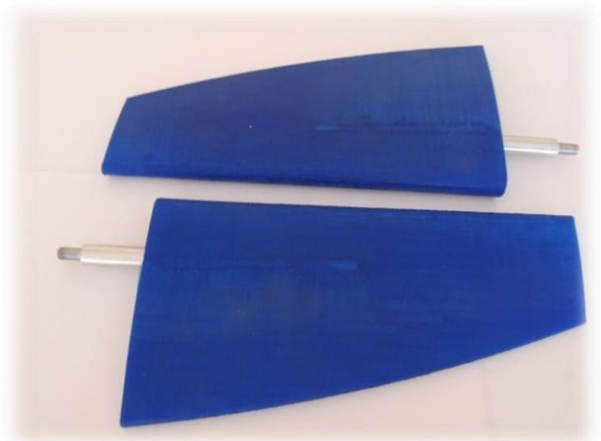
Vareta fabricada en alumini amb una rosca de 6 mm al seu extrem. Utilitzada per subjectar el perfil alar a la dinamo de l'aerogenerador.

	Material	Mides	Quantitat	Utilitat
COMPONENT 2	Alumini	L = 140 mm l <sub>1</sub> = 30mm D <sub>1</sub> = 12mm l <sub>2</sub> = 95 mm D <sub>2</sub> = 10 mm Pes = 25 g	6	Aquesta vareta serveix per subjectar les aspes i unir-les amb el rotor.



Aspa estàndard

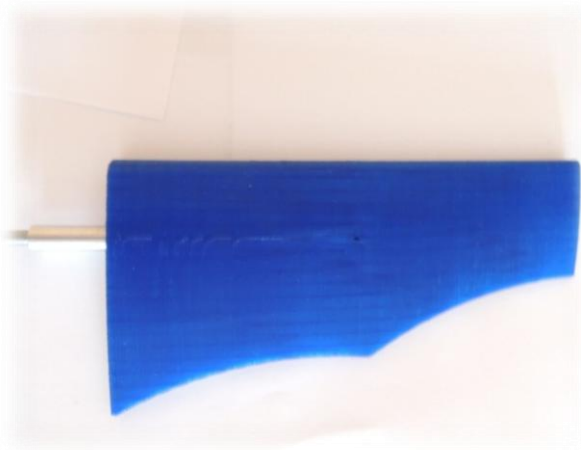
Component 3



Aspa dentada

Component 4





Aspa lobulada

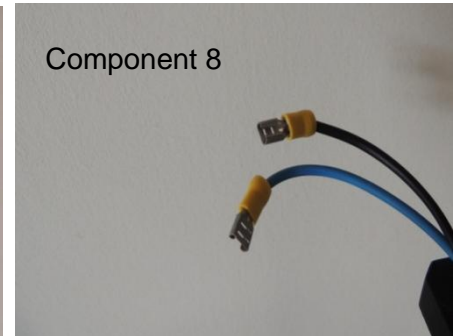
Component 5

Informació (components 3, 4, i 5):

Els tres components són perfils alars amb formes diferents (estàndard, dentat i ratpenat), dissenyats a partir del programa Catià i impresos amb una impressora 3D. S'han utilitzat com a pales de l'aerogenerador i per conèixer quina forma és la més òptima.

Taula de característiques:

	Material	Mides	Quantitat	Utilitat
COMPONENT 3	ABS (acrilonitril butadiè estirè)	L = 200mm A = 100mm H = 15mm a 5mm L <sub>forat</sub> = 100mm D <sub>forat</sub> = 10mm Pes = 50 g	2 perfils amb aquest tipus de forma.	Són les pales de l'aerogenerador. S'intentarà veure quina forma és la més òptima com a pala d'un aerogenerador.
COMPONENT 4	ABS (acrilonitril butadiè estirè)	L = 200mm A = 100mm H = 15mm a 5mm L <sub>forat</sub> = 100mm D <sub>forat</sub> = 10mm Pes = 50 g	2 perfils amb aquest tipus de forma.	Són les pales de l'aerogenerador. S'intentarà veure quina forma és la més òptima com a pala d'un aerogenerador.
COMPONENT 5	ABS (acrilonitril butadiè estirè)	L = 200mm A = 100mm H = 15mm a 5mm L <sub>forat</sub> = 100mm D <sub>forat</sub> = 10mm Pes = 75 g	2 perfils amb aquest tipus de forma.	Són les pales de l'aerogenerador. S'intentarà veure quina forma és la més òptima com a pala d'un aerogenerador.

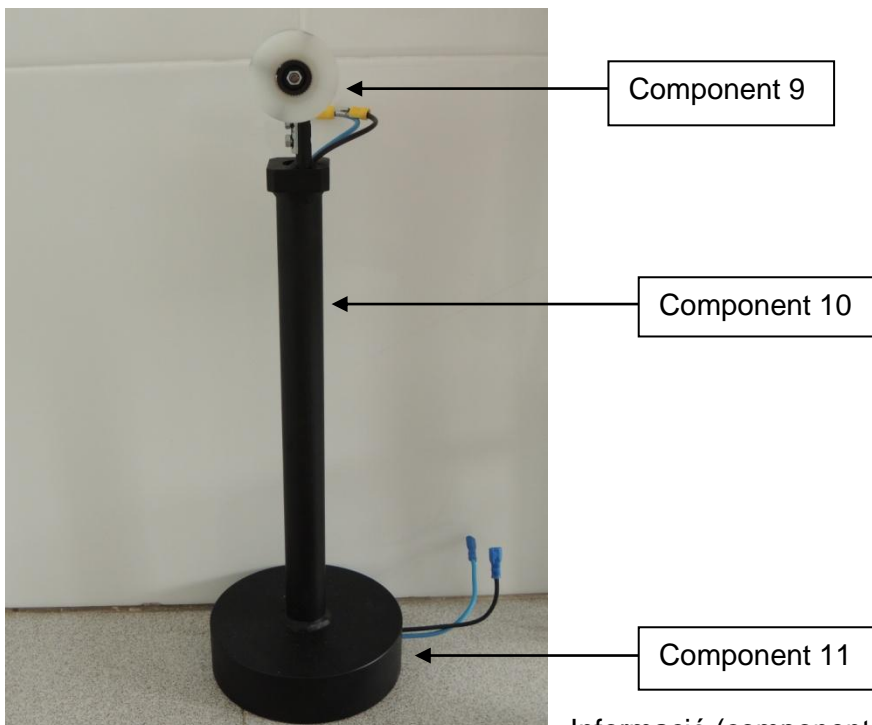


### Informació (components 6, 7 i 8):

Tots aquests components formen part de la instal·lació elèctrica de l'aerogenerador.

El component 6 és una dinamo de bicicleta utilitzada per a la generació de corrent elèctric a partir del gir de les pales del aerogenerador.

Els components 7 i 8 són els cables i els *fast-ons* utilitzats per connectar la dinamo amb la resta del circuit.



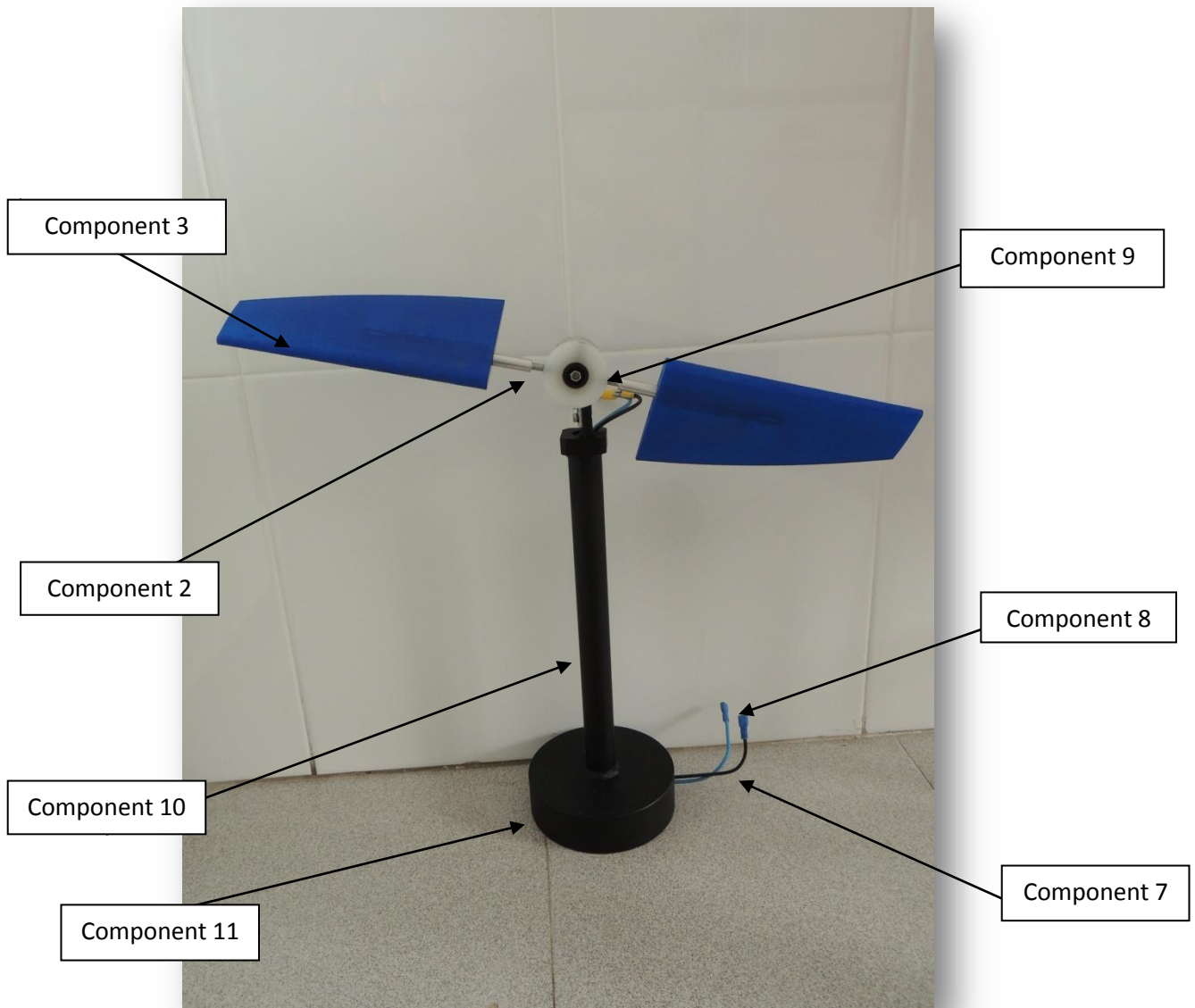
### Informació (components 9, 10 i 11):

El component 9 és un rotor fabricat en niló compost de dos forats amb rosca de 6 mm, on s'hi poden cargolar els diversos perfils alars que faran la funció de pales de l'aerogenerador.

El component 10 és la torre de l'aerogenerador. Està formada per un tub de ferro buit en el seu interior per on podran passar els cables de la instal·lació.

El component 11 és la base de l'aerogenerador feta de ferro massís que servirà per poder mantenir en peu tota la instal·lació.

### Imatge de l'aerogenerador construït





### **3.2. Procés de fabricació**

Durant la construcció de l'aerogenerador s'han realitzat els passos següents.

#### Construcció de la base

- 1) Tall d'una porció d'una barra d'acer de 15 cm de diàmetre i 40 cm de gruix.
- 2) Mecanització, en el centre, d'un forat 30 mm de diàmetre i de 30 mm de profunditat.
- 3) Mecanització d'un forat lateral de 15 mm de diàmetre i de 75 mm de profunditat.

#### Construcció de la torre de l'aerogenerador

- 1) Per a construir la torre es parteix d'una barra de tub d'un diàmetre 30 mm i una longitud de 350 mm.
- 2) Aquesta torre s'introdueix al forat de la base i es solda manualment amb soldadura MAG.
- 3) A continuació es fabrica una base per a la dinamo de 40 x 40 mm, d'una altura de 15 mm i amb un forat al mig de 2 cm de diàmetre. Tot seguit es solda la base de la dinamo a la torre.
- 4) Per finalitzar, es fabrica un suport per a la dinamo partint d'una barra rodona de 10 mm, a la qual es mecanitzen dos petits forats de mètrica 5 amb rosca. Aquest suport es solda posteriorment a la base de la dinamo.
- 5) Un cop totes les peces estan fixades, es sotmeten a un procés de poliment per tal de ser pintades posteriorment amb pintura de color negre mat.

#### Modificació de la dinamo

- 1) Partint d'una dinamo de bicicleta se'n modifica el suport de fixació per tal d'adaptar-lo al suport de la torre.
- 2) D'altra banda es fabrica una peça de niló, amb dos forats de mètrica 6mm roscats, que s'ajusta a l'eix de la dinamo, de manera que sobre aquesta peça de niló es puguin enroscar els eixos dels diversos perfils alars de l'aerogenerador.

#### Muntatge del circuit elèctric

- 1) Es fan passar els cables elèctrics pels forats de la torre i la base. Un cop passats es munten uns connectors o terminals als respectius extrems.
- 2) Connexió dels terminals a la bobina i a la làmpada respectivament.

## **CAPÍTOL 4: EXPERIMENTACIÓ AL TÚNEL DE VENT**

Mitjançant les instal·lacions del túnel de vent de la UPC (Univesitat Politècnica de Catalunya), es posaran a prova les diferents aspes d'aerogenerador, la construcció de les quals es troba explicada al Capítol 3, per tal d'analitzar-ne uns paràmetres aerodinàmics concrets que serveixen per a valorar-ne la funcionalitat i l'eficiència.

### **Material utilitzat**

- Túnel de vent.
- Tres tipus d'aspes (estàndard, lobulada i dentada).
- Balança de pressions AFA3.
- Software de recol·lecció de dades.
- Microsoft Excel 2010.

(La informació de les aspes pot trobar-se al Capítol 3 i a l'Annex I, i la del túnel de vent a l'Annex III).

### **Procediment**

S'introduiran les aspes confeccionades anteriorment al túnel aerodinàmic, que s'encendrà a una freqüència de 30Hz, equivalent a un vent generat d'aproximadament 20m/s.

Es realitzaran mesures de sustentació "lift" i resistència "drag" de cada aspa, variant-ne progressivament l'angle d'atac, en l'interval de  $-5^\circ$  a  $30^\circ$ , de manera que s'augmentarà  $5^\circ$  per cada sèrie de mesures.

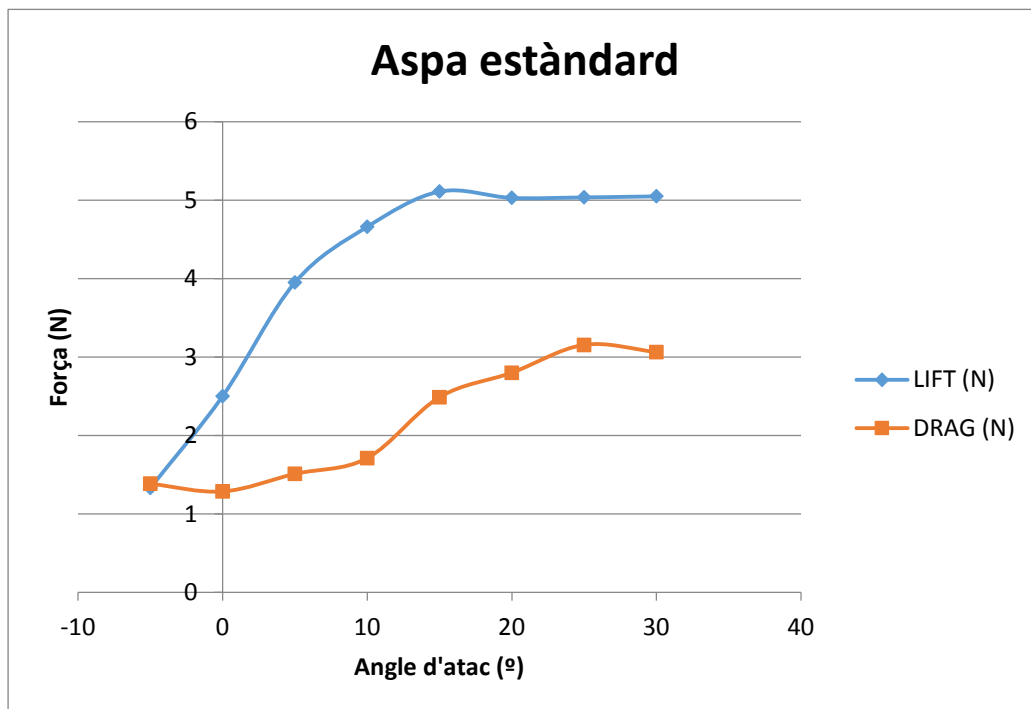
Les mesures seran preses amb la balança de pressions incorporada al túnel i recollides amb el software de recol·lecció de dades, que permet la captació de mesures en intervals de 0,5 segons durant 30 segons. Posteriorment seran tractades amb Microsoft Excel per tal d'elaborar-ne gràfics comparatius.

### **Anàlisi dels resultats i conclusions**

A continuació es mostren els resultats mitjos obtinguts per cadascuna de les aspes assajades i els seus gràfics corresponents. Els valors de totes les determinacions realitzades s'han inclòs als annexos V, VI i VII.

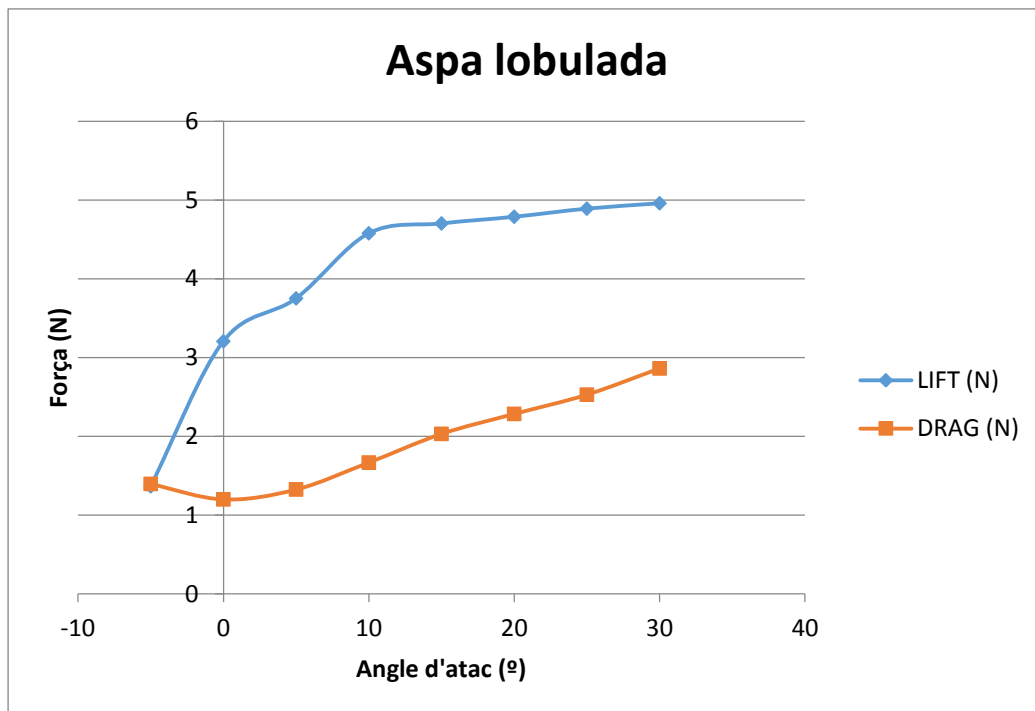
**Variació de la sustentació "lift" i la resistència "drag" segons l'angle d'atac en l'aspa estàndard**

ASPA ESTÀNDARD		
ANGLE D'ATAC (°)	LIFT (N)	DRAG (N)
-5	1,3305	1,385333
0	2,5005	1,286667
5	3,950333	1,510667
10	4,660667	1,710667
15	5,1105	2,486667
20	5,029833	2,798333
25	5,036333	3,152833
30	5,0495	3,062167



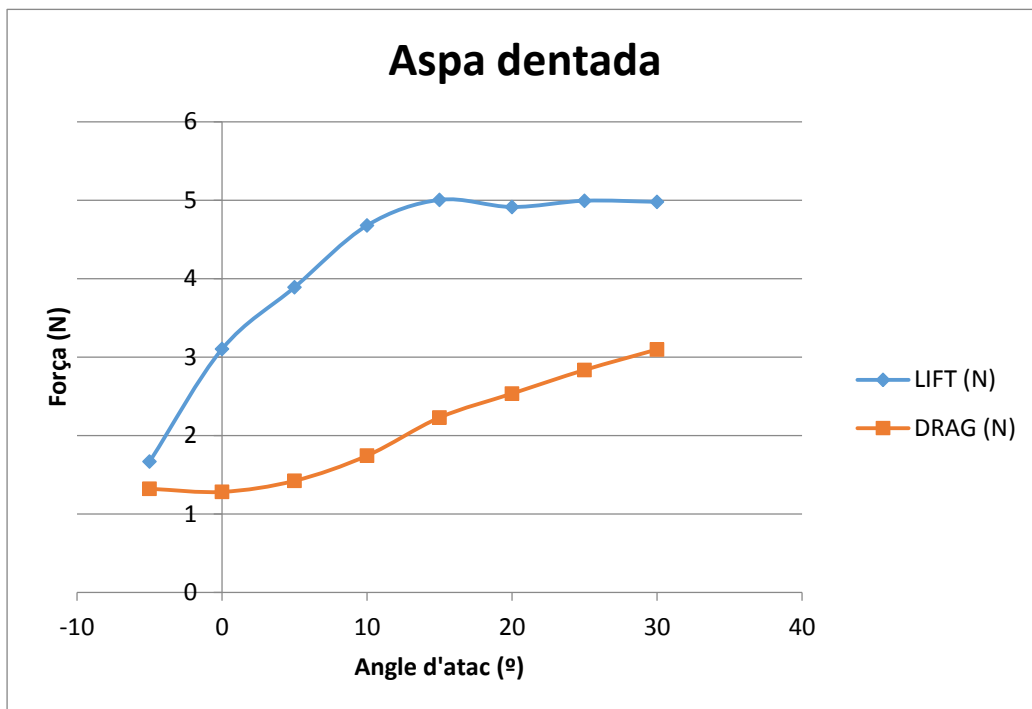
**Variació de la sustentació "lift" i la resistència "drag" segons l'angle d'atac en l'aspa lobulada**

ASPA LOBULADA		
ANGLE D'ATAC (°)	LIFT (N)	DRAG (N)
-5	1,364333	1,395
0	3,205333	1,199
5	3,75	1,324333
10	4,5765	1,6665
15	4,701833	2,030333
20	4,786333	2,284
25	4,889333	2,528333
30	4,9575	2,861333

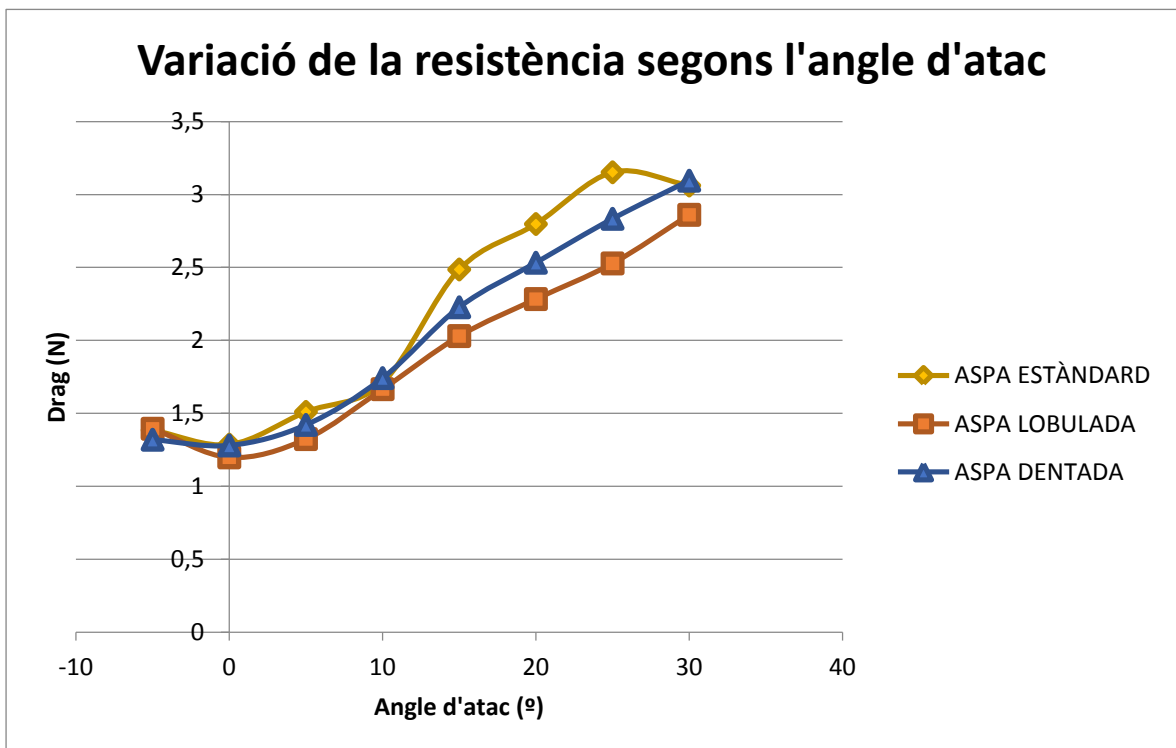
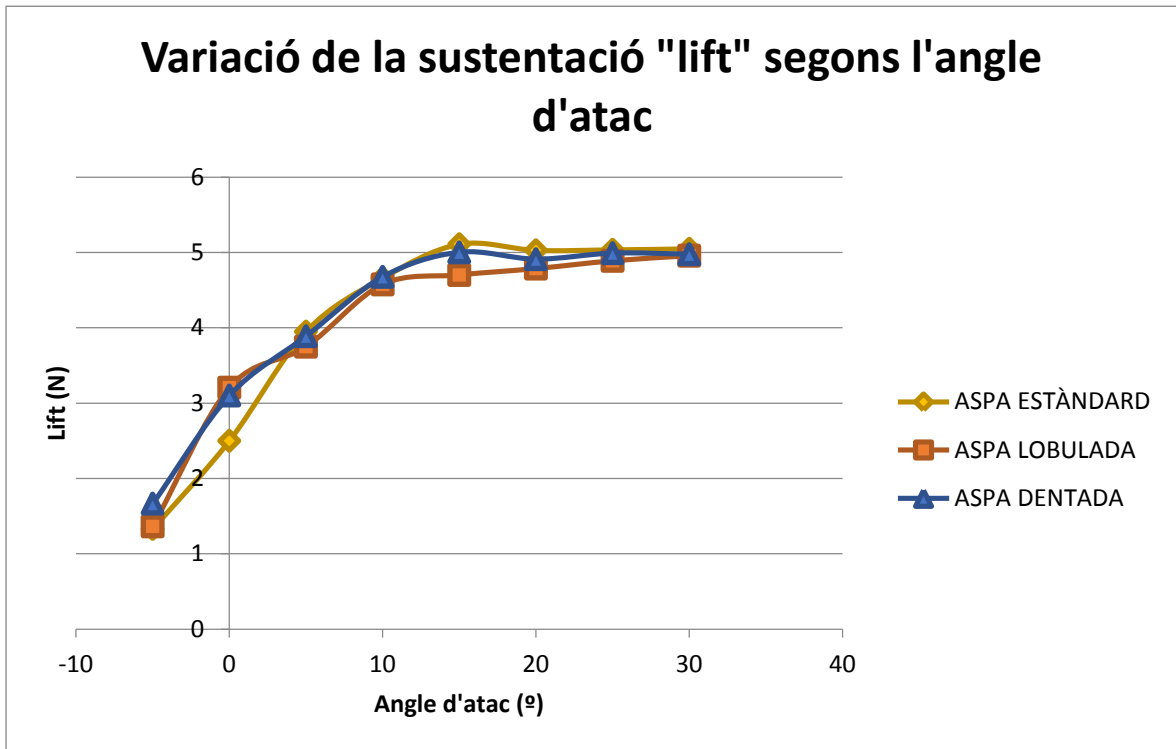


**Variació de la sustentació "lift" i la resistència "drag" segons l'angle d'atac en l'aspa dentada**

ASPA DENTADA		
ANGLE D'ATAC (°)	LIFT (N)	DRAG (N)
-5	1,666667	1,319833
0	3,101667	1,2805
5	3,888667	1,4215
10	4,6765	1,742333
15	5,0025	2,227667
20	4,911333	2,533
25	4,991	2,834
30	4,977	3,09533



**Representació gràfica de la sustentació "lift" i la resistència "drag" segons l'angle d'atac de les tres aspes**



A partir de la representació gràfica de les dades obtingudes en l'experiència, es pot observar que l'aspa dentada és la que presenta una millor diferència entre sustentació i resistència, és a dir, més "lift" per menys "drag". L'angle d'atac de funcionament òptim d'aquesta es troba entre els 10 i 15 graus. A partir d'aquests angles, la proporció sustentació-drag es manté en valors similars.

En canvi, l'aspa estàndard presenta la major sustentació de les tres aspes però també una elevada resistència. El seu angle d'atac d'operació òptim se situa entre els 10 i els 20 graus.

L'aspa lobulada presenta les menors forces de sustentació i resistència, i els valors de funcionament òptim dels seus angles d'atac oscil·len entre els 10 i 15 graus. Als -5 graus, apareixen uns valors de sustentació i resistència pràcticament idèntics, fet que provocaria una força resultant del perfil alar nul·la.

La força de sustentació i la resistència presenten una relació directament proporcional envers l'angle d'atac. Quan aquest s'incrementa, els valors de les forces aerodinàmiques estudiades també ho fan.

Malgrat aquests augments, si s'haguessin estudiat angles d'atac superiors, a partir de l'angle límit, la força de sustentació entraria en pèrdua o "stall", és a dir, una disminució considerable d'aquesta força que genera la corrent incident sobre el perfil.

La resistència de les tres aspes és molt similar des dels -5 graus fins als 10 graus. Després d'aquests valors, les diferències entre les aspes s'amplien mostrant l'estàndard com la més resistent de totes.

## **CAPÍTOL 5: ESTUDI AMB L'AEROGENERADOR**

Després d'una anàlisi exhaustiva i rigorosa de les mesures de sustentació i resistència de les diferents aspes, s'experimentarà amb elles en un petit aerogenerador funcional.

La finalitat d'aquesta experimentació és transportar, en termes més empírics, els resultats obtinguts de les diferents aspes d'aerogenerador al túnel de vent. Això s'aconseguirà mitjançant un precís mesuratge de les revolucions per minut del rotor i la intensitat de corrent i el voltatge generat per l'aerogenerador en certes velocitats del vent.

Totes aquestes mesures es duran a terme en un angle d'atac concret, 30°, per tenir un major control de les variables independents i efectuar l'experiment el mínim possible per tal d'aconseguir unes mesures més fiables i veritables.

### **Material utilitzat**

- Aerogenerador.
- Tres tipus d'aspes (estàndard, lobulada i dentada).
- Multímetre digital, usat per realitzar les mesures d'intensitat de corrent i voltatge.
- Tacòmetre digital, emprat en la determinació de les revolucions per minut del rotor.
- Dos ventiladors: S&P, Model Turbo 451CN.

(El procés de fabricació i les imatges de l'aerogenerador i les aspes poden consultar-se al Capítol 3. El funcionament i les imatges dels ventiladors, el multímetre i el tacòmetre digital poden consultar-se a l'Annex).

### **Procediment**

Primerament, caldrà concretar la direcció del vent dels ventiladors envers el rotor. Com que és un aerogenerador amb orientació sobrevent, el rotor s'ha de trobar de cara al vent. Conseqüentment, la torre no manipula l'acció del vent en les aspes.

Els ventiladors tenen tres intensitats diferents del vent (numerades de l'1 al 3) i es realitzaran totes les mesures esmentades anteriorment amb cadascuna de les aspes per tal d'obtenir i poder concretar les variacions entre les dades obtingudes.

Un cop l'aerogenerador és ubicat en la direcció adequada cap a la font eòlica, es prepara el multímetre per poder dur a terme les mesures de voltatge i intensitat de corrent. També cal preparar el mesuratge de les revolucions del rotor (tacòmetre).



Posteriorment s'efectuaran les mesures amb el multímetre i el tacòmetre, el qual, durant 30 segons, calcularà la mitjana de valors ( $n$ ) de les revolucions per minut del rotor indicant-hi, a més a més, els valors màxims ( $n_{màx}$ ) i mínims ( $n_{min}$ ) obtinguts en aquest interval de temps.

Es repetirà el procés amb totes les velocitats dels ventiladors i en els tres tipus d'aspes diferents (estàndard, dentada i lobulada). En totes les mesures, les aspes es disposaran en un angle d'atac de  $30^\circ$ , com s'ha esmentat prèviament.

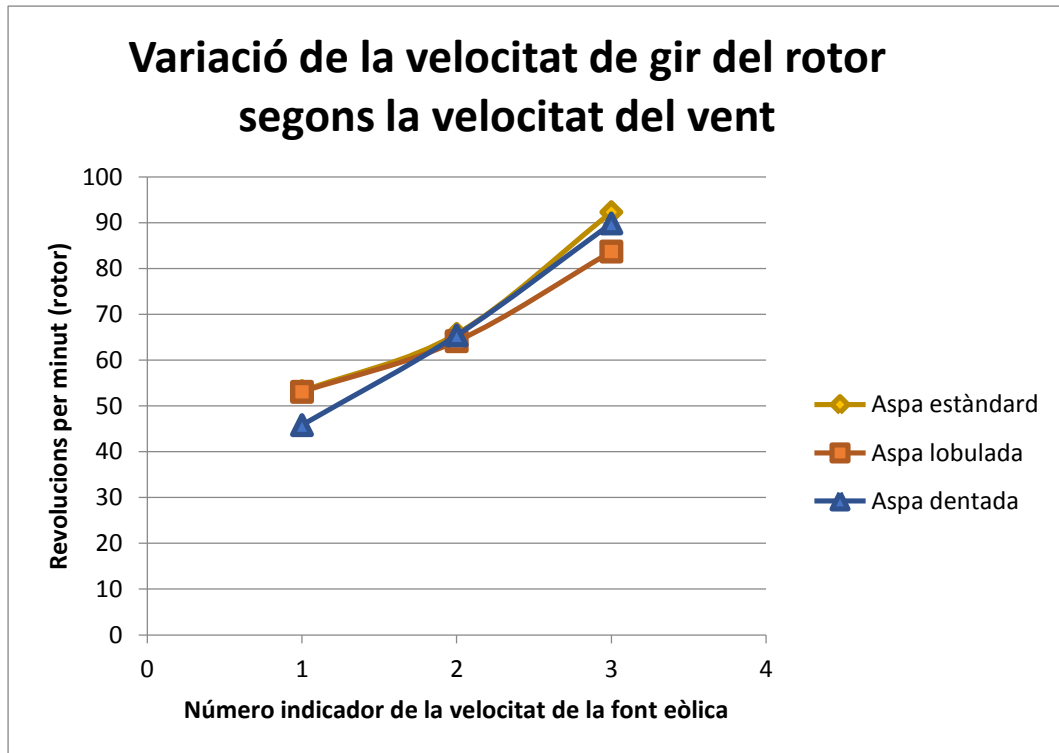


**Anàlisi dels resultats i conclusions**

Com a resultat de l'experimentació, es van obtenir de les dades següents de cada aspa:

TIPUS D'ASPES DE L'AEROGENERADOR	INDICADOR DE LA FONT EÒLICA	INTENSITAT DE CORRENT (mA)	VOLTATGE (V)	VELOCITAT DE GIR DEL ROTOR (rpm)
ASPA ESTÀNDARD	1	28,03	0,04	$n = 53,26$ $n_{màx} = 59,93$ $n_{mín} = 48,59$
	2	45,04	0,051	$n = 65,76$ $n_{màx} = 77,86$ $n_{mín} = 55,26$
	3	54,14	0,055	$n = 92,33$ $n_{màx} = 105,4$ $n_{mín} = 80,30$
ASPA LOBULADA	1	27,85	0,045	$n = 53,09$ $n_{màx} = 61,45$ $n_{mín} = 44,21$
	2	34,04	0,06	$n = 64,15$ $n_{màx} = 68,92$ $n_{mín} = 57,51$
	3	45,28	0,07	$n = 83,72$ $n_{màx} = 93,72$ $n_{mín} = 74,50$
ASPA DENTADA	1	27,09	0,05	$n = 45,82$ $n_{màx} = 56,79$ $n_{mín} = 29,09$
	2	40,3	0,05	$n = 65,41$ $n_{màx} = 77,25$ $n_{mín} = 54,18$
	3	52,63	0,06	$n = 89,86$ $n_{màx} = 100,6$ $n_{mín} = 82,16$

En el gràfic següent s'hi representa l'increment de la velocitat de gir del rotor segons la velocitat del vent dels ventiladors i el tipus d'aspa que va ser utilitzada.



S'observa que el rotor gira a més velocitat quan l'aspa estàndard és la que s'incorpora al molí. L'aspa dentada presenta uns valors de velocitat de gir també força elevats i molt semblants als de l'aspa estàndard.

En canvi, l'aspa lobulada no aconsegueix velocitats de gir iguals a les altres en velocitats majors de la font eòlica. Cal recordar que la lobulada és la que té més massa, concretament 25 grams més que les altres dues.

Per tant, l'aspa lobulada té menys força de sustentació que la resta, i per això aconsegueix velocitats de gir del rotor menors.

Pel que fa a les mesures d'intensitat de corrent i voltatge, en totes es produeix un increment a mesura que la força i la velocitat del vent augmenten.

Malgrat que a l'experiència del túnel de vent l'aspa dentada és la que presenta més diferència entre força de sustentació i resistència, en aquestes pràctiques, no apareix com la més rendible. Això es podria atribuir a les turbulències generades pel caire de sortida dentat dissenyat.

## CONCLUSIONS

En aquest projecte s'ha aprofundit en els coneixements i la base teòrica de l'aerodinàmica aplicada a l'energia eòlica. Aquests coneixements s'han posat en pràctica mitjançant la construcció d'un petit aerogenerador funcional dotat de tres tipus d'aspes intercanviables amb caires de sortida diferents.

Amb les mateixes aspes s'han buscat les variacions dels diferents paràmetres aerodinàmics mitjançant la realització d'assajos al túnel de vent de la Universitat Politècnica de Catalunya així com el rendiment energètic a través de l'estudi amb l'aerogenerador confeccionat.

A partir de les dues experimentacions realitzades, s'ha arribat a les següents conclusions:

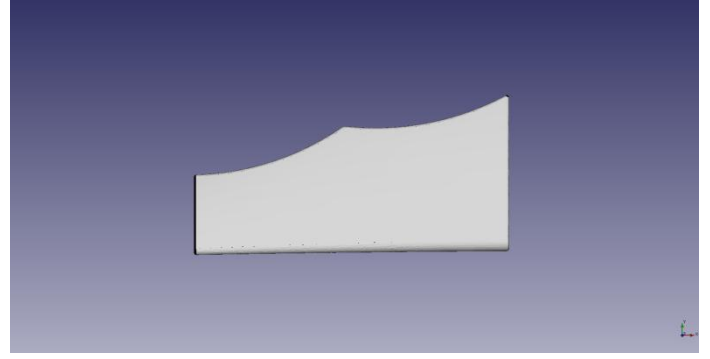
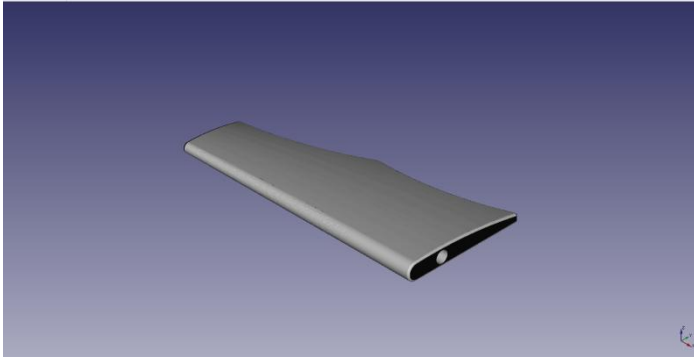
En l'experimentació en el túnel de vent, l'aspa dentada presenta una millor relació sustentació-resistència, seguida de l'aspa estàndard, i de l'aspa lobulada. D'aquí se'n deduiria que l'aspa dentada hauria de ser la que aportés més bons resultats en l'experimentació en l'aerogenerador, però els resultats obtinguts en la segona practica ho descarten, i l'aspa estàndard és la que obté un millor rendiment, seguida de la dentada i la lobulada. Aquesta anomalia és causada molt probablement pel flux turbulent que genera l'acabat dentat, fet que dificulta el moviment de les aspes. El baix rendiment de l'aspa lobulada pot ser degut a que per la seva geometria l'aspa té una massa superior, i per tant, cal més força resultant per a moure-la.

D'altra banda, s'ha pogut comprovar que l'aerodinàmica en les aspes és un tema molt estudiat, però que pateix les dificultats per explicar el comportament del flux turbulent, que en ser imprevisible, s'intenta evitar al màxim. Per aquest motiu s'està afavorint l'aparició de noves formes d'aprofitament del vent que no depenguin dels tradicionals perfils alars.

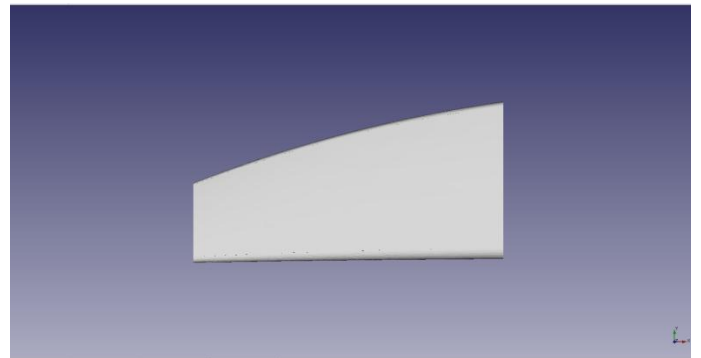
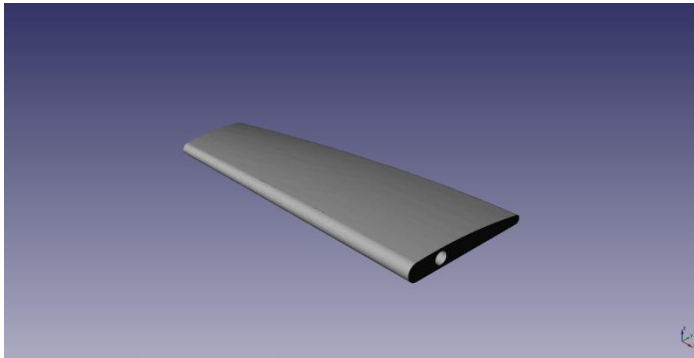
Finalment, es conclou que cal més investigació i desenvolupament en el camp de l'energia eòlica, que, com a energia renovable i neta, formarà part irremediament del futur de la humanitat, a mesura que va guanyant terreny a les energies contaminants i no renovables.

## ANNEX I: DISSENY 3D DE LES ASPES

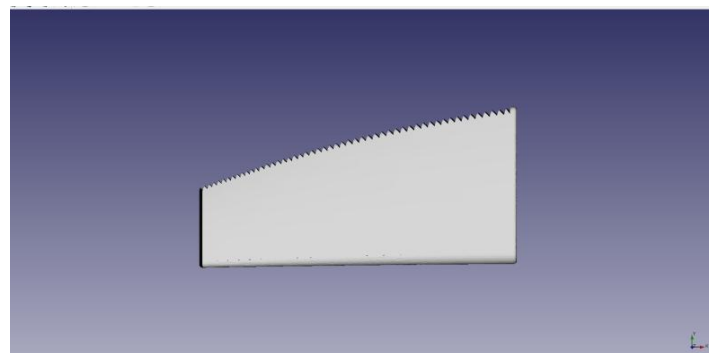
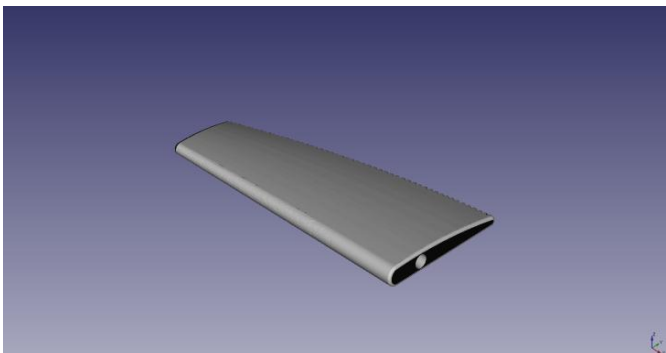
### Aspa lobulada



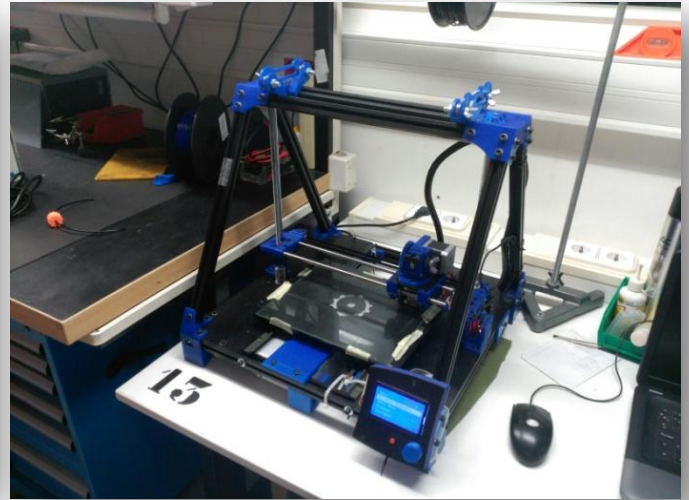
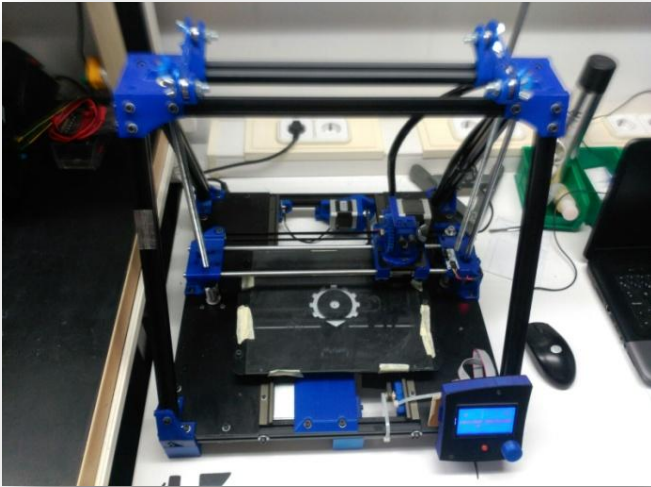
### Aspa estàndard



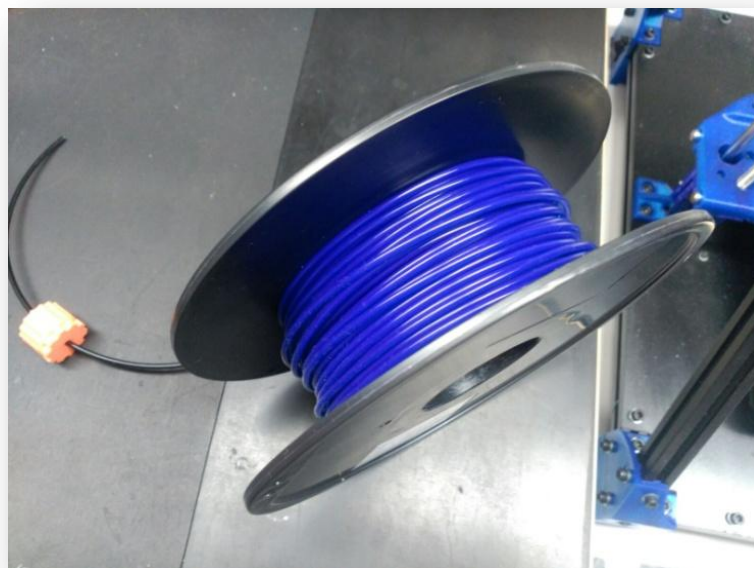
### Aspa dentada



## ANNEX II: IMPRESSIÓ 3D



Impressores 3D on es van imprimir les diverses aspes utilitzades en el projecte.



Material utilitzat en les impressores 3D.

Consisteix en uns fils d'ABS (acrilonitril butadiè estirè), un material molt freqüent en l'àmbit de la impressió 3D que permet treballar a altes temperatures.

## ANNEX III: TÚNEL DE VENT

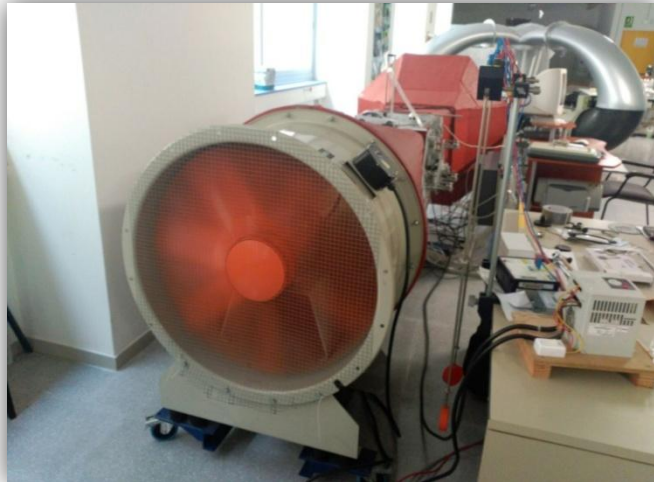


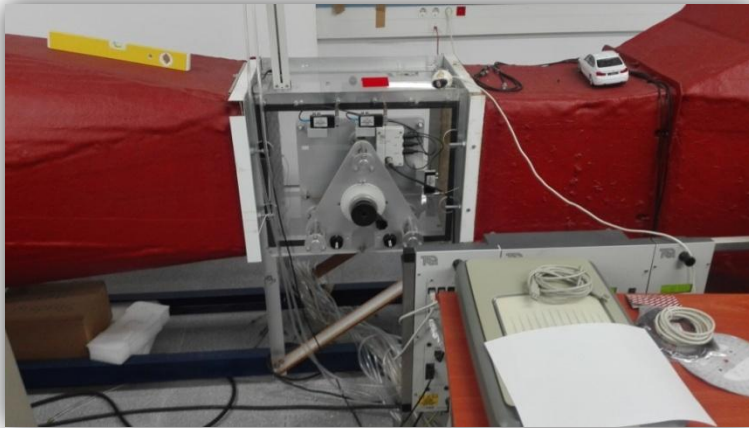
### Con de contracció.

Part del túnel de vent encarregada de l'augment de la velocitat del flux. És una matriu de fibra de vidre i resina de polièster.

### Difusor

L'objectiu del difusor és reduir la velocitat expandint el flux. És aquella part encarregada de produir el corrent d'aire del circuit. El ventilador és de 800x500 mm de diàmetre i disposa d'una velocitat màxima de rotació de 1440 rpm.





**Cambra d'assaig**

Part on es situa el model experimental per provar.

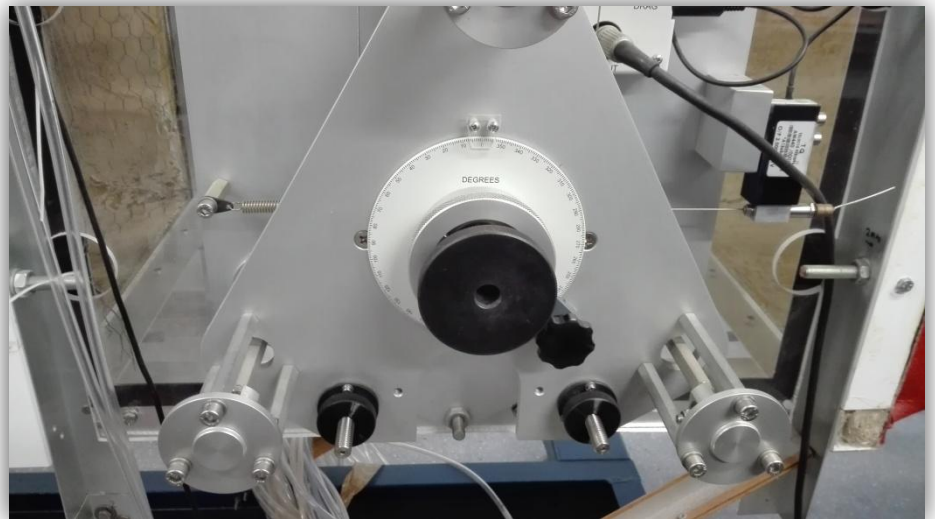
La cambra és de 400x400x600mm.

En aquesta cambra es troba la balança de torsió, la qual permet calcular el "lift", el "drag" i la pressió en diferents punts.

**Balança de torsió**

Part de la cambra d'assaig que calcula el "lift", el "drag" i la pressió a diferents punts.

Consta d'una roda que permet ajustar l'angle d'atac del perfil mostra.

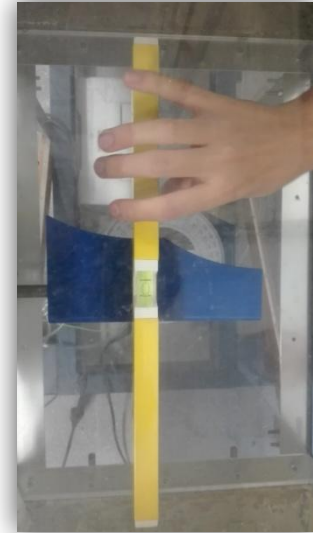


Indicador del programa encarregat de la mesura del "lift", "drag".

Aquestes dades s'obtenen a partir de la balança de torsió.



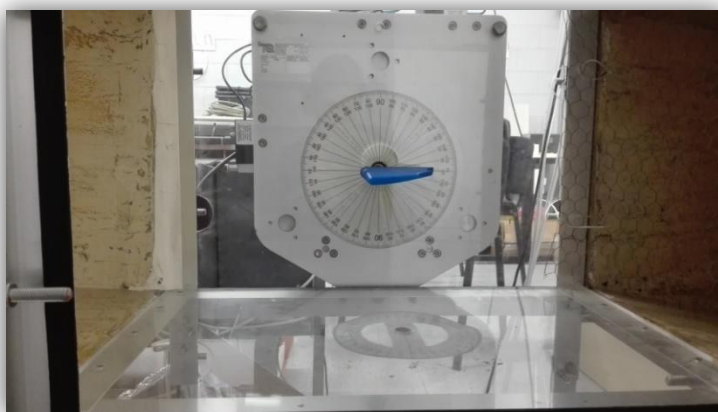




Nivelació de les aspes a l'interior de la cambra d'assaig per tal de dur a terme la mesura de dades correctament i evitar errors en el resultat. Aquest procés s'ha realitzat amb cadascuna de les aspes utilitzades en el projecte.

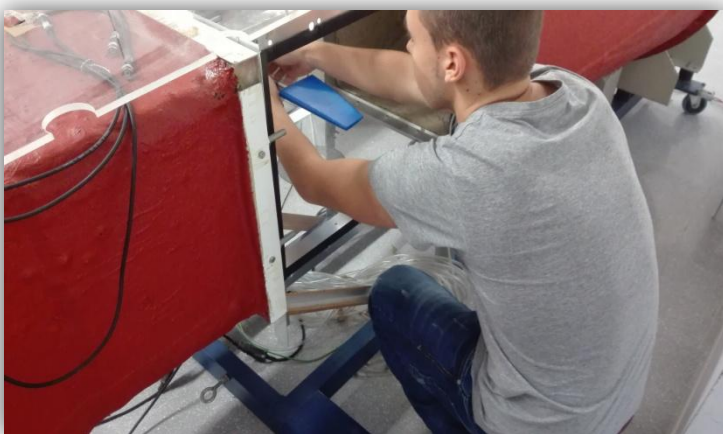


Aspa lobulada introduïda a l'interior de la cambra d'assaig i anivellada correctament.



Aspa dentada introduïda a l'interior de la cambra d'assaig i anivellada correctament amb un angle d'atac 0 invertit.

## ANNEX IV: NOSALTRES I EL TÚNEL DE VENT



## ANNEX V: DADES OBTINGUDES AL TÚNEL DE VENT (ASPA ESTÀNDAR)

		-5 graus		
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	1,36	1,38	-0,07
0,5	--	1,31	1,38	-0,07
1	--	1,31	1,39	-0,07
1,5	--	1,25	1,41	-0,07
2	--	1,25	1,41	-0,07
2,5	--	1,25	1,41	-0,07
3	--	1,12	1,42	-0,07
3,5	--	1,11	1,41	-0,07
4	--	1,12	1,43	-0,07
4,5	--	1,08	1,43	-0,07
5	--	1,08	1,44	-0,07
5,5	--	1,07	1,44	-0,06
6	--	1,11	1,44	-0,06
6,5	--	1,05	1,44	-0,06
7	--	1,05	1,44	-0,06
7,5	--	1,02	1,44	-0,06
8	--	1,04	1,42	-0,06
8,5	--	1,1	1,42	-0,06
9	--	1,1	1,41	-0,06
9,5	--	1,16	1,4	-0,06
10	--	1,24	1,39	-0,06
10,5	--	1,41	1,39	-0,06
11	--	1,41	1,36	-0,06
11,5	--	1,67	1,34	-0,06
12	--	1,79	1,33	-0,06
12,5	--	1,77	1,33	-0,06
13	--	1,77	1,34	-0,06
13,5	--	1,8	1,34	-0,07
14	--	1,76	1,34	-0,07
14,5	--	1,76	1,34	-0,07
15	--	1,76	1,34	-0,07
15,5	--	1,62	1,36	-0,07
16	--	1,52	1,36	-0,07
16,5	--	1,43	1,36	-0,07
17	--	1,36	1,37	-0,07
17,5	--	1,36	1,38	-0,07
18	--	1,31	1,39	-0,07
18,5	--	1,25	1,39	-0,07
19	--	1,3	1,39	-0,07
19,5	--	1,3	1,39	-0,07
20	--	1,26	1,38	-0,07
20,5	--	1,27	1,38	-0,07
21	--	1,26	1,39	-0,07
21,5	--	1,26	1,39	-0,07
22	--	1,28	1,38	-0,07
22,5	--	1,34	1,38	-0,07
23	--	1,39	1,37	-0,07
23,5	--	1,39	1,36	-0,07
24	--	1,4	1,36	-0,07
24,5	--	1,4	1,36	-0,07
25	--	1,4	1,36	-0,07
25,5	--	1,38	1,37	-0,07
26	--	1,34	1,37	-0,07
26,5	--	1,32	1,37	-0,07
27	--	1,32	1,37	-0,07
27,5	--	1,29	1,38	-0,07
28	--	1,29	1,38	-0,07
28,5	--	1,26	1,39	-0,07
29	--	1,26	1,39	-0,07
29,5	--	1,19	1,4	-0,07
<b>Average</b>		1,3305	1,385333	

		0 graus		
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	2,7	1,3	-0,07
0,5	--	2,59	1,3	-0,07
1	--	2,59	1,29	-0,07
1,5	--	2,53	1,29	-0,07
2	--	2,61	1,29	-0,06
2,5	--	2,63	1,29	-0,06
3	--	2,63	1,28	-0,06
3,5	--	2,64	1,28	-0,07
4	--	2,58	1,28	-0,07
4,5	--	2,51	1,28	-0,07
5	--	2,51	1,29	-0,07
5,5	--	2,41	1,27	-0,07
6	--	2,27	1,28	-0,07
6,5	--	2,14	1,28	-0,07
7	--	2,14	1,29	-0,07
7,5	--	2,01	1,29	-0,07
8	--	2,13	1,3	-0,06
8,5	--	2,24	1,3	-0,06
9	--	2,24	1,3	-0,06
9,5	--	2,37	1,3	-0,06
10	--	2,36	1,3	-0,06
10,5	--	2,33	1,3	-0,07
11	--	2,33	1,29	-0,07
11,5	--	2,32	1,3	-0,06
12	--	2,32	1,3	-0,06
12,5	--	2,32	1,3	-0,06
13	--	2,55	1,29	-0,06
13,5	--	2,47	1,29	-0,06
14	--	2,54	1,29	-0,06
14,5	--	2,55	1,29	-0,06
15	--	2,55	1,29	-0,06
15,5	--	2,57	1,28	-0,06
16	--	2,64	1,28	-0,06
16,5	--	2,6	1,28	-0,07
17	--	2,6	1,28	-0,07
17,5	--	2,61	1,28	-0,06
18	--	2,71	1,27	-0,06
18,5	--	2,79	1,27	-0,06
19	--	2,79	1,28	-0,06
19,5	--	2,83	1,27	-0,06
20	--	2,81	1,27	-0,06
20,5	--	2,68	1,27	-0,07
21	--	2,68	1,28	-0,07
21,5	--	2,56	1,28	-0,07
22	--	2,49	1,28	-0,07
22,5	--	2,4	1,28	-0,07
23	--	2,4	1,29	-0,07
23,5	--	2,42	1,29	-0,07
24	--	2,53	1,29	-0,06
24,5	--	2,63	1,29	-0,06
25	--	2,63	1,29	-0,06
25,5	--	2,57	1,28	-0,07
26	--	2,53	1,28	-0,07
26,5	--	2,49	1,28	-0,07
27	--	2,49	1,29	-0,07
27,5	--	2,47	1,29	-0,06
28	--	2,47	1,29	-0,06
28,5	--	2,47	1,29	-0,06
29	--	2,59	1,29	-0,06
29,5	--	2,47	1,29	-0,07
<b>Average</b>		2,5005	1,286667	

		5 graus		
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	4,31	1,55	-0,04
0,5	--	4,11	1,51	-0,04
1	--	4,04	1,47	-0,05
1,5	--	3,95	1,47	-0,05
2	--	3,92	1,45	-0,05
2,5	--	3,95	1,47	-0,05
3	--	3,8	1,46	-0,05
3,5	--	3,95	1,45	-0,05
4	--	4,01	1,48	-0,05
4,6	--	4,08	1,48	-0,05
5	--	3,96	1,47	-0,05
5,5	--	3,96	1,48	-0,05
6	--	3,95	1,48	-0,05
6,6	--	3,7	1,5	-0,05
7	--	3,77	1,51	-0,05
7,5	--	3,88	1,51	-0,05
8	--	3,89	1,51	-0,05
8,5	--	4,02	1,52	-0,05
9	--	4,02	1,5	-0,05
9,5	--	4,09	1,51	-0,05
10	--	4,14	1,49	-0,05
10,5	--	4,3	1,48	-0,05
11	--	4,02	1,48	-0,05
11,5	--	4,01	1,49	-0,05
12	--	3,77	1,51	-0,05
12,5	--	3,98	1,52	-0,05
13	--	3,76	1,54	-0,05
13,5	--	3,77	1,53	-0,05
14	--	3,77	1,53	-0,06
14,5	--	3,78	1,53	-0,06
15	--	3,79	1,52	-0,06
15,5	--	3,82	1,52	-0,06
16	--	3,88	1,53	-0,06
16,5	--	3,83	1,54	-0,06
17	--	3,88	1,55	-0,06
17,5	--	3,87	1,56	-0,06
18	--	3,89	1,56	-0,06
18,5	--	4	1,57	-0,06
19	--	4,01	1,56	-0,06
19,5	--	3,99	1,56	-0,06
20	--	3,98	1,54	-0,06
20,5	--	3,87	1,55	-0,06
21	--	3,99	1,55	-0,06
21,5	--	3,94	1,53	-0,06
22	--	3,96	1,55	-0,06
22,5	--	3,98	1,54	-0,06
23	--	3,99	1,54	-0,06
23,5	--	4,01	1,54	-0,06
24	--	4,03	1,55	-0,06
24,5	--	4,01	1,52	-0,06
25	--	3,87	1,5	-0,06
25,5	--	3,87	1,51	-0,06
26	--	3,88	1,49	-0,06
26,5	--	3,89	1,49	-0,06
27	--	3,96	1,48	-0,06
27,5	--	3,99	1,49	-0,06
28	--	4,01	1,48	-0,06
28,5	--	4,02	1,48	-0,06
29	--	4,04	1,48	-0,06
29,5	--	4,11	1,48	-0,06
	<b>Average</b>	3,950333	1,510667	

		10 graus		
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	4,74	1,68	-0,05
0,5	--	4,74	1,68	-0,05
1	--	4,76	1,69	-0,05
1,5	--	4,79	1,69	-0,05
2	--	4,79	1,69	-0,05
2,5	--	4,79	1,7	-0,05
3	--	4,75	1,7	-0,05
3,5	--	4,72	1,7	-0,05
4	--	4,74	1,7	-0,05
4,5	--	4,74	1,7	-0,05
5	--	4,73	1,72	-0,05
5,5	--	4,7	1,72	-0,05
6	--	4,69	1,71	-0,05
6,5	--	4,69	1,71	-0,05
7	--	4,67	1,73	-0,05
7,5	--	4,63	1,73	-0,06
8	--	4,64	1,73	-0,06
8,5	--	4,64	1,73	-0,06
9	--	4,59	1,74	-0,06
9,5	--	4,63	1,74	-0,06
10	--	4,63	1,75	-0,06
10,5	--	4,6	1,73	-0,06
11	--	4,56	1,73	-0,06
11,5	--	4,56	1,73	-0,06
12	--	4,55	1,72	-0,06
12,5	--	4,55	1,73	-0,06
13	--	4,52	1,71	-0,06
13,5	--	4,57	1,71	-0,05
14	--	4,61	1,69	-0,05
14,5	--	4,61	1,69	-0,05
15	--	4,66	1,69	-0,05
15,5	--	4,74	1,69	-0,05
16	--	4,82	1,71	-0,05
16,5	--	4,82	1,72	-0,05
17	--	4,81	1,74	-0,05
17,5	--	4,72	1,74	-0,06
18	--	4,68	1,75	-0,06
18,5	--	4,68	1,74	-0,06
19	--	4,69	1,75	-0,06
19,5	--	4,65	1,75	-0,06
20	--	4,65	1,73	-0,05
20,5	--	4,65	1,7	-0,05
21	--	4,64	1,68	-0,05
21,5	--	4,67	1,68	-0,05
22	--	4,69	1,69	-0,05
22,5	--	4,69	1,72	-0,05
23	--	4,69	1,72	-0,05
23,5	--	4,64	1,72	-0,05
24	--	4,64	1,7	-0,05
24,5	--	4,6	1,69	-0,05
25	--	4,6	1,68	-0,05
25,5	--	4,57	1,68	-0,05
26	--	4,57	1,65	-0,05
26,5	--	4,53	1,66	-0,05
27	--	4,56	1,68	-0,05
27,5	--	4,62	1,68	-0,05
28	--	4,62	1,71	-0,05
28,5	--	4,6	1,73	-0,06
29	--	4,6	1,74	-0,06
29,5	--	4,61	1,74	-0,06
	<b>Average</b>	4,660667	1,710667	

15 graus					20 graus				
AFA2 Basic Balance		AFA3 Balance			AFA2 Basic Balance		AFA3 Balance		
Time	Force	Lift	Drag	Pitching Moment	Time	Force	Lift	Drag	Pitching Moment
(s)	(N)	(N)	(N)	(Nm)	(s)	(N)	(N)	(N)	(Nm)
0	--	4,95	2,46	-0,06	0	--	4,81	2,81	-0,04
0,5	--	4,98	2,46	-0,06	0,5	--	4,87	2,81	-0,05
1	--	5,01	2,47	-0,06	1	--	4,93	2,8	-0,06
1,5	--	5,01	2,47	-0,06	1,5	--	4,92	2,8	-0,06
2	--	5,03	2,48	-0,06	2	--	4,92	2,77	-0,06
2,5	--	5,09	2,48	-0,06	2,5	--	4,89	2,77	-0,06
3	--	5,08	2,49	-0,06	3	--	4,89	2,77	-0,06
3,5	--	5,08	2,5	-0,06	3,5	--	4,91	2,74	-0,06
4	--	5,1	2,49	-0,06	4	--	4,91	2,74	-0,06
4,5	--	5,08	2,49	-0,06	4,5	--	4,92	2,75	-0,06
5	--	5,11	2,5	-0,06	5	--	4,94	2,76	-0,06
5,5	--	5,11	2,52	-0,06	5,5	--	4,97	2,76	-0,06
6	--	5,14	2,53	-0,06	6	--	4,97	2,77	-0,06
6,5	--	5,23	2,53	-0,06	6,5	--	5,01	2,78	-0,06
7	--	5,32	2,55	-0,06	7	--	5	2,77	-0,06
7,5	--	5,32	2,53	-0,06	7,5	--	5	2,77	-0,06
8	--	5,27	2,51	-0,06	8	--	5	2,77	-0,06
8,5	--	5,16	2,51	-0,06	8,5	--	4,99	2,8	-0,06
9	--	5,16	2,5	-0,06	9	--	5,06	2,83	-0,06
9,5	--	5,16	2,5	-0,06	9,5	--	5,1	2,83	-0,06
10	--	5,16	2,5	-0,06	10	--	5,1	2,81	-0,06
10,5	--	5,21	2,5	-0,06	10,5	--	5,08	2,81	-0,06
11	--	5,21	2,5	-0,06	11	--	5,08	2,81	-0,06
11,5	--	5,21	2,5	-0,06	11,5	--	5,06	2,81	-0,06
12	--	5,22	2,52	-0,06	12	--	5,06	2,8	-0,06
12,5	--	5,27	2,52	-0,06	12,5	--	5,07	2,81	-0,06
13	--	5,22	2,52	-0,06	13	--	5,1	2,82	-0,06
13,5	--	5,22	2,49	-0,06	13,5	--	5,09	2,82	-0,06
14	--	5,15	2,48	-0,06	14	--	5,09	2,82	-0,06
14,5	--	5,11	2,48	-0,06	14,5	--	5,1	2,84	-0,06
15	--	5,11	2,48	-0,06	15	--	5,13	2,85	-0,06
15,5	--	5,02	2,46	-0,06	15,5	--	5,16	2,85	-0,06
16	--	4,99	2,46	-0,06	16	--	5,16	2,84	-0,06
16,5	--	5,05	2,46	-0,06	16,5	--	5,16	2,83	-0,06
17	--	5,05	2,47	-0,06	17	--	5,11	2,81	-0,06
17,5	--	5,09	2,49	-0,06	17,5	--	5,07	2,81	-0,06
18	--	5,18	2,5	-0,06	18	--	5,07	2,8	-0,06
18,5	--	5,17	2,5	-0,06	18,5	--	5,1	2,83	-0,06
19	--	5,17	2,48	-0,06	19	--	5,14	2,83	-0,06
19,5	--	5,17	2,47	-0,06	19,5	--	5,13	2,83	-0,06
20	--	5,14	2,44	-0,06	20	--	5,13	2,83	-0,06
20,5	--	5,08	2,44	-0,06	20,5	--	5,12	2,83	-0,06
21	--	5,08	2,45	-0,06	21	--	5,12	2,83	-0,06
21,5	--	5,06	2,44	-0,06	21,5	--	5,07	2,81	-0,06
22	--	5,06	2,45	-0,06	22	--	5,07	2,8	-0,06
22,5	--	5,06	2,45	-0,06	22,5	--	5,06	2,78	-0,06
23	--	5,06	2,45	-0,06	23	--	4,98	2,78	-0,06
23,5	--	5	2,45	-0,06	23,5	--	5	2,76	-0,06
24	--	5,01	2,46	-0,06	24	--	5	2,8	-0,06
24,5	--	5,04	2,46	-0,06	24,5	--	5,05	2,82	-0,06
25	--	5,04	2,48	-0,06	25	--	5,08	2,82	-0,06
25,5	--	5,1	2,5	-0,06	25,5	--	5,04	2,82	-0,06
26	--	5,12	2,5	-0,06	26	--	5,04	2,79	-0,06
26,5	--	5,11	2,5	-0,06	26,5	--	5	2,79	-0,06
27	--	5,11	2,49	-0,06	27	--	5,05	2,79	-0,06
27,5	--	5,06	2,49	-0,06	27,5	--	5,05	2,8	-0,06
28	--	5,03	2,5	-0,06	28	--	5,05	2,79	-0,06
28,5	--	5,03	2,5	-0,06	28,5	--	4,98	2,75	-0,06
29	--	5,03	2,5	-0,06	29	--	4,92	2,75	-0,06
29,5	--	5,04	2,5	-0,06	29,5	--	4,91	2,73	-0,06
<b>Average</b>		5,1105	2,486667		<b>Average</b>		5,029833	2,798333	

		25 graus		
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	4,73	3,33	-0,03
0,5	--	4,73	3,26	-0,03
1	--	4,83	3,19	-0,04
1,5	--	4,89	3,19	-0,05
2	--	4,92	3,15	-0,05
2,5	--	4,92	3,14	-0,05
3	--	4,93	3,11	-0,06
3,5	--	4,93	3,11	-0,06
4	--	4,95	3,1	-0,06
4,5	--	4,95	3,1	-0,06
5	--	4,97	3,11	-0,06
5,5	--	4,99	3,11	-0,06
6	--	5,03	3,14	-0,06
6,5	--	5,03	3,13	-0,06
7	--	5,02	3,13	-0,06
7,5	--	5,06	3,13	-0,06
8	--	5,1	3,15	-0,06
8,5	--	5,1	3,15	-0,06
9	--	5,11	3,14	-0,06
9,5	--	5,08	3,14	-0,06
10	--	5,06	3,12	-0,06
10,5	--	5,06	3,12	-0,06
11	--	5,11	3,15	-0,06
11,5	--	5,16	3,15	-0,06
12	--	5,16	3,18	-0,06
12,5	--	5,16	3,17	-0,06
13	--	5,13	3,16	-0,06
13,5	--	5,12	3,16	-0,06
14	--	5,12	3,17	-0,06
14,5	--	5,12	3,17	-0,06
15	--	5,16	3,21	-0,06
15,5	--	5,17	3,21	-0,06
16	--	5,17	3,21	-0,06
16,5	--	5,12	3,16	-0,06
17	--	5,09	3,18	-0,06
17,5	--	5,12	3,18	-0,06
18	--	5,12	3,18	-0,06
18,5	--	5,07	3,2	-0,06
19	--	5,08	3,19	-0,06
19,5	--	5,08	3,19	-0,06
20	--	5,08	3,2	-0,06
20,5	--	5,06	3,17	-0,06
21	--	5,03	3,15	-0,06
21,5	--	5,03	3,15	-0,06
22	--	5,03	3,14	-0,06
22,5	--	5,01	3,11	-0,06
23	--	5	3,12	-0,06
23,5	--	5	3,12	-0,06
24	--	5	3,1	-0,06
24,5	--	5,01	3,11	-0,06
25	--	5	3,1	-0,06
25,5	--	5	3,1	-0,06
26	--	5	3,1	-0,06
26,5	--	5	3,13	-0,06
27	--	5,04	3,13	-0,06
27,5	--	5,04	3,13	-0,06
28	--	5,04	3,16	-0,06
28,5	--	5,05	3,18	-0,06
29	--	5,06	3,15	-0,06
29,5	--	5,05	3,15	-0,06
	<b>Average</b>	5,036333	3,152833	

		30 graus		
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	5,15	3,03	-0,04
0,5	--	5,06	3,03	-0,04
1	--	5,06	3,03	-0,05
1,5	--	5,06	3,02	-0,05
2	--	5,06	2,97	-0,05
2,5	--	4,98	2,95	-0,05
3	--	4,94	2,95	-0,06
3,5	--	4,93	2,94	-0,06
4	--	4,93	2,95	-0,06
4,5	--	4,94	2,96	-0,06
5	--	4,96	2,96	-0,06
5,5	--	4,97	2,99	-0,06
6	--	4,97	3,01	-0,06
6,5	--	5	3,03	-0,06
7	--	5,05	3,03	-0,06
7,5	--	5,01	3,04	-0,06
8	--	5,01	3,03	-0,06
8,5	--	5,01	3,03	-0,06
9	--	5,03	3,03	-0,06
9,5	--	5,06	3,03	-0,06
10	--	5,06	3,05	-0,06
10,5	--	5,11	3,07	-0,06
11	--	5,12	3,07	-0,06
11,5	--	5,1	3,07	-0,06
12	--	5,1	3,06	-0,06
12,5	--	5,09	3,05	-0,06
13	--	5,08	3,05	-0,06
13,5	--	5,08	3,05	-0,06
14	--	5,08	3,07	-0,06
14,5	--	5,1	3,08	-0,06
15	--	5,07	3,05	-0,06
15,5	--	5,05	3,05	-0,06
16	--	5,05	3,07	-0,06
16,5	--	5,08	3,07	-0,06
17	--	5,05	3,03	-0,06
17,5	--	5	3,03	-0,06
18	--	5	3,09	-0,06
18,5	--	4,97	3,08	-0,06
19	--	5,02	3,08	-0,06
19,5	--	5,03	3,08	-0,06
20	--	5,03	3,03	-0,06
20,5	--	5,05	3,04	-0,06
21	--	5,06	3,05	-0,06
21,5	--	5,05	3,05	-0,06
22	--	5,05	3,06	-0,06
22,5	--	5,09	3,08	-0,06
23	--	5,12	3,09	-0,06
23,5	--	5,13	3,06	-0,06
24	--	5,13	3,08	-0,06
24,5	--	5,12	3,06	-0,06
25	--	5,08	3,22	-0,06
25,5	--	5,07	3,22	-0,06
26	--	5,07	3,21	-0,06
26,5	--	5,08	3,18	-0,06
27	--	5,1	3,18	-0,06
27,5	--	5,06	3,06	-0,06
28	--	5,06	3,19	-0,06
28,5	--	5,06	3,2	-0,06
29	--	5,07	3,2	-0,06
29,5	--	5,07	3,21	-0,06
	<b>Average</b>	5,0495	3,062167	

## ANNEX VI: DADES OBTINGUDES AL TÚNEL DE VENT (ASPA LOBULADA)

		-5 graus		
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	1,34	1,34	-0,07
0,5	--	1,29	1,39	-0,06
1,1	--	1,3	1,4	-0,06
1,5	--	1,3	1,39	-0,06
2	--	1,39	1,37	-0,06
2,5	--	1,46	1,37	-0,07
3	--	1,46	1,37	-0,07
3,5	--	1,44	1,37	-0,07
4	--	1,44	1,37	-0,06
4,5	--	1,42	1,37	-0,06
5	--	1,42	1,38	-0,06
5,5	--	1,43	1,38	-0,06
6	--	1,43	1,38	-0,06
6,5	--	1,45	1,38	-0,06
7	--	1,45	1,36	-0,06
7,5	--	1,6	1,34	-0,06
8	--	1,62	1,37	-0,07
8,5	--	1,48	1,37	-0,06
9	--	1,48	1,39	-0,06
9,5	--	1,4	1,41	-0,06
10	--	1,35	1,43	-0,06
10,5	--	1,3	1,43	-0,06
11	--	1,3	1,44	-0,06
11,5	--	1,27	1,45	-0,06
12	--	1,27	1,45	-0,06
12,5	--	1,24	1,45	-0,06
13	--	1,24	1,47	-0,06
13,5	--	1,19	1,48	-0,06
14	--	1,19	1,47	-0,06
14,5	--	1,21	1,47	-0,06
15	--	1,21	1,45	-0,06
15,5	--	1,21	1,43	-0,06
16	--	1,26	1,41	-0,06
16,5	--	1,26	1,41	-0,06
17	--	1,26	1,41	-0,06
17,5	--	1,24	1,38	-0,06
18	--	1,28	1,38	-0,06
18,5	--	1,32	1,38	-0,06
19	--	1,32	1,37	-0,06
19,5	--	1,31	1,38	-0,06
20	--	1,35	1,36	-0,06
20,5	--	1,44	1,36	-0,07
21	--	1,44	1,35	-0,07
21,5	--	1,44	1,36	-0,06
22	--	1,46	1,36	-0,06
22,5	--	1,5	1,36	-0,06
23	--	1,5	1,35	-0,06
23,5	--	1,52	1,38	-0,06
24	--	1,49	1,38	-0,06
24,5	--	1,48	1,38	-0,06
25	--	1,48	1,38	-0,06
25,5	--	1,45	1,38	-0,06
26	--	1,35	1,41	-0,06
26,5	--	1,32	1,41	-0,06
27	--	1,32	1,41	-0,06
27,5	--	1,31	1,41	-0,06
28	--	1,28	1,4	-0,06
28,5	--	1,31	1,4	-0,06
29	--	1,31	1,41	-0,06
29,5	--	1,28	1,41	-0,06
	<b>Average</b>	1,364333	1,395	

		0 graus		
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	3,32	1,19	-0,05
0,5	--	3,3	1,19	-0,05
1	--	3,27	1,19	-0,05
1,5	--	3,26	1,19	-0,05
2	--	3,26	1,2	-0,05
2,5	--	3,26	1,2	-0,05
3	--	3,24	1,19	-0,05
3,5	--	3,16	1,19	-0,05
4	--	3,16	1,18	-0,05
4,5	--	3,1	1,19	-0,05
5	--	3,12	1,19	-0,05
5,5	--	3,13	1,19	-0,05
6	--	3,13	1,2	-0,05
6,5	--	3,13	1,2	-0,05
7	--	3,12	1,2	-0,05
7,5	--	3,11	1,2	-0,05
8	--	3,11	1,2	-0,05
8,5	--	3,16	1,2	-0,05
9	--	3,14	1,2	-0,05
9,5	--	3,15	1,2	-0,05
10	--	3,15	1,21	-0,05
10,5	--	3,16	1,21	-0,05
11	--	3,18	1,21	-0,05
11,5	--	3,17	1,2	-0,05
12	--	3,17	1,21	-0,05
12,5	--	3,22	1,21	-0,05
13	--	3,22	1,21	-0,05
13,5	--	3,49	1,19	-0,05
14	--	3,49	1,19	-0,05
14,5	--	3,6	1,18	-0,05
15	--	3,64	1,18	-0,05
15,5	--	3,66	1,19	-0,05
16	--	3,66	1,18	-0,05
16,5	--	3,64	1,19	-0,05
17	--	3,48	1,19	-0,05
17,5	--	3,4	1,19	-0,05
18	--	3,4	1,18	-0,05
18,5	--	3,35	1,19	-0,05
19	--	3,23	1,19	-0,05
19,5	--	3,14	1,19	-0,05
20	--	3,14	1,19	-0,05
20,5	--	3,08	1,2	-0,05
21	--	3,06	1,2	-0,05
21,5	--	3,07	1,2	-0,05
22	--	3,07	1,21	-0,05
22,5	--	3,13	1,21	-0,05
23	--	3,14	1,21	-0,05
23,5	--	3,08	1,22	-0,06
24	--	3,08	1,22	-0,06
24,5	--	3,08	1,22	-0,06
25	--	3,09	1,21	-0,06
25,5	--	3,09	1,21	-0,06
26	--	3,02	1,21	-0,06
26,5	--	3,07	1,21	-0,05
27	--	3,1	1,21	-0,06
27,5	--	3,1	1,21	-0,06
28	--	3,1	1,21	-0,06
28,5	--	3,1	1,21	-0,06
29	--	2,82	1,2	-0,06
29,5	--	2,82	1,2	-0,06
	<b>Average</b>	3,205333	1,199	

5 graus					10 graus				
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance			Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)	Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	3,47	1,4	-0,04	0	--	4,14	1,65	0,01
0,5	--	3,48	1,37	-0,04	0,5	--	4,31	1,66	-0,01
1	--	3,48	1,35	-0,04	1	--	4,36	1,66	-0,02
1,5	--	3,44	1,32	-0,05	1,5	--	4,36	1,67	-0,02
2	--	3,44	1,32	-0,05	2	--	4,42	1,68	-0,03
2,5	--	3,47	1,32	-0,05	2,5	--	4,51	1,68	-0,03
3	--	3,47	1,31	-0,05	3	--	4,59	1,68	-0,04
3,5	--	3,41	1,31	-0,05	3,5	--	4,59	1,71	-0,04
4	--	3,38	1,3	-0,05	4	--	4,54	1,71	-0,04
4,5	--	3,43	1,3	-0,05	4,5	--	4,52	1,72	-0,05
5	--	3,43	1,31	-0,05	5	--	4,51	1,72	-0,05
5,5	--	3,47	1,31	-0,05	5,5	--	4,51	1,71	-0,05
6	--	3,41	1,31	-0,05	6	--	4,5	1,71	-0,05
6,5	--	3,47	1,31	-0,05	6,5	--	4,51	1,69	-0,05
7	--	3,47	1,31	-0,05	7	--	4,57	1,69	-0,05
7,5	--	3,43	1,29	-0,05	7,5	--	4,57	1,69	-0,05
8	--	3,48	1,3	-0,05	8	--	4,62	1,67	-0,05
8,5	--	3,51	1,3	-0,05	8,5	--	4,64	1,67	-0,05
9	--	3,51	1,32	-0,05	9	--	4,64	1,67	-0,05
9,5	--	3,61	1,32	-0,05	9,5	--	4,64	1,66	-0,05
10	--	3,68	1,32	-0,05	10	--	4,64	1,65	-0,04
10,5	--	3,78	1,32	-0,05	10,5	--	4,62	1,66	-0,05
11	--	3,78	1,34	-0,05	11	--	4,58	1,66	-0,05
11,5	--	3,9	1,34	-0,05	11,5	--	4,58	1,64	-0,05
12	--	3,98	1,35	-0,05	12	--	4,55	1,64	-0,05
12,5	--	4,04	1,35	-0,05	12,5	--	4,54	1,6	-0,04
13	--	4,04	1,36	-0,05	13	--	4,5	1,6	-0,04
13,5	--	4,06	1,35	-0,05	13,5	--	4,5	1,6	-0,04
14	--	3,99	1,34	-0,05	14	--	4,53	1,6	-0,04
14,5	--	3,93	1,34	-0,05	14,5	--	4,63	1,61	-0,04
15	--	3,93	1,33	-0,05	15	--	4,71	1,61	-0,04
15,5	--	3,94	1,33	-0,05	15,5	--	4,71	1,63	-0,04
16	--	3,95	1,32	-0,05	16	--	4,71	1,63	-0,04
16,5	--	3,96	1,32	-0,05	16,5	--	4,73	1,65	-0,04
17	--	3,96	1,32	-0,05	17	--	4,72	1,65	-0,04
17,5	--	3,88	1,32	-0,05	17,5	--	4,72	1,64	-0,04
18	--	3,85	1,31	-0,05	18	--	4,72	1,64	-0,04
18,5	--	3,79	1,31	-0,05	18,5	--	4,73	1,63	-0,04
19	--	3,79	1,32	-0,05	19	--	4,7	1,63	-0,04
19,5	--	3,71	1,32	-0,05	19,5	--	4,7	1,62	-0,04
20	--	3,71	1,32	-0,05	20	--	4,64	1,63	-0,04
20,5	--	3,85	1,32	-0,05	20,5	--	4,64	1,66	-0,04
21	--	3,85	1,33	-0,05	21	--	4,69	1,66	-0,05
21,5	--	3,82	1,32	-0,05	21,5	--	4,69	1,68	-0,05
22	--	3,79	1,33	-0,05	22	--	4,72	1,69	-0,04
22,5	--	3,86	1,33	-0,05	22,5	--	4,76	1,69	-0,05
23	--	3,86	1,33	-0,05	23	--	4,72	1,69	-0,05
23,5	--	3,9	1,33	-0,05	23,5	--	4,72	1,68	-0,05
24	--	3,97	1,33	-0,05	24	--	4,62	1,7	-0,05
24,5	--	3,92	1,33	-0,05	24,5	--	4,55	1,7	-0,05
25	--	3,92	1,32	-0,05	25	--	4,5	1,7	-0,05
25,5	--	3,92	1,32	-0,05	25,5	--	4,5	1,7	-0,05
26	--	3,87	1,32	-0,05	26	--	4,51	1,71	-0,05
26,5	--	3,92	1,32	-0,04	26,5	--	4,48	1,71	-0,05
27	--	3,93	1,33	-0,05	27	--	4,47	1,71	-0,05
27,5	--	3,96	1,32	-0,04	27,5	--	4,47	1,69	-0,05
28	--	3,99	1,32	-0,05	28	--	4,5	1,69	-0,05
28,5	--	3,99	1,32	-0,05	28,5	--	4,54	1,69	-0,05
29	--	3,89	1,31	-0,05	29	--	4,5	1,66	-0,05
29,5	--	3,88	1,32	-0,05	29,5	--	4,5	1,66	-0,05
	<b>Average</b>	3,75	1,324333			<b>Average</b>	4,5765	1,6665	



		15 graus		
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	4,69	2	-0,05
0,5	--	4,69	1,99	-0,05
1	--	4,68	1,99	-0,05
1,5	--	4,74	2,01	-0,05
2	--	4,76	2,01	-0,05
2,5	--	4,76	2,02	-0,05
3	--	4,79	2,02	-0,05
3,5	--	4,8	2,02	-0,05
4	--	4,75	2,02	-0,05
4,5	--	4,75	2,03	-0,05
5	--	4,8	2,03	-0,05
5,5	--	4,83	2,03	-0,05
6	--	4,78	2,03	-0,05
6,5	--	4,78	2,03	-0,05
7	--	4,76	2,01	-0,05
7,5	--	4,74	2,01	-0,05
8	--	4,76	2,02	-0,05
8,5	--	4,76	2,03	-0,05
9	--	4,75	2,04	-0,05
9,5	--	4,72	2,04	-0,05
10	--	4,67	2,05	-0,05
10,5	--	4,67	2,03	-0,05
11	--	4,6	2,02	-0,05
11,5	--	4,61	2,02	-0,05
12	--	4,59	2,03	-0,06
12,5	--	4,59	2,02	-0,06
13	--	4,56	2,02	-0,05
13,5	--	4,58	2,02	-0,05
14	--	4,63	2,02	-0,05
14,5	--	4,63	2,02	-0,05
15	--	4,64	2,04	-0,05
15,5	--	4,65	2,04	-0,05
16	--	4,68	2,04	-0,06
16,5	--	4,68	2,05	-0,06
17	--	4,71	2,06	-0,05
17,5	--	4,82	2,06	-0,05
18	--	4,86	2,07	-0,05
18,5	--	4,86	2,08	-0,05
19	--	4,83	2,07	-0,05
19,5	--	4,83	2,07	-0,05
20	--	4,78	2,06	-0,05
20,5	--	4,78	2,05	-0,05
21	--	4,71	2,04	-0,06
21,5	--	4,64	2,04	-0,06
22	--	4,64	2,03	-0,06
22,5	--	4,64	2,03	-0,05
23	--	4,64	2,04	-0,06
23,5	--	4,62	2,04	-0,05
24	--	4,62	2,04	-0,05
24,5	--	4,62	2,03	-0,06
25	--	4,64	2,02	-0,05
25,5	--	4,63	2,02	-0,05
26	--	4,63	2,01	-0,05
26,5	--	4,65	2,01	-0,05
27	--	4,68	2,02	-0,05
27,5	--	4,66	2,02	-0,05
28	--	4,66	2,01	-0,05
28,5	--	4,68	2,02	-0,05
29	--	4,7	2,04	-0,05
29,5	--	4,71	2,04	-0,05
	<b>Average</b>	4,701833	2,030333	

		20 graus		
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	4,76	2,27	-0,05
0,5	--	4,76	2,27	-0,05
1	--	4,76	2,27	-0,05
1,5	--	4,77	2,29	-0,05
2	--	4,81	2,29	-0,05
2,5	--	4,81	2,3	-0,05
3	--	4,87	2,32	-0,05
3,5	--	4,87	2,32	-0,05
4	--	4,9	2,32	-0,05
4,5	--	4,9	2,31	-0,05
5	--	4,89	2,29	-0,05
5,5	--	4,83	2,27	-0,05
6	--	4,76	2,27	-0,05
6,5	--	4,76	2,27	-0,05
7	--	4,77	2,28	-0,05
7,5	--	4,8	2,28	-0,05
8	--	4,85	2,28	-0,05
8,5	--	4,85	2,3	-0,05
9	--	4,88	2,31	-0,05
9,5	--	4,82	2,31	-0,05
10	--	4,86	2,31	-0,05
10,5	--	4,86	2,33	-0,05
11	--	4,92	2,34	-0,05
11,5	--	4,9	2,32	-0,05
12	--	4,87	2,32	-0,05
12,5	--	4,87	2,29	-0,05
13	--	4,84	2,29	-0,05
13,5	--	4,87	2,31	-0,05
14	--	4,88	2,31	-0,05
14,5	--	4,88	2,29	-0,05
15	--	4,88	2,31	-0,05
15,5	--	4,93	2,31	-0,05
16	--	4,93	2,31	-0,05
16,5	--	4,93	2,31	-0,05
17	--	4,9	2,29	-0,05
17,5	--	4,86	2,28	-0,05
18	--	4,79	2,28	-0,05
18,5	--	4,79	2,26	-0,05
19	--	4,75	2,29	-0,05
19,5	--	4,8	2,27	-0,05
20	--	4,79	2,27	-0,05
20,5	--	4,79	2,28	-0,05
21	--	4,73	2,26	-0,05
21,5	--	4,66	2,25	-0,05
22	--	4,66	2,25	-0,05
22,5	--	4,66	2,27	-0,05
23	--	4,71	2,27	-0,05
23,5	--	4,66	2,27	-0,05
24	--	4,66	2,27	-0,05
24,5	--	4,66	2,27	-0,05
25	--	4,69	2,29	-0,05
25,5	--	4,69	2,27	-0,05
26	--	4,66	2,27	-0,05
26,5	--	4,66	2,26	-0,05
27	--	4,67	2,26	-0,05
27,5	--	4,66	2,24	-0,06
28	--	4,61	2,24	-0,05
28,5	--	4,61	2,23	-0,05
29	--	4,6	2,24	-0,05
29,5	--	4,62	2,24	-0,06
	<b>Average</b>	4,786333	2,284	

25 graus					30 graus				
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance			Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)	Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	5	2,58	-0,05	0	--	4,95	2,87	-0,05
0,5	--	5	2,57	-0,05	0,5	--	4,93	2,87	-0,05
1	--	4,94	2,53	-0,05	1	--	4,91	2,84	-0,05
1,5	--	4,89	2,53	-0,05	1,5	--	4,91	2,83	-0,05
2	--	4,88	2,53	-0,05	2	--	4,91	2,84	-0,05
2,5	--	4,88	2,53	-0,05	2,5	--	4,92	2,84	-0,05
3	--	4,87	2,54	-0,05	3	--	4,92	2,84	-0,05
3,5	--	4,88	2,54	-0,05	3,5	--	4,92	2,85	-0,05
4	--	4,9	2,56	-0,05	4	--	4,95	2,86	-0,05
4,5	--	4,9	2,55	-0,05	4,5	--	4,96	2,86	-0,05
5	--	4,86	2,52	-0,05	5	--	4,96	2,88	-0,05
5,5	--	4,8	2,52	-0,05	5,5	--	4,95	2,88	-0,05
6	--	4,78	2,5	-0,05	6	--	4,96	2,87	-0,05
6,5	--	4,78	2,5	-0,05	6,5	--	4,96	2,87	-0,05
7	--	4,8	2,48	-0,05	7	--	4,96	2,88	-0,05
7,5	--	4,81	2,48	-0,05	7,5	--	4,97	2,88	-0,05
8	--	4,85	2,5	-0,05	8	--	5	2,89	-0,05
8,5	--	4,85	2,52	-0,05	8,5	--	5,02	2,89	-0,05
9	--	4,9	2,55	-0,05	9	--	5,02	2,89	-0,05
9,5	--	4,92	2,55	-0,05	9,5	--	5,01	2,86	-0,05
10	--	4,93	2,56	-0,05	10	--	4,98	2,86	-0,05
10,5	--	4,93	2,56	-0,05	10,5	--	4,99	2,86	-0,05
11	--	4,95	2,58	-0,05	11	--	4,99	2,88	-0,05
11,5	--	4,99	2,58	-0,05	11,5	--	4,97	2,85	-0,05
12	--	5	2,58	-0,05	12	--	4,95	2,83	-0,05
12,5	--	5	2,57	-0,05	12,5	--	4,93	2,83	-0,05
13	--	4,99	2,55	-0,05	13	--	4,93	2,82	-0,05
13,5	--	4,97	2,55	-0,05	13,5	--	4,91	2,82	-0,05
14	--	4,97	2,55	-0,05	14	--	4,9	2,83	-0,05
14,5	--	4,96	2,53	-0,05	14,5	--	4,91	2,83	-0,05
15	--	4,94	2,53	-0,05	15	--	4,91	2,85	-0,05
15,5	--	4,93	2,53	-0,05	15,5	--	4,91	2,85	-0,05
16	--	4,93	2,53	-0,05	16	--	4,95	2,86	-0,05
16,5	--	4,93	2,52	-0,05	16,5	--	4,94	2,86	-0,05
17	--	4,89	2,5	-0,05	17	--	4,94	2,87	-0,05
17,5	--	4,89	2,5	-0,05	17,5	--	4,95	2,84	-0,05
18	--	4,89	2,5	-0,05	18	--	4,93	2,81	-0,05
18,5	--	4,85	2,5	-0,05	18,5	--	4,93	2,81	-0,05
19	--	4,86	2,5	-0,05	19	--	4,93	2,84	-0,05
19,5	--	4,89	2,5	-0,05	19,5	--	4,97	2,85	-0,05
20	--	4,89	2,51	-0,05	20	--	4,97	2,85	-0,05
20,5	--	4,9	2,53	-0,05	20,5	--	4,97	2,85	-0,05
21	--	4,9	2,54	-0,05	21	--	4,97	2,87	-0,05
21,5	--	4,89	2,54	-0,05	21,5	--	5	2,88	-0,05
22	--	4,89	2,54	-0,05	22	--	5	2,86	-0,05
22,5	--	4,85	2,51	-0,05	22,5	--	4,96	2,86	-0,05
23	--	4,82	2,5	-0,05	23	--	4,96	2,85	-0,05
23,5	--	4,8	2,5	-0,05	23,5	--	4,96	2,86	-0,05
24	--	4,8	2,51	-0,05	24	--	4,97	2,9	-0,05
24,5	--	4,83	2,53	-0,05	24,5	--	4,99	2,9	-0,05
25	--	4,88	2,53	-0,05	25	--	4,99	2,92	-0,05
25,5	--	4,88	2,53	-0,05	25,5	--	5,02	2,92	-0,05
26	--	4,88	2,53	-0,05	26	--	4,99	2,9	-0,05
26,5	--	4,87	2,52	-0,05	26,5	--	4,98	2,9	-0,05
27	--	4,85	2,51	-0,05	27	--	4,98	2,88	-0,05
27,5	--	4,85	2,51	-0,05	27,5	--	4,96	2,85	-0,05
28	--	4,85	2,52	-0,05	28	--	4,94	2,88	-0,05
28,5	--	4,85	2,52	-0,05	28,5	--	4,98	2,88	-0,05
29	--	4,85	2,51	-0,05	29	--	4,98	2,86	-0,05
29,5	--	4,85	2,51	-0,05	29,5	--	4,97	2,87	-0,05
	<b>Average</b>	4,889333	2,528333			<b>Average</b>	4,9575	2,861333	

## ANNEX VII: DADES OBTINGUDES AL TÚNEL DE VENT (ASPA DENTADA)

		-5 graus		
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	1,32	1,34	-0,06
0,5	--	1,26	1,36	-0,06
1	--	1,28	1,36	-0,06
1,5	--	1,28	1,36	-0,06
2	--	1,37	1,35	-0,06
2,5	--	1,39	1,36	-0,06
3	--	1,43	1,36	-0,06
3,5	--	1,43	1,35	-0,06
4	--	1,46	1,35	-0,06
4,5	--	1,53	1,33	-0,06
5	--	1,59	1,33	-0,06
5,5	--	1,59	1,32	-0,06
6	--	1,6	1,31	-0,06
6,5	--	1,71	1,3	-0,06
7	--	1,87	1,3	-0,06
7,5	--	1,87	1,29	-0,06
8	--	1,94	1,29	-0,06
8,5	--	1,93	1,29	-0,07
9	--	1,86	1,29	-0,07
9,5	--	1,86	1,3	-0,07
10	--	1,81	1,3	-0,06
10,5	--	1,78	1,3	-0,06
11	--	1,81	1,3	-0,06
11,5	--	1,81	1,29	-0,06
12	--	1,81	1,3	-0,06
12,5	--	1,76	1,3	-0,07
13	--	1,73	1,31	-0,06
13,5	--	1,73	1,32	-0,06
14	--	1,72	1,31	-0,06
14,5	--	1,72	1,31	-0,06
15	--	1,72	1,31	-0,06
15,5	--	1,72	1,31	-0,06
16	--	1,73	1,32	-0,06
16,5	--	1,8	1,32	-0,06
17	--	1,87	1,31	-0,06
17,5	--	1,87	1,3	-0,06
18	--	1,93	1,29	-0,06
18,5	--	1,98	1,29	-0,07
19	--	1,89	1,3	-0,06
19,5	--	1,89	1,3	-0,06
20	--	1,81	1,32	-0,07
20,5	--	1,65	1,32	-0,07
21	--	1,54	1,34	-0,06
21,5	--	1,54	1,35	-0,06
22	--	1,5	1,35	-0,06
22,5	--	1,5	1,35	-0,06
23	--	1,53	1,34	-0,06
23,5	--	1,53	1,34	-0,06
24	--	1,63	1,33	-0,06
24,5	--	1,71	1,33	-0,06
25	--	1,81	1,33	-0,06
25,5	--	1,81	1,31	-0,06
26	--	1,76	1,31	-0,07
26,5	--	1,67	1,31	-0,06
27	--	1,67	1,32	-0,06
27,5	--	1,62	1,32	-0,06
28	--	1,58	1,31	-0,07
28,5	--	1,52	1,31	-0,07
29	--	1,52	1,33	-0,07
29,5	--	1,45	1,34	-0,06
	<b>Average</b>	1,666667	1,319833	

		0 graus		
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	3,03	1,29	-0,06
0,5	--	3,08	1,28	-0,06
1	--	3,08	1,28	-0,06
1,5	--	3,13	1,28	-0,06
2	--	3,17	1,28	-0,06
2,5	--	3,22	1,28	-0,05
3	--	3,22	1,28	-0,05
3,5	--	3,21	1,28	-0,06
4	--	3,18	1,28	-0,06
4,5	--	3,18	1,29	-0,05
5	--	3,17	1,29	-0,05
5,5	--	3,21	1,29	-0,05
6	--	3,27	1,29	-0,05
6,5	--	3,27	1,29	-0,05
7	--	3,25	1,28	-0,05
7,5	--	3,22	1,29	-0,05
8	--	3,16	1,29	-0,06
8,5	--	3,16	1,29	-0,06
9	--	3,07	1,3	-0,06
9,5	--	3,03	1,29	-0,06
10	--	2,97	1,29	-0,06
10,5	--	2,97	1,3	-0,06
11	--	2,92	1,29	-0,06
11,5	--	2,92	1,3	-0,06
12	--	2,99	1,3	-0,06
12,5	--	2,99	1,28	-0,06
13	--	3,01	1,29	-0,06
13,5	--	3,15	1,27	-0,05
14	--	3,22	1,27	-0,05
14,5	--	3,22	1,27	-0,05
15	--	3,2	1,27	-0,05
15,5	--	3,21	1,26	-0,05
16	--	3,27	1,26	-0,05
16,5	--	3,27	1,27	-0,05
17	--	3,22	1,27	-0,06
17,5	--	3,17	1,28	-0,05
18	--	3,19	1,28	-0,05
18,5	--	3,19	1,27	-0,05
19	--	3,25	1,28	-0,05
19,5	--	3,17	1,28	-0,06
20	--	3,16	1,28	-0,06
20,5	--	3,16	1,28	-0,06
21	--	3,12	1,26	-0,06
21,5	--	3,21	1,27	-0,05
22	--	3,19	1,27	-0,06
22,5	--	3,19	1,27	-0,06
23	--	3,14	1,27	-0,06
23,5	--	3,16	1,26	-0,06
24	--	3,13	1,26	-0,06
24,5	--	3,13	1,27	-0,06
25	--	3,07	1,27	-0,06
25,5	--	3,08	1,27	-0,06
26	--	3,07	1,27	-0,06
26,5	--	3,07	1,28	-0,06
27	--	2,95	1,29	-0,06
27,5	--	2,74	1,29	-0,06
28	--	2,57	1,29	-0,06
28,5	--	2,57	1,29	-0,06
29	--	2,66	1,29	-0,05
29,5	--	2,92	1,3	-0,06
	<b>Average</b>	3,101667	1,2805	

5 graus					10 graus				
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance			Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time	Force	Lift	Drag	Pitching Moment	Time	Force	Lift	Drag	Pitching Moment
(s)	(N)	(N)	(N)	(Nm)	(s)	(N)	(N)	(N)	(Nm)
0	--	4,21	1,47	-0,05	0	--	4,79	1,74	-0,04
0,5	--	4,25	1,48	-0,05	0,5	--	4,8	1,76	-0,04
1	--	4,28	1,46	-0,05	1	--	4,78	1,76	-0,04
1,5	--	4,15	1,46	-0,05	1,5	--	4,78	1,76	-0,04
2	--	4,15	1,44	-0,05	2	--	4,66	1,76	-0,05
2,5	--	3,97	1,42	-0,05	2,5	--	4,63	1,77	-0,05
3	--	3,79	1,41	-0,05	3	--	4,6	1,77	-0,05
3,5	--	3,79	1,41	-0,05	3,5	--	4,6	1,78	-0,05
4	--	3,79	1,41	-0,05	4	--	4,63	1,77	-0,05
4,5	--	3,91	1,41	-0,05	4,5	--	4,68	1,77	-0,05
5	--	3,94	1,41	-0,05	5	--	4,68	1,77	-0,05
5,5	--	3,98	1,41	-0,05	5,5	--	4,68	1,74	-0,05
6	--	3,98	1,43	-0,05	6	--	4,66	1,73	-0,04
6,5	--	4,04	1,43	-0,05	6,5	--	4,65	1,72	-0,04
7	--	4	1,42	-0,05	7	--	4,64	1,72	-0,04
7,5	--	3,85	1,42	-0,05	7,5	--	4,64	1,72	-0,04
8	--	3,85	1,4	-0,05	8	--	4,62	1,71	-0,04
8,5	--	3,7	1,4	-0,05	8,5	--	4,65	1,71	-0,04
9	--	3,55	1,39	-0,05	9	--	4,66	1,71	-0,04
9,5	--	3,46	1,39	-0,05	9,5	--	4,66	1,75	-0,04
10	--	3,46	1,39	-0,05	10	--	4,71	1,76	-0,04
10,5	--	3,46	1,39	-0,05	10,5	--	4,74	1,76	-0,05
11	--	3,36	1,37	-0,05	11	--	4,74	1,76	-0,05
11,5	--	3,36	1,37	-0,05	11,5	--	4,74	1,76	-0,05
12	--	3,36	1,37	-0,05	12	--	4,78	1,76	-0,04
12,5	--	3,52	1,39	-0,05	12,5	--	4,77	1,76	-0,04
13	--	3,53	1,39	-0,05	13	--	4,73	1,74	-0,04
13,5	--	3,55	1,39	-0,05	13,5	--	4,73	1,75	-0,04
14	--	3,55	1,39	-0,05	14	--	4,68	1,77	-0,05
14,5	--	3,57	1,39	-0,05	14,5	--	4,66	1,77	-0,05
15	--	3,55	1,39	-0,05	15	--	4,64	1,76	-0,05
15,5	--	3,64	1,39	-0,05	15,5	--	4,64	1,76	-0,05
16	--	3,64	1,4	-0,05	16	--	4,64	1,74	-0,05
16,5	--	3,81	1,41	-0,05	16,5	--	4,67	1,74	-0,05
17	--	3,84	1,41	-0,05	17	--	4,7	1,73	-0,04
17,5	--	3,84	1,41	-0,05	17,5	--	4,7	1,74	-0,04
18	--	3,84	1,42	-0,05	18	--	4,7	1,74	-0,04
18,5	--	3,92	1,43	-0,05	18,5	--	4,69	1,74	-0,04
19	--	4,02	1,43	-0,05	19	--	4,69	1,73	-0,04
19,5	--	4,01	1,43	-0,05	19,5	--	4,69	1,73	-0,04
20	--	4,01	1,44	-0,05	20	--	4,66	1,73	-0,04
20,5	--	4,03	1,44	-0,05	20,5	--	4,65	1,71	-0,04
21	--	4,05	1,44	-0,05	21	--	4,61	1,71	-0,04
21,5	--	4,06	1,44	-0,05	21,5	--	4,61	1,72	-0,04
22	--	4,06	1,44	-0,05	22	--	4,62	1,73	-0,04
22,5	--	4,04	1,44	-0,05	22,5	--	4,61	1,72	-0,05
23	--	4,08	1,44	-0,05	23	--	4,55	1,72	-0,05
23,5	--	4,14	1,44	-0,05	23,5	--	4,55	1,71	-0,05
24	--	4,14	1,44	-0,05	24	--	4,55	1,72	-0,04
24,5	--	4,22	1,47	-0,04	24,5	--	4,58	1,73	-0,04
25	--	4,23	1,46	-0,04	25	--	4,61	1,73	-0,04
25,5	--	4,23	1,46	-0,05	25,5	--	4,61	1,73	-0,04
26	--	4,23	1,48	-0,05	26	--	4,66	1,75	-0,04
26,5	--	4,21	1,45	-0,05	26,5	--	4,74	1,75	-0,04
27	--	4,02	1,43	-0,05	27	--	4,74	1,75	-0,04
27,5	--	4,02	1,43	-0,05	27,5	--	4,74	1,75	-0,04
28	--	4,02	1,43	-0,05	28	--	4,73	1,74	-0,04
28,5	--	4,02	1,43	-0,05	28,5	--	4,74	1,74	-0,04
29	--	4,02	1,43	-0,05	29	--	4,75	1,74	-0,04
29,5	--	4,02	1,43	-0,05	29,5	--	4,75	1,74	-0,04
	<b>Average</b>	3,888667	1,4215			<b>Average</b>	4,6765	1,742333	

15 graus					20 graus				
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance			Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)	Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	6,27	2,38	0,01	0	--	4,78	2,5	-0,06
0,5	--	5,69	2,31	-0,02	0,5	--	4,78	2,48	-0,06
1	--	5,36	2,31	-0,03	1	--	4,8	2,51	-0,06
1,5	--	5,25	2,28	-0,04	1,5	--	4,9	2,53	-0,06
2	--	5,25	2,26	-0,04	2	--	4,92	2,53	-0,06
2,5	--	5,16	2,25	-0,04	2,5	--	4,92	2,53	-0,06
3	--	5,16	2,25	-0,04	3	--	4,92	2,54	-0,06
3,5	--	5,16	2,25	-0,04	3,5	--	4,96	2,53	-0,06
4	--	5,16	2,23	-0,05	4	--	4,89	2,53	-0,06
4,5	--	5,17	2,23	-0,05	4,5	--	4,89	2,52	-0,06
5	--	5,14	2,22	-0,05	5	--	4,89	2,53	-0,06
5,5	--	5,14	2,22	-0,05	5,5	--	4,91	2,54	-0,06
6	--	5,09	2,23	-0,05	6	--	4,92	2,54	-0,06
6,5	--	5	2,23	-0,05	6,5	--	4,92	2,55	-0,06
7	--	5,01	2,21	-0,05	7	--	4,91	2,54	-0,06
7,5	--	5,01	2,22	-0,05	7,5	--	4,9	2,53	-0,06
8	--	5,07	2,23	-0,05	8	--	4,86	2,53	-0,06
8,5	--	5,11	2,23	-0,05	8,5	--	4,86	2,52	-0,06
9	--	5,1	2,21	-0,05	9	--	4,87	2,52	-0,06
9,5	--	5,1	2,21	-0,05	9,5	--	4,9	2,54	-0,06
10	--	5,07	2,22	-0,05	10	--	4,91	2,54	-0,06
10,5	--	5,11	2,22	-0,05	10,5	--	4,91	2,52	-0,06
11	--	5,02	2,22	-0,05	11	--	4,84	2,5	-0,06
11,5	--	5,02	2,21	-0,05	11,5	--	4,86	2,51	-0,06
12	--	4,98	2,2	-0,06	12	--	4,87	2,51	-0,06
12,5	--	4,93	2,2	-0,05	12,5	--	4,87	2,52	-0,06
13	--	4,98	2,21	-0,05	13	--	4,87	2,51	-0,06
13,5	--	4,98	2,21	-0,05	13,5	--	4,9	2,52	-0,06
14	--	5	2,22	-0,05	14	--	4,86	2,52	-0,06
14,5	--	5	2,22	-0,06	14,5	--	4,86	2,5	-0,06
15	--	4,92	2,21	-0,06	15	--	4,82	2,49	-0,06
15,5	--	4,92	2,22	-0,06	15,5	--	4,82	2,49	-0,06
16	--	4,83	2,21	-0,06	16	--	4,82	2,49	-0,06
16,5	--	4,72	2,21	-0,06	16,5	--	4,99	2,53	-0,06
17	--	4,71	2,2	-0,06	17	--	4,99	2,55	-0,06
17,5	--	4,71	2,21	-0,06	17,5	--	5,02	2,55	-0,06
18	--	4,74	2,2	-0,06	18	--	4,97	2,55	-0,06
18,5	--	4,79	2,2	-0,06	18,5	--	4,97	2,54	-0,06
19	--	4,79	2,21	-0,06	19	--	4,97	2,53	-0,06
19,5	--	4,86	2,22	-0,06	19,5	--	4,92	2,53	-0,06
20	--	4,87	2,23	-0,06	20	--	4,94	2,53	-0,06
20,5	--	4,92	2,23	-0,06	20,5	--	4,89	2,51	-0,06
21	--	4,92	2,23	-0,06	21	--	4,89	2,5	-0,06
21,5	--	4,96	2,21	-0,06	21,5	--	4,9	2,53	-0,06
22	--	5,01	2,22	-0,06	22	--	4,93	2,53	-0,06
22,5	--	5,01	2,22	-0,06	22,5	--	4,92	2,52	-0,06
23	--	5,01	2,22	-0,06	23	--	4,92	2,54	-0,06
23,5	--	5,01	2,23	-0,06	23,5	--	4,94	2,56	-0,06
24	--	4,97	2,25	-0,06	24	--	5,02	2,56	-0,06
24,5	--	4,88	2,25	-0,06	24,5	--	4,98	2,57	-0,06
25	--	4,88	2,24	-0,06	25	--	4,98	2,56	-0,06
25,5	--	4,82	2,22	-0,06	25,5	--	4,94	2,56	-0,06
26	--	4,73	2,21	-0,06	26	--	4,91	2,56	-0,06
26,5	--	4,74	2,21	-0,06	26,5	--	4,92	2,55	-0,06
27	--	4,74	2,22	-0,06	27	--	4,92	2,56	-0,06
27,5	--	4,83	2,21	-0,06	27,5	--	4,94	2,56	-0,06
28	--	4,82	2,21	-0,06	28	--	4,94	2,56	-0,06
28,5	--	4,84	2,21	-0,06	28,5	--	4,99	2,58	-0,06
29	--	4,84	2,22	-0,06	29	--	5,01	2,6	-0,06
29,5	--	4,87	2,24	-0,06	29,5	--	5,06	2,6	-0,06
	<b>Average</b>	5,0025	2,227667			<b>Average</b>	4,911333	2,533	

25 graus					30 graus				
Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance			Time	AFA2 Basic Balance	AFA3 Balance		
Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)	Time (s)	Force (N)	Lift (N)	Drag (N)	Pitching Moment (Nm)
0	--	5,29	2,93	-0,06	0	--	5,34	3,23	0,04
0,5	--	5,19	2,91	-0,06	0,5	--	5,2	3,18	0,01
1	--	5,19	2,91	-0,06	1	--	5,11	3,14	-0,02
1,5	--	5,09	2,9	-0,06	1,5	--	5,03	3,14	-0,03
2	--	5,09	2,91	-0,06	2	--	5,03	3,11	-0,03
2,5	--	5,07	2,9	-0,06	2,5	--	4,97	3,08	-0,04
3	--	5,06	2,91	-0,06	3	--	4,94	3,08	-0,05
3,5	--	5,07	2,91	-0,06	3,5	--	4,95	3,08	-0,05
4	--	5,07	2,9	-0,06	4	--	4,95	3,08	-0,05
4,5	--	5,06	2,91	-0,06	4,5	--	4,98	3,1	-0,05
5	--	5,08	2,9	-0,06	5	--	5,01	3,11	-0,05
5,5	--	5,09	2,9	-0,06	5,5	--	5,04	3,11	-0,06
6	--	5,09	2,91	-0,06	6	--	5,04	3,11	-0,06
6,5	--	5,06	2,87	-0,06	6,5	--	5,02	3,12	-0,06
7	--	5	2,85	-0,06	7	--	5,05	3,12	-0,06
7,5	--	5,02	2,85	-0,06	7,5	--	5,06	3,12	-0,06
8	--	5,02	2,86	-0,06	8	--	5,06	3,12	-0,06
8,5	--	5,01	2,85	-0,06	8,5	--	5,05	3,12	-0,06
9	--	4,98	2,83	-0,06	9	--	5,04	3,12	-0,06
9,5	--	4,98	2,83	-0,06	9,5	--	5,03	3,09	-0,06
10	--	4,98	2,83	-0,06	10	--	5,03	3,1	-0,06
10,5	--	4,99	2,84	-0,06	10,5	--	5,03	3,1	-0,06
11	--	4,96	2,83	-0,06	11	--	4,98	3,1	-0,06
11,5	--	4,91	2,83	-0,06	11,5	--	4,96	3,07	-0,06
12	--	4,91	2,79	-0,06	12	--	4,96	3,07	-0,06
12,5	--	4,87	2,77	-0,06	12,5	--	4,94	3,06	-0,06
13	--	4,85	2,77	-0,06	13	--	4,94	3,06	-0,06
13,5	--	4,84	2,77	-0,06	13,5	--	4,91	3,06	-0,06
14	--	4,84	2,76	-0,06	14	--	4,91	3,05	-0,06
14,5	--	4,86	2,77	-0,06	14,5	--	4,92	3,08	-0,06
15	--	4,89	2,78	-0,06	15	--	4,94	3,08	-0,06
15,5	--	4,91	2,78	-0,06	15,5	--	4,94	3,09	-0,06
16	--	4,91	2,77	-0,06	16	--	4,96	3,09	-0,06
16,5	--	4,91	2,78	-0,06	16,5	--	4,97	3,11	-0,06
17	--	4,94	2,82	-0,06	17	--	4,98	3,11	-0,06
17,5	--	4,98	2,82	-0,06	17,5	--	4,98	3,09	-0,06
18	--	4,98	2,82	-0,06	18	--	4,96	3,11	-0,06
18,5	--	4,98	2,83	-0,06	18,5	--	4,97	3,1	-0,06
19	--	4,97	2,83	-0,06	19	--	4,96	3,1	-0,06
19,5	--	4,98	2,83	-0,06	19,5	--	4,96	3,11	-0,06
20	--	4,98	2,83	-0,06	20	--	4,94	3,08	-0,06
20,5	--	4,99	2,85	-0,06	20,5	--	4,96	3,07	-0,06
21	--	5,01	2,87	-0,06	21	--	4,92	3,07	-0,06
21,5	--	5,05	2,87	-0,06	21,5	--	4,92	3,06	-0,06
22	--	5,05	2,88	-0,06	22	--	4,92	3,06	-0,06
22,5	--	5,02	2,85	-0,06	22,5	--	4,91	3,07	-0,06
23	--	5	2,81	-0,06	23	--	4,93	3,07	-0,06
23,5	--	4,97	2,81	-0,06	23,5	--	4,93	3,08	-0,06
24	--	4,97	2,81	-0,06	24	--	4,89	3,06	-0,06
24,5	--	4,97	2,81	-0,06	24,5	--	4,88	3,06	-0,06
25	--	4,96	2,79	-0,06	25	--	4,89	3,06	-0,06
25,5	--	4,99	2,83	-0,06	25,5	--	4,89	3,09	-0,06
26	--	4,99	2,81	-0,06	26	--	4,94	3,12	-0,06
26,5	--	4,99	2,8	-0,06	26,5	--	4,95	3,12	-0,06
27	--	4,96	2,8	-0,06	27	--	4,97	3,12	-0,06
27,5	--	4,95	2,8	-0,06	27,5	--	4,97	3,11	-0,06
28	--	4,95	2,78	-0,06	28	--	4,95	3,08	-0,06
28,5	--	4,91	2,76	-0,06	28,5	--	4,92	3,08	-0,06
29	--	4,88	2,76	-0,06	29	--	4,92	3,08	-0,06
29,5	--	4,9	2,76	-0,06	29,5	--	4,92	3,08	-0,06
	Average	4,991	2,834			Average	4,977	3,095333	

## ANNEX VIII: PREPARACIÓ DE L'EXPERIMENTACIÓ AMB L'AEROGENERADOR



Imatges del muntatge on es van dur a terme les determinacions de voltatge, intensitat de corrent i velocitat de gir del rotor mitjançant un multímetre i un tacòmetre.



### Ventiladors

**Marca i Model:** S&P, Turbo – 451CN

### **Característiques:**

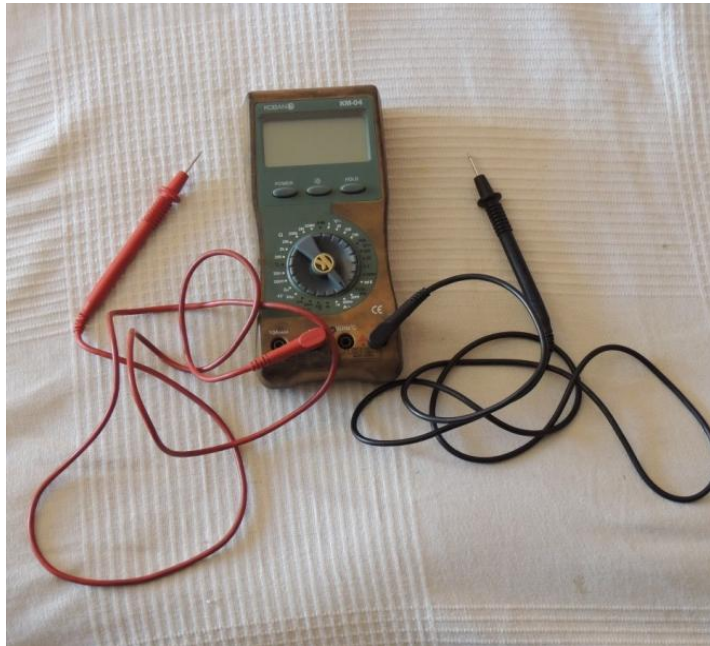
Ventiladors portàtils dissenyats per moure grans volums d'aire.

Tenen un diàmetre de 450 mm amb una columna d'alçada regulable.

Disposen de tres velocitats diferents.

Presenten un motor blindat, IP54.

220V – 240V, 50 Hz, 60 W.



## **Multímetre**

**Marca i Model** : Koban, KM-04

### **Característiques:**

Indicació acústica de continuïtat.

Pantalla retroil·luminada.

Medició de freqüència, capacitat de condensadors, proves de díodes i de transistors.

Retenció de les lectures.

1000 VDC/ 750 VAC, 10 A, 200 MΩ.

### **Procés d'obtenció de dades:**

Es prenen el cable vermell, també conegut com a terra, i el cable negre, també conegut com a massa, i es connecten al circuit de l'aerogenerador a partir de les dues sortides que presenten.

Un cop estan connectats es comença a mesurar els volts i els ampers en les diferents unitats disponibles. És recomanable fer les mesures en les unitats més petites possibles, com per exemple mil·liampers.





### **Tacòmetre òptic portàtil**

**Marca i Model:** Testo, model 470.

#### **Característiques:**

Resolució de 0,01 rpm i rang de 10 a 99900 rpm.

Fàcil control amb una sola mà.

Medició de rpm, velocitats i longituds.

Memòria per valors de promig, mínims/màxims i últim valor mig.

Distància de medició de fins a 600 mm (en medició òptica).

Exactitud de mesura de  $\pm 0,02\%$  del v.m.

Utilitza cintes autoadhesives per poder dur a terme les diferents mesures.



Adhesiu utilitzat en la pràctica del tacòmetre per poder conèixer la velocitat amb la qual giren les aspes del molí.

#### **Procés d'obtenció de dades:**

Per poder obtenir les mesures cal enganxar una cinta autoadhesiva al rotor per tal de conèixer la velocitat amb la qual girarà.

Un cop enganxada, es connecta el tacòmetre, el qual emetrà un raig infrarroig que s'haurà d'apuntar directament a la cinta enganxada al rotor de l'aerogenerador.

Un cop el rotor giri, el tacòmetre es mantindrà en la mateixa posició perquè detecti la cinta en cada rotació. Entre les mesures obtingudes hi ha la major i menor velocitat així com una mitja en l'interval de temps que es concreti.

## BIBLIOGRAFIA

### ➤ Llibres de text:

Anderson, J.D., *Fundamentals of Aerodynamics*, Fourth Editions, Mc Graw-Hill, New York (2007).

Anderson, J.D., *Introduction to Flight*, Fifth Edition, Mc Graw-Hill, New York (2005).

José Meseguer Ruiz, *Aerodinámica básica*, Segunda edición, Grupo Editorial Garceta, Madrid, 2008.

Escola CETIB, *L'energia minieòlica l'aprofitament local del vent*, Grup Editorial Navitas paradigma, Barcelona, 2010.

Tecnologia Industrial, Editorial Edebé, 2009

### ➤ Pàgines Web:

Manual de vuelo del PIPER PA - 11

[http://juanzitnik1.tripod.com/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/4\\_aerodinamica.pdf](http://juanzitnik1.tripod.com/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/4_aerodinamica.pdf).

Fundamento de Aerodinámica.

<http://www.cruzdesanandres.com/material/esadocs/Aerodinamica.pdf>

Newton a l'aula, Què és un fluid?

[http://recursostic.educacion.es/eda/web/eda2010/newton/materiales/sans\\_ramos\\_monica\\_p3/qu\\_s\\_un\\_fluid.html](http://recursostic.educacion.es/eda/web/eda2010/newton/materiales/sans_ramos_monica_p3/qu_s_un_fluid.html)

Peerpetum Mobile Machina, l'aerogenerador.

<http://www.geocities.ws/shazuga/html/antecedentes.html>

Acciona, Aerogeneradores Acciona WindPower.

<http://www.acciona.com/es/lineas-de-negocio/energia/aerogeneradores-acciona-windpower/>

Diseño, simulación y construcción de un prototipo de aerogeneradores de eje horizontal.

[http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/455/1/digital\\_17560.pdf](http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/455/1/digital_17560.pdf)

Perfiles Aerodinámicos: Familias y tipos.

<http://es.scribd.com/doc/125835576/Perfiles-Aerodinamicos-Familas-y-tipos#scribd>

Estudio de aerogeneradores de pequeña potencia.

<http://www.monografias.com/trabajos39/aerogeneradores/aerogeneradores2.shtml>

Aeronaves y Vehículos Espaciales. Tema 4 – Aerodinámica del Avión.

[http://aero.us.es/AVE/archivos/Y0910/Tema4\\_parte1\(WEB\).pdf](http://aero.us.es/AVE/archivos/Y0910/Tema4_parte1(WEB).pdf)

Merkasol Energías Renovables, Aerogeneradores.

<http://www.merkasol.com/Aerogeneradores>

Acciona, Energía Eólica.

<http://www.acciona.com/es/lineas-de-negocio/energia/energia-eolica/>

Les energies renovables.

<http://www.xtec.cat/~cbadia23/eolica.htm>

La energía eólica.

[http://exterior.pntic.mec.es/pvec0002/e\\_eolica.htm](http://exterior.pntic.mec.es/pvec0002/e_eolica.htm)

Energía eólica.

<http://e-eolica.blogspot.com.es/2008/12/aerodinmica-de-los-aerogeneradores.html>

Agenergia.

[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234272455\\_eolica\\_ALecuona.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234272455_eolica_ALecuona.pdf)

Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels (EETAC).

<http://eetac.upc.edu/ca/>

## **AGRAÏMENTS**

A en Francesc Jornet, tutor del Treball de Recerca, pel seu suport i els consells rebuts durant la preparació i elaboració del treball.

A en Jordi Gutiérrez i en José Ignacio Rojas, professors del departament de física de la Universitat Politècnica de Catalunya de Castelldefels, per la seva ajuda desinteressada i per la cessió de les seves instal·lacions, així com el temps invertit en donar suport al projecte.

A en Xavier Cendra, coordinador del taller auxiliar i de manteniment de peces de la fàbrica Honda de Santa Perpètua de Mogoda, per la indispensable ajuda rebuda en el disseny de les aspes de l'aerogenerador, i al personal implicat, per la seva col·laboració en la construcció de diverses peces de l'aerogenerador.

A les famílies, que han donat suport incondicional i ajudat en tot el possible per tal de completar aquest projecte.