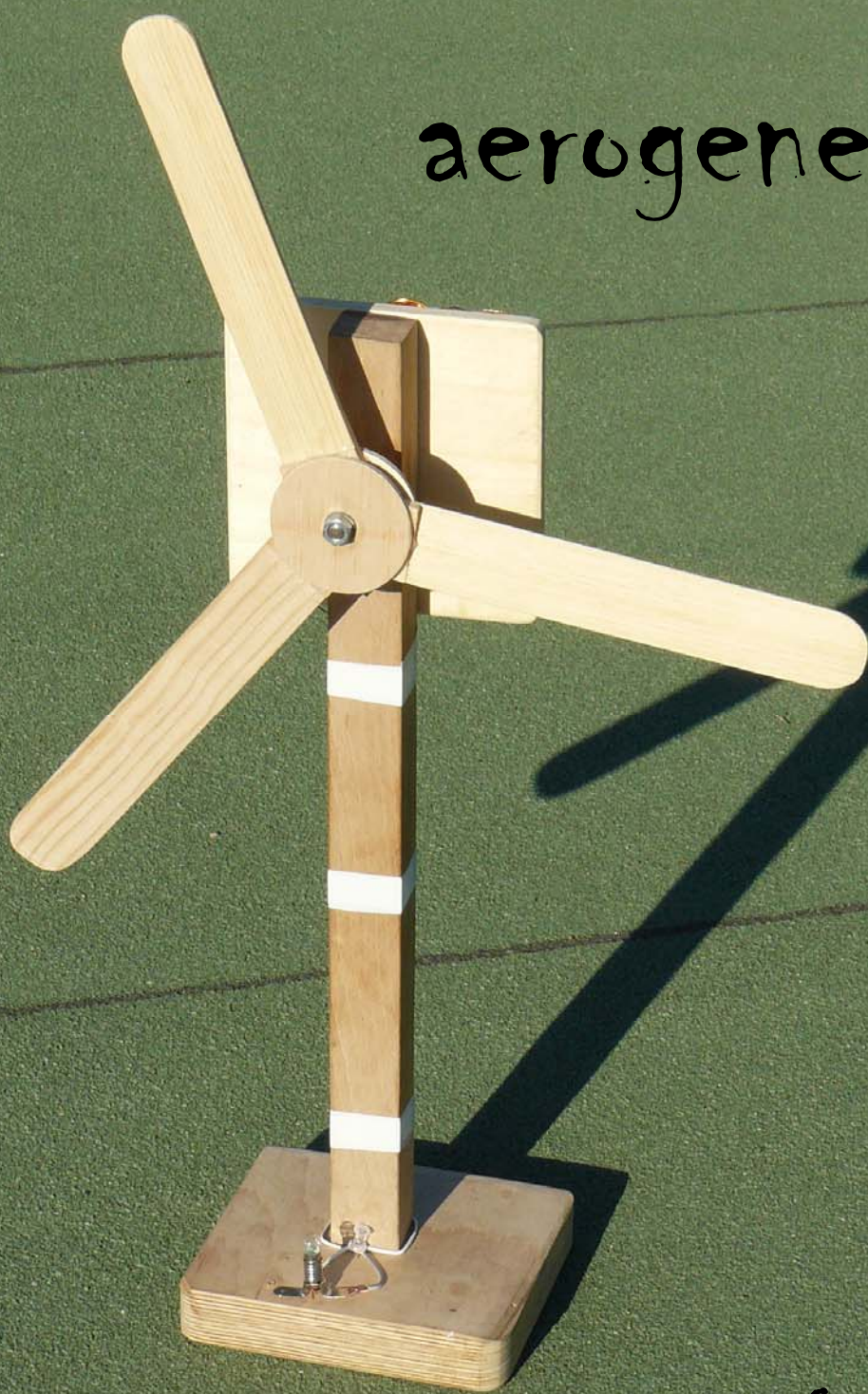


L'energia eòlica

i els

aerogeneradors



Gener 2010

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ

<u>1.1 JUSTIFICACIÓ</u>	1
<u>1.2 HIPÒTESI</u>	2
<u>1.3 OBJECTIUS</u>	2
<u>1.4 SINOPSI</u>	3

2.PART TEÒRICA

2.1 EL VENT

2.1.1 Tipus	4
2.1.2 Mesura	6

2.2 DEL MOLÍ DE VENT A L'AEROGENERADOR

2.2.1 Els primers molins	8
2.2.2 Els aerogeneradors	9
2.2.2.1 Parts	10
2.2.2.2 Funcionament	11
2.2.2.3 Tipus	12

2.3 FONAMENT FÍSIC

2.3.1 Camp elèctric, magnètic i electromagnetisme	15
2.3.2 Física del vent	21

2.4 L'ENERGIA EÒLICA: A CATALUNYA, A ESPANYA I AL MÓN. COMPARACIÓ

2.4.1 Catalunya	25
2.4.2 Espanya	27
2.4.3 Món	30

3. METODOLOGIA**3.1 CONSTRUCCIÓ D'UN AEROGENERADOR SENZILL**

3.1.1 Objectius	33
3.1.2 Materials	33
3.1.3 Procediment	36
3.1.4 Resultats	49

3.2 PROTOTIP DEL MEU AEROGENERADOR

3.2.1 Esbós a mà alçada	50
3.2.2 Croquis acotat	51
3.2.3 Dibuix a escala	57

3.3 ESTUDI DEL VOLTATGE AL MEU AEROGENERADOR

3.3.1 Introducció	60
3.3.2 Taula dels resultats obtinguts (Agost)	61
3.3.3 Gràfics i comentari	62
3.3.4 Taula dels resultats obtinguts (Octubre)	63
3.3.5 Gràfics i comparació	64
3.3.6 Anàlisi de les dades i determinació d'errors	65

3.4 EXPERIMENTS DE MAGNETISME

3.4.1 Material	68
3.4.2 1r exp. Observació del camp magnètic d'un imant	70
3.4.3 2n exp. Efecte d'un imant sobre una brúixola	70
3.4.4 3r exp. Experiment d'Oersted	71
3.4.5 4t exp. Experiment de Henry-Faraday	72

3.5 VISITES A PARCS EÒLICS

3.5.1 Parc eòlic de la Serra de Rubió	74
3.5.2 Parc eòlic del Collet dels Feixos	78
3.5.3 Avantatges de l'energia eòlica	82

3.6 ENTREVISTES

3.6.1 Jaume Morrón	83
3.6.2 Manel Juncosa	86
3.6.3 Joaquim Casado	90

4. CONCLUSIÓ FINAL 93**5. BIBLIOGRAFIA**

5.1 Pàgines web	95
5.2 Llibres	96

6. AGRAÏMENTS 97

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Justificació

Quan era petit anava a buscar papallones amb la meva mare. En aquell moment vaig pensar que faria el treball de recerca sobre aquest tema. Va anar passant el temps i en lloc de la biologia, em vaig anar decantant més cap a la tecnologia. Llavors, no sabia quin tema triar i el meu cosí, que és enginyer industrial, em va donar la idea d'estudiar els aerogeneradors. Ell havia estat dos anys treballant en una empresa vinculada al sector i em va dir que seria molt interessant treballar-lo.

Un altre aspecte que em va semblar atractiu dels aerogeneradors és que les energies renovables cada cop estan agafant més protagonisme amb l'esgotament del petroli. Crec que en un futur em serà útil tenir coneixements sobre l'energia eòlica.

La proposta em va semblar molt bona però hi havia una cosa que m'inquietava. De què faria el treball de camp?

El neguit no va durar gaire temps. Un dia estava buscant informació a la xarxa i vaig veure una pàgina que hi deia: "Construcción de un aerogenerador casero". La primera impressió va ser impactant perquè el procés no semblava gens fàcil, però un cop llegit dues vegades, vaig pensar que ho podria intentar.

Aquesta maqueta d'aerogenerador l'havia fet un professor de la Universitat de València, el Sr. Joaquín Navasquillo. Ràpidament em vaig posar en contacte amb ell per rebre més informació i així va ser com va començar el meu treball de camp.

1.2 Hipòtesis

Obtenir electricitat mitjançant un aerogenerador construït amb materials accessibles.

1.3 Objectius

- Aprendre a manipular material elèctric i del laboratori per construir una maqueta.
- Fer el prototip de la meva maqueta.
- Adquirir nous conceptes físics relacionats amb l'electromagnetisme i el camp elèctric.
- Conèixer els principis tècnics i característics dels aerogeneradors.
- Reconèixer i diferenciar els tipus d'aerogeneradors.
- Entendre com funciona un parc eòlic.
- Conèixer l'evolució de l'energia eòlica a Catalunya, a Espanya i a Europa.
- Aprendre a consultar diferents fonts d'informació.
- Ser capaç de sintetitzar les idees principals de tota la informació obtinguda.
- Saber extreure conclusions a partir de gràfics i dades estadístiques.
- Aprendre a fer una entrevista.
- Treballar seguint el mètode científic.

1.4 Sinopsi

El meu treball consta d'una part teòrica i una pràctica.

A la part teòrica hi ha informació sobre el vent, el pas del molí de vent a l'aerogenerador i l'evolució de l'energia a eòlica a Catalunya, Espanya i al món. També hi ha un apartat que tracta del vent des del punt de vista físic (com a partir de l'energia cinètica del vent, l'aerogenerador obté potència eòlica). Així mateix hi ha un petit apartat sobre electromagnetisme.

Com a treball de camp he construït un aerogenerador a partir de material divers que he comprat o de peces que he fabricat jo mateix. Amb aquest aerogenerador he fet un estudi del voltatge que produïa a diferents velocitats de vent i del possible error que podia presentar. També he estudiat si el voltatge produït era diferent segons la densitat de l'aire. A més a més he fet el prototip del meu aerogenerador (esbós, croquis i dibuix a escala). També he fet quatre experiments senzills relacionats amb l'electromagnetisme.

Per acabar de completar el treball he fet tres entrevistes a persones relacionades amb l'energia eòlica i he visitat dos parcs eòlics: Serra de Rubió i Collet dels Feixos.

2.1 El vent

El vent és un flux d'aire que es desplaça gràcies a les diferents pressions atmosfèriques generades per canvis de temperatura. El vent va de pressions altes cap a pressions baixes. Si els canvis de pressions són forts, s'originaran vents forts però si són petits s'originaran uns vents febles.

Però el moviment del vent no és tan fàcil d'estudiar ja que també se li ha d'afegir el moviment de rotació de la Terra que desviarà la direcció que tenia en un inici. Aquestes forces que provenen del moviment de rotació de la Terra s'anomenen forces de Coriolis.

2.1.1 Tipus de vents

2.1.1.1 Vents globals

Són aquells que determinen les característiques del temps del planeta i s'originen a partir de les diferents pressions atmosfèriques de tot el món.



Fig. 1. Vents globals

2.1.1.2 Vents estacionals

Aquests vents s'originen perquè l'aire que hi ha sobre la terra a l'estiu és més calent que el que hi ha sobre al mar a la mateixa època de l'any. A l'hivern,

passa el mateix però al revés ja que l'aire que hi ha sobre la terra és més fred que el que hi ha sobre el mar.

2.1.1.3 Vents locals

El primer tipus de vent local és la **brisa marina**. La brisa marina és un fenomen que es produeix a llocs costaners. Durant el dia, la terra s'escalfa més que l'aigua del mar i això fa que l'aire de la terra s'elevi ja que al estar a més temperatura té menys densitat. Aquest aire procedent de la terra que està a una certa alçada es dirigeix cap al mar a la vegada que el que està sobre el mar que és de menys temperatura és dirigeix cap a la terra.

El segon tipus de vent local és la **brisa terrestre**. La brisa terrestre és semblant a la brisa marina però al revés. A la nit, l'aire que hi ha al mar és més calent que el que hi ha a la terra i això fa que s'elevi i vagi cap a la terra. L'aire de la terra que està més fred, és dirigeix cap al mar però sense gaire alçada.

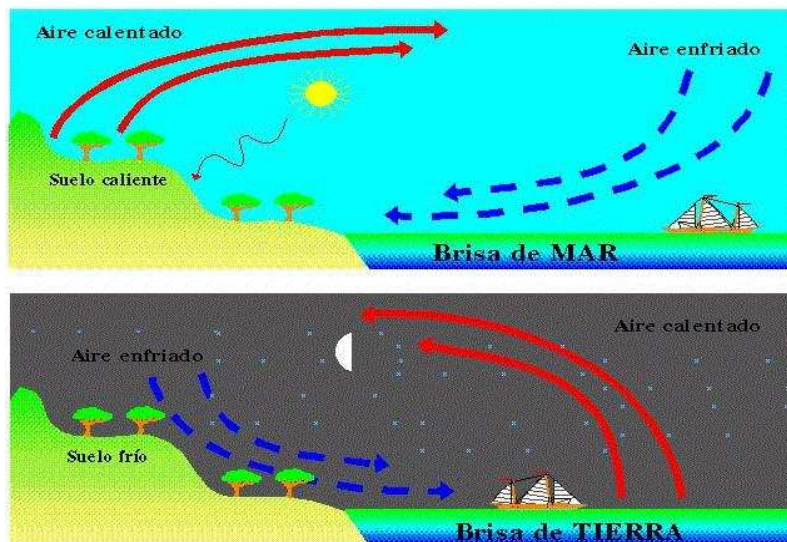


Fig.2. Brisa terrestre i brisa marina

2.1.2 Mesura del vent

El que caracteritza el vent és la intensitat i la direcció. Per saber la intensitat, mesurem la velocitat del vent. Es mesura amb l'anemòmetre, un aparell que té tres pales subjectes a un eix que el vent les fa girar i això ens permet saber quina velocitat porta.

La direcció del vent es mesura amb el penell o la mànega.



Fig.3. Penell i anemòmetre

Per classificar el vent segons la seva velocitat i efectes es fa servir l'escala de Beaufort en el que el vent es divideix en diferents graus.

A la taula següent veiem els dotze graus d'aquesta escala amb les velocitats del vent corresponents i els efectes sobre la natura i les edificacions.

Grau Beaufort	Velocitat del vent	Efectes sobre la natura i edificacions
1	fins a 6 km/h	airet que inclina el fum.
2	Entre 7 i 11 km/h	lleugera brisa que crea onades al mar i eriça el pèl.
3	Menys de 19 km/h	moviment continu de fulles, les onades tenen escuma.
4	Entre 20 i 29 km/h	s'aixeca el pols i poden moure's branques dels arbres.
5	Fins a 39 km/h	onades d'un metre, possibles moviments d'arbres petits.
6	De 40 a 50 km/h	el vent s'acompanya d'un soroll de xiulet.
7	Fins a 62 km/h	costa caminar contra el vent, els troncs dels arbres es belluguen.
8	Entre 63 i 75 km/h	galerna, perill per a la circulació de vehicles, cauen algunes branques.
9	Fins a 87 km/h	onades de fins a 7 metres, perill per a les estructures lleugeres.
10	Entre 88 i 102 km/h	tempesta que dificulta la visibilitat i fa perillar tot tipus d'estructures.
11	119 km/h	danys massius a les ciutats, el mar es mostra blanc per l'escuma.
12	Més de 120 km/h	es considera un huracà i passa a una altra escala.

Taula 1. Escala de Beaufort

2.2 Del molí de vent a l'aerogenerador

2.2.1 Els primers molins

La primera notícia que es té referent a un molí de vent es remunta al segle II a.C on Heró d'Alexandria en va construir un per proporcionar aire al seu orgue. Anteriorment però, els humans ja havien aprofitat la força del vent per navegar. Hi ha gravats egipcis on hi surten embarcacions a vela.

Més endavant, cap al segle VIII, van aparèixer nous molins a Europa procedents de l'est. Aquests eren d'eix horitzontal i amb quatre aspes. Aquests molins però, no aconseguien mai el màxim de potència que podria obtenir un molí d'aquelles característiques ja que la mida de les aspes no era bona. A més a més, no sempre eren útils perquè els molins d'eix horitzontal han d'estar sempre de cara al vent i només que el vent canviï la seva direcció ja resten inútils. Llavors, com que les aspes estaven cobertes de tela, canviaven la posició d'aquesta per aconseguir agafar el màxim vent possible. Aquest tipus de molins eren molt freqüents a Holanda.



Fig. 4. Típic molí holandès

Cap als segles XII i XIII, es comencen a fer servir els molins com a bombes d'aigua o per moldre el gra. Aquestes tècniques s'utilitzaven molt a Turquia, Iran i Afganistan.

Pel que fa a Europa, els Països Baixos i Bèlgica també van construir-ne molts. El nombre de pales era diferent segons el país on estaven situats. Per exemple a Holanda eren de quatre pales i en canvi a Grècia de dotze.

Aquests molins es van mantenir en funcionament fins al segle XIX quan va esclatar la revolució industrial i es van començar a utilitzar de forma massiva combustibles fòssils i també la màquina de vapor. Els primers molins que van ser destinats per a produir electricitat també són més o menys d'aquesta època.

Al 1880, Charles F. Brush va construir una turbina eòlica de 12 kW per produir corrent continu i ser emmagatzemat en dotze bateries.

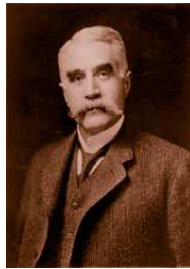


Fig. 5. Charles F. Brush

Ja entrat el segle XX, Johannes Jull procedent d'Holanda va aportar un gran avenç en la tecnologia dels aerogeneradors. Va modificar els aerogeneradors per a obtenir corrent alterna i també va construir un aerogenerador que canviava de direcció perquè s'encarés al vent com els que tenim actualment.

2.2.2 Els aerogeneradors

Els aerogeneradors o turbines eòliques són les màquines emprades per transformar la força del vent en electricitat.

Els aerogeneradors es col·loquen sobre una torre perquè la velocitat del vent augmenta amb l'alçada. Un altre aspecte important a tenir en compte de la seva situació és que mai estan al costat d'edificis o construccions perquè aquests creen turbulències i el millor per un aerogenerador és que el vent sigui sempre constant.

2.2.2.1 Parts de l'aerogenerador

Les principals parts que formen un aerogenerador són la gòndola, el rotor, les pales i la torre.



Fig. 6. Parts de l'aerogenerador

La gòndola és la càpsula que està a la part alta de l'aerogenerador. Encara que sembli molt petita les seves mesures són similars a les d'un autobús de dues plantes. Al seu interior hi ha varis dispositius.

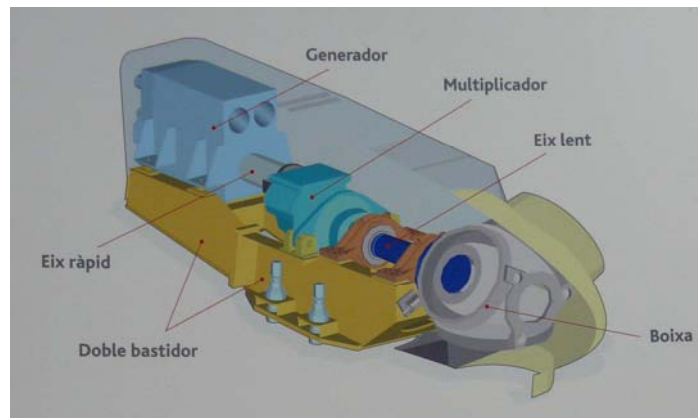


Fig. 7. Parts de la gòndola

Els principals són l'eix lent, el multiplicador, l'eix ràpid i el generador. L'eix lent fa les mateixes rpm que les pales ja que estan connectats directament, és a dir, sempre que giren les pales, gira l'eix lent. El multiplicador està compost per un seguit d'engranatges que multiplica unes seixanta vegades la velocitat de gir de l'eix lent. L'eix ràpid és l'eix que gira amb la velocitat augmentada pel multiplicador i està enganxat amb el generador que és qui generarà el corrent elèctric.

A part, la gòndola també té una mini estació meteorològica que indica les condicions climàtiques que hi ha a aquelles altures i també un parallamps per els dies de tempesta.

El rotor és el conjunt format per les pales i l'eix. Les pales van unides mitjançant un rodets. Aquest eix, que està connectat al rodets, és l'eix lent o principal.

La torre de l'aerogenerador és l'encarregada de suportar el pes de la gòndola, per tant ha de ser robusta i estar ben cimentada al terra. El material principal per a construir-la és l'acer tot i que també n'hi ha de ciment.

2.2.2.2 Funcionament de l'aerogenerador

Els aerogeneradors capten el vent per les pales i aquestes comencen a girar gràcies a la seva forma aerodinàmica. Com que amb aquesta velocitat de gir no n'hi hauria prou per a generar electricitat, hi ha un multiplicador que la seva funció és, tal com diu el seu nom, multiplicar les rpm que fa l'eix lent. L'augmenta unes seixanta vegades.

Aquesta nova velocitat de gir augmentada pel multiplicador passa a l'eix ràpid que està unit a ell. Per acabar, aquest eix ràpid que gira unes seixanta vegades més ràpid que el lent, està connectat amb un generador que és l'encarregat de generar l'electricitat.

Un cop el generador ha creat electricitat, hi ha un convertidor de potencia a la mateixa gòndola que el que fa és canviar l'electricitat de corrent continu a corrent altern. L'electricitat amb corrent altern és conduïda per uns cables a través de la torre fins als peus de l'aerogenerador que és on un transformador li donarà el voltatge adequat i l'enviarà a la subestació de cada parc.

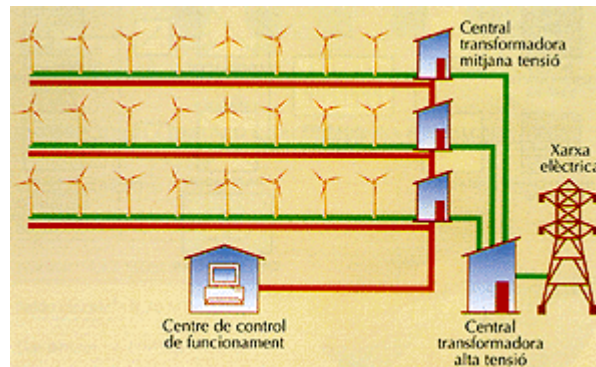


Fig. 8. Esquema bàsic d'un parc eòlic

A l'esquema estàndard d'un parc eòlic, podem veure que cada generador està connectat amb el del seu costat. L'electricitat que surt de l'aerogenerador és de baixa tensió i per això hi ha les centrals transformadores de mitjana tensió. Però per afegir l'electricitat a la xarxa s'ha de fer amb alta tensió fet que provoca l'aparició de la central transformadora d'alta tensió.

2.2.2.3 Tipus d'aerogeneradors

Hi ha tres formes per classificar els aerogeneradors. La primera és segons la situació de l'eix, la segona és de la manera que agafen el vent i la tercera és pel número de pales.

Tipus d'aerogeneradors	Segons la posició de l'eix	Eix vertical: el seu eix de rotació es troba de manera perpendicular al terra. No són gaire productius però són força econòmics. N'hi ha tres amb eix vertical: darrieus, sabonius i panémonas.
		Eix horitzontal: el seu eix està de forma paral·lela al terra i en la direcció del vent. Són els més habituals, més eficaços però també més cars que els d'eix vertical.
	Segons com agafen el vent	Per la proa, és a dir el vent els hi entra de cara i s'ha de situar sempre el rotor de cara al vent. Aquests són els més abundants ja que aquest mètode el segueixen els d'eix horitzontal.
		Per la popa. És el procediment que utilitzen els aerogeneradors d'eix vertical on el vent els hi pot entrar per on vulgui i no s'ha d'orientar però és menys productiu.
	Segons el número de pales	Una aspa. Presenten velocitats de gir molt elevades
		Dues aspes. Són els més lleugers però necessiten més velocitat de gir per produir la mateixa electricitat que els altres.
		Tres aspes. La majoria són de tres aspes ja que s'ha demostrat que són els que rendeixen més.
Multipales. Presenta moltes pales i principalment serveix per extreure aigua dels pous.		

Taula 2. Tipus d'aerogeneradors



Fig.9. Darrieus



Fig.10. Eix horitzontal



Fig.11. Savonius



Fig.12. Panemonas

2.3 Fonament físic

2.3.1 Camp elèctric, magnètic i electromagnetisme

L'electromagnetisme estudia les relacions existents entre l'electricitat i el magnetisme.

Els efectes magnètics de certs materials es coneixen des de fa uns quants segles. Però fins al segle XIX no es va descobrir la interrelació entre els efectes magnètics i els elèctrics.

Camp elèctric

En una regió de l'espai existeix un camp de forces elèctric que en posar-hi una partícula, aquesta experimenta una força inversament proporcional al quadrat de la distància que la separa del centre de forces.

Els camps elèctrics són produïts per les càrregues elèctriques, estiguin en repòs o en moviment.

Per posar de manifest els camps elèctrics s'utilitzen les línies de força. Una línia de força en un camp elèctric representa la trajectòria d'una petita càrrega positiva abandonada dins el camp elèctric. Les línies de força són línies radials, però el sentit varia segons el camp sigui creat per una càrrega positiva o negativa. Les línies de força surten de les càrregues positives i entren en les negatives.

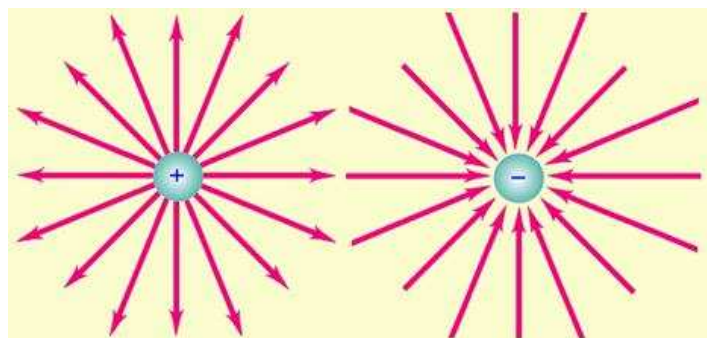


Fig. 13. Línies de força d'un camp elèctric

Camp magnètic

Un imant és un material capaç de produir un camp magnètic exterior i atreure el ferro, el cobalt, el níquel i diversos aliatges d'aquests.

Des de temps antic es coneix la propietat que tenen unes certes substàncies naturals, particularment la magnetita (Fe_3O_4), d'atreure objectes de ferro. El nom de *magnetita* ve de la ciutat grega de Magnèsia que és el primer lloc on es va trobar aquest mineral.

Per entendre perquè hi ha magnetisme, hem de tenir en compte que la majoria dels àtoms és comporten com uns minúsculs imants amb un pol positiu i un de negatiu. Normalment a la majoria de materials, aquests àtoms s'ordenen de forma aleatòria. Però en determinats cossos s'arreglaren paral·lelament en una direcció determinada. En aquest cas, el cos es comporta com un imant. Per això si anem partint un imant en trossos cada vegada més petits, arribaríem finalment a obtenir àtoms individuals.

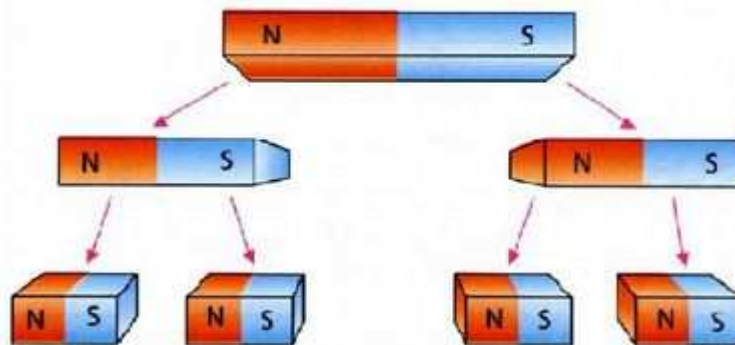


Fig. 14. Divisions d'un imant

El camp magnètic d'un imant és l'espai en què es manifesten les seves accions magnètiques.

Les línies de força són tancades, es a dir, que no tenen origen ni fi. Per conveni, s'admet que les línies de força penetren a l'imant pel pol sud i en surten pel pol nord després d'haver-lo travessat.

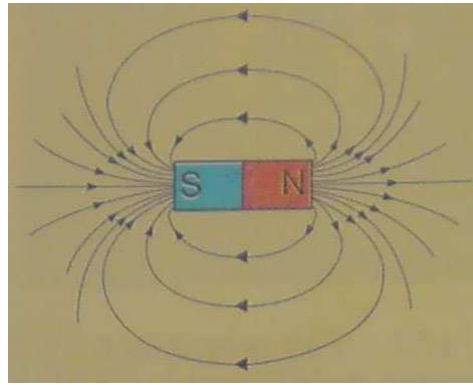


Fig. 15. Línies de força d'un camp magnètic

La denominació de pol nord i pol sud té origen en l'imant artificial anomenat brúixola, que des del segle XV es utilitza pel navegants per orientar-se en el mar. La brúixola és simplement un imant que pot girar lliurement al voltant d'un eix i s'orienta en direcció nord-sud. De l'extrem de la brúixola orientada cap al nord geogràfic se'n diu pol nord (tot i que és el pol sud magnètic), i de l'orientat cap al sud geogràfic, pol sud. La raó per la qual la brúixola s'orienta cap al nord i el sud geogràfics és perquè la Terra es comporta com un gran imant, i per tant exerceix la seva acció sobre altres imants.

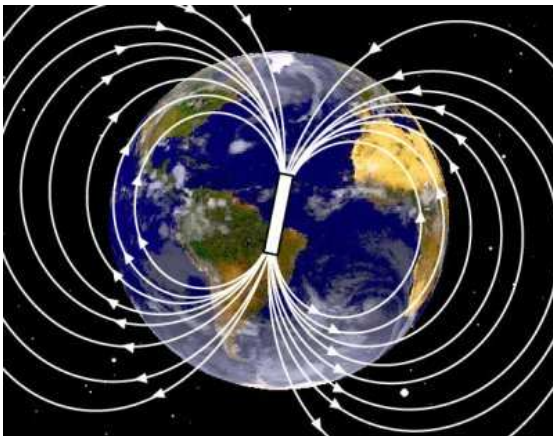


Fig.16. Camp magnètic terrestre

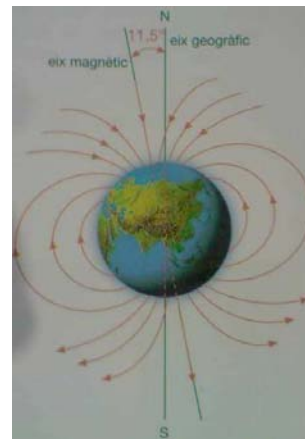


Fig. 17. Pols magnètics i geogràfics

Degut a la inclinació de l'eix de rotació de la terra, els pols magnètics i geogràfics no coincideixen en el mateix punt.

Electromagnetisme

a) El corrent elèctric produeix efectes magnètics

El primer a posar de manifest l'efecte magnètic del corrent elèctric fou el físic danès Christian Oersted, de la universitat de Copenhague. Era l'any 1820 i feia un experiment per demostrar l'escalfament d'un fil pel la corrent elèctrica, quan va adonar-se que cada cop que passava el corrent elèctric l'agulla d'una brúixola que tenia per allà a prop girava, tendint a orientar-se perpendicularment al conductor. En canviar el sentit del corrent, l'agulla magnètica també girava en sentit contrari.

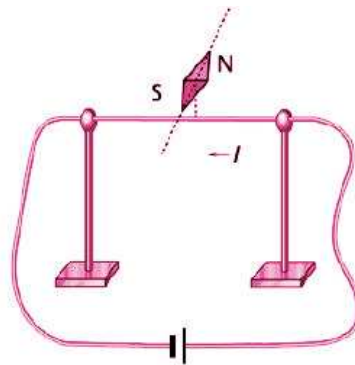


Fig. 18. Experiment d'Oersted

Aquesta experiència posa de manifest que els corrents elèctrics creen, d'igual manera que els imants un camp magnètic.

Si es repeteix aquest experiment amb una espira recorreguda per un corrent continu i una brúixola col·locada al seu centre, es veu com la brúixola s'orienta de tal manera que les línees de força del camp creat per l'espira penetren pel pol sud de la brúixola. Llavors es pot afirmar que l'espira es comporta com un imant i que té un pol sud i un pol nord.

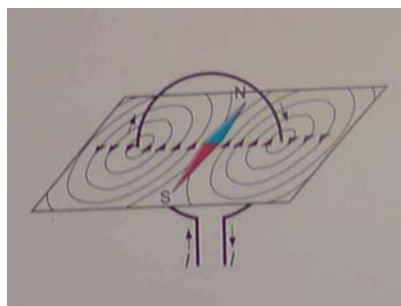


Fig. 19. Camp magnètic d'una espira

Un solenoide és un conjunt d'espores, també anomenat bobina. Les bobines creen camp magnètic quan els extrems es connecten al corrent continu.

El camp magnètic que crea una bobina és el resultat dels camps magnètics creats per cada una de les espores. Llavors, el solenoide es comporta com un imant amb un pol nord i un pol sud.

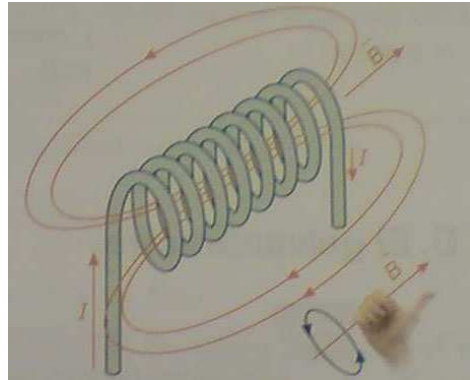


Fig. 20. Camp magnètic d'un solenoide

b) Un camp magnètic produeix un corrent elèctric (Inducció electromagnètica)

Des que Oersted va veure que l'electricitat creava un camp magnètic, molts físics es van preguntar si un camp magnètic podia produir corrent elèctric.

L'any 1830, J. Henry i un any més tard M. Faraday, van comprovar que un conductor proper a un imant produïa corrent sempre que el conductor o l'imant es moguessin un respecte a l'altre.

Aquests dos físics van agafar un solenoide connectat a un galvanòmetre* i l'hi van introduir un imant al seu interior. Si l'imant i el solenoide restaven immòbils, el galvanòmetre marcava que el corrent elèctric era inexistent. En canvi, en treure bruscament l'imant de dins el solenoide, el galvanòmetre marcava l'existència de corrent elèctric en un sentit i, quan mitjançant un moviment ràpid introduïen l'imant dins el solenoide, l'agulla del galvanòmetre marcava que hi havia un corrent elèctric però en sentit contrari.

*Galvanòmetre: Aparell per a mesurar o detectar corrents elèctrics.

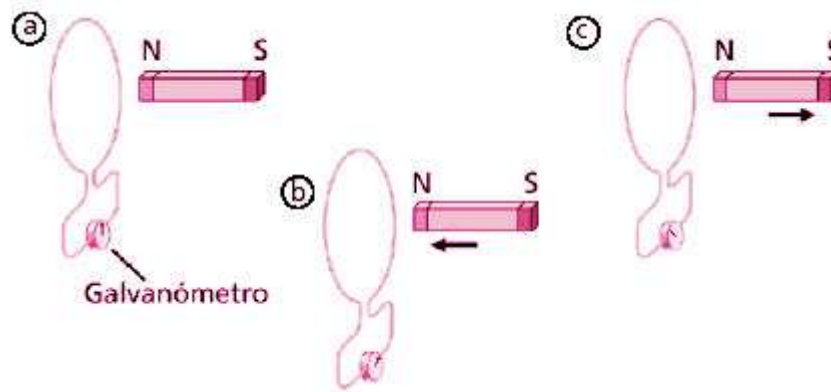


Fig. 21. Experiment de Faraday.

Faraday, apart de fer l'experiment, va veure que si treia o introduïa l'imant amb més o menys rapidesa, la intensitat del corrent era major o menor. Per exemple, si treus l'imant més ràpid, la intensitat que es generarà serà major.

2.3.2 Física del vent

Els aerogeneradors utilitzen l'energia cinètica produïda per un flux d'aire (vent) que travessa el rotor. L'energia cinètica d'aquest vent ve donada per la següent expressió:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

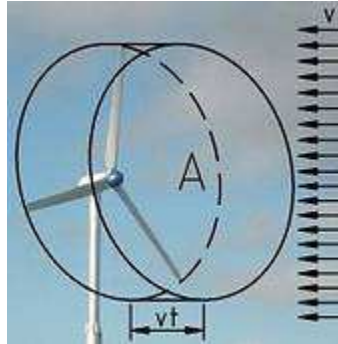


Fig. 22. Volum d'aire que arriba al rotor

La massa és igual al producte de la densitat (ρ) pel volum (V).

$$m = \rho V$$

El volum correspon al d'un cilindre i és igual a l'àrea de la base (A) per l'altura. L'altura és l'espai recorregut pel vent o sigui vt (velocitat per temps).

$$V = Avt$$

Per tant, la massa és:

$$m = \rho Avt$$

Aleshores, la potència eòlica disponible és:

$$P_0 = \frac{E_c}{t} = \frac{1}{t} \frac{1}{2} (\rho Avt) v^2 = \frac{1}{2} \rho Av^3$$

Aquesta és la potència eòlica que arriba al molí, però no la que podem extreure.

Quan una turbina eòlica agafa l'energia cinètica del vent, provoca una disminució de la velocitat d'aquest vent.

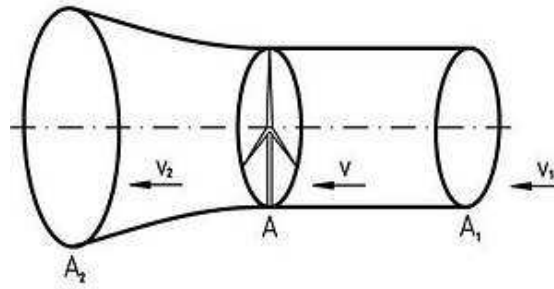


Fig. 23. Rotor dins d'un tub d'aire

Si ens imaginem el molí dins d'un tub de corrent d'aire li podem aplicar l'equació de continuïtat que diu que el cabal Q d'un fluid és constant dins d'un tub. Si el tub s'eixampla disminueix la velocitat del fluid i a l'inrevés.

$$Q = A_1 v_1 = A v = A_2 v_2$$

El canvi de velocitat del vent quan travessa el rotor fa que aquest rotor estigui sotmès a una força que es tradueix en una pèrdua de velocitat.

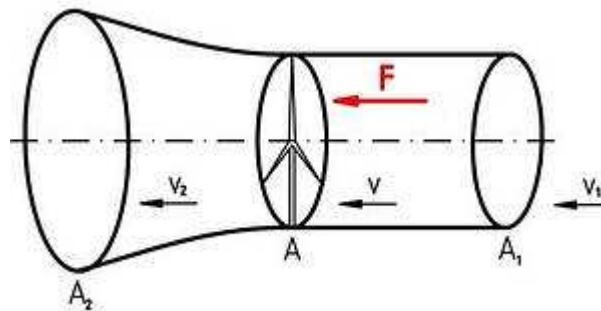


Fig. 24. Força que rep el rotor

La força es pot calcular amb el teorema de l'ímpuls o de la quantitat de moviment per a fluids que diu:

$$F = \rho Q (v_1 - v_2) = \rho A v (v_1 - v_2)$$

La potència absorbida pel rotor (P_a) serà:

$$P_a = Fv = \rho A v^2 (v_1 - v_2)$$

La potència absorbida pel rotor ha de ser igual a l'extreta de l'aire. Així l'energia cinètica perduda pel vent serà:

$$\Delta E_c = E_{c1} - E_{c2}$$

Com que sabem que $\Delta E_c = \frac{1}{2} m(v_1^2 - v_2^2)$ i $m = \rho Avt$ llavors:

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} \rho Avt(v_1^2 - v_2^2)$$

La potència extreta del vent (P_e) serà:

$$P_e = \frac{1}{t} \Delta E_c$$

$$P_e = \frac{1}{2} \rho Av(v_1^2 - v_2^2)$$

Com que la potència absorbida pel rotor (P_a) ha de ser igual a l'extreta de l'aire (P_e)

$$P_a = P_e$$

$$\rho Av^2(v_1 - v_2) = \frac{1}{2} \rho Av(v_1^2 - v_2^2)$$

$$v = \frac{1}{2} (v_1 + v_2)$$

Per tant, la potència que podem obtenir amb una turbina eòlica (P) és:

$$P = P_e$$

$$P = \frac{1}{4} \rho A(v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2)$$

Si relacionem la potència extreta de l'aire (P) amb la potència eòlica disponible (P_o) obtenim la llei de Betz.

$$\frac{P}{P_o} = \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2\right) \left(1 + \frac{v_2}{v_1}\right)$$

La llei de Betz ens serveix per determinar quin tant per cent de potència eòlica disponible pot obtenir un aerogenerador.

$$P \leq 0,59 P_0$$

Per tant, veiem com un aerogenerador tan sols pot aprofitar un 59% de la potència del vent. Aquest valor s'anomena límit de Betz.

A partir de la llei de Betz, podem trobar l'equació que ens dona la potència extreta del vent en funció de la densitat de l'aire, l'àrea escombrada pel rotor i la velocitat del vent:

$$P = C_p \frac{1}{2} \rho A v^3$$

C_p és el coeficient de potència característic de cada aerogenerador i que per la llei de Betz té un màxim teòric de 0,59. C_p varia segons el tipus de molí:

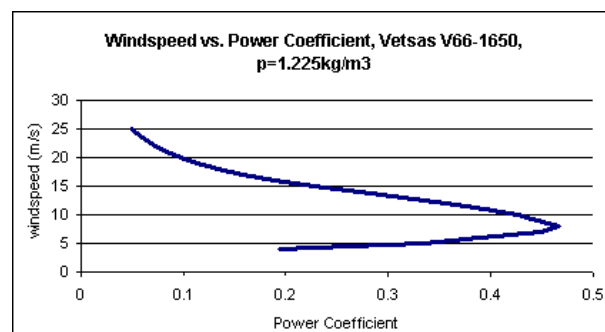
C_p	Tipus de molí
0,5 - 0,4	Bipala i Tripala
0,4 - 0,3	Darrieus i Monopala
0,3 - 0,2	Multipala i Torre
0,2 - 0,1	Savonius i Panèmona

Taula. 3 Coeficients de potència

C_p també varia segons la velocitat del vent i la densitat de l'aire. Per això cada molí té la seva gràfica C_p en funció de la velocitat i a una ρ determinada:



Fig. 25. Aerogenerador vestas



Gràfic 1. Variació de C_p en funció de v en un aerogenerador vestas

2.4 Energia eòlica a Catalunya, Espanya i al món.

2.4.1 Catalunya

Parc eòlic	Comarca	Potència parc (MW)
Les Comes	Terra Alta	3 MW
Serra de Rubió	Anoia	49,5 MW
Collet dels Feixos	Baix Camp	7,92 MW
Mas de la Potra	Baix Camp	2,6 MW
Trucafort	Priorat, Baix Camp	30,85 MW
Baix Ebre	Baix Ebre	4,05 MW
Ecovent	Baix Ebre	48,1 MW
Les Calobres	Baix Ebre	12,75 MW
Les Colladetes	Baix Ebre	36,63 MW
Tortosa	Baix Ebre	29,9 MW
El Motarro	Baix Ebre	2,6 MW
Serra del Tallat	Urgell, C. de Barberà	49,5 MW
Serra de Vilobí	Garrigues	40,5 MW
La Collada	Baix Ebre	3 MW
Les Forques	Conca de Barberà	30 MW
Serra de Rubió II	Anoia	25,5 MW
Montargull	Les Garrigues, C. de Barberà	44 MW

Taula 4. Parcs eòlics a Catalunya i la seva potència

Megawatt: Un milió de watts (unitat internacional de potència elèctrica equivalent a un joule per segon).

Catalunya ocupa el novè lloc en el rànquing de potència instal·lada dins l'estat espanyol. Per davant té comunitats com Castella-La Manxa, Castella-Lleó o Andalusia.

A principis d'any qui tenia més potència instal·lada de tot l'estat espanyol era Castella-La Manxa amb 3.415 MW, Catalunya en tenia 420,44 MW. Actualment a Catalunya hi ha 17 parcs eòlics en funcionament situats a les províncies de Lleida, Tarragona, Barcelona i Girona. A part d'aquests 17 parcs eòlics n'hi ha 52 amb autorització administrativa concedida i 24 en tràmit, pendents de l'autorització administrativa.

A final dels 70 i principi dels anys 80, Catalunya va començar a mostrar interès envers l'energia eòlica. Va ser en aquests anys quan a Barcelona es va fer el primer curs sobre energia eòlica al "Centre de perfeccionament de l'enginyer". A part, es van fer les primeres publicacions referents a l'eòlica i d'entre elles en destaca "L'atlas eòlic de Catalunya". A nivell empresarial es va fundar al 1981 Ecotècnia, una empresa dedicada a dissenyar, fabricar i operar aerogeneradors.

Entre el 1984 i el 1999 es van construir nombrosos parcs a Catalunya. Per aquest fet es pot denominar l'època d'or de l'eòlica Catalana. El 1984, Ecotècnia va instal·lar el primer aerogenerador català a Vilopriu amb una potència de 15 kW. Aquell mateix any, a Garriguelles es va construir el primer parc eòlic que constava de 5 aerogeneradors de 25 kW cadascun. El 1990 es va construir un parc de 520 kW a Roses i uns anys més tard, el 1995, se'n va construir un altre al Baix Ebre amb una potència de 4 MW. El 1999, es van construir el parc eòlic de Trucafort amb 30 MW de potència i el de Colladetes amb 36 MW.

Un altre factor que va ser decisiu a l'hora de crear tots aquests nous parcs va ser el suport del govern. Un clar exemple n'és el pla que van crear anomenat: "Pla director de parcs eòlics" que tenia com a objectius aconseguir els 300 MW de potència instal·lada a l'any 2005 i els 1000 MW l'any 2010.

Tots aquests nous parcs van fer que la potència instal·lada a Catalunya assolís els 72.5 MW al començament del segle XXI.



Gràfic 2. Evolució de la potència instal·lada a Catalunya

A partir de l'any 1999 es comença a paralitzar el creixement de l'energia eòlica a Catalunya. Els principals motius van ser la reunió d'opositors a l'energia eòlica que es va fer a les comarques de Tarragona i les campanyes que es van fer contra els nous projectes. A part d'aquestes campanyes, es va fer el que s'anomena "El mapa eòlic" en el que es delimiten les zones on s'hi pot ubicar un aerogenerador.

2.4.2 Espanya

Espanya ocupa la segona posició del rànquing europeu de potència instal·lada amb 16.740 MW. Per davant té a l'inigualable Alemanya amb una potència de 23.903 MW.

Comunitats com per exemple Galícia o Castella-La Manxa tenen més potència instal·lada que països de la unió europea com poden ser Portugal, Grècia o Suècia. Aquest fet demostra a quin nivell es troba l'energia eòlica a Espanya.

Posició	Comunitat Autònoma	MW
1	Castella-La Manxa	3.415,61
3	Castella i Lleó	3.334,04
2	Galícia	3.145,24
5	Andalusia	1.794,99
4	Aragó	1.749,31
6	Navarra	958,77
7	Com. Valenciana	710,34
8	La Rioja	446,62
9	Catalunya	420,44
10	Astúries	304,30
11	País Basc	152,77
12	Múrcia	152,31
13	Canàries	134,09
14	Cantàbria	17,85
15	Balears	3,65
	Total a Espanya	16.740,32

Taula 5. Distribució per comunitats de la potència instal·lada a Espanya

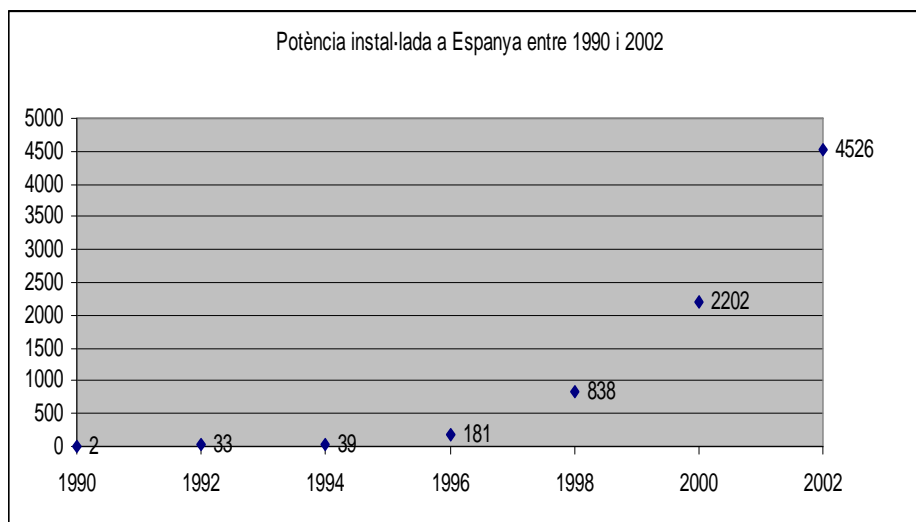
Com podem observar, els MW instal·lats al conjunt de l'estat espanyol estan força mal repartits perquè passen d'extrems com Castella-La Manxa amb 3.400 MW a les Balears amb 3,65 MW de potència instal·lada.

Els espanyols es van començar a interessar en l'energia eòlica durant els anys cinquanta del segle passat. L'any 1955, J.A Barasoain i L. Fontán van publicar un informe anomenat "La energia del viento y su aprovechamiento". Tres

dècades més tard, concretament al 1981, J.L Cardona va publicar el seu estudi anomenat "Energía eòlica y aeroturbinas". Aquest estudi feia referència entre altres coses al vent que hi havia a la península i a quines serien les bones zones per ubicar-hi els aerogeneradors. També va ser al 1981 quan el ministeri d'indústria, comerç i turisme convoca dos concursos per al desenvolupament d'aerogeneradors de baixa potència, d'entre 5 i 10 kW. Així va ser com es va començar a fabricar aerogeneradors a Espanya.

El primer aerogenerador rentable que hi va haver a Espanya va ser el de Vilopriu que es va instal·lar l'any 1984. Abans ja n'hi havia hagut quatre però no han passat a la història perquè no eren rentables, és a dir, no produïen prou electricitat. Per exemple a Tarifa hi va haver un aerogenerador l'any 1978.

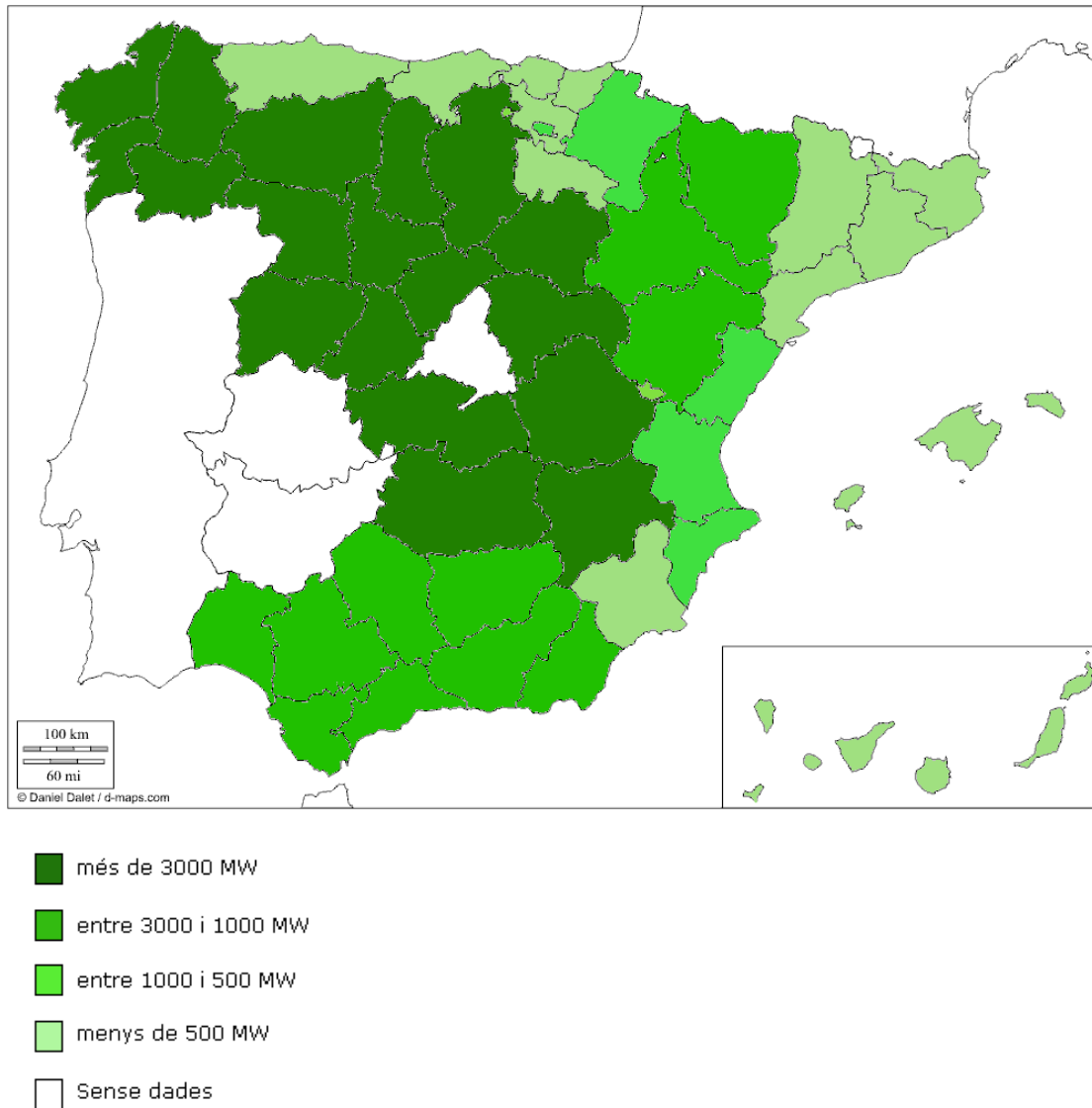
Durant els anys noranta, l'energia eòlica a Espanya es dispara fins que al 2002 la potència instal·lada va ser de 4.526 MW. El creixement va ser espectacular ja que a l'any 1990 hi havia una potència de 2 MW. Aquesta època es pot considerar l'època daurada de l'energia eòlica a Espanya.



Gràfic 3. Evolució de la potència instal·lada a l'estat Espanyol. L'eix horitzontal representa els anys i el vertical la potència en MW.

El gràfic ens mostra el gran creixement de l'energia eòlica a Espanya a finals dels anys noranta.

Actualment hi ha molts parcs en procés de tramitació i també moltes comunitats estan fent els seus plans de futur per augmentar la seva potència instal·lada.

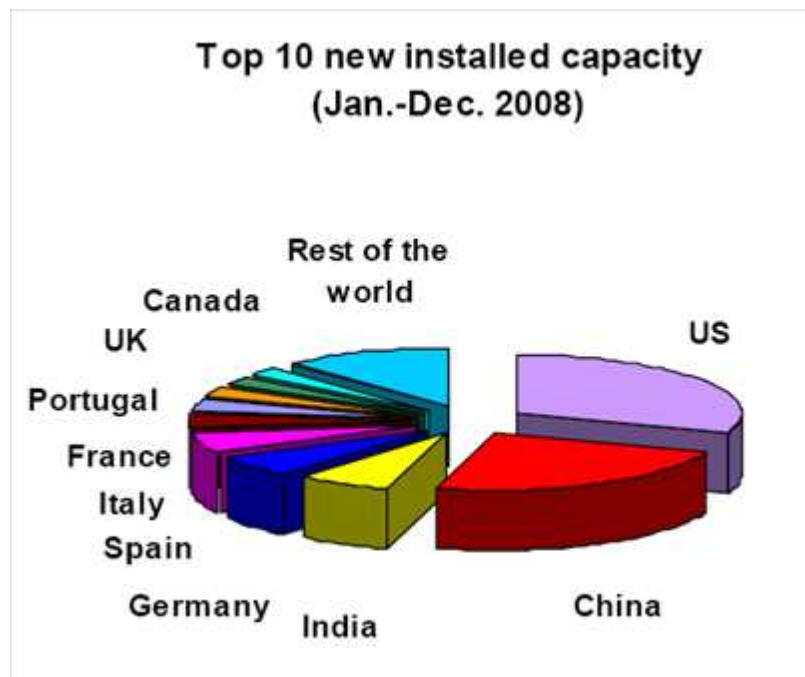


Mapa 1. Distribució de la potència instal·lada per comunitats. La potència està en megawatts (MW).

2.4.3 L'energia eòlica al món

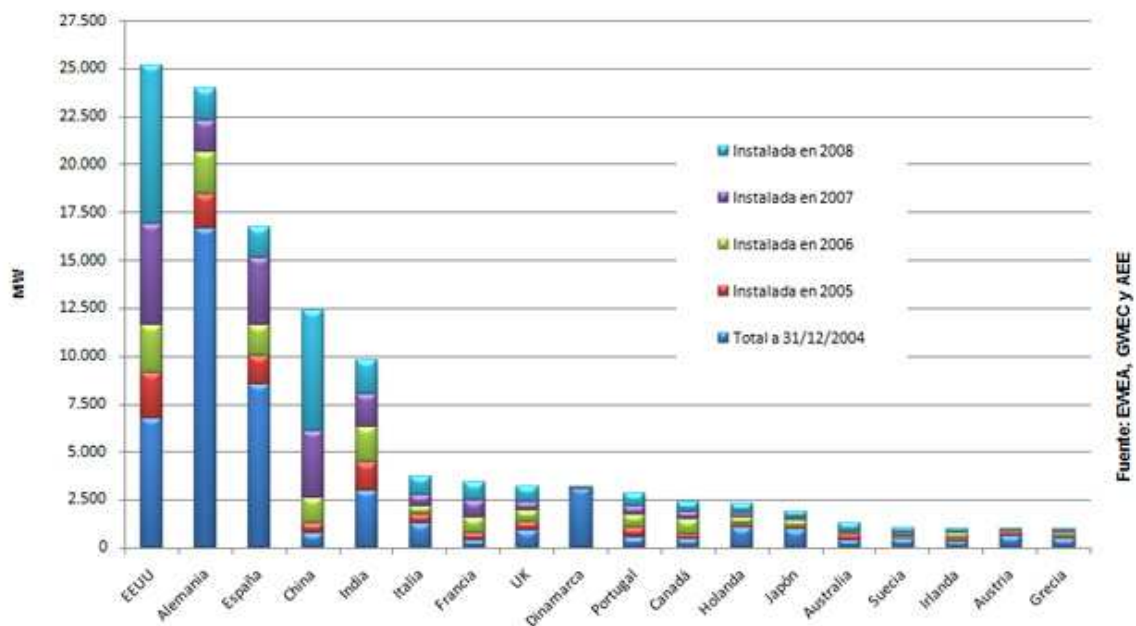
L'energia eòlica va assolir el 2008 una xifra de 121.188 MW. Aquesta excel·lent xifra corrobora el gran creixement que ha patit aquest sector des del 2005. L'energia eòlica, no tan sols augmenta de potència instal·lada si no que durant el 2008 va crear 440.000 llocs de treball nous.

Pel que fa al mercat, l'energia eòlica va moure 40 bilions d'euros durant aquest mateix any.



Gràfic 4. Potència instal·lada al llarg de l'any 2008

Podem veure com el país que està experimentant un major creixement és els Estats Units d'Amèrica seguit de Xina. Això no vol dir que necessàriament siguin els països amb més potència instal·lada.



Gràfic 5. L'energia eòlica al món

Estats Units és el país amb més potència instal·lada, uns 25.000 MW. El persegueixen Alemanya amb una potència instal·lada inferior a 25.000 MW i Espanya amb uns 16.000 MW.

La gran expansió de l'energia eòlica arreu del món la trobem als anys 80. Durant aquella dècada, van aparèixer nombroses associacions com Greenpeace o Adena que van veure com el futur de l'energia elèctrica passava per força per les energies renovables.

Aquesta preocupació va seguir des d'ençà. Als anys noranta, molts països van adoptar mesures directes per treballar directament amb energies renovables. En el cas d'Espanya, el 1997 es va fer la llei del sector elèctric que tenia com a fi incentivar aquest tipus d'energies.

El temor a l'esgotament del petroli i els seus efectes contaminants sobre el medi van ser les principals causes de l'augment de les energies renovables i entre elles de l'eòlica.

De tota manera, actualment hi ha un cert recel per la instal·lació de nous parcs eòlics, perquè hi ha certs col·lectius que hi estan en contra.




Gràfic 6. Evolució de la potència instal·lada acumulada a nivell mundial

3.1 Construcció d’un aerogenerador senzill

3.1.1 Objectius


- Construir un aerogenerador senzill amb material accessible.
- Obtenir electricitat amb aquest aerogenerador.




3.1.2 Materials

Material	Descripció i mides	Foto
Barra de fusta	Secció quadrada de 40 mm de costat i 500 mm d’altura amb rodaments incrustats de 8 mm de diàmetre interior , 22 mm de diàmetre exterior i 8 mm de gruix.	
Planxa de fusta contraxapada	Forma quadrada de 160 mm de costat i 12 mm de gruix.	
Disc de ferro	2 mm de gruix i 120 mm de diàmetre.	

<p>8 imants de Neodimi</p>	<p>Imants circulars de 20 mm de diàmetre i 5 mm de gruix.</p>	
<p>8 nuclis circulars de pvc</p>	<p>La rodona interior és de 6 mm de diàmetre, el diàmetre de la gran és de 40 mm i el gruix total és de 17 mm.</p>	
<p>Vareta roscada</p>	<p>De mètrica 8 mm i 140 mm de llargada.</p>	
<p>Separador d’alumini</p>	<p>De 37 mm de longitud i 15 mm de diàmetre amb un forat central de 8 mm de diàmetre.</p>	
<p>Cargols de fre</p>	<p>Han de ser de mètrica 8 mm.</p>	
<p>Mànec de fusta</p>	<p>Amb una vareta roscada de mètrica 6 mm a un extrem.</p>	

“L’energia eòlica i els aerogeneradors”

<p>Base de fusta</p>	<p>De 150x175x30 mm.</p>	
<p>Carret de cable de coure</p>	<p>Cable de coure esmaltat de 0.9 mm de diàmetre i longitud 150 m.</p>	
<p>Bombeta i portabombeta</p>	<p>De 3.7 volts.</p>	
<p>Trepant</p>	<p>De 400 w de potència</p>	
<p>Llima i paper de llima</p>	<p>La llima circular.</p>	
<p>Broca</p>	<p>Del número 4 i especial per a fusta.</p>	

Soldadora d’estany		
Pegament Tangit	Especial per a pvc.	
Pegament Pattex	Especial per fusta	

Taula 6. Material utilitzat

3.1.3 Procediment

Preparació del disc de ferro

El primer pas necessari per a la confecció de la maqueta va ser la preparació del disc de ferro. Aquest disc amb els imants adherits serà una de les parts mòbils de l’aerogenerador que crearà el camp magnètic que les bobines aprofitaran per fer electricitat.

a) Dibuix sobre el disc de ferro

Els imants s’han de posar a un lloc determinat sobre el disc. El primer pas va ser dividir el disc en quatre parts iguals i després dividir aquestes quatre parts per la meitat amb la finalitat d’aconseguir vuit parts iguals.

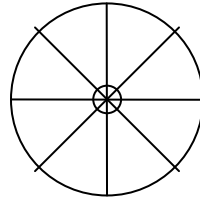


Fig. 26. Dibuix sobre el disc de ferro

A sobre de cada una d'aquestes línies i aproximadament a l'extrem es situaran els imants.

b) Col·locació dels imans

Tal com he dit abans els imants han d'anar a l'extrem de cada línia però amb la peculiaritat que s'han d'adherir al ferro alternant les polaritats, és a dir, si comencem amb el primer enganxant-lo pel pol positiu, el pròxim ha d'estar enganxat pel negatiu.

Per a poder-los adherir vaig seguir un mètode que es basava en col·locar el primer imant independentment que fos positiu o negatiu. Després acostava un altre imant al primer enganxat i mirava si s'atreien o es repel·lien. Així sabia com col·locar el segon imant. L'últim dels imants en canvi s'havia de repel·lir amb els dos del seu costat.



Fig. 27. Imants col·locats al disc de ferro

Preparació de la planxa de fusta contraxapada

La planxa de fusta contraxapada és la base on s’hi enganxaran les bobines. Dins de l’aerogenerador és una part que restarà immòbil ja que la peça que gira és el disc de ferro amb els imants.

El procés que vaig seguir per a preparar la planxa va ser molt semblant a la del disc de ferro ja que també s’havia de dividir en vuit parts iguals.

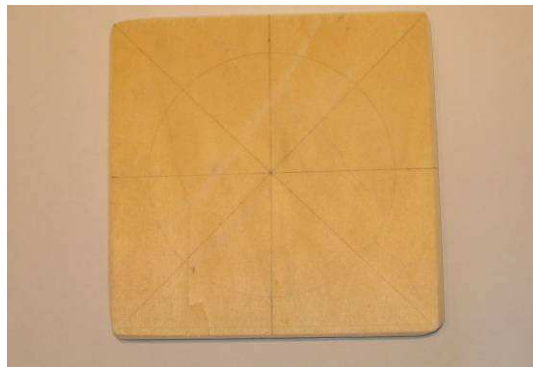


Fig. 28. Dibuix sobre la planxa

El que també vaig fer per saber la posició correcta de les bobines va ser posar el disc de ferro al centre de la planxa i dibuixar el seu contorn així em podia fer una idea d’on anaven els imants. Al saber on estaven els imants, sabia on havien d’estar les bobines perquè han d’estar a sobre els imants. Per tant, vaig col·locar les bobines al seu lloc i vaig marcar el seu centre per quan les hagués d’enganxar.

a) Forat del centre de la planxa

Apart de marcar els centres de les bobines a la planxa el que vaig haver de fer va ser fer un forat de 16mm de diàmetre concèntric amb la circumferència del contorn del disc de ferro per on hi passarà l’eix central de l’aerogenerador.



Fig. 29. Fent el forat de la planxa

Per fer el forat vaig fer servir una broca del 4 i una llima per acabar d’aconseguir el diàmetre desitjat.

Preparació de les bobines que s’enganxaran sobre la fusta contraxapada

La preparació de les bobines ha estat uns dels passos que m’han comportat més temps. La principal raó és perquè no tenia totes les eines necessàries a casa i per exemple vaig haver d’anar a un taller perquè em deixessin la soldadora d’estany. Una altra raó es perquè el pegament que vaig utilitzar necessitava un parell de dies per assecar-se i aconseguir la seva major eficàcia.

a) Bobinar les bobines amb el cable de coure esmaltat

El primer que vaig fer va ser amb l’ajuda del mànec de fusta bobinar les bobines. El mànec que tenia una vareta roscada al seu extrem em va ser de gran utilitat ja que mantenia el nucli de la bobina immòbil amb l’ajut d’un cargol.

El cable de coure s’havia de posar de manera que no es sobreposés una volta sobre l’altra. O sigui fent una espiral amb cada volta tocant a la següent. Aquest procediment s’anava repetint fins a tenir tota la bobina plena.

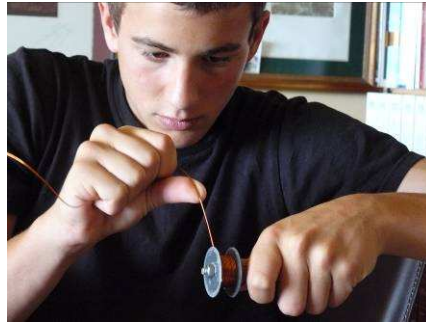


Fig. 30. Bobinant una de les bobines

Mentre bobinava, havia de mantenir l’inici del cable aguantat amb la mà esquerra. Aquest seria el cable interior. L’extrem lliure que em quedava al acabar de bobinar seria el cable exterior.

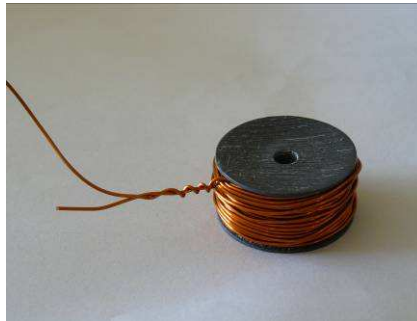


Fig. 31. Bobina acabada

El temps aproximat per a cada bobina era d’un quart d’hora perquè a vegades havia de desfer les parts que t’havien quedat malament.

b) Pelar els cables per després connectar-los

El següent pas després de bobinar cada una de les vuit bobines, va ser pelar tots els extrems del cable de coure que s’havien de connectar. Aquest cable té una coberta d’esmalt perquè es pugui manipular sense enrampar-te, però com que havia de connectar els cables, havia de treure aquest aïllant.

Per fer-ho vaig provar varies maneres. Primer vaig agafar cable que em sobrava i el que vaig fer es pelar-lo amb foc. Era un mètode que no comportava gaire temps ni esforç però em va fer por que el coure quedés malmès.

Llavors va ser quan vaig decidir no jugar-me-la i seguir el mètode tradicional que consistia en agafar unes estisores i anar rasant. Un altre problema que vaig tenir a l’hora de pelar els cables era que no sabia ben bé fins a on havia de pelar. Això em va comportar connectar les bobines unes amb les altres a sobre la fusta per anar fent proves.

c) Connexió de les bobines un cop enganxades

Amb tots els cables pelats i sabent on havia d’anar cada bobina, les vaig enganxar fent servir un pegament específic per a pvc anomenat Tangit. Va ser fàcil perquè ja tenia marcats els centres d’on anava cada bobina. Quan totes van haver estat enganxades, vaig haver de deixar-les durant 24 hores a sota unes enciclopèdies perquè s’assequés el pegament.

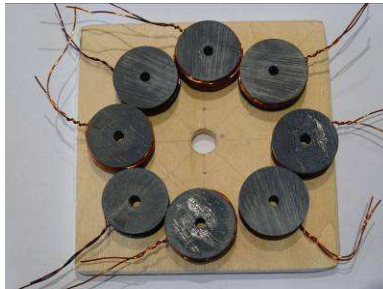


Fig. 31. Bobines enganxades a la fusta però no connectades

Un dia després, vaig connectar els extrems de les bobines tal i com ho havia fet durant la prova. Per connectar-les es segueix un procediment específic que és el següent: els extrems han d’anar connectats interiors amb interiors i exteriors amb exteriors de tal manera que a les últimes dues bobines els sobren dos extrems exteriors lliures que seran els que es connectaran a la bombeta.



Fig. 32. Bobines enganxades i connectades entre elles

d) Soldar amb estany les connexions de les bobines perquè quedin fixes

Un cop vaig tenir tots els extrems de les bobines connectats vaig anar al taller d’un amic per veure si allà podria soldar les connexions i ell em va deixar tot el material necessari per fer-ho.

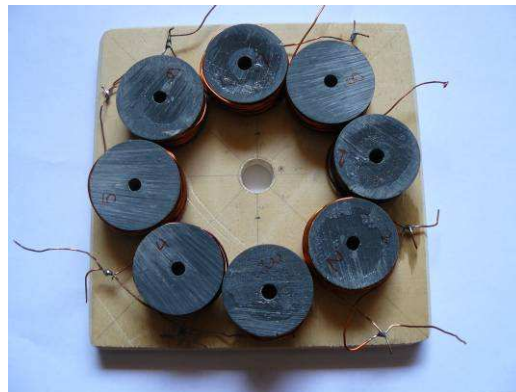


Fig. 33. Bobines enganxades, connectades i soldades

Amb l’estany, les connexions assoleixen molta més resistència i es una bona manera d’assegurar-me que no es desfaran.

Comprovar si produeix electricitat abans de muntar l’eix de gir

Abans de continuar amb el procés de muntatge, vaig decidir que el millor seria comprovar si ja podia generar electricitat amb tot el que tenia fet. Teòricament era possible ja que tenia els imants, les bobines connectades i tenia la bombeta.

El que vaig fer va ser en comptes de fer girar el disc de ferro amb els imants amb la força del vent, ho vaig fer amb la mà.

Amb l’ajut de la meva mare vaig muntar tot l’eix de gir de tal manera que els imants amb el disc podien girar i coincidien amb els centres de les bobines. A més a més, la fusta contraxapada amb les bobines quedaven fixes i connectades a una bombeta mitjançant els dos cables exteriors que sobraven de les dues últimes bobines.



Fig.

Fig. 34. Llum obtinguda abans de muntar les pales

Preparació de les pales

Per fer les pales vaig necessitar tres llistons de fusta de 250x40x10 mm que posteriorment vaig modificar per aconseguir la forma aerodinàmica correcta per captar el vent.



Fig. 35. Fusta de les pales

El primer que havia de fer era donar forma de triangle a tot un costat del llistó menys a la part que serviria per subjectar la pala amb el seu suport que era d’uns 25 mm.

Primerament ho vaig intentar amb una llima circular i amb paper de vidre però al poc temps vaig adonar-me que seguint aquell mètode no aniria a parar enlloc ja que podia estar molt de temps llimant i que mai li donaria la forma exacte. Llavors va ser quan el meu tiet em va aconsellar que anés a un fuster perquè ell m’hi podria donar la forma exacta amb l’ajut d’una màquina.



Fig. 36. Forma descendent de les pales

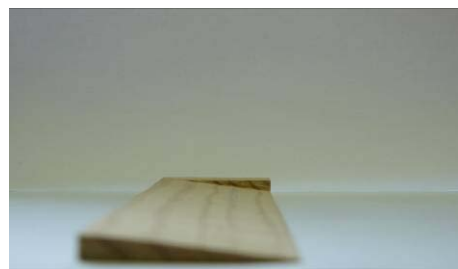


Fig. 37. Forma descendent de les pales

Quan vaig tenir les tres peces amb un costat en forma de triangle, el següent pas era eliminar l’angle recte de la cara posterior del llistó. Com que li havia de donar una forma més o menys arrodonida ho vaig poder fer amb paper de vidre i sense gaire complicacions.

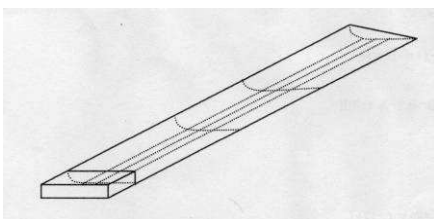


Fig. 38. Arrodoniment del costat inferior



Fig. 39. Arrodonint el costat inferior

Després d’haver eliminat l’angle recte, l’últim que em quedava per fer era arrodonir la punta. Aquest procediment també el vaig fer amb paper de vidre però em va costar una mica més que eliminar l’angle recte.

Primer de tot vaig marcar amb un llapis la forma provisional i després amb el paper de llima vaig donar-li la forma desitjada.



Fig. 30. Acabat de les pales

Preparació dels dos discs de suport de les pales.

Els dos discs de suport són dos trossos de fusta circulars de 70 mm de diàmetre que tenen un petit forat al centre de 8 mm de diàmetre.

Com que les pales han d’anar enganxades als dos discs i necessitava saber el tros exacte que cada pala tindria per enganxar-se, vaig fer un triangle equilàter amb el mateix centre que el del disc. La mesura del costat del triangle era la mesura d’amplada de la pala, és a dir, 4 cm.

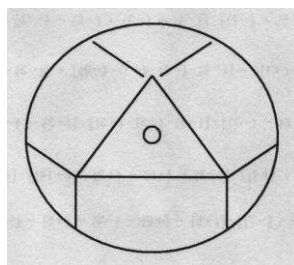


Fig.

Fig. 31. Esquema de col·locació de les pales

Enganxar les pales als seus discs de suport

Per aconseguir fixar les pales als discs, vaig anar a comprar el pegament més resistent que actués sobre fusta.

El procediment va ser molt senzill, enganxar cada pala pel costat no llimat als rectangles que havia dibuixat. Un cop vaig tenir les 3 pales enganxades amb el primer disc, vaig enganxar el segon disc procurant que els centres quedessin alineats.

Per acabar, vaig posar unes quantes enciclopèdies al damunt per assegurar-me que estaria sota pressió i ho vaig deixar durant unes hores.

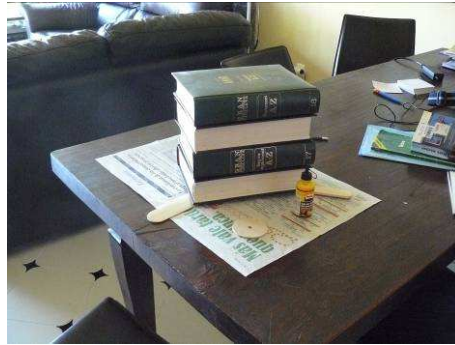


Fig. 32. Enganxant les pales

Muntatge de l’eix de gir

El muntatge de l’eix de gir és el procediment final per acabar l’aerogenerador. El primer que vaig haver de fer va ser posar un cargol de fre a uns 9 cm de la vareta roscada.. Aquests cargols s’han de posar amb unes alicates perquè tal com diu el seu nom és de fre i un cop el poses es manté immòbil.



Fig. 33. Eix de gir sense muntar

“L’energia eòlica i els aerogeneradors”

Vaig agafar la torre de l’aerogenerador que encara no estava fixa a la base i vaig introduir la vareta roscada per la part dels 9 cm a través dels rodaments que té la barra de fusta incrustats. Un cop vaig tenir la vareta travessada, vaig agafar la fusta contraxapada amb les bobines i la vaig situar a la part de la vareta que no tenia el cargol de fre. Després, vaig clavar la fusta contraxapada amb les bobines a la torre amb dos claus de fusta.

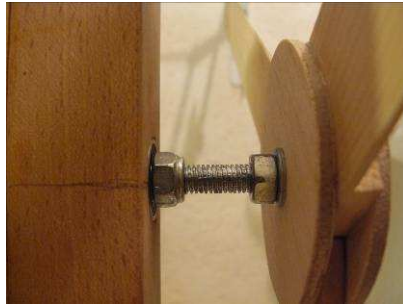


Fig. 34. Primer pla de l’eix de gir

Després, vaig col·locar el disc separador d’alumini a sobre de les bobines i a sobre d’aquest disc d’alumini vaig col·locar el disc de ferro amb els imants que finalment vaig cargolar per la punta amb un altre cargol de fre. Ara ja tenia la part fixa que són les bobines i la part mòbil que és el disc de ferro amb els imants.



Fig. 35. Acabant d’ajustar l’eix de gir

Per acabar l’aerogenerador, només em quedava muntar les pales. Les pales van situades a l’altra banda de les bobines i els imants, és a dir a la banda de la vareta roscada que hi ha el cargol de fre. El que vaig fer va ser posar un cargol a la vareta que faria de tope de les pales i després les vaig posar.

Per altra banda, vaig introduir un altre cargol a la vareta, aquest cop amb les pales ja posades per fer el segon tope. Perquè els cargols no toquessin directament amb els discs de fusta de les pales, hi vaig posar un petit separador de ferro.

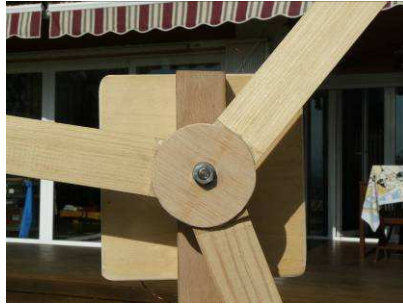


Fig. 36. Eix de gir acabat

Afegir cables a la sortida de la corrent

Un cop vaig tenir tot l’aerogenerador muntat, vaig afegir uns cables conductors a les sortides de les bobines que anessin d’aquestes fins a la base. Així quan connectava la bombeta o el voltímetre no em quedava penjant a l’aire si no que estava subjectat a la base.

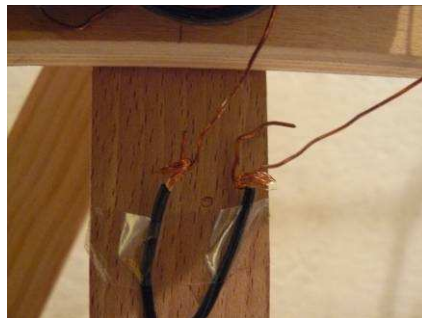


Fig. 37. Cables a la sortida de corrent

Per fer-ho vaig utilitzar un cable conductor normal amb aïllant al seu voltant. Vaig connectar el cable a les sortides i el vaig fer baixar a la base arrambat a la torre de l’aerogenerador.

3.1.4 Resultat



Fig. 38. Aerogenerador acabat

Com es pot veure en la fotografia, vaig aconseguir muntar les pales de l’aerogenerador i l’eix de gir i aconseguir que em funcionés.

3.2 Prototip del meu aerogenerador

3.2.1 Esbós a mà alçada

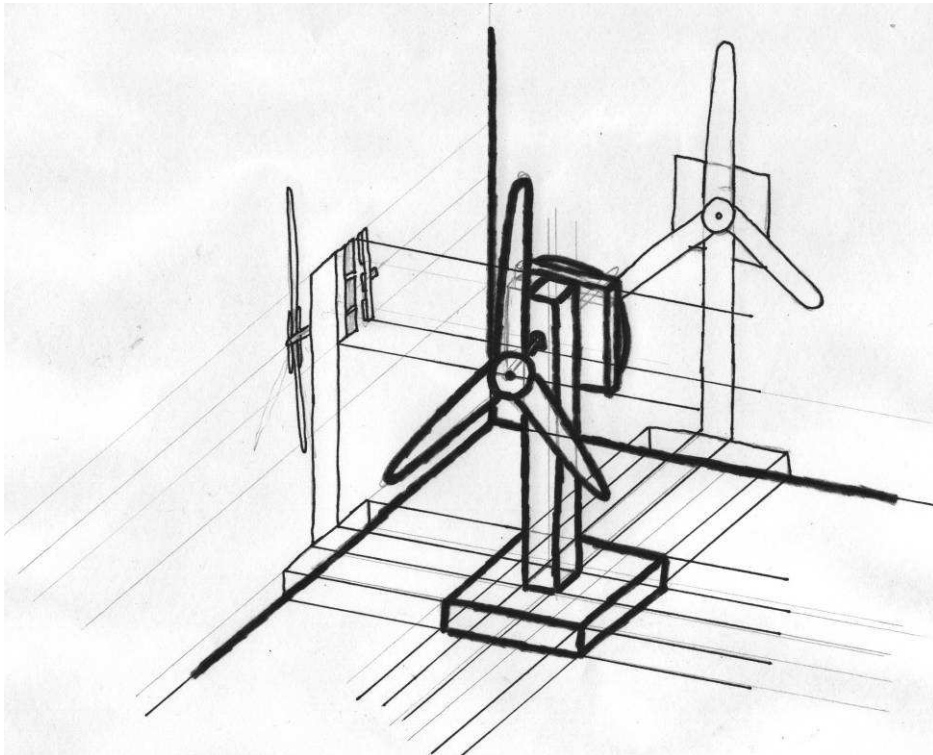


Fig. 50. Esbós a mà alçada

3.2.2 Croquis acotat

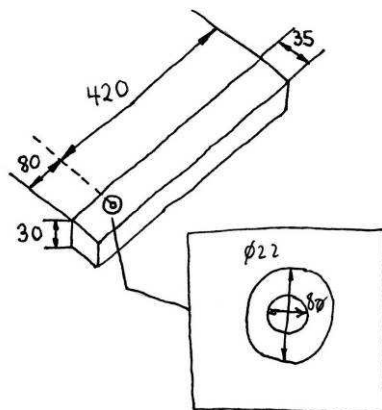


Fig. 51. Barra de fusta de secció quadrada

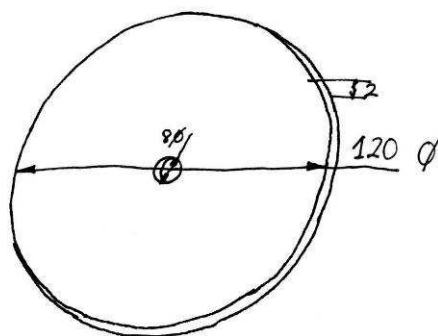


Fig. 52. Disc de ferro

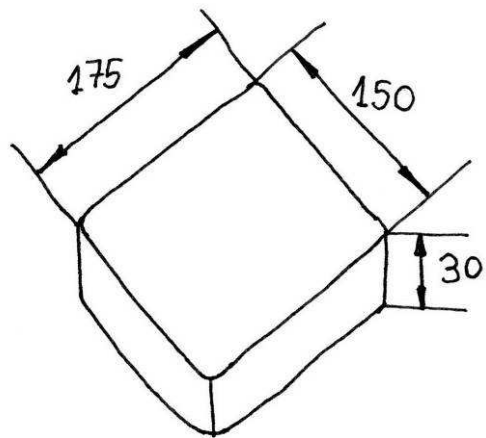


Fig. 53. Base de fusta

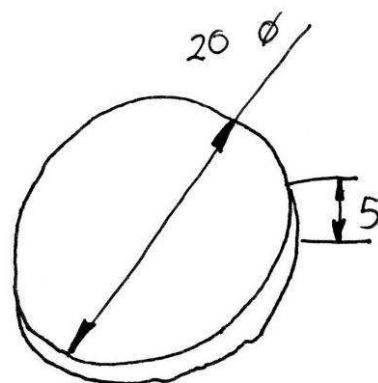


Fig. 54. Imant circular de neodimi

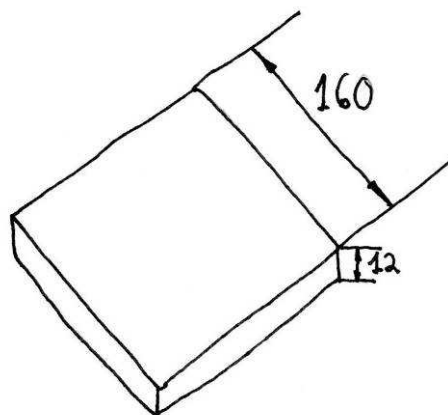


Fig. 55. Planxa de fusta contraxapada

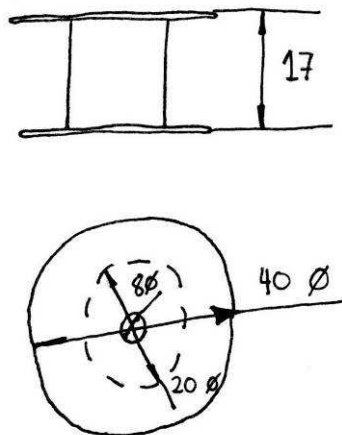


Fig. 56. Nucli circular de pvc

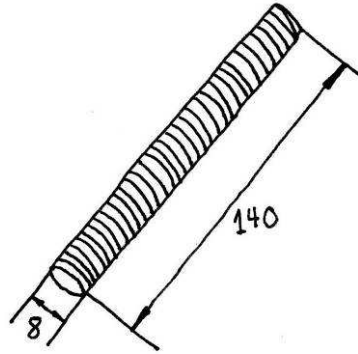


Fig. 57. Vareta roscada

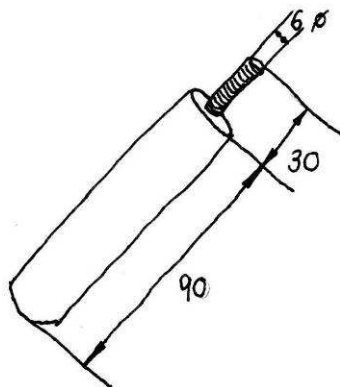


Fig. 58. Màneg de fusta amb vareta roscada

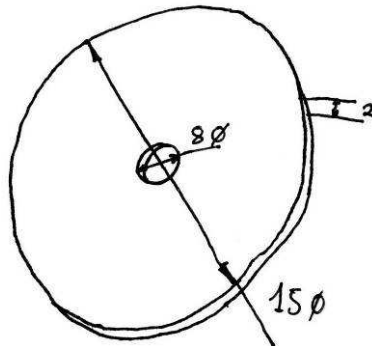


Fig. 59. Separador d'alumini amb forat central

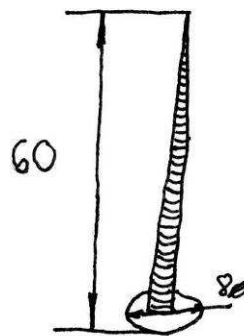


Fig. 60. Claus de fusta llargs

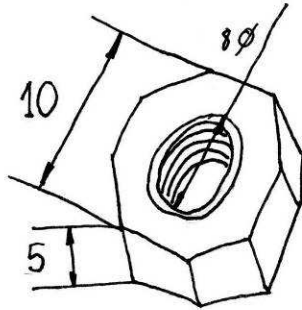


Fig. 61. Cargols de fre

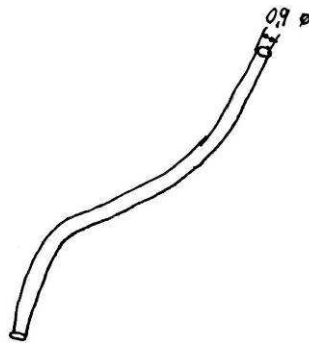


Fig. 62. Fil de coure esmaltat

3.2.3 Dibuix a escala

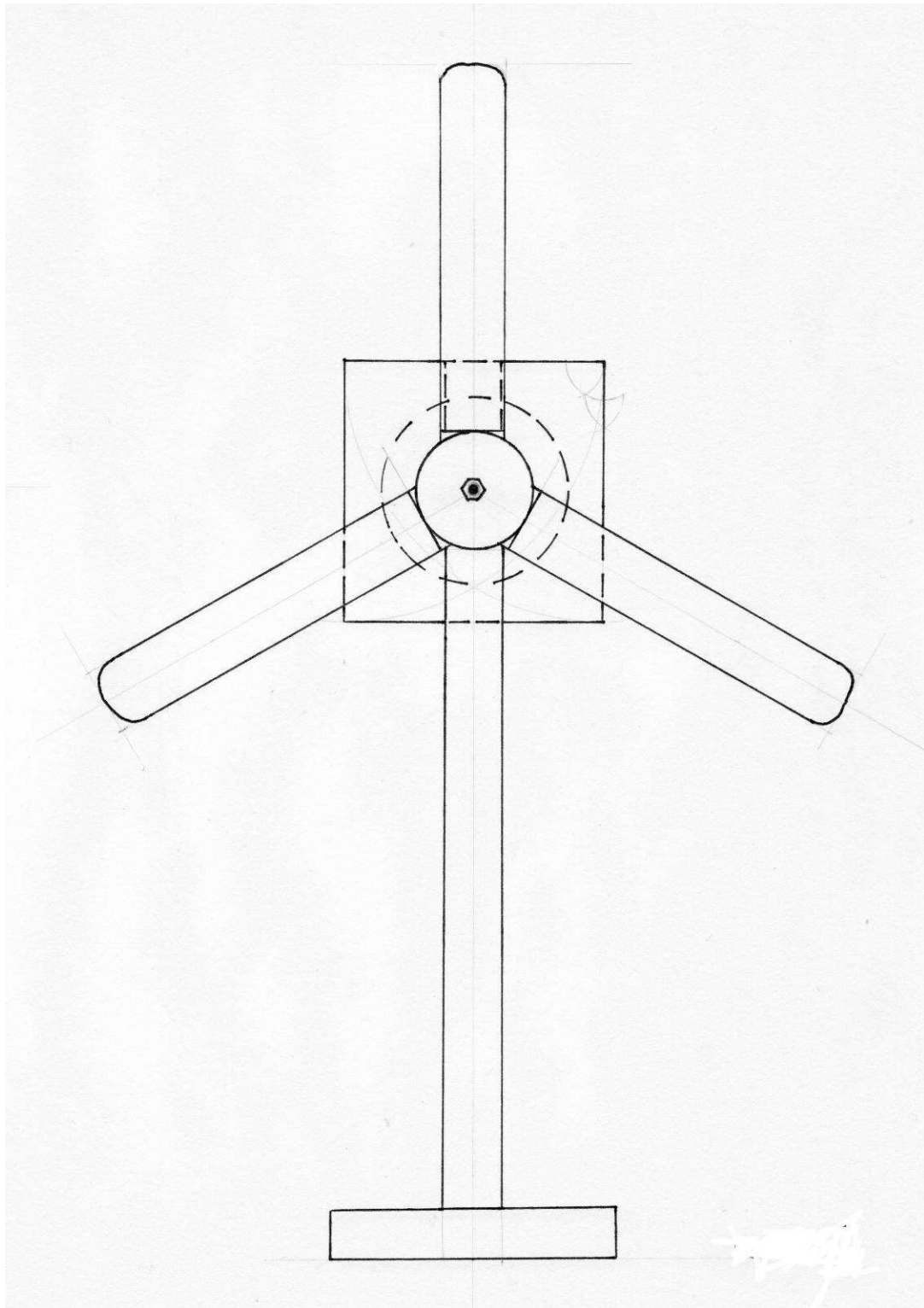


Fig. 63. Alçat (escala 1:4)

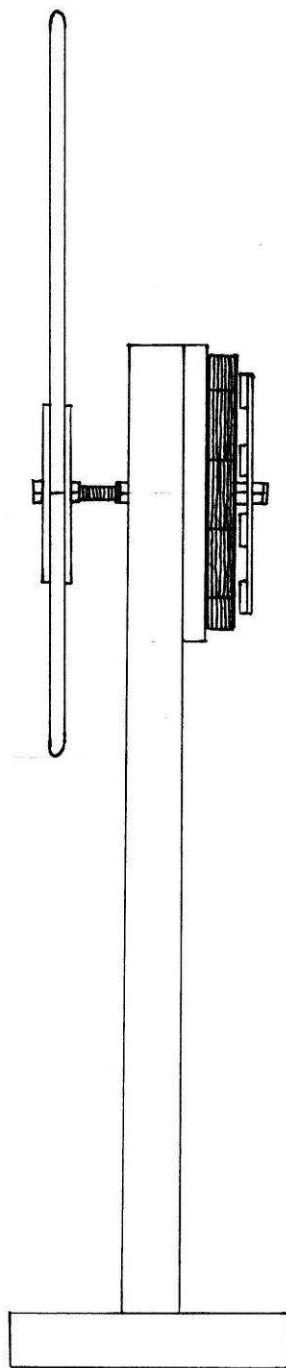


Fig. 64. Perfil (escala 1:4)

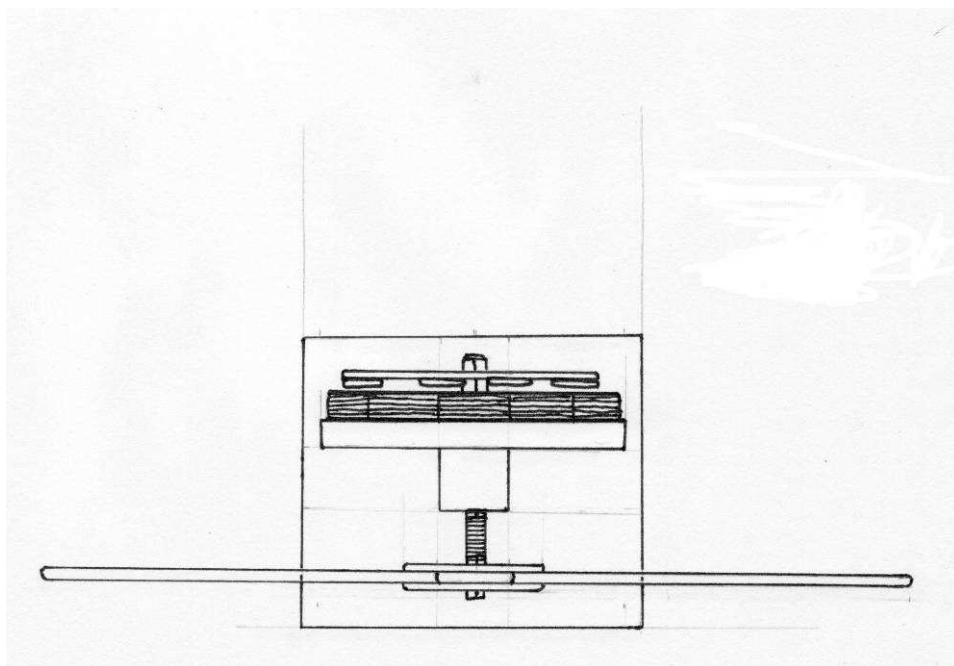


Fig. 65. Planta (escala 1:4)

3.3 Estudi del voltatge al meu aerogenerador.

3.3.1 Introducció

Lloret de Mar és una vila en la que no hi bufa gaire vent. Aquest factor em va fer pensar en algun altre mètode per fer un estudi del voltatge que podia produir el meu aerogenerador al aplicar-hi diferents velocitats de vent.

Amb l'ajut del meu pare i la meva mare, varem agafar el cotxe que té una finestra al sostre i mentre el meu pare conduïa, jo sostenia el meu aerogenerador fora del cotxe a través de la finestra superior i aquest podia agafar tot el vent produït pel moviment del cotxe. Vam necessitar també un voltímetre que vaig obtenir de l'aula de tecnologia de l'escola.



Fig. 66. Fent l'experiment

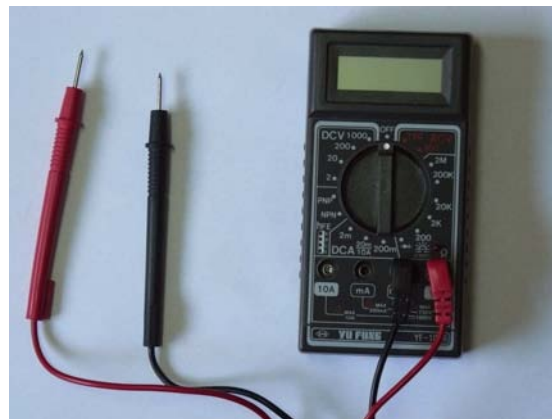


Fig. 67. Voltímetre

Vam anar a buscar una recta asfaltada en la que poguéssim fer l'experiment sense que ningú ens molestés. Després d'estar voltant una bona estona i de passar per exemple per la recta del vilar de Blanes, vam decidir que la millor zona per a realitzar l'experiment era la recta del Condado del Jaruco, una urbanització situada als afores de Lloret.

Vam escollir un dia que no feia gens de vent. Així el vent que feia moure les aspes era produït pel moviment del cotxe. Per tant, la velocitat del vent corresponia a la velocitat del cotxe.

Vam fixar unes velocitats per poder estudiar els voltatges. Aquestes eren en km/h: 5, 10, 15, 20, 25 i 30. Quan assolíem aquestes velocitats, el meu pare, que era qui conduïa el cotxe, ens ho deia i la meva mare, que tenia el voltímetre a les mans, anotava els resultats que marcava.



Fig. 68. Mesura d'un voltatge

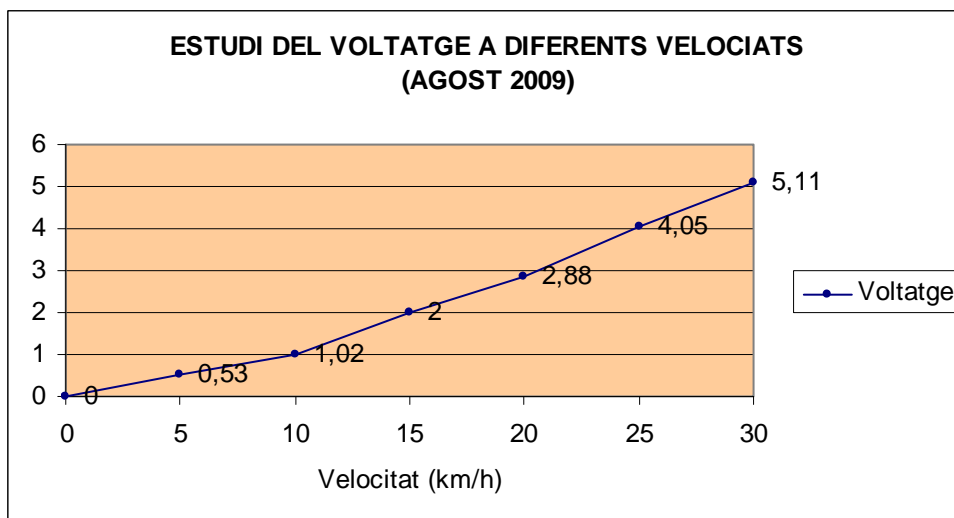
El procediment el vam repetir 6 cops i els resultats obtinguts els vaig recollir en una taula.

3.3.2 Taula dels resultats obtinguts (Agost)

Velocitat (km/h)	Voltatge (V)						Mitja
0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.5	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.53
10	0.9	0.8	1.1	1	1.1	1.2	1.02
15	2.1	1.7	2.2	1.9	2	2.1	2
20	2.3	3	3.1	2.7	3.2	3	2.88
25	3.5	3.9	4.5	4.1	3.8	4.2	4.05
30	5.4	5.2	4.8	4.9	5.1	5.3	5.11

Taula 7. Voltatge al mes d'agost

3.3.3 Gràfics i comentari



Gràfic 7. Estudi del voltatge al mes d'agost

Com podem apreciar, quan el cotxe estava parat, l'aerogenerador no girava. Així es demostra que el dia de l'experiment no hi havia vent exterior o si n'hi havia era pràcticament nul.

Els 5 km/h era la velocitat mínima perquè el meu aerogenerador comencés a girar.

A partir dels 10 km/h l'aerogenerador començava a girar amb molta comoditat fins que al arribar als 30 km/h em feia una mica de por ja que s'accelerava massa i no volia que se'm desmuntés.

Després d'haver pres el voltatge al mes d'agost, vaig repetir l'experiment a l'octubre quan l'aire era més fred. El motiu era veure si el meu aerogenerador produïa més voltatge quan l'aire estava a menys temperatura. La teoria diu que l'aire fred té més densitat. Aquest augment de densitat, en principi, hauria de provocar un augment del voltatge.

Per raonar que l'aire té més densitat a temperatures baixes, he fet servir l'equació dels gasos ideals que ens diu: $P V = n R T$. En aquesta equació, P correspon a la pressió en atmosferes, V el volum en litres, n al nombre de mols de gas, R és una constant i T és la temperatura en graus kelvin.

Sabem que n és la massa del gas en grams dividit pel seu pes molecular.

$$n = \frac{m}{PM}$$

Ara, hem de passar el pes molecular (PM) que divideix a la massa a multiplicar a la pressió i al volum. De tal manera que ens queda la següent equació.

$$P \cdot V \cdot PM = m R T$$

Per obtenir la densitat, només ens queda passar el volum que multiplica a la pressió i al pes molecular a dividir a la massa del gas perquè sabem que la densitat és massa entre volum.

$$P \cdot PM = \frac{m}{V} \cdot R \cdot T$$

Com a últim pas aïllem la densitat per obtenir l'equació final.

$$\rho = \frac{P \cdot PM}{R \cdot T}$$

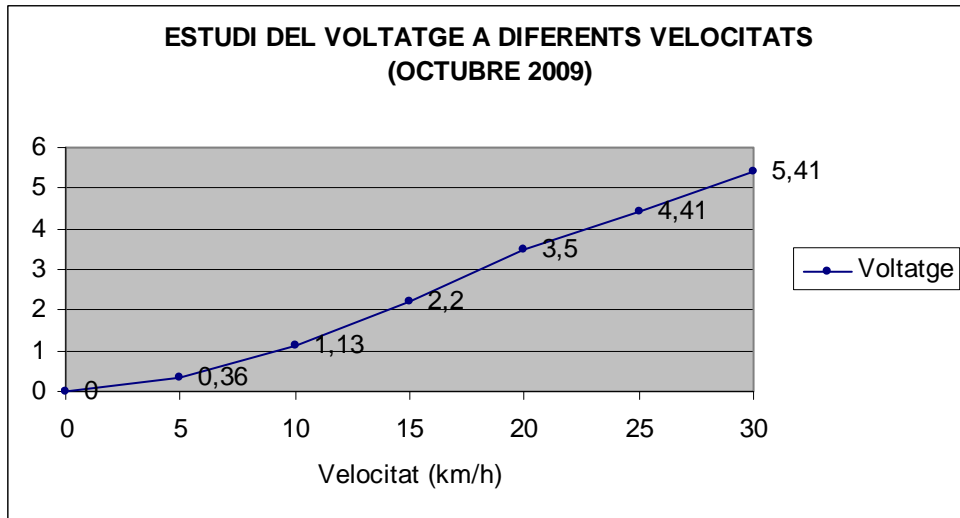
Com que la pressió, el pes molecular de l'aire i la constant de l'aire és igual a l'estiu que a l'hivern, podem dir que depèn de la temperatura. Si la temperatura és més alta (estiu) el divisor serà un nombre més gran i, per tant, la densitat serà més petita. En canvi, si la temperatura és més baixa (tardor) el divisor serà més petit i el resultat de la densitat més gran.

3.3.4 Taula dels resultats obtinguts (Octubre)

Velocitat (km/h)	Voltatge (V)						Mitja
0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.3	0.2	0.4	0.5	0.4	0.4	0.36
10	0.8	1.2	1.6	1.1	0.9	1.2	1.13
15	2.3	2.1	2.2	2.4	1.9	2.3	2.2
20	3.7	3.8	3.4	3.9	2.9	3.3	3.5
25	4.5	4.9	4.1	4.5	3.8	4.7	4.41
30	5.4	5.8	5.2	5.5	4.9	5.7	5.41

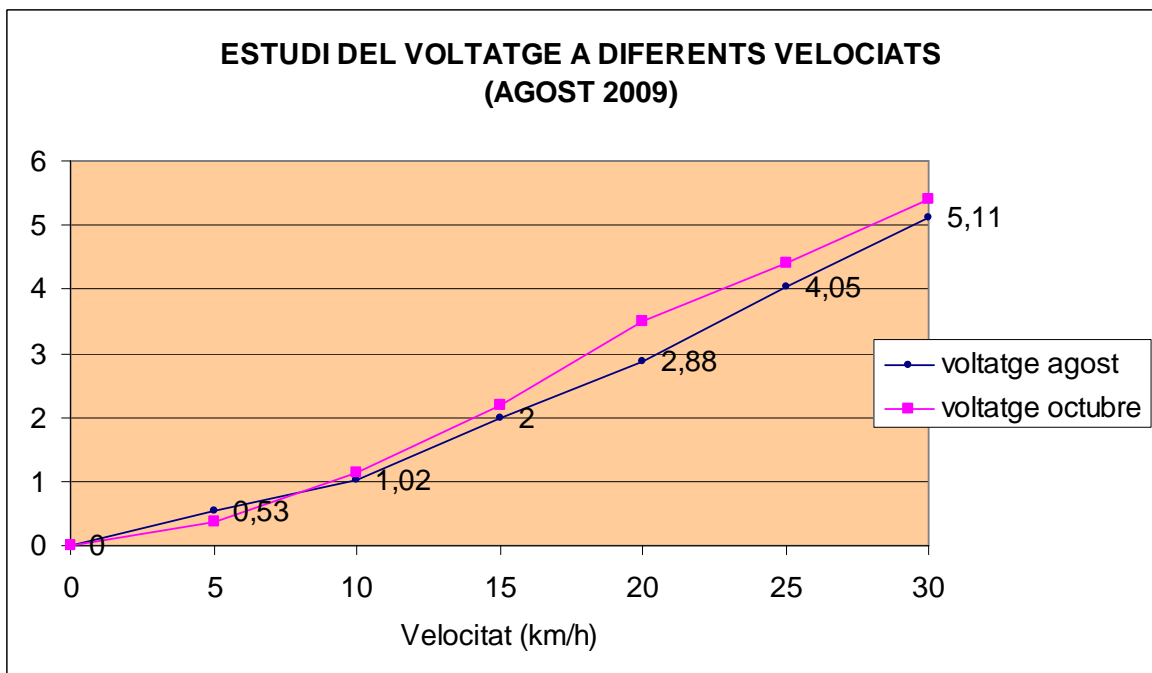
Taula 8. Voltatge al mes d'octubre

3.3.5 Gràfics i comparació



Gràfic 8. Voltatge al mes d'octubre

Comparació dels voltatges



Gràfic 9. Comparació de voltatges

Com podem veure al gràfic, la variació de voltatge de l'estiu a la tardor és gairebé nul. Això vol dir que no he pogut demostrar empíricament que l'aire té més densitat a la tardor que a l'estiu.

3.3.6 Anàlisi de les dades obtingudes i determinació d'errors

Com es fa en molts experiments, he volgut comprovar si les dades que he obtingut no són descabellades i segueixen un mínim de coherència. Per fer-ho, he fet la distribució normal de les dades que em van sortir. Així podré determinar quin és el possible error.

La distribució normal és una de les distribucions de probabilitat contínua més importants, ja que molts fenòmens naturals i socials s'hi ajusten. Es representa mitjançant la campana de Gauss o corba normal. L'àrea que determina la corba amb l'eix OX és 1 perquè és una funció de densitat.

El primer pas que vaig fer va ser calcular la desviació típica dels voltatges que havia obtingut per cada velocitat.

Velocitat (Km/h)	Voltatge (V)						promig	Desv. típica
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
5	0,30	0,20	0,40	0,50	0,40	0,40	0,37	0,10327
10	0,80	1,20	1,60	1,10	0,90	1,20	1,13	0,28047
15	2,30	2,10	2,20	2,40	1,90	2,30	2,20	0,17888
20	3,70	3,80	3,40	3,90	2,90	3,30	3,50	0,37416
25	4,50	4,90	4,10	4,50	3,80	4,70	4,42	0,40207
30	5,40	5,80	5,20	5,50	4,90	5,70	5,42	0,33115

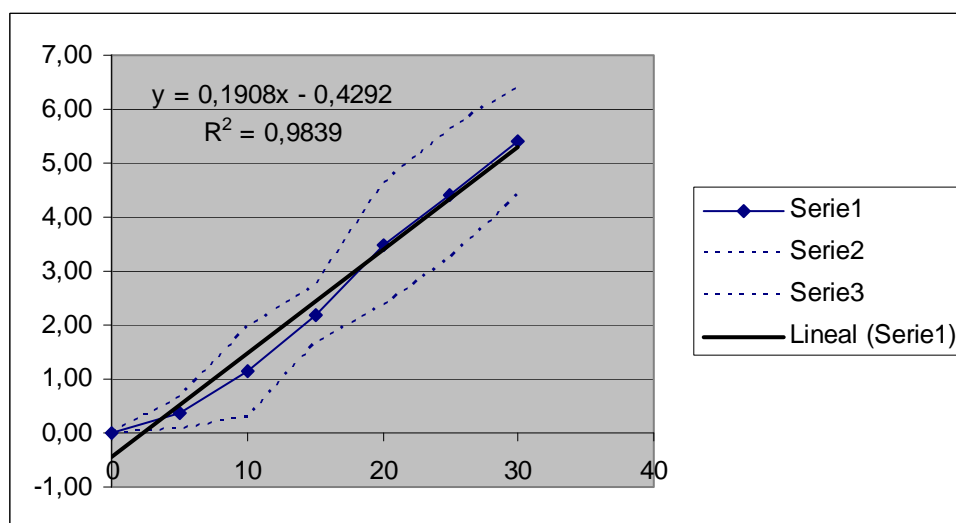
Taula 9. Desviacions típiques de cada conjunt de voltatges

Un cop calculades les desviacions típiques, vaig utilitzar una propietat de la distribució normal que diu que l'àrea compresa entre el promig menys tres vegades la desviació típica i el promig més tres vegades la desviació típica és el 99.74% del total. Això ens dona un marge petitíssim d'error i per això el considerem pràcticament nul.

Promig + 3desviació	Promig - 3desviació
0	0
0,67650533	0,056828
1,97476069	0,29190597
2,73665631	1,66334369
4,62249722	2,37750278
5,62290047	3,21043286
6,4101454	4,42318793

Taula 10. Promig+3desv. típica i promig-3desv. típica

Gràcies a aquests valors que hem obtingut puc fer un gràfic on s'hi veurà representat l'interval d'error en el que es pot moure la meua mostra.



Gràfic 10. Interval d'error que presenta la mostra

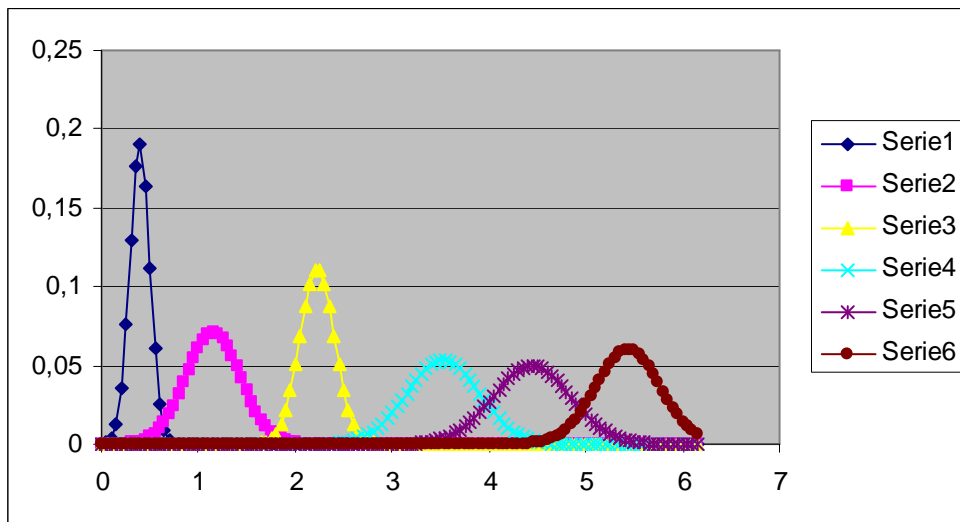
Sèrie 1 equival al promig de voltatges a les diferents velocitats.

Les sèries 2 i 3 corresponen al promig+3desv. i promig-3desv.

CONCLUSIÓ

Per acabar l'estudi de les dades obtingudes vaig fer les distribucions normals de cada una de les velocitats. Així, només mirant la seva campana podria dir quina és la que té les dades més fiables i quina menys. De totes maneres, ja es pot veure en el gràfic 10: als 5 km per hora són molt fiables perquè

l'interval d'error és petit. En canvi, als 25 km per hora podem veure com les dades no són tan fiables perquè l'interval és molt més ampli. Per tant, podem dir que la distribució normal als 5 km per hora serà més estreta i alta que la dels 25 km per hora. És un altre mètode per veure gràficament quines dades són més fiables.



Gràfic 11. Distribucions normals de les dades de cada velocitat.

Les sèries corresponen a les diferents velocitats de 5 km/h a 30 km/h

Aquesta gràfica l'he fet utilitzant una funció de l'excel·lent que s'anomena "distr. norm." que representa la distribució normal, que ja he esmentat anteriorment, per a cada velocitat.

Per tant, considerant que treballava amb un aerogenerador molt senzill i que la mesura de la velocitat no era exacte, crec que les dades són prou fiables.




3.4 Experiments de magnetisme



Per completar el meu treball de camp, la meva tutora em va suggerir de fer algun experiment que demostrés els principis bàsics de l'electromagnetisme. En aquest apartat explicaré com ho vaig fer i els resultats que vaig obtenir.

Bàsicament el que he pretès és comprovar que un imant crea un camp magnètic i desvia l'agulla d'una brúixola. També he reproduït l'experiment d'Oersted i el de Henry-Faraday.

3.4.1 Material

He fet una taula amb el material que he utilitzat per totes les proves, ja que moltes vegades s'utilitza el mateix.

Imant ferradura	
Imant circular	
Brúixola	

Llimadures de ferro	
Tisores	
Fil conductor	
Pila de petaca	
Bombeta de 1.2V i portabombetes	
Full Blanc	

Taula 11. Material necessari per fer els experiments

3.4.2 1r EXPERIMENT

Observació del camp magnètic d'un imant

a) Objectiu

Posar de manifest el camp magnètic d'un imant.

b) Procediment

Vaig posar llimadures de ferro sobre un full blanc. A sota del full, vaig posar els dos imants per poder veure l'espectre magnètic de cada un d'ells.

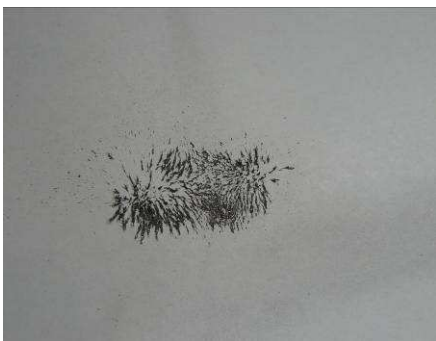


Fig. 69. Espectre magnètic d'un imant de ferradura

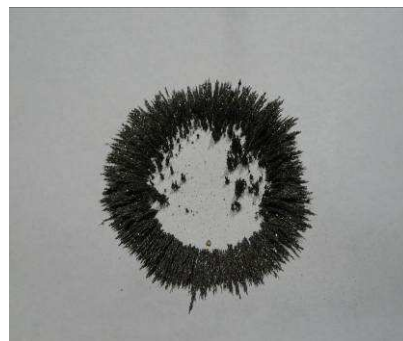


Fig. 70. Espectre magnètic d'un imant circular.

c) Conclusió

A l'imant de ferradura s'hauria de veure clarament com en els pols s'acumulen més llimadures que no en el centre. Però l'únic imant que he trobat té molt poca força i no ho he pogut veure bé.

En canvi, a l'imant circular es veu molt clar que les llimadures s'acumulen al perímetre de l'imant, on l'efecte magnètic és més fort.

3.4.3 2n EXPERIMENT

Efecte d'un imant sobre una brúixola

a) Objectiu

Visualitzar com el camp magnètic creat per un imant desvia l'agulla de la brúixola.

b) Procediment

Vaig orientar la brúixola cap al nord. Llavors vaig acostar-hi l'ímant.



Fig. 71. Brúixola



Fig. 72. Brúixola sota l'efecte de l'ímant

c) Conclusió

Es veu clarament com l'ímant ha desviat l'agulla de la brúixola.

3.4.4 3r EXPERIMENTExperiment d'Oersted

a) Objectiu

Posar de manifest l'efecte magnètic del corrent elèctric.

b) Procediment

Vaig col·locar una brúixola sobre la taula lluny de l'efecte de cap imant. Vaig fer un circuit elèctric amb una pila de petaca, fil conductor i una bombeta de manera que el fil conductor donés una volta sobre la brúixola. El motiu d'haver posat una bombeta va ser poder visualitzar quan passava corrent pel circuit. Vaig orientar la brúixola cap al nord per veure de forma més clara el desviament. Vaig tancar el circuit.



Fig. 73. Circuit obert



Fig.74. Circuit tancat

c) Conclusió

He pogut observar com al passar corrent elèctric pel fil conductor es desviava l'agulla de la brúixola. Per tant, queda comprovat que el corrent elèctric té un efecte magnètic.

3.4.5 4t EXPERIMENT

Experiment de Henry-Faraday (inducció electromagnètica)

a) Objectiu

Posar de manifest l'efecte elèctric del camp magnètic

b) Procediment

Aquest experiment és el que vaig fer jo a la part pràctica del treball. Vaig construir un aerogenerador on el moviment de les aspes feia moure els imants a prop d'unes bobines i es produïa corrent elèctric.



Fig. 75. Experiment de Henry-Faraday

c) Conclusió

Vaig poder comprovar que si no hi havia moviment dels imants, no es creava corrent elèctric i per tant la bombeta no s'encenia i que quan els imants es movien, es generava electricitat i la bombeta s'encenia.

3.5 Visites a parcs eòlics

3.5.1 Parc eòlic de la Serra de Rubió

Buscant per la xarxa informació per la part teòrica del meu treball, vaig trobar la web d'eoliccat, una associació constituïda el gener del 2006 que agrupa el 99% de les empreses vinculades al sector eòlic català. Allà, hi havia una secció en la que podies contactar amb la gent de l'empresa i així ho vaig fer.

Vaig enviar un correu dient que era un estudiant de batxillerat que feia el treball de recerca sobre l'energia eòlica i que m'interessaria visitar un parc eòlic. Aquesta adreça era de la Lorena, que treballa per l'empresa. Ella ràpidament em va dir que si volia podia anar a celebrar el dia mundial del vent al parc eòlic de la Serra de Rubió. On a part de veure els aerogeneradors per fora, ens farien una conferència explicativa sobre l'eòlica i en concret sobre el mateix parc. Jo naturalment vaig acceptar i el 16 de Juny vam anar cap allà.

Primerament, ens van explicar detalladament com funcionava el parc eòlic de la Serra de Rubió, des que el molí comença a girar fins que l'electricitat s'envia a la xarxa. Aquesta conferència està resumida i explicada més avall.



Fig. 76. Camí principal



Fig. 77. Aerogeneradors funcionant

Més tard, la Lorena, que s'ha portat sempre molt bé amb mi, em va portar davant del gerent de la pròpia empresa d'eoliccat, en Jaume Morrón. Vaig poder-li fer una entrevista en persona i ell generosament em va respondre a totes les meves preguntes.

Conferència al parc eòlic de la Serra de Rubió

A Catalunya l'energia més utilitzada és la nuclear. Les energies renovables només representen el 8%. A tot Catalunya hi ha 17 parcs eòlics.

A la Serra de Rubió hi ha actualment 50 molins entre les comarques de l'Anoia i el Bages. Quan es va construir, es van instal·lar 33 molins que, juntament amb la subestació van costar a l'empresa Acciona 50 milions d'euros.

Aquest parc eòlic crea anualment 105 GWh que és la demanda aproximada d'electricitat de 30.000 habitatges.

El molins de la Serra de Rubió necessiten com a mínim una velocitat de vent igual o superior a 11 km/h ja que sinó les pales no giren. També tenen un màxim de velocitat de vent que és de 65 km/h i a partir d'aquesta l'ordinador no permet el rodament de les pales ja que s'entra en una situació de perillositat i es bloquegen les pales.

El molí consta de quatre parts: la torre, la gòndola, les pales i el rotor. La torre ha de suportar el pes de la gòndola i per tant ha de ser d'un material resistent com per exemple l'acer present a les torres de la gran majoria d'aerogeneradors. Al parc de Rubió les torres són d'uns 100m. Els van haver de portar fragmentades en tres parts.

La gòndola és una càpsula situada a la part alta de l'aerogenerador junt amb l'eix i té una mida de 12.5 metres de llargada i cinc d'alçada (més o menys com el d'un autobús de dues plantes). Al seu interior hi ha l'eix lent, l'eix ràpid, el generador i el multiplicador.



Fig. 78. Funcionament d'un aerogenerador

A part, és articulada i s'encara de tal manera que el vent li entri en òptimes condicions per que les seves pales girin. Com que la gòndola és articulada, si anés donant voltes sense parar, els cables s'enredarien i es podrien arribar a trencar. Per això, la gòndola tan sols pot fer unes tres voltes i mitja per anar-se encarant al vent. Un cop les ha fet i arriba al tope l'aerogenerador es para i es torna a col·locar a la posició inicial.

El procés de formació de l'electricitat és el següent: l'eix lent gira juntament amb les pales a 16 rpm. Aquest eix està connectat amb un multiplicador que està format per una sèrie d'engranatges que el que fan és augmentar notablement el número de les voltes de l'eix lent a un altre eix anomenat eix ràpid. Per acabar el procés, aquest eix ràpid, que fa moltes més voltes que l'eix lent, està connectat amb un generador que és on es crea l'electricitat.

Les pales que hi ha al parc de Rubió mesuren uns 37.4 metres de llarg i estan fabricades de fibra de vidre i és bàsicament aquest material el que fa que aconseguixin una aerodinàmica tan gran com la que tenen les ales dels avions. El moviment de les pales és en sentit horari i cada aerogenerador a part de la gòndola, el rotor, la torre i les pales, consta d'un parallamps i un llum vermell situats a sobre la gòndola i alguns, els que estan als lloc més elevats, d'un llum de color blanc. Les llums són senyals pels avions.

Quan la velocitat del vent supera els límit de seguretat, l'ordinador que controla els moviments de l'aerogenerador fa que les pales adoptin una posició que fa que parin de girar.



Fig. 79 i 80. Aerogeneradors del parc

El rotor és el conjunt format per les pales i l'extrem de l'eix lent. Els aerogeneradors antics giraven a 33 rpm però ara s'han modificat per girar a 16 rpm i per tant reduir els sorolls que produïen.

Cada molí pot donar electricitat a unes 1000 famílies cada any.



Fig. 81. La conferenciant i jo

3.5.2 Visita al parc eòlic de Collet dels Feixos

Introducció

El parc eòlic de Collet dels Feixos està situat al municipi de Duesaigües, a la província de Tarragona. És propietat d'Esburg s.l., una empresa vinculada al món de les energies renovables que té dos socis: Joaquim Casado i Jordi Comas.

Tot va començar amb la compra, per part d'Esburg, d'un terreny anomenat "Mas de la Potra". Aquesta operació es va efectuar a principis de l'any 1999 i a finals d'aquell mateix any, Esburg va presentar el projecte d'instal·lació del parc eòlic anomenat "Mas de la Potra" que estava format per dos aerogeneradors de 1320 kW cadascun.

Un any més tard, al 2000, el projecte del parc eòlic del "Mas de la Potra" es va veure reforçat amb un altre que s'anomenava "Collet dels feixos", format per sis aerogeneradors de 1320 kW. Encara que els dos projectes tenien noms diferents, estaven al mateix terreny i eren propietat d'Esburg s.l.

L'any 2002 es van posar en marxa els dos aerogeneradors del "Mas de la Potra" i dos anys més tard, al 2004, els del "Collet dels Feixos".



Fig. 71. Entrada del parc



Fig. 72. Aerogeneradors

Funcionament del parc

El funcionament dels molins és com en tots els altres parcs. El molí comença a girar quan té suficient vent i el número de voltes que fan les pales es veu multiplicat gràcies a l'efecte del multiplicador.

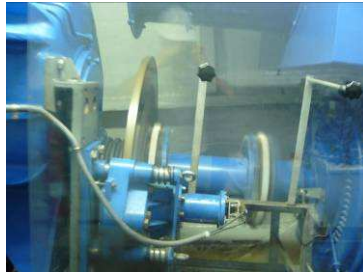


Fig. 73. Eix principal

El generador crea l'electricitat i l'envia a la base elèctrica que hi ha al peu de cada molí a través d'uns cables. A aquesta base hi ha una sèrie de dispositius electrònics que entre altres funcions, donen ordres al molí, envien l'electricitat a la subestació o passen les dades del molí a l'ordinador de la subestació.



Fig. 74. Generador



Fig. 75. Ordinador de control

L'ordinador de la subestació està format per dues torres que s'encarreguen de rebre informació dels molins les 24 hores del dia. Els molins li envien els kw que estan generant, la velocitat del vent, les condicions climatològiques i els possibles errors que puguin tenir. Si aquest error és molt important, s'envia un missatge de mòbil instantani a algun dels dos socis de l'empresa i aquests han d'anar al parc a mirar què passa.



Fig. 76. Ordinador de la Subestació



Fig. 77. Controladors digitals

Com he dit abans, l'electricitat que crea el generador s'envia a la base elèctrica que cada moli té al seu peu i des d'allà es transmet a través de cables soterrats a la subestació. En el cas d'aquests parcs eòlics, l'electricitat que surt dels molins ja és de corrent altern i, per tant, està llesta per enviar a la xarxa normal.



Fig. 78. Subestació

Finalment, l'electricitat es transmet directament de la subestació a la xarxa ordinària.

A part, els parcs eòlics tenen un dipòsit d'aigua dolça per si es cala foc. Aquest dipòsit és normativa de la generalitat. Mitjançant unes bombes, puguen l'aigua emmagatzemada d'un terreny que tenen una mica més avall.

Visita a l'interior d'un dels aerogeneradors

En Joaquim, ens va permetre el luxe de pujar a la gòndola d'un dels sis aerogeneradors de "Collet dels Feixos" i explicar-nos com era per dintre.

Quan varem entrar al molí, a mà dreta hi havia tots els dispositius elèctrics que servien per controlar tot el que el molí feia. Són aquests dispositius els que envien les dades i l'electricitat a la subestació.



Fig. 79. Dins el molí



Fig. 80. Aparells de dins el molí

Per accedir a la gòndola, vam utilitzar un muntacàrregues que va trigar uns tres minuts a pujar els seixanta metres (20 pisos aprox.) que hi ha fins a la gòndola.



Fig. 81. Pujant a dalt del molí

Un cop varem ser a dalt, en Joaquim ens va ensenyar tots els components de la gòndola. Em va impactar el moviment que tenia la gòndola degut al fort vent i a la proximitat de les aspes que podíem veure girar allà al costat mateix.



Fig. 82. Al costat de les pales

També va ser molt interessant l'oportunitat que vam tenir de treure el cap per la finestra superior de la gòndola. No vam poder sortir a l'exterior perquè feia molt de vent.



Fig. 83. Des de dalt de l'aerogenerador



Fig. 84. Mirant cap a les pales

3.5.3 Avantatges de l'energia eòlica

A partir de les dades que el Sr Joaquim Casado em va facilitar, he tret unes conclusions sobre l'estalvi de contaminants atmosfèrics que representa obtenir energia elèctrica generada pel vent respecte a d'altres fonts d'energia.

Les dades es refereixen al conjunt dels dos parcs d'Esbrug S.L: Mas de la Potra (dos aerogeneradors) i Collet dels Feixos (sis aerogeneradors). Cada generador té una potència d'uns 1320 kW. Des que es van posar en funcionament han produït una energia mitjana anual de 23.500.000 kWh. Aquesta energia és suficient per subministrar la demanda elèctrica anual d'una població de 25.000 habitants.

Segons el Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç es necessiten 0,549 kg de carbó per produir 1 kWh d'energia. Així els parcs eòlics d'Esbrug S.L eviten la combustió de 12.902 tones de carbó cada any.

La CNE (Comissió Nacional d'Energia) ha fet un estudi en que es veuen els grams de contaminants que produeix cada kWh generat mitjançant la combustió del carbó en les centrals tèrmiques.

<i>Tipus de emissió</i>	<i>Grams / kWh generat</i>	<i>Contaminació evitada (Tones / any)</i>
CO ₂	901	21.173
SO ₂	9,7	228
NO _x	3,0	70
Partícules	0,3	7
TOTAL		21.478 tones/any

Taula 12. Grams de contaminants creats en la producció d'un kWh mitjançant el carbó

Per tant, cada any s'evita l'emissió de 21.478 tones de compostos químics contaminants que equivalen a una mitjana de 59 tones diàries de contaminants evitats.

Segons la FAO, els boscos mediterranis tenen una taxa de fixació de carboni d'unes 4 tones per hectàrea i any. Això equival a una fixació de CO₂ d'unes 14 tones per hectàrea i any. Com que els parcs eòlics d'Esbrug S.L eviten l'emissió de 21.173 tones anuals de CO₂ , equivalen, des d'aquest punt de vista, a una superfície de bosc mediterrani de 1500 hectàrees (15 km²).

Per reduir les emissions globals de CO₂ i donar compliment als acords del Protocol de Kyoto, es va crear el mercat de drets d'emissió de CO₂ . El preu d'aquests drets varia contínuament. A dia 4 de gener de 2010 el preu estava en 11,62 €/tona. Això representa que els beneficis econòmics de la reducció d'emissions de CO₂ que suposen els parcs eòlics d'Esbrug S.L, seria de:

$21.173 \text{ tones} \times 11,62 \text{ €/tona} = 246.030 \text{ € l'any.}$

3.6 Entrevistes

3.6.1 Entrevista a Jaume Morrón (Gerent d'eoliccat)

- Quins són els factors determinants a l'hora d'escollir el terreny on s'ubicarà un parc eòlic?

Abans de fer un parc eòlic s'han de fer diferents estudis. El primer de tots és estudiar el vent. Aquest estudi dura uns dos anys i es fa obtenint dades del vent d'una zona, dia a dia, a través d'unes torres meteorològiques. Això es fa per veure si surt rentable fer el parc (que hi hagi el suficient vent, ni massa ni massa poc)

El segon estudi important que s'ha de fer és el de la vegetació i la fauna. Sobretot s'estudia el moviment dels ocells perquè són els que poden patir col·lisions amb les pales.



Fig. 96. Jaume Morrón i jo



Fig. 97. Torre meteorològica

Un altre estudi que s'ha de fer és el referent a la població ja que els molins fan soroll i molestarien a la gent si es fessin al costat de casa seva. La normativa diu que s'han de deixar com a mínim, 500 m. Dins d'aquest, també s'estudia l'ombra que pot arribar a fer el molí, ja que pot produir l'efecte discoteca, és a dir, el cobriment del sol per les pales als habitatges pròxims.

L'últim dels estudis importants és l'impacte sobre el paisatge. Perque no impactin visualment es fan els parcs a zones aïllades.

- L'electricitat procedent de l'energia eòlica, és més cara que la resta?

Per al consumidor no, ja que l'electricitat que ens arriba a les cases és una barreja, però els compradors de la nostra electricitat sí que ens donen un plus pel sol fet de ser renovable.

- Cada generador del parc és del mateix model i genera la mateixa potència?

Els generadors que tenim aquí sí, en tenim 33 i tots són de 1500 Kw.



Fig. 98. Aerogeneradors del parc de la Serra de Rubió

- He trobat articles a Internet on hi deia que a determinats punts de Catalunya hi va haver impediments per part de certs col·lectius per a la construcció de nous parcs eòlics ja que deien que destrossaven l'entorn. Aquí va passar alguna cosa semblant?

Algun petit problema sí que vam tenir, però això passa a tots els parcs. El procés per crear un parc eòlic és complicat ja que un cop tens els projectes qui té la primera paraula és el Departament de Medi Ambient de la Generalitat, després la Direcció General més tard passa pel departament de Política territorial i Obres Públiques i finalment per l'Ajuntament del poble. Els ajuntaments solen sortir beneficiats ja que per exemple nosaltres els hi paguem una quota de lloguer per cada molí.

- Si no m'equivoco aquest parc eòlic ha anat a càrrec del grup Acciona. És l'única empresa a nivell estatal que es dedica a aquest sector?

No, però Acciona és una de les grans a Espanya i arreu del món en energia eòlica.

- L'aerogenerador té algun tipus de despesa energètica?

Per suposat que té una petita despesa energètica ja que cada generador està controlat per un ordinador i aquest ordinador està connectat les 24h i naturalment funciona amb electricitat i té una despesa. La funció d'aquest ordinador és molt complexa, s'encarrega per una banda d'obtenir les dades dels anemòmetres i de la mini estació meteorològica que té cada aerogenerador a dalt de la seva gòndola. A partir d'aquestes dades, l'ordinador donarà el permí per exemple de deixar girar les pales si el vent és superior o igual a 11km/h o bloquejar-les quan és de 65 o més km/h.

- Com es transmet l'energia obtenida als aerogeneradors a les línies d'electricitat?

El procés és el següent, l'energia elèctrica obtinguda pels aerogeneradors s'obté a la gòndola i d'allà es transmet per mitjà de cables cap als peus del molí on es troba amb un transformador que li dona el voltatge adequat i a partir d'allà, a través de cables enterrats s'envia fins a la subestació que hi ha a cada parc finalment es distribueix per les diferents línies elèctriques.



Fig. 99. Subestació del parc

3.6.2 Entrevista a Manel Juncosa (Enginyer Industrial)

Quina experiència has tingut en el sector de l'energia eòlica?

Bé, jo sóc enginyer industrial amb especialitat en mecànica i vaig estudiar a la UdG. Amb 33 anys que tinc, he tingut la sort de treballar en una empresa dedicada a els estudis necessaris per a fer nous parcs eòlics. Això ja va ser fa uns tres anys i ara estic treballant per una altra empresa que es dedica a fabricar màquines d'analitzar la sang.

Quan vas treballar per la empresa per crear nous parcs eòlics, quina era ben bé la teva tasca?

La meva principal funció era fer els estudis de viabilitat d'implementació de nous parcs.

Primer de tot, havia de mirar els resultats obtinguts per les torres de medició que l'empresa havia col·locat feia uns dos o tres anys. En el meu cas, jo no havia col·locat aquelles torres si no que ho havia fet l'enginyer que ocupava el meu lloc un parell d'anys enrere.

Aquestes torres recollien dades de la direcció i la velocitat del vent durant uns dos o tres anys. Un cop tenia aquestes dades, les comparava amb les d'aeroports o estacions meteorològiques properes ja que el vent no es igual cada any. Les zones on hi solia haver més vent eren a dalt de les muntanyes. No tan sols era important el fort vent si no que la constància jugava un paper important.

Un cop tenia fet l'estudi del vent, tocava saber on aniria col·locat cada molí. Per saber-ho seguia diferents criteris. Entre altres hi havia els criteris tècnics, econòmics, polítics, mediambientals, etc. Me'n recordo que a l'hora de tenir en compte els criteris mediambientals havies de contar tots els arbres que es tallarien per a la construcció de cada molí i també les espècies que es podrien veure afectades.

Quan ja sabia més o menys on aniria situat cada molí, havia de decidir quines xarxes internes serien les més apropiades. Això s'havia de mirar molt be per tal de fer-ho de la manera més econòmica possible però també tenint en compte un possible cas d'averia. Per exemple, tens una fila de tres molins i connectes el primer amb el segon, el segon amb el tercer i el tercer amb la subestació. Si s'espatlla per alguna raó el cable que va del tercer a la subestació, no només es perdrà tota l'electricitat que produeixi el tercer si no que també es perdrà tota l'electricitat generada pel primer i pel segon.

L'electricitat que es genera a la gòndola és de baixa tensió. Aquesta electricitat però, surt del molí a mitja tensió perquè a cada torre hi ha un transformador que ho permet. L'electricitat que es transmet pels cables del parc és de mitja tensió. Quan aquesta arriba a la subestació, es transforma en electricitat d'alta tensió perquè ha de tenir aquest voltatge per ser afegida a la xarxa normal. Després d'escollir les diferents xarxes internes amb les que els molins estarien connectats a la subestació, havia de centrar-me en les vies d'accés als molins, o sigui, els camins.

Havia de mirar el pendent de cada tram del camí i determinar s'hi s'hauria d'asfaltar o anivellar. S'ha de pensar que els camions que transporten cada tros de molí són molt grans i a vegades era necessari fer-ho. Un altre factor a tenir en compte era el radi de curvatura de les corbes. L'explicació és molt senzilla, els camions que porten els trossos dels molins, els hi surt la càrrega per darrera. Per tant, depenent de quina corba feien, la càrrega que els hi sortia pel darrera xocava amb arbres o amb els obstacles que pogués presentar el terreny.

Si per exemple havia d'anivellar el camí, intentava que la terra que treia d'un tram, pogués fer-la servir en un altre. Això s'anomena moviment de terres. El meu propòsit era poder anivellar els camins sense haver de comprar cap tona de sorra. Comprar-les suposava una despesa econòmica i la mobilització de més camions. Aquest fenomen del moviment de terres també estava present quan feia els forats per on passarien les línees elèctriques.

Calcular per on anirien les línees elèctriques també era tota una odissea. A part que tenia moviment de terres perquè s'havia de fer un forat força gros al terra, havia de decidir si anirien per sota el camí o pel costat del camí.

Si anaven pel costat del camí, es feia un forat i al fons s'hi posaven unes pedres anomenades de drenatge que fan que no s'acumuli l'aigua . A sobre d'aquestes pedres i per fer com de coixí als cables, s'hi posava una sorra fina que la seva principal funció era protegir els cables. Llavors era el torn dels cables i a sobre més sorra fina i protectora. Abans de posar terra normal per anivellar el forat, s'hi posava una rajoleta que servia per si algun dia s'havia de reparar algun tros de cable i amb una excavadora s'havia de fer el forat per arribar-hi, primer xocaria amb la rajola i això indicaria al personal de reparacions que el cable estava a prop. Si no hi fos, correrien el perill de trencar més cables dels que estaven malmesos.

Si els cables anaven per sota el camí, l'estructura havia de ser molt més rígida i per això, en comptes de posar sorra fina i protectora es feia una estructura de formigó amb uns canals al mig que eren per on passarien els cables.

A més a més, també s'havia de mirar bé el material de cable que escollia. Per una banda hi ha l'alumini que pesa poc, és barat però té poca potència. Per altra banda, hi ha el coure que pesa més, és més car però te molta més potència per àrea.

Per a fer tot aquest procés hi estava mesos i sovint havia de canviar coses i tornar-me a mirar i repassar lo anterior per adequar-me a les condicions que se m'imposaven.



Fig. 100. Manel Juncosa i jo

Després d'haver treballat en una empresa relacionada amb l'energia eòlica, creus que s'ha de prioritzar la creació de parcs eòlics i, per tant, l'obtenció d'energia neta o l'abstenció de construir-los per l'impacte mediambiental que provoquen?

La veritat es que jo sóc d'aquelles persones que creuen que la construcció de parcs eòlics és un molt bon recurs sempre que es faci en una certa mesura per tal de no destrossar el nostre entorn. És a dir, prefereixo mil cops més un parc eòlic que no una indústria que crea electricitat a partir del carbó.

Però per altra banda, crec que un excés de construcció de parcs seria dolent perquè es cert que provoquen un impacte mediambiental gran. Crec que no tots els llocs són bons per construir-hi un parc eòlic.

A part, m'agrada la idea que ha sorgit últimament de fer parcs eòlics al mar. Tenen una bona eficàcia ja que el vent els hi entra totalment horitzontal i no molesten a ningú.

Les energies renovables són el nostre futur.

3.6.3 Entrevista a Joaquim Casado (Soci d'Esburg s.l.)

Quin càrrec té dins el parc eòlic? Quins estudis va fer per poder treballar al sector?

Esburg s.l. consta de dos socis, en Jordi Comas i jo. Jo soc mestre industrial i domino molt més la part pràctica que en Jordi que és l'enginyer.

Per exemple, si fa falta canviar algun cable o quelcom relacionat amb l'electricitat ho faig jo. Per altra banda, ell és qui té el títol d'enginyer electrònic necessari a l'hora de presentar, entre altres coses, el projecte dels parcs.



Fig. 101. Joaquim Casado i jo

- Quins són els factors determinants a l'hora d'escollir el terreny on s'ubicarà un parc eòlic?

Per construir un parc eòlic, la Generalitat et demana el que s'anomena projecte de parc eòlic en que hi ha uns estudis. Els més importants són l'estudi del vent, l'estudi de la vegetació i l'impacte sobre la població.

Aquest tràmit de papers és molt complicat i llarg. Nosaltres vam estar tres anys i escaig perquè ens autoritzessin el parc de "Collet dels Feixos". Aquests projectes són mirats per molta gent del govern però mai ningú acaba de dir el si definitiu.

- L'electricitat procedent d'aquest parc eòlic, és més cara que la resta?

L'electricitat que prové d'energies renovables, és una electricitat de la mateixa qualitat que la que és produïda per les centrals tèrmiques per exemple. La diferència es que a nosaltres l'estat ens paga un extra per cada kW que obtenim. Crec que és un bon mètode per premiar a tota aquella gent que té ulls pel món i treballa amb energies renovables.

- Cada generador del parc és del mateix model i genera la mateixa potència?

Al parc eòlic de "Collet dels feixos", tenim 6 aerogeneradors de 1320 kW cadascun. Tots sis són del model AE-61.

El motiu del número 61 és perquè el diàmetre de la circumferència que formen les pales al girar és de 61 metres.

Cada molí es posa en funcionament més o menys als 3.5 m/s i es para quan el vent sobrepassa els 25 m/s. Tenen una alçada d'uns seixanta metres.

Per frenar quan és necessari, tenen un fre principal i un fre de seguretat. El fre principal està situat a la punta de cada pala i s'anomena aerofrè. El fre de seguretat és una pinça hidràulica situada a l'eix ràpid.

Cada un dels sis aerogeneradors, pesen sobre uns 161.500 kg:

- La gòndola (sense el rotor) pesa 49.000 kg.
- El rotor sol pesa 23.000 kg.
- La torre 89.500 kg.

Per muntar el parc varem estar més o menys un any. Les torres venien dividides en tres perquè és impossible que un camió faci 60 metres de llarg. Les pales les van portar de Ponferrada i la resta del molí de Valladolid.

Cada molí ens va costar 1.000.000 €.

- He trobat articles a Internet on hi deia que a determinats punts de Catalunya hi va haver impediments per part de certs col·lectius per a la construcció de nous parcs eòlics ja que deien que destrossaven l'entorn. Aquí va passar alguna cosa semblant?

Sempre hi ha gent que posa el nas on no li demanen però sortosament nosaltres no vam tenir problemes amb col·lectius.

- L'aerogenerador té algun tipus de despesa energètica?

Cada aerogenerador està gastant contínuament electricitat. S'ha da pensar que en cada un d'ells hi ha un ordinador i uns sistemes elèctrics que no funcionen per art de màgia.

Nosaltres tenim un contracte amb l'empresa elèctrica que cada dia li hem de donar certs kW d'electricitat. Si algun dia no fa vent, ens hem de buscar la vida i comprar l'electricitat a un altre lloc, com per exemple al Marroc. La qüestió es que faci vent o no, nosaltres hem de donar uns kW d'electricitat diaris a Endesa.

- Com es transmet l'energia obtenida als aerogeneradors a les línees d'electricitat?

En el nostre cas, es transmet directament. Com que no tenim un gran nombre d'aerogeneradors, connectem directament la subestació amb la línea regular.

Per tal de no saturar la línea regular, l'electricitat que nosaltres li transmetem, està regulada per uns aparells elèctrics que tenim a la subestació. Actuen com a filtres perquè no hi passi tota l'electricitat de cop.

4. CONCLUSIÓ FINAL

Al començar aquest treball em vaig plantejar un conjunt d'hipòtesis i objectius que en acabar veig que he pogut comprovar.

En primer lloc volia construir un aerogenerador amb materials accessibles, cosa que vaig aconseguir i em va fer molt feliç el dia que vaig veure que vertaderament el molí que acabava de fer produïa l'electricitat suficient per encendre la bombeta. Això per mi va ser molt important perquè sinó no hagués pogut continuar amb els experiments que m'havia plantejat.

El següent pas era estudiar quin voltatge podia produir el meu aerogenerador. Per fer-ho vaig aprofitar el vent produït pel moviment del cotxe a diferents velocitats. Els voltatges que vaig obtenir els vaig recollir en una taula i després en vaig fer les gràfiques i la seva interpretació. Vaig voler demostrar que amb aire més fred i per tant, més dens, obtindria més voltatge. Per això vaig tornar a repetir l'experiment ben entrada la tardor. Els resultats em van sortir força similars que a l'estiu. Per tant, no vaig trobar una diferència significativa per poder demostrar que amb el vent més fred s'hauria de produir més voltatge. Això pot ser degut a que el meu aerogenerador no era el suficientment sensible per poder captar aquesta diferència de densitat.

A més a més vaig fer uns experiments senzills de magnetisme intentant reproduir els d'Oersted, Henry-Faraday, ... Fent aquests experiments he assolit algun objectiu dels que m'havia plantejat com el de saber manipular material elèctric i del laboratori.

Per saber com funcionaven els parcs eòlics vaig tenir la sort de poder-ne visitar dos, el de la Serra de Rubió i el del Collet dels Feixos. Tots dos em van impressionar molt ja que no pensava que els aerogeneradors fossin tan grans. Però sobre tot el més impactant va ser quan al parc eòlic del Collet dels Feixos, un dels seus propietaris, en Joaquim Casado, em va permetre pujar a la gòndola d'un dels seus molins. Les sensacions a vuitanta metres d'alçada eren impressionants. La gòndola vibrava amb el fort vent que hi havia i vaig

estar a un metre de les aspes que giraven fent una remor característica. Només per això, ja estic content d'haver fet aquest treball.

Per acabar de completar el meu treball de camp vaig entrevistar a tres persones que d'una manera o altra tenien relació amb el tema que jo he tractat.

Com que m'agrada el dibuix tècnic vaig pensar que seria bo fer un prototip de la meva maqueta en el que vaig posar en pràctica els coneixements adquirits a classe.

Ara que ja he acabat el treball me n'adono que totes aquestes hores dedicades han servit per aprendre coses noves que, com ja vaig dir a la introducció, crec que em seran molt útils en un futur perquè les energies renovables són les que substituiran al petroli quan aquest s'acabi. En definitiva, estic molt content d'haver treballat aquest tema.

5. BIBLIOGRAFIA

5.1 Pàgines web

- ASOCIACIÓN EMPRESARIAL EÓLICA; "Observatorio eólico"
dins <http://www.aeeolica.es>

- ASSOCIACIÓ EÒLICA DE CATALUNYA; "Informació"
dins <http://www.eoliccat.es>

- CAYETANO ESPEJO MARÍN; "La energía eólica en España"
dins
http://www.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/09251863411047251867857/Inves_03.pdf

- DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION; "Statistics"
dins <http://www.windpower.org/composite-188.htm>

- EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION; "Statistics"
dins http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/statistics

- GENCAT; "Energia demo"
dins <http://www20.gencat.cat/docs/icaen>

- INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA; "Energies renovables"
dins <http://www20.gencat.cat/portal/site/icaen/menuitem>

- LENNTECH; "Neodimio"
dins <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/nd.htm>

- MARCOS TOSATADO; "Aerogeneradores. Tipos"
dins <http://www.mailxmail.com/curso-energia-eolica/aerogeneradores-tipos>

- PORTALCIENCIA; "Meteorología. El viento"
dins <http://www.portalciencia.net/meteovie.html>

- RAFAEL ALEJO GARCÍA-MAURICIO; "Centrales eólicas" i "Vientos locales"
dins <http://thales.cica.es/rd/Recursos>

- WIKIPEDIA; "El vent"
dins <http://ca.wikipedia.org/wiki/Vent>

- WIND ENERGY LOCAL FINANCING; "Síntesis del contexto nacional de la energía eólica en Catalunya"
dins <http://www.welfi.info/cdwelfi/sp/pdf/ESPAGNE%201.pdf>

- WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION; " La energía eólica en el mundo. Informe 2008"
dins
http://www.wwindea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2008_es.pdf

5.2 Llibres

GUI TERAS, Josep M.; i d'altres; Matemàtiques 1. Ed. Mc Graw Hill. Madrid. 2008.

MERCADÉ, Joan; i d'altres; Física 2. Ed. Mc Graw Hill. Madrid. 2009.

OLARTE, María A.; i d'altres; Física i química 2. Ed. Cruïlla. Barcelona. 1988.

ONTAÑÓN, Germiniano; i d'altres; Làser 2 Física i química. Ed. Bruño. Barcelona. 1995.

6. AGRAÏMENTS

Per començar m'agradaria agrair a la meva mare estar sempre al meu costat quan l'he necessitat. També al meu pare per acompanyar-me als desplaçaments i per conduir el cotxe quan vam fer l'experiment de mesurar els voltatges. I per últim a la meva germana per donar-me consells i als meus tiets Vicenç, per ajudar-me amb les pales del meu aerogenerador, i Ricard, pels consells informàtics.

Vull donar les gràcies a la meva tutora Miriam Valls pel temps que m'ha dedicat i per ajudar-me a fer el treball el millor possible. També a la meva professora de dibuix tècnic que m'ha explicat com fer la part del prototip.

Al meu cosí Manel Juncosa per donar-me la idea sobre el tema i per haver-me ajudat en aquells apartats més tècnics que ell coneixia bé per la seva feina. Si no fos per ell segurament no hagués escollit aquest treball.

M'agradaria fer una menció especial al professor de la Universitat de València Joaquin Navasquillo per haver-me facilitat el guió per construir el meu aerogenerador i contestar a tots els meus dubtes.

Una altra persona que ha estat importantíssima per el meu treball és la Lorena Amo que treballa a Eoliccat. Ella m'ha proporcionat informació i la possibilitat de contactar amb les persones que he entrevistat i visitar els parcs eòlics.

Finalment als senyors Morrón i Casado que van dedicar part del seu temps a explicar i ensenyar-me els parcs eòlics i la visita a dins del molí.